

Podstawy Zastosowań Ultradźwięków w Medycynie

Wykład: 2 punkty ECTS; Laboratorium: 1 punkt ECTS

CELE PRZEDMIOTU

- C1 Uzyskanie podstawowej wiedzy z zakresu zjawisk i procesów fizycznych występujących w technice ultradźwiękowej, wykorzystywanych w zastosowaniach ultradźwięków w medycynie (wykład).
- C2 Nabycie podstawowych umiejętności z zakresu zasad pomiaru nieciągłości struktur biologicznych i zasad pomiaru podstawowych wielkości akustycznych i parametrów przetworników ultradźwiękowych (laboratorium).

PRZEDMIOTOWE EFEKTY KSZTAŁCENIA Z ZAKRESU WIEDZY

Student:

1. Zna i rozumie podstawowe zjawiska i procesy fizyczne występujące w zastosowaniach ultradźwięków w medycynie.
2. Ma podstawową wiedzę w zakresie ultradźwiękowej aparatury medycznej i pomiarów podstawowych wielkości akustycznych i parametrów przetworników ultradźwiękowych stosowanych w diagnostyce i terapii medycznej.

PRZEDMIOTOWE EFEKTY KSZTAŁCENIA Z ZAKRESU UMIEJĘTNOŚCI

Student:

1. Potrafi w sposób zrozumiały, w mowie i piśmie, przedstawiać zagadnienia dotyczące zjawisk wykorzystywanych w zastosowaniach ultradźwięków w medycynie.
2. Potrafi wyciągać wnioski, formułować i uzasadniać opinie w zakresie wiedzy podstawowej charakterystycznej dla zastosowań ultradźwięków czynnych i biernych w medycynie oraz potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty, w tym pomiary, interpretować i opracować wyniki pomiarów oraz dokonać ich analizy i formułować wnioski.

PRZEDMIOTOWE EFEKTY KSZTAŁCENIA Z ZAKRESU KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

Student:

1. Zna ograniczenia własnej wiedzy i rozumie potrzebę dalszego kształcenia.
2. Potrafi precyzyjnie formułować pytania służące pogłębieniu własnego zrozumienia zagadnień związanych z zastosowaniem ultradźwięków w medycynie oraz potrafi samodzielnie wyszukiwać informacje w literaturze, także w językach obcych.

Program wykładu

- Wprowadzenie, literatura, warunki zaliczenia. Równanie fali akustycznej. Podstawowe parametry fali ultradźwiękowej.
- Rodzaje i właściwości fal dźwiękowych i ultradźwiękowych.
- Ukośne padanie i przenikanie fal ultradźwiękowych przez granice ośrodków.
- Prędkość propagacji i tłumienie fal ultradźwiękowych w ośrodkach biologicznych.
- Szczególne właściwości i skutki działania ultradźwięków. Energia fali ultradźwiękowej.
- Zjawiska pierwotne i wtórne z fizycznego i medycznego punktu widzenia.
- Promieniowanie źródeł dźwięku. Impedancja promieniowania.
- Charakterystyka pola ultradźwiękowego promieniowanego przez przetwornik.
- Wybrane elementy analizy pracy przetwornika piezoelektrycznego i piezomagnetycznego. Schematy zastępcze przetworników.
- Czynne i bierne zastosowanie ultradźwięków w biologii i medycynie.
- Głowice ultradźwiękowe stosowane w terapii, chirurgii i diagnostyce medycznej.
- Zasada działania ultradźwiękowej aparatury i urządzeń wykorzystywanych w terapii, stomatologii, litotrypsji i chirurgii.

- Echoskop ultradźwiękowy. Schemat budowy i zasada działania. Zasada działania ultrasonografów z prezentacją typu A, B statyczną i B dynamiczną, prezentacją typu C i TM.
- Diagnostyka ultradźwiękowa oparta na zjawisku Dopplera. Pomiar przepływu krwi metodą fali ciągłej i metodą impulsową.
- Mikroskopia ultradźwiękowa. Elementy ultradźwiękowej tomografii transmisyjnej. Perspektywy rozwoju metod zobrazowań ultradźwiękowych. Bezpieczeństwo stosowania ultradźwięków w medycynie.

