

# TOK BUBLIN ANEB JAK TO CHODÍ V HETEROGENNÍM REAKTORU

Leštinský Pavel

*Katedra Chemie, FMFI, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 70833  
pavel.lestinsky@vsb.cz*

## **Abstrakt**

Při experimentech byl zkoumán vliv výskytu koalescence a rozpadu bublin na chování heterogenního reaktoru. Koalescence a rozpad bublin byly pozorovány jak v čisté vodě, tak i v roztocích elektrolytů. Poznatky ze studia těchto procesů pak byly porovnány s chováním toku bublin v heterogenním reaktoru. Bylo zjištěno, že se zvyšující koncentrací elektrolytů dochází k potlačení koalescence. Toto potlačení koalescence vede k nárůstu zádrže plynu v heterogenním reaktoru a to až o 30 %. Vliv přítomnosti elektrolytu na rychlost rozpadu bublin nebyl pozorován.

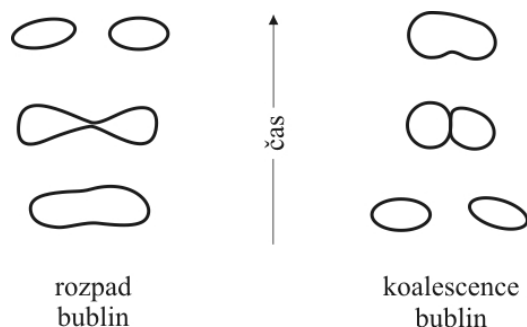
***Klíčová slova:** koalescence a rozpad bublin, tok bublin, vícefázový reaktor*

## **Úvod**

V dnešní době je již samozřejmostí, že při řešení různých procesních problémů má chemický inženýr po ruce nástroj, nejčastěji v podobě simulačního softwaru, který mu pomáhá nahlédnout do útroby reaktorů a rychleji tak řešit nastalé problémy. Časté využití simulačních nástrojů je ke studiu vlivu geometrických parametrů na hydrodynamické chování heterogenních reaktorů, např. airlift reaktorů. Airlift reaktory se vyznačují tím, že uvnitř něj dochází vlivem vnitřní vestavby k přirozené cirkulaci kapaliny způsobené rozdílem hustot v proplyněné a neproplyněné části. Po důkladném nastavení parametrů simulačního softwaru lze dosáhnout shody mezi experimentálními daty a výsledky numerické simulace. Výsledek simulace ovlivňují vstupní parametry modelu, kterými jsou u heterogenního reaktoru průtok vstupujícího plynu, velikost bublin, hustota a viskozita kapaliny a povrchové napětí. Nicméně zvolený model zanedbává koalescenci a rozpad bublin, což právě při může vést k výraznému ovlivnění výsledků.

Craig a kol. [1] zjistili, že přítomnost některých elektrolytů ve vodě potlačuje koalescenci bublin. Protože vodné roztoky elektrolytů mají hustotu a viskozitu podobnou jako voda, je simulací obtížné zjistit jaký vliv má jejich přítomnost na hydrodynamické chování v heterogenním reaktoru. Přitom právě roztoky elektrolytů složí jako zdroj živin pro živé organismy v biochemických reaktorech.

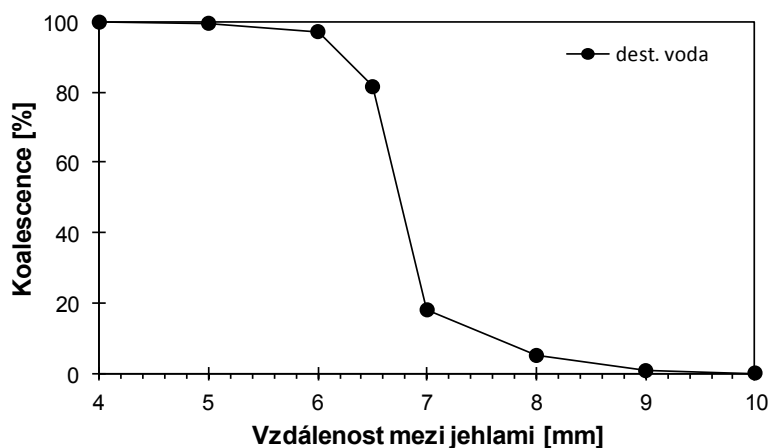
Ke koalescenci tedy spojení bublin dochází při tvorbě bublin nad distributorem plynu, ale také ve vrstvě kapaliny, zejména při vyšších rychlostech probublávání. Zahradník a kol. [2] se domnívají, že přítomnost elektrolytů se projevuje tvorbou povrchově aktivních vrstev, ve kterých se shromažďují ionty elektrolytu nesoucí náboj. Tyto ionty způsobují tzv. vytvrzování povrchu bublin a přispívají tak k potlačení koalescence. Opačným dějem než je koalescence je rozpad bublin. Z našich dřívějších poznatků [3] vyplývá, že k rozpadu dochází u bublin větších než  $0,5 \text{ cm}^3$ , neboť u těchto typů bublin již dochází při stoupání v kapalině k výrazným oscilacím tvaru, ke kolísání povrchové energie a k následnému rozštěpení na dvě a více menších stabilnějších bublin. Průběh koalescence a rozpadu bublin je zobrazeno na obrázku 1.



