

LABOLATORIUM PODSTAW ZASTOSOWAŃ ULTRADŹWIĘKÓW W MEDYCYNIE			
Tytuł ćwiczenia : Kawitacja ultradźwiękowa			
Numer ćwiczenia:	Data wykonania:	Autor:	Osoby w grupie:
4	17.10.2018	Krzysztof Strzała 236503	Magdalena Trędak Małgorzata Będkowska Zuzanna Ratajczyk

## 1. Wstęp i analiza ćwiczenia

### 1.1 Czym jest kawitacja?

Kawitacja jest zjawiskiem polegającym na gwałtownej przemianie fazowej z fazy ciekłej w fazę gazową pod wpływem zmiany ciśnienia. Jeżeli ciecz gwałtownie przyspiesza zgodnie z zasadą zachowania energii, ciśnienie statyczne cieczy musi zmaleć.

Kawitacja jest gwałtownym i najczęściej bardzo niepożądanym zjawiskiem. Lokalne nagłe zmiany ciśnienia mogą przekraczać ciśnienie cieczy nawet kilkuset-krotnie. W miejscach o niskim ciśnieniu powstają pęcherzyki kawitacyjne. Z początku rozszerzają się , zwiększając swoją objętość , by po chwili zmniejszyć się i implodować. Powstające uderzenia są tak silne, iż mogą zniszczyć niemal dowolny materiał. Powstające podczas implozji bąbelków gazu fale uderzeniowe powodują mikrouszkodzenia materiałów na których znajdują się bąbelki.

### 1.2 Skutki

W trakcie labolatorium spotkaliśmy się z skutkami tego zjawiska obserwując wpływ działania tzw. myjki ultradźwiękowej na aluminium (rys.1) , oraz polipropylen (rys.2) .

Jej zasada działania opiera się na przenoszeniu fal ultradźwiękowych wraz z płynem czyszczącym na obiekt umieszczony w niej. W efekcie tworzą się tysiące ognisk kawitacji które następnie implodują, co powoduje lokalne i szybkie zmiany ciśnienia. Taki sposób pozwala skutecznie czyścić dowolną powierzchnię zanurzoną w myjce.



Rysunek 1. Aluminium



Rysunek 2. Polipropylen

Aluminium umieszczone w myjce zostało znacząco zniszczone, natomiast polipropylen wydaje się nietknięty. Wiąże się to z właściwościami fizycznymi obu materiałów. Porównując wartości zamieszczone w Tabeli 1 widzimy jak bardzo te materiały różnią się od siebie. Wartość tłumienia fali ultradźwiękowej podłużnej wynosi około 500 razy więcej niż w przypadku aluminium, mała wartość modułu Younga, Kirchhoffa, powodują że ten materiał nie uległ zniszczeniu.

Tabela 1. Porównanie wybranych parametrów aluminium i polipropylenu

Materiał:	Aluminium	Polipropylen
Moduł Younga [GPa]	70,3	1,1 - 1,6
Moduł Kirchhoffa [GPa]	26.1	0,4 – 0,6
Gęstość [kg/m³]	2720	904
Wsp. Poissona	0,345	0,41
Tłumienie podłużnej fali ultradźwiękowej [db/m]	4	2111

### 1.3 Pęcherzyki kawitacyjne

#### 1.3.1 Wyznaczanie rozmiaru pęcherzyków w wodzie

Do wyznaczania szybkości propagacji fali ultradźwiękowej skorzystano ze wzoru :

$$c_w = \sum_{i=0}^5 k_i t^i$$

gdzie:

t - temperatura

$k_i$  – współczynnik umieszczony w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości współczynników

i	$K_i$ [m/s]
0	1402,385
1	5,038813

2	$5,799136 \cdot 10^{-2}$
3	$3,28716 \cdot 10^{-4}$
4	$-1,39885 \cdot 10^{-6}$
5	$2,78786 \cdot 10^{-9}$

W kolejnym kroku wyznaczamy promień pęcherzyka powietrznego korzystając ze wzoru :

$$a_w = \frac{0,0136c_w}{2\pi f_p} = \frac{\alpha}{f_p}$$

Tabela 3. Zestawienie parametrów wyznaczonych pęcherzyków w wodzie.

