

# EFFECT OF ULTRASOUND PULSATIONS ON SUSPENSION SEDIMENTATION

A. Suchánková<sup>\*</sup>, B. Kysela<sup>\*\*</sup>, Z. Chára<sup>\*\*</sup>, P. Ditl<sup>\*</sup>

**Summary:** The paper presents results of a gravity settling of a model suspension. Experiments have been carried out for two configurations. The first experiment involved natural gravity settling; in the second case the ultrasound pulsations were introduced. Ultrasound field was provided by 20 kHz horn acting through a wall of settling vessel. Three kaolin suspensions of volume concentrations 3.8; 7.6; 11.4 % were used. It has been found that there is no significant influence of ultrasound pulsations on suspension settling. It can be stated that the ultrasound is not convenient neither for an application where acceleration of settling time is desired nor for extending off bottom suspension time.

## 1. Úvod

Ultrazvuk je forma mechanického vlnění, které se šíří v každém prostředí. Účinky ultrazvuku při šíření ve sledovaném prostředí závisí na intenzitě (respektive amplitudě), frekvenci kmitů a na vlastnostech prostředí. Pasivní ultrazvuk (pod hodnotou kavitačního prahu) se užívá tam, kde kmitání dosahuje pouze takové intenzity, která nevyvolá žádné fyzikální nebo chemické změny a používá se pro měřící a kontrolní techniku (diagnostický). Aktivní ultrazvuk pracuje s vyššími intenzitami nad 50 W.cm<sup>-2</sup>.Tento ultrazvuk již může způsobit fyzikální nebo chemické změny v daném prostředí.

Využití aktivního ultrazvuku se dá rozdělit do tří skupin:

- a) mechanický efekt čistění vrtání, svařování, mletí, rozprašování
- b) fyzikálně-chemický efekt emulzifikace, homogenizace, filtrace, extrakce, difúze, krystalizace, urychlování rozpouštění
- c) chemický efekt –vliv na rychlost, průběh a výtěžek reakce, tvorba volných radikálů, urychlení oxidace, hydrogenace.

Rychlost ultrazvukových vln je závislá na pružných a fyzikálně chemických vlastnostech daného media. Při působení ultrazvuku v kapalině dochází k periodické změně lokálních hodnot teploty a tlaku, tvoří se a kolabují parní bubliny, neboli vzniká "akustická kavitace". Kavitace se objeví, když amplituda budící akustické vlny dosáhne určité hodnoty, která se nazývá "kavitační práh". Ultrazvuková energie je v kapalině kapaliny disipována na teplo. Se vzrůstající teplotou klesá viskozita suspenze a tím se také zvyšuje mezní usazovací rychlost.

<sup>\*</sup> Ing. Andrea Suchánková, Prof. Pavel Ditl, DrSc.: Fakulta strojní ČVUT; Technická 4, 166 07 Praha 6; tel.: + 420.224352715, e-mail: andrea.suchankova@fs.cvut.cz

<sup>\*\*</sup> Ing. Bohuš Kysela, Ing. Zdeněk Chára, CSc.,: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR; Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6; tel.: + 420.233323748, fax: + 420.233324361; e-mail: kysela@ih.cas.cz, chara@ih.cas.cz

#### 2. Experimentální část

Při měření byly použity dva odměrné válce o objemu 1 l. Jeden válec byl umístěn do válcové nádoby naplněné vodou (hladina ve vnějším i vnitřním válci byla na stejné úrovni), která sloužila jako penetrační lázeň a byla do ní umístěna ultrazvuková sonda o průměru 13 mm, tedy vně vlastního usazovacího válce. Druhý odměrný válec byl použit jako referenční.

Ultrazvukový generátor byl GM 3200 se zesilovačem SH 225G, který byl spojen s VS 70 a zakončen sondou o průmětu 13 mm. Pracovní frekvence je 20 kHz  $\pm$  0.5 kHz. Příkon ultrazvuku je nastavitelný v rozmezí 50÷150 W. Výkon ultrazvuku je nastavitelný buď příkonem nebo různou amplitudou ultrazvukových vln. Maximální amplituda pro tuto sondu je 50  $\mu$ m<sub>ss.</sub>

Jako modelová suspenze byla použita směs vody a kaolinu o středním průměru částic  $4,2 \pm 2,6 \mu m$  a hustotě  $\rho_c 2643 \text{ kg.m}^{-3}$ . Křivka kumulativní četnosti je zobrazena na obrázku 1.