**Obrázek 1.** Schematické znázornění koalescence a rozpadu bublin

### Materiál a metody

Měření koalescence probíhalo pomocí cely s jehlami, kterými byly proti sobě vypouštěny bubliny. Velikost bubliny je závislá na vnitřním průměru jehly. Při experimentech byly použity jehly bez hrotu o vnitřním průměru 1,1 mm, které vytvářely bubliny o objemu asi  $0,4 \text{ cm}^3$ . Měřící cela byla ponořena do skleněného akvária, ve kterém byly  $4 \text{ dm}^3$  vody (roztoku). K určení vzdálenosti od sebe bylo využito znalosti, že bubliny vzduchu ve vodě úplně koaleskují. Jehly byly nastaveny na vzdálenost 10 mm od sebe a postupně se tato vzdálenost snižovala, dokud nenastala koalescence. Vypouštění bublin proti sobě bylo vzhledem ke snadnějšímu vyhodnocování koalescence bublin zaznamenáno na digitální kameru, poté převedeno na sekvenci obrázků, ze kterých se procento koalescence počítalo vždy ze sta regulérních vypuštění, tedy že bubliny jsou proti sobě vypuštěny současně. Na obrázku 2 je vidět grafická závislost výskytu koalescence bublin v závislosti na vzdálenosti jehel od sebe, z níž je patrné, že aby byla splněna podmínka koaleskujícího systému voda-vzduch, je potřeba mít vzdálenost jehel od sebe asi 5mm. Tato vzdálenost byla použita i pro vodné roztoky elektrolytů.



**Obrázek 2.** Grafická závislost procentuální koalescence bublin na vzdálenosti konců jehel od sebe

Měření rozpadu bublin probíhalo v měřící cele, kde byly bubliny o objemu asi  $0,8 \text{ cm}^3$  vypuštěny do protiproudu kapaliny. Rychlost kapaliny v cele byla zhruba stejná jako rychlost vyplouvání bubliny, takže nebylo příliš obtížné udržet pozorovanou bublinu v cele i několik desítek vteřin, dokud nedošlo k jejímu rozpadu. Pro danou velikost bublin bylo provedeno 30 měření. Z dat pak byla sestavena četnost výskytu daného času rozpadu a poté určen poločas

rozpadu bublin. Tedy čas, který je potřeba k tomu, aby došlo k rozpadu alespoň 50 % bublin. Poločas rozpadu bublin byl měřen při třech různých koncentracích elektrolytů.

Posledním měřicím zařízením byl skleněný airlift reaktor s vnitřním průměrem 15 cm o objemu 25 dm<sup>3</sup>, uvnitř něhož je plexisklová sací trubice o délce 80 cm a vnitřním průměru 7,2 cm. Plyn do reaktoru vstupoval dnem skrz distributor plynu s 19 otvory o průměru 2 mm. Průtok plynu se pohyboval od 0 do 1,4 dm<sup>3</sup>/s. V dolní a horní části reaktoru i na sací trubici jsou tlaková odběrná místa. Pomocí manometru s inverzní U-trubicí byly měřeny tlakové diference mezi těmito místy. Z tlakové diference byl pak vypočten objemový zlomek vzduchu v kapalině, v technické praxi označován jako zádrž plynu.

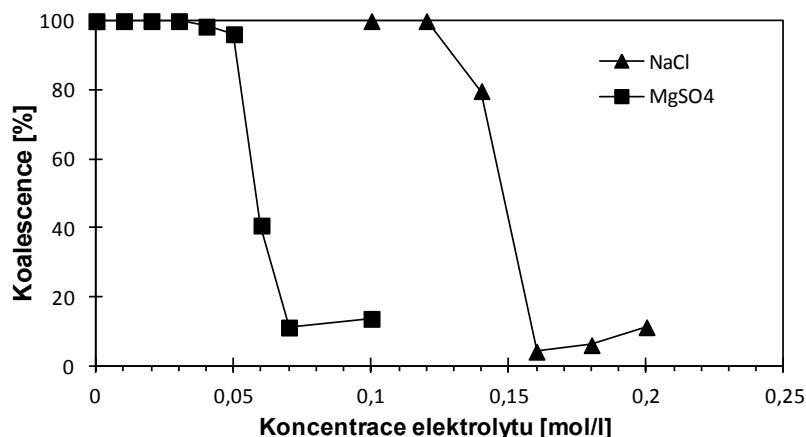
V neposlední řadě byly u všech použitých roztoků elektrolytů a vody stanoveny fyzikálně-chemické vlastnosti, jako povrchové napětí, hustota, viskozita, vodivost. Tyto vlastnosti jsou zobrazeny v tabulce 1 a vyjadřují rozdíl mezi elektrolytem a vodou.