	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Promień [mm]	0,16	0,083	0,0019
F [kHz]	20	40	1700
T [°C]	20,4	23,4	25,8
C <sub>w</sub> [m/s]	1485,24	1492,63	1499,83

Wyznaczone przez nas wartości odpowiadają pęcherzykom znajdującym się w wodzie.

### 1.3.2 Wyznaczanie rozmiaru pęcherzyków powietrznych.

Aby wyznaczyć rozmiary pęcherzyków znajdujących się w wodzie możemy skorzystać ze wzoru :

$$d = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{3\kappa \cdot P_a}{\rho}} = \frac{\alpha}{f}$$

gdzie :

$\kappa$  - stosunek  $c_p/c_v$  wynoszący dla powietrza ( $1,42 \pm 0,01$ )

$P_a$  – ciśnienie atmosferyczne wynoszące 1013,25 hPa

$\rho$  – gęstość cieczy ( w tym przypadku wody )

$d$ – średnica pęcherzyka

$f$ – częstotliwość rezonansowa

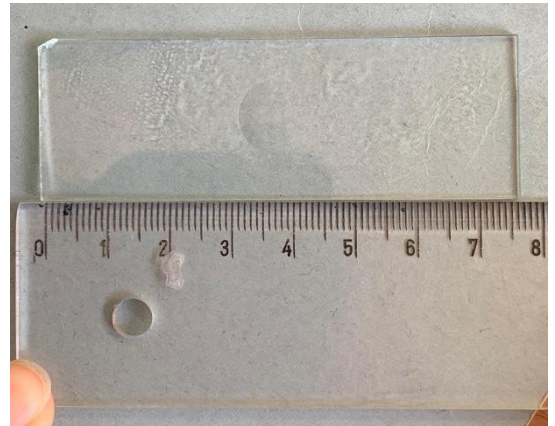
Tabela 4. Zestawienie parametrów wyznaczonych pęcherzyków w powietrzu.

	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Promień [mm]	0,16	0,08	0,0019
F [kHz]	20	40	1700

W trakcie laboratorium mogliśmy zaobserwować jak wyglądają pęcherzyki powietrzne (rys .3). Do wyznaczenia ich rozmiarów sfotografowano je na płytce , z linijką obok (rys .4).



Rysunek 3. Pęcherzyki kawitacyjne.



Rysunek 4. Skala odniesienia

Średnice pęcherzyków wyznaczono poprzez powiększenie obrazu w programie paint , następnie przyrównanie ich średnicy w pikselach , do ilości pikseli przypadającej na 1 milimetr w tym samym powiększeniu na linijce.

Wyniki obliczeń uzyskane dla trzech przykładowych pęcherzyków umieszczono w tabeli 5 i przeskalowano na milimetry (1 mm = 24px).

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
Średnica [px]	4	4	5	5	4.5
Średnica [mm]	0,166	0,166	0,208	0,208	0,188
Promień [mm]	0,083	0,083	0,104	0,104	0,093

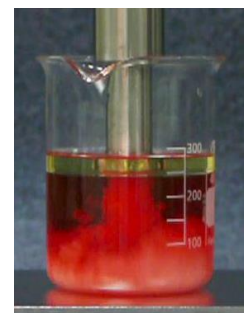
Porównując wartości uzyskane analitycznie , oraz wyniki z drugiej części widzimy , że są zbliżone do siebie.

## 2. Zastosowania

### 2.1 Zastosowanie kawitacji w przemyśle.

Zjawisko kawitacji dla jednych jest zjawiskiem niepożądanym ponieważ np. podczas implozji bąbelków gazu fale uderzeniowe powodują mikrouszkodzenia śrub okrętowych, łopat turbin, zaworów i innych elementów i znacząco skracają czas ich eksploatacji. Dla innych natomiast kawitacja jest użytecznym , ważnym w ich pracy zjawiskiem. Znajduje swoje zastosowanie m.in. w :

- produkcji emulsji
- pompie kawitacyjnej
- urządzeniach grzewczych o bardzo wysokiej sprawności
- efektywnym oczyszczaniu powierzchni materiałów
- cięciu materiałów strugą cieczy



