

MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU Z BIO- i HYDROAKUSTYKI

9. Pseudokawitacja i kawitacja

S2. Pseudokawitacja ultradźwiękowa

Pseudokawitacja ultradźwiękowa – wydzielanie się większych pęcherzyków gazu z cieczy (odgazowanie) pod wpływem fali ultradźwiękowej.

Pseudokawitacja ultradźwiękowa zachodzi w cieczy nie-odgazowanej, już dla niewielkiego natężenia fali ultradźwiękowej.

S3. Kawitacja ultradźwiękowa

Kawitacja ultradźwiękowa – formowanie się i aktywność komór (pęcherzyków) wypełnionych gazem lub parą w ośrodku poddanym działaniu pola ultradźwiękowego.

S4. Kawitacja stabilna

Kawitacja stabilna związana jest z wibracją stabilnych komór wypełnionych gazem i znajdujących się w ośrodku poddanym działaniu pola ultradźwiękowego.

$$R_{kr}^3 + \frac{2\sigma}{P_o} R_{kr}^2 - \frac{32\sigma^3}{27P_o(P_o - p)^2} = 0 \quad f = \frac{1}{2\pi R_{rez}} \sqrt{\frac{3\kappa}{\rho} \left(P_o + \frac{2\sigma}{R_{rez}} \right)}$$

Oscylacje pęcherzyków wywołują przepływ cieczy wokół nich (ang. *microstreaming*), co może prowadzić do uszkodzenia błon komórkowych i fragmentacji łańcuchów polimerowych. Pulsacje pęcherzyków gazu w polu ciśnienia akustycznego o niezerowym gradiencie prowadzą do powstania tzw. sił Bjerknes'a wywołujących translacyjny ruch pęcherzyków.

S5. Kawitacja inercyjna

Kawitacja inercyjna (przejsiowa) polega na krótkotrwałej aktywności pęcherzyków (kilka cykli fali ultradźwiękowej), które ulegają nagłemu poszerzeniu, a następnie dochodzi do ich gwałtownego zapadnięcia się (implozji, kolapsu).

Prędkość zapadania się pęcherzyka na chwilę przed kolapsem osiąga prędkość dźwięku w powietrzu. W krótkim czasie (rzędu mikrosekund) na niewielkiej przestrzeni uwalnia się duża ilość ciepła (kilka tysięcy °C) i znacznie rośnie ciśnienie (do wartości rzędu 10 GPa \approx 98 700 atm).

Rozszerzanie pęcherzyka zachodzi w czasie znacznie dłuższym niż półokres ujemnego ciśnienia fali, a zanikanie trwa znacznie krócej. Zjawiska te występują na bardzo małych obszarach wokół pęcherzyków i mają wpływ na komórki leżące w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

Implozje pęcherzyków powodują w ośrodkach biologicznych powstawanie naprężeń ścinających i generowanie wolnych rodników oraz nadtlenu wodoru H₂O₂.

S6. Zarodniki kawitacji

Zarodnikami kawitacji są przede wszystkim istniejące w tkankach i płynach ustrojowych pęcherzyki gazu (najczęściej powietrza).

Inne stabilne formy zarodników kawitacji:

- istnieje możliwość utrzymywania się mikropęcherzyków gazu lub pary w cieczy, np. w wyniku przenoszenia ładunków elektrycznych,
- zarodniki kawitacji w cieczy może tworzyć promieniowanie kosmiczne, neutrony i ciężkie jony,
- zarodniki kawitacji w cieczy może tworzyć promieniowanie kosmiczne, neutrony i ciężkie jony,
- szczeliny w cząstkach pyłu i zanieczyszczeń zawartych w płynie i na powierzchni ograniczających go ścian mogą przechwytywać gaz.

S7. Aglomeracja pęcherzyków gazu

Ruch postępowy pęcherzyków gazu w nieruchomym ośrodku ciekłym znajdującym się pod wpływem pola akustycznego jest jednym z istotnych efektów zjawiska pseudokawitacji i kawitacji właściwej.

Siła Bjerknes'a (Bjerknes Force) – wywołuje ruch pęcherzyków gazu w polu akustycznym fali bieżącej: oscylujące pęcherzyki gazu o rozmiarach mniejszych niż wynikające z rezonansu, przemieszczają się zgodnie z gradientem ciśnienia, natomiast pęcherzyki o rozmiarach większych wędrują w kierunku przeciwnym.