**Tabulka 1.** Fyzikálně-chemické vlastnosti roztoků elektrolytů vyjádřené jako rozdíl mezi elektrolytem a vodou

Elektrolyt	Koncentrace $c$ (mol/l)	Hustota $\Delta\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozita $\Delta\eta$ (mPa.s)	Povrchové napětí $\Delta\sigma$ (mN/m)	Vodivost $\Delta\gamma$ (mS/m)
MgSO <sub>4</sub>	0,01	1,2	0,01	0,7	1,6
	0,1	12,0	0,06	3,2	10,0
NaCl	0,1	3,7	0,02	0,2	10,5
	0,2	8,1	0,03	0,9	20,1

## Výsledky a diskuse

Z měření koalescence bublin bylo ověřeno, že procento koalescence bublin závisí na koncentraci roztoku elektrolytu. Nicméně každý elektrolyt je charakteristický vlastním přechodem z koaleskujícího systému na systém s potlačenou koalescencí, což je vidět na obrázku 2. To může být ovlivněno nejen fyzikálně-chemickými vlastnostmi elektrolytů, ale také povahou iontů.



**Obrázek 2.** Grafická závislost procentuální koalescence bublin v závislosti na druhu a koncentraci elektrolytu

Protože při měření koalescence docházelo ke spojení dvou bublin o objemu 0,4 cm<sup>3</sup>, byly experimenty s rozpadem bublin prováděny na bublinách o objemu 0,8 cm<sup>3</sup>. Z experimentu bylo

zjištěno, že poločas rozpadu bublin o objemu  $0,8 \text{ cm}^3$  se pohybuje okolo 2 sekund s rozdílem jen několika desetin sekundy mezi destilovanou vodou a roztoky elektrolytů  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ .

Z výsledků měření zádrže plynu (objemový zlomek plynu v kapalině) v heterogenním reaktoru bylo zjištěno, že zádrž plynu vzrůstá v rostoucí koncentrací elektrolytu, což je vidět v tabulce 2. Tyto výsledky odpovídají představě získané při studiu koalescence bublin, která je v roztocích elektrolytů potlačena. Menší bubliny mají nižší rychlost vyplouvání, jejich doba zdržení v reaktoru je delší a tím dochází k nárůstu zádrže plynu.

**Tabulka 2.** Procentuální změna zádrže plynu v roztoku elektrolytu oproti vodě

Elektrolyt	Koncentrace (mol/l)	Celkový nárůst zádrže plynu (%)
$\text{MgSO}_4$	0,01	4,3
	0,1	15,5
$\text{NaCl}$	0,1	14,9
	0,2	23,1

### Závěr

Je zřejmé, že ačkoliv přidavkem elektrolytu do vody nedochází k výraznému ovlivnění transportních (fyzikálně-chemických) vlastností, samotné chování reaktoru se přidavkem elektrolytu mění. Přitom právě transportní jako hustota, viskozita a povrchové napětí jsou základními parametry pro numerické simulace chování heterogenních reaktorů.

### Poděkování

Děkuji Ministerstvu školství za podporu v podobě studentského grant č. SP2012/17.

### Literatura

- [1.] CRAIG V. S. J, *Effect of electrolytes on bubble coalescence*, Nature 364, 1993, s. 317-310.
- [2.] ZAHRADNÍK J., *The effect of surface-active additives on bubble coalescence in aqueous media*, Chemical Engineering Science 54, 1999, s. 4757-4766.
- [3.] SMUTNÁ K., *Splitting Of Bubbles In Counter Flow*, 37th International Conference of Slovak society of chemical engineering, Tatranské Matliare, 2010.

### Abstract

The point of this work was studied of the influence of coalescence and bubble break-up on behavior of heterogeneous reactor. The bubble coalescence and bubble break-up was observed in the pure water and the electrolyte solution. The knowledge of influence of these processes is necessary to described of behavior bubbly flow in the heterogeneous reactor. In experimental was found, that electrolyte solution has influence on non-coalescence of air bubbles. The gas hold-up in the electrolyte solution was observed greater that in the water. Difference between these gas hold-up was measured around 10-30 %. The influence of the electrolyte solution on bubble break-up was not observed.