Ćwiczenie nr 23

POMIAR PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU CIECZY PRZY WYKORZYSTANIU EFEKTU DOPPLERA

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości przepływu cieczy imitującej krew w elastycznym przewodzie, będącym modelem naczynia krwionośnego oraz zbadanie wpływu kąta pomiędzy sondą ultradźwiękową a osią naczynia na otrzymywane wyniki.

Aparatura:

1. ultrasonograf dopplerowski
2. pompa odśrodkowa
3. sonda ultradźwiękowa, 2 MHz
4. model naczynia wypełniony cieczą
5. pryzmat dopplerowski
6. oprogramowanie „measure ultraflow"

Przygotowanie pomiarów:

1. Sprawdzić czy na ultrasonografie dopplerowskim ustawione są następujące parametry:
Burst Length: **4 [µs]**
Sample wide: **10 [µs]**
Penetration Depth **24 [µs]** (lewa gałka ustawiona na 2, prawa gałka na 4)
Gain: **35 [dB]**
Transceiver mode: **PW**
Frequency: **2 [MHz]**
Low Pass Filter: **10 [kHz]**
Volume: **minimum**
2. Pokrętłem z prawej strony ustawić prędkość pompy na minimalną (na godzinę „3").
3. Przyciskami znajdującymi się z tyłu urządzeń włączyć ultrasonograf dopplerowski oraz pompę.
4. Włączyć komputer i uruchomić oprogramowanie „**measure ultraflow**". Powinny być widoczne okna: **Frequency Signal** oraz **Result Values**, zakładka **Main Values**.

Przebieg pomiarów:

1. Włączyć pompę przyciskiem Start znajdującym się na przednim panelu urządzenia. Upewnić się, ze pompa jest w trybie pracy **M0** (jeśli nie jest, użyć przycisku Mode).

2. Ustawić prędkość pompy na ok. **2700 obrotów/min** [rpm]. Poprosić prowadzącego o naniesienie odrobiny żelu ultradźwiękowego na powierzchnie pryzmatu. Przyłożyć sondę ultradźwiękową do powierzchni pryzmatu oznaczonej literą **A** (kąt 30°). Nacisnąć klawisz **START** w programie komputerowym. Odczekać ok. 1 minuty i odczytać średnią wartość przesunięcia dopplerowskiego (f_{mean}) [Mean frequency], wpisać ją do Tabeli 1. Pomiar zakończyć używając klawisza **STOP** w programie komputerowym.

3. Przenieść sondę ultradźwiękową na powierzchnię pryzmatu oznaczoną literą **B** (kąt 15°). Nacisnąć klawisz **START** w programie komputerowym. Odczekać ok. 1 minuty i odczytać średnią wartość przesunięcia dopplerowskiego (f_{mean}) [Mean frequency], wpisać ją do Tabeli 1. Pomiar zakończyć używając klawisza **STOP** w programie komputerowym.

4. Przenieść sondę ultradźwiękową na powierzchnię pryzmatu oznaczoną literą **C** (kąt 60°). Nacisnąć klawisz **START** w programie komputerowym. Odczekać ok. 1 minuty i odczytać średnią wartość przesunięcia dopplerowskiego (f_{mean}) [Mean frequency], wpisać ją do Tabeli 1. Pomiar zakończyć używając klawisza **STOP** w programie komputerowym.

5. Zmienić prędkość pompy na ok. **4500 obrotów/min** [rpm]. Powtórzyć pomiary dla kątów 15, 30 i 60°.

6. Zmienić prędkość pompy na ok. **6300 obrotów/min** [rpm]. Powtórzyć pomiary dla kątów 15, 30 i 60°.

7. Ustawić pompę pokrętłem na minimalną prędkość. Wyłączyć pompę przyciskiem **Stop** znajdującym się na przednim panelu urządzenia.

8. Za pomocą przycisku **Mode** przestawić pompę w tryb **M2** (praca pulsacyjna).

9. Włączyć pompę przyciskiem **Start** znajdującym się na przednim panelu urządzenia.

10. Ustawić prędkość pracy pompy, tak aby kreska na bocznym pokrętle wskazywała godzinę „9". Czas trwania pulsu powinien wynosić 0,5 s (można go wyregulować górną gałka po lewej stronie pompy). Przyłożyć sondę ultradźwiękową do powierzchni pryzmatu oznaczonej literą **B** (kąt 15°). Nacisnąć klawisz **START** w programie komputerowym. Odczekać ok. 1 minuty i nacisnąć przycisk **FREEZE** w programie komputerowym.

Uwaga: po naciśnięciu przycisku FREEZE należy (po oczyszczeniu końcówki z żelu) odłożyć głowicę ultrasonograficzną do pojemnika.

11. Ustawić pompę pokrętłem na minimalną prędkość. Wyłączyć pompę przyciskiem **Stop** znajdującym się na przednim panelu urządzenia.

12. Z okna **Frequency Signal** odczytać wartości chwilowych częstotliwości maksymalnych (rozkurczowych) oraz minimalnych (skurczowych) dla pięciu dowolnie wybranych impulsów. Wpisać

je do Tabeli 2. Wartości odczytujemy najeżdżając kursorem na odpowiednie punkty wykresu. Proszę zwrócić uwagę na jednostki osi pionowej!

13. Po zakończeniu pomiarów zamknąć oprogramowanie, wyłączyć komputer, wyłączyć i wyczyścić układ pomiarowy.

Analiza wyników:

W przypadku zastosowania metody Dopplera mierzone jest przesunięcie częstotliwości występujące, gdy fala dźwiękowa jest rozpraszana przez małe cząstki lub zanieczyszczenia. Jeśli fala ultradźwiękowa o częstotliwości f_0 uderza w poruszający się obiekt, powoduje to zmianę częstotliwości z powodu zjawiska Dopplera.