- intensyfikacji procesów mieszania w celu przyspieszania reakcji chemicznych
- niszczeniu biologicznych zanieczyszczeń cieczy

## 2.2 Zastosowanie kawitacji w medycynie.

Wytwarzanie pęcherzyków kawitacyjnych za pomocą promieni laserowych w płynach biologicznych organizmów ludzkich może być wykorzystywane w medycynie. Implodujące pęcherzyki kawitacyjne wytwarzane za pomocą ultradźwięków, mogą niszczyć niepożądane tkanki oraz rozdrabniać kamienie powstające w narządach ludzkich.

Dzięki odpowiednim właściwościom tkanki ludzkiej za pomocą promieni laserowych możemy zniszczyć kamienie nerkowe (poprzez rozpad na mniejsze kawałki) nie uszkadzając przy tym zdrowych tkanek.

W Chinach prowadzone są także badania na temat możliwości niszczenia komórek rakowych za pomocą kawitacji wytwarzanej ultradźwiękami. Wykorzystując pewne różnice właściwości komórek wykazano możliwość niszczenia komórek rakowych.

Zjawisko wykorzystano także w produkcji inhalatorów ultradźwiękowych. Stosowane są najczęściej do nawilżania dróg oddechowych (np. solą fizjologiczną czy solankami).



Rysunek 5. Inhalator ultradźwiękowy

Jednym z powszechnie używanych urządzeń w medycynie jest skaler ultradźwiękowy. Jego zasada działania polega na tym, że urządzenie generuje drgania o bardzo dużej częstotliwości. Drgania przenoszone są na końcówkę skalera, a stamtąd bezpośrednio na zęby. Drgania powodują, że kamień nazębny łatwo pęka i odpryskuje.



Rysunek 6. Skaler ultradźwiękowy

Oprócz tego kawitacja znajduje zastosowanie w :

- peelingach kawitacyjnych
- zabiegach redukcji cellulitu

### 3. Wpływ fal ultradźwiękowych na organizm ludzki

Fale ultradźwiękowe cechuje wysoka częstotliwość ( $>20\text{kHz}$ ), a co za tym idzie duża energia.

Tabela 5. Wartości współczynników absorpcji tkanek ludzkich.

Tkanka	1MHz	3MHz
Tłuszczowa	0,14	0,42
Nerwowa	0,20	0,6
Mięśniowa (aplikacja podłużna)	0,76	2,28
Mięśniowa (aplikacja poprzeczna)	0,28	0,84
Chrzęstna	1,16	3,48
Kostna	3,22	b.d.

Jak widać w tabeli, tkanka kostna charakteryzuje się bardzo dużym współczynnikiem absorpcji fal ultradźwiękowych. Jest to ważna informacja którą należy brać pod uwagę przy zabiegach ultradźwiękami.

Wpływ na komórki biologiczne zależy od natężenia fal ultradźwiękowych. Wysoka wartość natężenia prowadzi po pewnym czasie do nieodwracalnych skutków. Doskonały przykład tego można było zaobserwować podczas działania ultradźwiękami na pantofelki. Po pewnym czasie ich błona komórkowa zostaje rozerwana, następuje śmierć pantofelki.

Ultradźwięki stosowane są także w fizjoterapii, terapia ultradźwiękowa polega na oddziaływaniu przez skórę na głębiej położone struktury ciała fali ultradźwiękowej, co skutkuje zmniejszeniem bólu, stymuluje komórkowe procesy naprawcze, przyspiesza gojenie ran.

### 4. Wnioski

- Na podstawie przeprowadzonego laboratorium możemy wysnuć wniosek jak ważnym zjawiskiem jest kawitacja, oraz jak szerokie ma zastosowania.
- W zależności od materiału który poddawany jest zjawisku kawitacji możemy spodziewać się innych efektów, jak w przypadku polipropylenu i aluminium.
- Fale ultradźwiękowe mają szerokie zastosowania w przemyśle jak i w medycynie
- Na podstawie wzorów zastosowanych do obliczenia promieni pęcherzyków możemy zauważyć, że im mniejsza częstotliwość, tym większy rozmiar pęcherzyków.