Literatura podstawowa

1. Bushong, S.C., Arche B.R., *Diagnostic Ultrasound. Physics, Biology and Instrumentation*, St. Louis 1991.
2. DeSanto J.A., *Ocean Acoustics, Topics in Current Physics*, vol.8., Springer-Verlag, New York 1979.
3. Hill C.R., *Physical principles of medical ultrasonics*, Chichester 1986.
4. Nowicki A., *Ultradźwięki w medycynie - wprowadzenie do współczesnej ultrasonografii*, Wydawnictwo Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 2010.
5. Opieliński K.J., *Zastosowanie transmisji fal ultradźwiękowych do charakteryzowania i obrazowania struktury ośrodków biologicznych*, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2011.
6. Salamon, R., *Systemy hydrolokacyjne*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk 2006.
7. Urick R.J., *Principles of Underwater Sound*, McGraw-Hill, New York 1983.
8. Coates R., *Underwater Acoustic Systems*, Macmillan Education Ltd., New York 1990.

Literatura uzupełniająca

1. Dunn F., *Ultrasonic Tissue Characterization*, Springer Verlag, 1996.
2. Hedrick W.R., Hykes D.L., Starchman D.F., *Ultrasound Physics and Instrumentation*, Elsevier Mosby, 2005.
3. Kak A.C., Slaney M.S., *Principles of Computerized Tomographic Imaging*, IEEE Press, 1988.
4. Sikora J., Wójtowicz S., *Industrial and Biological Tomography. Theoretical Basis and Applications*, Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 2010.
5. Śliwiński A., *Ultradźwięki i ich zastosowania*, WNT 2001.
6. Talarczyk E., *Podstawy techniki ultradźwięków*, Wydawnictwo PWr. 1990.

**MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU
Z PODSTAW ZASTOSOWAŃ ULTRADŹWIĘKÓW W MEDYCYNIE**
(wyłącznie do celów dydaktycznych – zakaz rozpowszechniania)

- 1. Wprowadzenie, literatura, warunki zaliczenia.**
Równanie fali akustycznej.
Podstawowe parametry fali ultradźwiękowej.
Rodzaje i właściwości fal dźwiękowych i ultradźwiękowych.

S.4. Literatura (1)

1. Bergmann, L., *Der Ultrashall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik*, Breslau, 1938, Zürich, 1954, Moskwa, 1956.
2. Elpiner, J.E., *Ultradźwięki – działania fizykochemiczne i biologiczne*, 1968.
3. Wells, P., *Physical Principles of Ultrasonic Diagnosis*, 1969.
4. Wells, P., *Biomedical Ultrasonics*, 1977.
5. Fry, F.J., *Ultrasound: Its Applications in Medicine and Biology*, 1978.
6. Woodcock, J.P., *Ultrasonics – Medical Physics Handbooks 1*, 1979.
7. Ilumszyńska, K., *Diagnostyka ultrasonograficzna*, 1980.
8. Čech, E., *Ultrazvuk v lekarske diagnostyce a terapii*, 1982.
9. Obraz, J., *Ultradźwięki w technice pomiarowej*, Warszawa, 1983.
10. Knoch, G., Knauth, K., *Leczenie ultradźwiękami*, 1984.
11. Stopczyk, M., *Elektrodiagnostyka medyczna*, 1984.
12. Dreijer, N., *Diagnostic ultrasound (B&K)*, 1983.
13. Nowicki, A., *Echokardiografia dopplerowska*, 1985.
14. Hill, C.R., *Physical Principles of Medical Ultrasonics*, 1986.
15. Jakubowski, W., *Diagnostyka ultradźwiękowa*, 1989.
16. Douglas, Ch., *Ultrasonic Bioinstrumentation*, 1988.
17. Fish, P., *Physics and Instrumentation of Diagnostic Medical Ultrasound*, 1990.
18. Bushong, S.C., Archer, B., *Diagnostic Ultrasound: Physics, Biology and Instrumentation*, 1991.
19. Marciński, *Ultrasonografia pediatryczna*, 1994.
20. Evans, D.H., Richardson, R.E., *Physics in Medical Ultrasound*, 1988.

S.5. Literatura (2)

21. Nowicki, A., *Podstawy ultrasonografii dopplerowskiej*, 1995.
22. Jakubowski, W., *Ultrasonograficzna diagnostyka sutka*, 1996.
23. Kremer, H., Drobiński, W., *Diagnostyka ultrasonograficzna*, Wyd. Medyczne Urban & Partner, 1996.
24. Papadakis, E.P., *Ultrasonic Instrumentation & Devices*, 1999.
25. Śliwiński, A., *Ultradźwięki i ich zastosowania*, Warszawa, 1983.
26. **Talarczyk, E., Podstawy techniki ultradźwięków, Wyd. PWr., 1990.**
27. **Golanowski, J., Gudra, T., Podstawy techniki ultradźwięków, ćw. Laboratoryjne, Wyd. PWr., 1990.**
28. **Golanowski, J., Gudra, T., Pomiarowe urządzenia ultradźwiękowe, ćw. Laboratoryjne, Wyd. PWr., 1991.**
29. Nowicki, A., Karłowicz, P., *Dopplerowskie badania naczyń. Wybrane zagadnienia*, Wyd. Domino, Warszawa, 2001.
30. Kowalski, Z., *Wybrane zagadnienia informatyki i elektroniki medycznej*, Oficyna Wydawnicza PWr., 2000.