1. **Tabela 1.** Wyznaczyć prędkość przepływu cieczy przez rurkę wykorzystując pomiar przesunięcia dopplerowskiego, czyli zmiany częstotliwości pomiędzy falą generowaną przez nadajnik i padającą na próbkę, a falą odbitą od poruszających się cząstek, która powraca do odbiornika. W tym celu trzeba znać kąt, który wiązka ultradźwiękowa tworzy z osią rurki (kąt dopplerowski, α). Nie jest on tożsamy z kątem padania fali na ściankę pryzmatu (α_p). Do jego obliczenia służy wzór:

$$\alpha = 90° - \arcsin\left(\sin\alpha_p \frac{c_L}{c_P}\right)$$

gdzie:
α_p – kąt padania fali na ściankę pryzmatu
c_L – prędkość dźwięku w cieczy; c_L = 1800 [m/s]
c_P – prędkość dźwięku w pryzmacie; c_p = 2670 [m/s]

2. Następnie, na podstawie znajomości przesunięcia dopplerowskiego f_{mean} wyznaczyć prędkość przepływu cieczy (v) przez rurkę. W przypadku małej prędkości ruchu obiektu v w porównaniu z prędkością dźwięku c w ośrodku obowiązuje następujące równanie:

$$|f_{mean}| = 2f_0 \frac{v}{c}\cos\alpha$$

gdzie:
f_0 – częstotliwość fali emitowana przez sondę; f_0 = 2 [MHz]
c – prędkość dźwięku w pryzmacie; c = 2670 [m/s]

3. Wykreślić na papierze milimetrowym f_{mean} w funkcji prędkości pracy pompy (U) dla wszystkich mierzonych kątów.

4. Wykreślić na papierze milimetrowym v w funkcji U dla wszystkich mierzonych kątów.

5. **Tabela 2.** pompa w trybie pulsacyjnym imituje zjawiska zachodzące w naczyniach krwionośnych w trakcie cyklu pracy serca. Obliczyć średnie wartości przesunięcia dopplerowskiego w fazie „skurczu" i „rozkurczu".

6. Obliczyć „skurczową" i „rozkurczową" prędkość przepływu cieczy przez naczynie.

Wymagane wiadomości teoretyczne:

1. Ruch falowy, wielkości charakteryzujące fale, równanie fali płaskiej, fala akustyczna.
2. Fale akustyczne: dźwięki i ultradźwięki.
3. Ultradźwięki, ich charakterystyka, źródła ultradźwięków (efekt piezoelektryczny), charakterystyka źródeł: pole bliskie i dalekie.
4. Efekt Dopplera, wyznaczanie prędkości na jego podstawie.

Literatura:

1. S. Miękisz, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki", Volumed, Wrocław 1998.
2. K. Michalak, A. Hendrich, „Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki", Wydawnictwo AM, Wrocław 2002.
3. I. Markiewicz, „Ultradźwięki i infradźwięki", PWN, Warszawa 1979.
4. E. Merz, „Diagnostyka ultrasonograficzna w ginekologii i położnictwie", Volumed, 1999 (roz. II).

Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu Katedra i Zakład Biofizyki i Neurobiologii	**Ćwiczenie 23** **Pomiar prędkości przepływu cieczy przy wykorzystaniu efektu Dopplera**
…… …… ……...…..……... Imiona i nazwiska studentów	Wydział: …… nr grupy: …… Data: …….……..
Ocena:	Podpis prowadzącego ćwiczenia

1. Uzupełnić tabelę.

Tabela 1.

Prędkość pracy pompy **U [rpm]**	Kąt padania α_p **[°]**	Średnia wartość przesunięcia dopplerowskiego f_{mean} **[Hz]**	Kąt dopplerowski α **[°]**	Prędkość przepływu cieczy **v [cm/s]**
2700	**15 (B)**			
2700	**30 (A)**			
2700	**60 (C)**			
4500	**15 (B)**			
4500	**30 (A)**			
4500	**60 (C)**			
6300	**15 (B)**			
6300	**30 (A)**			
6300	**60 (C)**			

2. Wykreślić na papierze milimetrowym $|f_{mean}|$ w funkcji prędkości pracy pompy (U) dla wszystkich mierzonych kątów.

Jak zmienia się wartość przesunięcia dopplerowskiego, gdy wzrasta prędkość pracy pompy?

……

……

……

Jak zmienia się wartość przesunięcia dopplerowskiego, gdy wzrasta kąt padania wiązki na pryzmat?

……

……

3. Wykreślić na papierze milimetrowym v w funkcji U dla wszystkich mierzonych kątów.

Czy uzyskane wartości prędkości przepływu zależą od kąta padania wiązki na pryzmat?

……

……

……

4. Uzupełnić tabelę.

Tabela 2.

Faza skurczowa			
Chwilowa wartość przesunięcia dopplerowskiego **[kHz]**	Średnia wartość przesunięcia dopplerowskiego $\mathbf{f_{mean}}$ **[Hz]**	Kąt dopplerowski **α [°]**	Prędkość przepływu cieczy **v [cm/s]**
Faza rozkurczowa			
Chwilowa wartość przesunięcia dopplerowskiego **[kHz]**	Średnia wartość przesunięcia dopplerowskiego $\mathbf{f_{mean}}$ **[Hz]**	Kąt dopplerowski **α [°]**	Prędkość przepływu cieczy **v [cm/s]**