Obr.1. Kumulativní hmotnostní četnost ku průměru částice kaolinu.

Ultrazvukový zdroj byl zapnut během celé doby měření sedimentace a získané hodnoty byly porovnány s měřením gravitačního usazování v referenční nádobě. Výsledky měření pro jednotlivé objemové koncentrace jsou ukázány na obr.2,3,4.



Obr.2. Vliv ultrazvuku na sedimentaci suspenze kaolinu o objemové koncentraci 3,8%.



Obr.3. Vliv ultrazvuku na sedimentaci kaolinu o objemové koncentraci 7,6%.



Obr.4. Vlivu ultrazvuku na sedimentaci suspenze kaolinu o objemové koncentraci 11,4%.

#### Vlastnosti ultrazvuku a tlakového pole:

Průchodem ultrazvukových vln přes rozhraní různých prostředí dochází k jejich odrazu, v důsledku toho v uzavřených objemech dochází ke vzniku stojatého vlnění. Vytvoří se tak tlakové pole, ve kterém vzniknou místa s hodnotou středního tlaku nižší nebo vyšší než je hodnota ve stejném místě bez použití ultrazvuku. Takovéto rozložení tlakového pole může mít vliv na fyzikální vlastnosti takto ovlivněné kapaliny, proto bylo provedeno měření tlakového pole pomocí hydrofonu Bruel & Kjaer (B&K) 8103. Měření bylo provedeno v ose usazovacího válce. Příklad průběhu tlaku v měřeném bodě je na obr.5. Hodnoty tlaku jsou přepočítány ze změn napětí na hydrofonu, jehož převodní konstanta je 26,9 μV/Pa.



Obr.5. Průběh tlaku v ose usazovacího válce ve vzdálenosti 40 mm od hladiny suspenze pro objemovou koncentraci 11,4 %.

Jak již bylo zmíněno, byl použit ultrazvukový zdroj o frekvenci 20 kHz. Rychlost šíření zvuku ve vodě je 1500 m·s<sup>-1</sup> (při 25°C). Pro suspenzi kaolinu a vody byla rychlost zvuku ověřována pomocí UVP (Ultrasonic Velocity Profiler), výsledkem je, že se rychlost zvuku v suspenzi od rychlosti zvuku v čisté vodě v rámci přesnosti metody neliší tj.  $1500 \pm 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Použije-li se vztah pro výpočet vlnové délky  $\lambda = c_{us}/f$  vychází vlnová délka 75 mm. Na obr.6 je vynesena závislost středního akustického tlaku na poloze v usazovacím válci. Ultrazvuková sonda byla umístěna na vnější straně a ponořena 30 mm pod hladinou suspenze, což vysvětluje pokles akustického tlaku, který je měřen nad úrovní sondy na obr.6. V důsledku odrazů ultrazvukového vlnění dochází k deformaci ultrazvukového pole, které je velice citlivé jak na změny geometrické, tak na změny způsobené nerovnoměrnostmi při kavitačním opotřebením aktivní plochy ultrazvukové sondy. Jelikož z praktických důvodů nebylo možné realizovat měření středního akustického tlaku zároveň s průběhem usazování, je získaný průběh středního akustického tlaku v ose usazovacího válce pouze orientační, nicméně by měl mít stejný charakter i během vlastního usazování. Na základě tohoto předpokladu lze při porovnání naměřených hodnot obr. 6 s obr. 7 konstatovat, že rozdíly v usazování nejsou pravděpodobně způsobeny změnou střední hodnoty akustického tlaku.



Obr.6. Hodnoty středního akustického tlaku v ose usazovacího válce v suspenzi 11,4 % obj. (celková výška suspenze 350 mm).

Pro názornější porovnání rozdílů v usazování byla do grafu na obr. 7 vynesena hodnota  $\Delta h/h_n$ , která je vypočtena jako:

$$\frac{\Delta h}{h_n} = \frac{v \acute{y} \breve{s} ka \cdot u sazeni \cdot bez \cdot u ltrazvuku - v \acute{y} \breve{s} ka \cdot u sazeni \cdot s \cdot u ltrazvukem}{v \acute{y} \breve{s} ka \cdot u sazeni \cdot bez \cdot u ltrazvuku}$$

kde všechny hodnoty jsou odečteny ve stejný čas. Poměrná hodnota je vynesena v závislosti na výšce rozhraní usazené suspenze v referenčním válci (bez působení ultrazvuku).