31. Nałęcz, M., Fizyka medyczna – tom 9, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2002.
32. Nałęcz, M., Biopomiary – tom 2, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2001.
33. Mika, T., Kasprzak, W., Fizykoterapia, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa, 2001.
34. Hedrick, W.R., Hykes, D.L., Starchman, D.F., Ultrasound Physics and Instrumentation, Elsevier Mosby, 2005.
35. Cobbold, R.S.C., Foundations of Biomedical Ultrasound, Oxford University Press, 2007.
36. Ensminger, D., Bond, L., *Ultrasonics, Fundamentals, Technologies and Applications*, 2012.
37. Nowicki, A., Ultradźwięki w medycynie (wprowadzenie do współczesnej ultrasonografii), Warszawa, 2010.

S.9. Szczególne właściwości i skutki działania ultradźwięków (1)

Człowiek	20 - 20 000 Hz
Koty	100 - 32 000 Hz
Psy	40 - 46 000 Hz
Konie	31 - 40 000 Hz
Słonie	16 - 12 000 Hz
Bydło	16 - 40 000 Hz
Nietoperze	1000 - 150 000 Hz
Koniki polne (świerszcze)	100 - 50 000 Hz
Gryzonie	1000 - 1 000 000 Hz
Wieloryby, delfiny	70 - 150 000 Hz

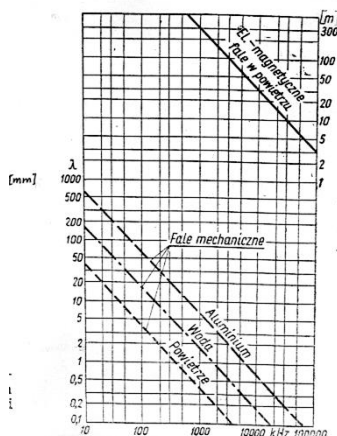
S.10. Szczególne właściwości i skutki działania ultradźwięków (2)

Podział: infradźwięki, dźwięki słyszalne, ultradźwięki.

Dwie istotne cechy:

- 1) krótkofalowość ultradźwięków (charakter promieni),
- 2) występowanie wielu zjawisk, których nie spotykamy przy dźwiękach słyszalnych.

S.11-12. Szczególne właściwości i skutki działania ultradźwięków (3,4)



Rys. 3.1. Porównanie długości fal elektromagnetycznych i mechanicznych w zależności od częstotliwości

Niskie częstotliwości: wymiary przetworników $D < \lambda$, wypromieniowane fale zbliżone do fal kulistych, w celu ogniskowania potrzebne są duże zwierciadła skupiające.

Wysokie częstotliwości: wymiary przetworników $D \approx \lambda$, działanie kierunkowe w zależności od D/λ , kąt rozbieżności wiązki: $\sin \alpha = 1.22 \lambda/D$

Ze wzrastającą częstotliwością fale ultradźwiękowe stają się podobne do światła (propagacja prostoliniowa).

Zjawiska: odbicie, skupianie, rozpraszanie – możliwe za pomocą zwierciadeł i soczewek akustycznych.

Zastosowania ze wzgl. na krótkofalowość: sygnalizacja, technika nawigacyjna, badanie materiałów, interferometria, pomiar prędkości dźwięku, absorpcja.

S.14. Energia i natężenie fali ultradźwiękowej
Próg słyszalności: 10^{-16} W/cm^2 Granica bólu: 10^{-4} W/cm^2 Duże głośniki: 10^{-2} W/cm^2 Artyleria (10 m): 10^{-3} W/cm^2 Ultradźwięki: 10^3 W/cm^2 zazwyczaj: $1 - 10 \text{ W/cm}^2$

$$L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_o} \right) \quad [\text{dB}] \quad I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 10^{-8} \text{ W/cm}^2$$