W zogniskowanym polu akustycznym pęcherzyki o rozmiarach mniejszych od rezonansowych wędrują do ogniska ciśnienia akustycznego, a pęcherzyki gazu o rozmiarach większych od rezonansowych dryfują w kierunku od ogniska.

W polu fali stojącej, w wyniku występowania siły Bjerknes'a, pęcherzyki gazu o rozmiarach mniejszych od rezonansowych gromadzą się w płaszczyznach strzałek ciśnienia, podczas gdy pęcherzyki o rozmiarach większych niż rezonansowe gromadzą się w płaszczyznach węzłów.

S9. Próg kawitacji

P_A – próg kawitacji stabilnej,

ω – pulsacja fali ultradźwiękowej,

ρ – gęstość ośrodka,

ω_r – pulsacja rezonansowa pęcherzyków,

σ – napięcie powierzchniowe,

C_∞ – koncentracja gazu w ośrodku bez pęcherzyków,

C_o – koncentracja nasycenia gazu w ośrodku,

δ – czynnik tłumiący,

κ – stosunek ciepła właściwych dla gazu w pęcherzyku.

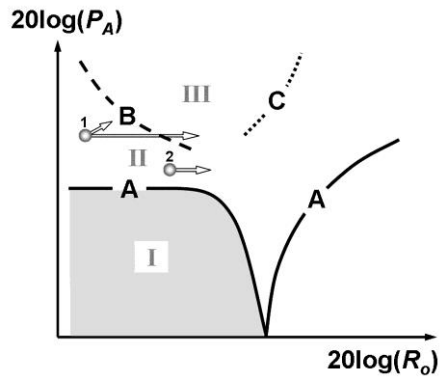
$$\left(\frac{P_A}{P_o}\right)^2 = \frac{3}{2} \left(1 + \frac{2\sigma}{R_o P_o} - \frac{C_\infty}{C_o}\right) \left(1 + \frac{2\sigma}{R_o P_o}\right)^{-1} \left((1 - \beta^2)^2 + \beta \delta^2\right)$$

$$\beta^2 = \left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2 = \frac{\rho R_o^2 \omega^2}{3\kappa P_o} \quad f_r = \frac{1}{2\pi R_o} \sqrt{\frac{3\kappa P_o}{\rho}}$$

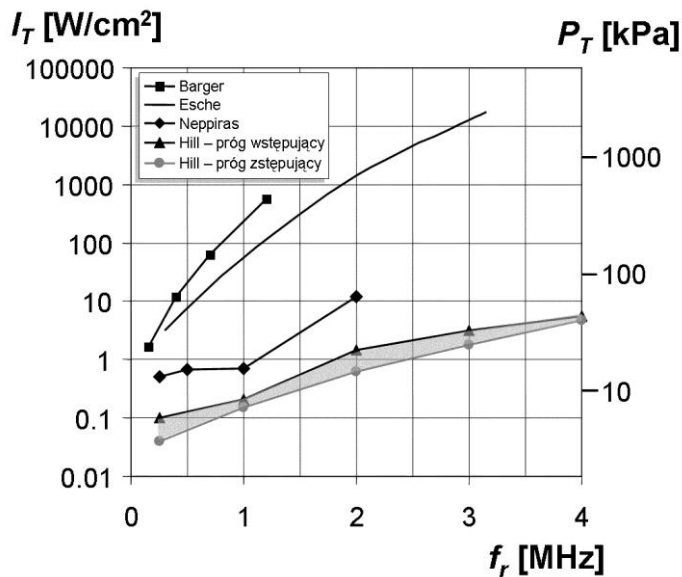
$$f_r = \frac{1}{2\pi R_o} \sqrt{\frac{3\kappa P_o}{\rho} \left(1 + \frac{2\sigma(3\kappa - 1)}{3\kappa R_o P_o}\right)}$$

$$P_T = P_o + \frac{4}{3} \sqrt{\frac{2\sigma^3}{3R_o^3 \left(P_o + \frac{2\sigma}{R_o}\right)}} \quad \frac{R_o}{R_r} = \frac{0.46 \left(\frac{P_A}{P_o} - 1\right) \sqrt{\frac{P_A}{P_o}}}{\sqrt[3]{1 + \frac{2}{3} \left(\frac{P_A}{P_o} - 1\right)}}$$

S10. Próg kawitacji



S11. Próg kawitacji stabilnej



S12. Próg kawitacji inercyjnej