Obr.7. Porovnání poměrných rozdílů mezi usazovacími výškami ovlivňované ultrazvukem a neovlivňované.

#### \_\_\_\_\_ Engineering Mechanics, Svratka 2006, #205

Na obr. 7 jsou vyneseny rozdíly mezi usazováním gravitačním a usazováním za součastného působení ultrazvuku. V místě, kde body protínají nulovou hodnotu platí, že výšky usazené suspenze v sedimentačním válci v obou případech jsou si rovny. Pro záporné hodnoty platí, že vrstva usazená s ultrazvukem je vyšší, a pro kladné hodnoty je nižší (bráno pro stejný časový okamžik).

# 3. Závěry

- V porovnání ultrazvukem ovlivňovaného usazování suspenze a usazování bez vlivu ultrazvuku vyplývá, že v určitých částech usazovacího válce běží usazování rychleji a jiných pomaleji než v usazovacím válci neovlivňovaném ultrazvukem. Přímý vliv středního akustického tlaku na usazování se nepodařilo prokázat.
- Na základě uvedených výsledků můžeme průběh usazování popsat takto:

1. Počáteční fáze usazování kdy se rozhraní suspenze pohybuje pomalu je při použití ultrazvuku prodloužena.

2. Druhá fáze, kdy se rozhraní pohybuje konstantní rychlostí, je ultrazvukem urychlena.

3. Třetí fáze usazování, kdy se pohyb rozhraní začne zpomalovat a následně dochází ke slehávání usazeniny, dochází vlivem ultrazvuku ke zpomalení, a to i po vypnutí ultrazvukového zdroje. (z provozních důvodů nebylo této fáze při měření se suspenzí s objemovou koncentrací 11,4 % dosaženo)

- Ultrazvukové vlnění má také vliv na konečnou výšku kalu. Po zpracování ultrazvukem je vždy vyšší než při gravitačním usazováni.
- Závěrem lze konstatovat, že na základě provedených měření nebyl zjištěn výrazný efekt ultrazvukových oscilací na usazování kaolínové suspenze. Z praktického hlediska se ukazuje, že při daných podmínkách nelze využit ultrazvuk ani k urychlení sedimentace, ale ani k výraznému prodloužení doby vznosu pevných částic.

# 4. Poděkování

Práce publikována v tomto článku byla finančně podporována v rámci grantu IAA 200600601 GA AV ČR a výzkumného záměru č. AV0 Z206005510 AV ČR.

### 5. Symboly

λ	vlnová délka ultrazvuku	[m]
f	frekvence ultrazvuku	[Hz]
c <sub>us</sub>	rychlost šíření ultrazvuku	$[m \cdot s^{-1}]$
Δh	rozdíl poměrných výšek usazování	[1]
h <sub>n</sub>	poměrná výška usazení bez použití ultrazvuku	[1]
р	střední akustický tlak	[Pa]
p(t)	okamžitý tlak	[Pa]
h	poměrná výška usazení (výška rozhraní usazené suspenze k výšce válce)	[1]
Х	vzdálenost od hladiny usazovacího válce	[mm]

6 \_

#### 6. Literatura

- G.Onal, M. Ozer, F. Arslan (2003) Sedimentation of clay in ultrasonic medium, Minerals Engineering 16.
- E.Riera-Franco de Sarabia, J.A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, L.Elvira-Segura, I.González-Gómez (2000) Application of high-power ultrasound to enhance fluid-solid particle separation processes, Ultrasonics 38
- E.Riera-Franco de Sarabia, L.Elvira-Segura, I.González-Gómez, J.J.Rodríguez-Moroto, R. Munoz-Bueno, H.L.Dorronsoro-Areal (2003) Investigation of the influence of humidity on the ultrasonic agglomeration of submicron particles in diesel exhausts, Ultrasonics 41.
- M. Brdička, L. Samek, O. Taraba (1981) Kavitace, Diagnostika a technické využití, Sntl Praha.
- Y.Lu, N. Riyanto, L.K.Weavers (2002) Sonolysis of synthetic sediment particles: particle characteristics affecting particle dissolution and size reduction, Ultrasonics Sonochemistry 9.