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_o} \right) = 10 \log \left(\frac{p}{p_o} \right)^2 = 10 \log \left(\frac{I}{I_o} \right) \quad [\text{dB}]$$

$$p_o = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

S.15. Równanie fali akustycznej

$$F = m \cdot a$$

$$pV = nRT$$

$$p_1 v_1 A_1 = p_2 v_2 A_2$$

S.17. Równanie fali akustycznej

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right)$$

$$c = \sqrt{\frac{P_o \cdot \kappa}{\rho_o}}$$

S.18. Równanie fali płaskiej

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \quad \varphi = A \cos(\omega t - \beta z) \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$p = \rho_o \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\rho_o \omega A \sin(\omega t - \beta z)$$

$$\dot{\xi} = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\beta A \sin(\omega t - \beta z) \quad \xi = \frac{\beta}{\omega} A \cos(\omega t - \beta z)$$

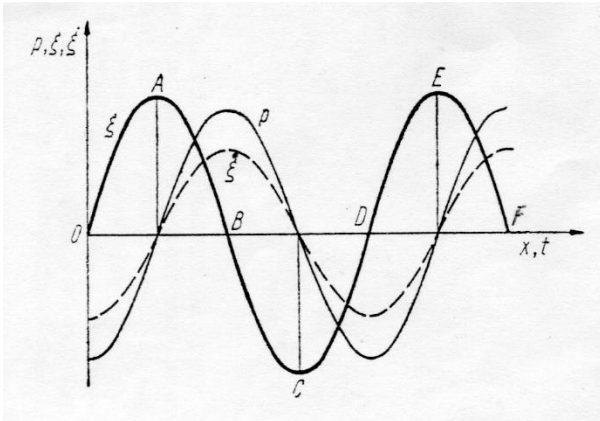
$$Z_{wj} = \frac{p}{\dot{\xi}} = \rho_o c$$

S.19. Równanie fali płaskiej

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \quad \xi = \hat{\xi} \sin(\omega t - \beta z) \quad \dot{\xi} = \frac{\partial \xi}{\partial t} = \omega \hat{\xi} \cos(\omega t - \beta z) \quad \ddot{\xi} = \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\omega^2 \hat{\xi} \sin(\omega t - \beta z)$$

$$Z_{wj} = \frac{p}{\dot{\xi}} = \rho_o c \quad p = \rho_o c \dot{\xi} = R_w \omega \hat{\xi} \cos(\omega t - \beta z)$$

S.24. Parametry pola ultradźwiękowego



Rys. 2.1. Wykres przesunięcia cząstki ξ , prędkości cząstki $\dot{\xi}$ i ciśnienia akustycznego p fali sinusoidalnej płaskiej

S.25. Energia i natężenie fali ultradźwiękowej

$$E_{k\lambda} = E_{p\lambda} = \frac{1}{4} \rho_o \lambda \hat{\xi}^2 \quad E_\lambda = E_{k\lambda} + E_{p\lambda} = \frac{1}{2} \rho_o \lambda \hat{\xi}^2 \text{ [J/m}^2\text{]}$$

$$W = \frac{E_\lambda}{\lambda} = \frac{1}{2} \rho_o \hat{\xi}^2 = \frac{1}{2} \rho_o \omega^2 \hat{\xi}^2 \text{ [J/m}^3\text{]} \quad I = Wc = \frac{1}{2} \rho_o c \omega^2 \hat{\xi}^2$$

$$I = \frac{1}{2} \frac{\hat{p}^2}{R_w} \quad I = \frac{\tilde{p}^2}{R_w}$$

S.27. Energia i natężenie fali ultradźwiękowej

Parametry fali	Powietrze 1000 Hz (100 dB)	Woda 20 kHz	Tkanka mięśniowa 1 MHz	Stal 1 MHz
ξ [μm]	0.76	0.76	0.76	0.76
$\dot{\xi}$ [m/s]	$4.8 \cdot 10^{-3}$	$9.6 \cdot 10^{-2}$	4.8	4.8
$\ddot{\xi}$ [m/s ²]	30	$1.2 \cdot 10^4$	$30 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$
p [Pa]	2	$1.42 \cdot 10^5$	$81.5 \cdot 10^5$	$2200 \cdot 10^5$
I [W/cm ²]	$0.96 \cdot 10^{-6}$	1.35	3800	$11 \cdot 10^4$

S.28. Rodzaje fal ultradźwiękowych

- fale podłużne (gazy, ciecze)
- fale poprzeczne (ciała stałe)
- fale ścinania (ciała stałe)

- fale powierzchniowe,
- fale giętne,
- fale skrętne,
- fale dylatacyjne,
- inne

S.31. Rodzaje fal ultradźwiękowych

$$\xi = \hat{\xi} \sin(\omega t - \beta x)$$

$$\xi = \frac{\hat{\xi}}{\sqrt{r}} \sin(\omega t - \beta r)$$

$$\xi = \frac{\hat{\xi}}{r} \sin(\omega t - \beta r)$$