

Wykorzystanie impulsowej metody echa do pomiarów przepływów woda - powietrze w przewodach poziomych i pionowych

Use of the pulse echo method to measure water-air flows in horizontal and vertical pipelines

Streszczenie. Artykuł dotyczy zastosowania defektoskopii ultradźwiękowej w pomiarach przepływów dwufazowych. W pracy opisano sprawdzenie aparatury pomiarowej poprzedzające wykonanie pomiarów różnych struktur przepływu dwufazowego woda-powietrze oraz przedstawiono rezultaty pomiarów.

Abstract. The article concerns the use of ultrasonic flaw detection in the measurement of two-phase flows. The work describes the checking of the measuring equipment preceding the measurement of various structures of two-phase water-air flow and presents the measurement results.

Słowa kluczowe: przepływ dwufazowy, pomiar przepływu, defektoskopia ultradźwiękowa, analiza sygnałów.

Keywords: two-phase flow, flow measurement, ultrasonic nondestructive testing, signal analysis.

Wstęp

Przepływy dwufazowe są często wykorzystywane w złożonych procesach inżynierskich i technologicznych. Problematiczną kwestie przy ich implementacji w danym procesie stanowi fakt, że procesy transportu masy i energii są bardzo wrażliwe na rodzaj składników mieszaniny w przepływie i sposób propagacji poszczególnych faz. Struktura przepływu dwufazowego determinuje sposób wyznaczania/obliczania takich parametrów i wielkości jak: udział faz przepływającej mieszaniny, opory przepływu, współczynniki wnikania ciepła. Dlatego informacja dotycząca rodzaju struktur występujących w danym przepływie odgrywa kluczową rolę i stanowi podstawowe zagadnienie przy obliczeniach projektowych i konstrukcyjnych.

Pomiary przepływu należą do najważniejszych i najczęściej wykonywanych badań w warunkach przemysłowych, obok pomiarów temperatury i ciśnienia [1] [2]. Jak wspomniano powyżej przepływy dwufazowe są stosowane w wielu rozwiązaniach inżynierskich i procesach przemysłowych. Ze względu na złożoność zjawiska przepływu płynu składającego się z 2 faz pomiar prędkości, a tym samym późniejsze wyznaczenie strumienia przepływu, jest zadaniem trudnym i podstawowe metody pomiarowe nie znajdują w takich przypadkach zastosowania. Do pomiarów przepływów dwufazowych może być zastosowana defektoskopia ultradźwiękowa [3] [4].

Metoda defektoskopii ultradźwiękowej

Defektoskopia ultradźwiękowa to jedna z nieniszczących metod badania materiałów i zjawisk transportu masy. Defektoskopia pozwala wykrywać niejednorodności materiałów i substancji i stosowana jest w wielu dziedzinach nauki i przemysłu (nieniszczące badania materiałowe, bezinwazyjne badania przepływu metodą echa). Metoda ta polega na emisji fal ultradźwiękowych i ich rejestracji po przejściu przez badaną substancję/materiał. Badania defektoskopii powinny być wykonywane zgodnie z normami dotyczącymi badań ultradźwiękowych: PN-EN 583, PN-EN ISO 11666, PN-EN ISO 23279, PN-EN ISO 17640, PN-EN 10228, PN-EN 12680.

Pomiar ultradźwiękowy, dzięki określeniu parametrów siły sygnału oraz jego propagacji, może dostarczyć informacji o strukturze przepływu. Podstawą badania ultradźwiękowego jest rozchodzenie się fal ultradźwiękowych w badanym obiekcie oraz monitorowanie sygnału odbitego od nieciągłości materiałowych. Zgromadzenie takich kompleksowych informacji na temat przepływu dwufazowego jak: prędkość propagacji danej fazy, pole przepływu danej fazy, odległość od ścianki rurociągu, amplituda oraz inne parametry sygnału, pozwala na lepszy monitoring i zarządzanie procesem przepływowym i stanowi cenną wiedzę pozwalającą na optymalizację procesu i jego zastosowań inżynierskich [5] [6] [7] [8].

Plan przeprowadzenia badań

Jako metodę pomiaru wybrano bezkontaktową metodę ultradźwiękową, a mianowicie, impulsową metodę echa z wykorzystaniem defektoskopu CUD K6 i możliwością podłączenia do 6 głowic (czujników) ultradźwiękowych o częstotliwości 6 MHz. Zdjęcie defektoskopu wraz z obejmami do montowania głowic ultradźwiękowych w rurociągu poziomym przedstawia Rys.1.



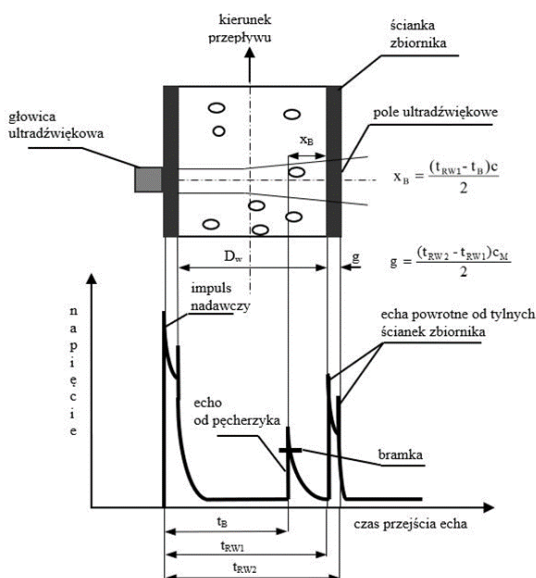
Rys. 1. Defektoskop wraz z obejmami mocującymi głowice ultradźwiękowe

Zaplanowane do wykonania przy użyciu defektoskopu ultradźwiękowego badania miały na celu ocenę możliwości wykorzystania impulsowej metody echa do pomiarów przepływów woda – powietrze. Zaplanowano zgromadzenie danych o sygnale, wykreślenie charakterystyki sygnału, sporządzenie rozkładu wielkości mierzonej oraz wykonanie analizy danych. Analiza korelacyjna rejestrowanych sygnałów wykonywana jest w celu określenia prędkości przemieszczania się fazy gazowej. Na podstawie danych

pomiarowych możliwe jest także wyznaczenie pola przepływu pozwalające określić położenie pęcherzy powietrza względem ścianki rurociągu/osi rurociągu. Taka wiedza wykorzystywana jest do identyfikacji różnych procesów ciepło-przepływowych i wyznaczenia ich parametrów. Dlatego cel prowadzonych badań jest wysoce praktyczny.

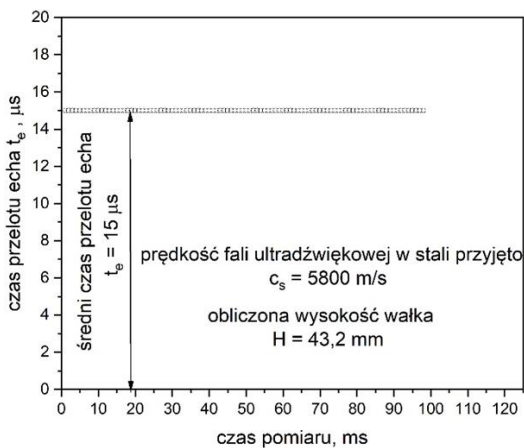
Sprawdzenie aparatury pomiarowej

Zasada pomiaru wykorzystująca impulsową, ultradźwiękową metodę echa przedstawiona została na Rys. 2. Na rysunku tym pokazano wszystkie echa rejestrowane przez defektoskop ultradźwiękowy.



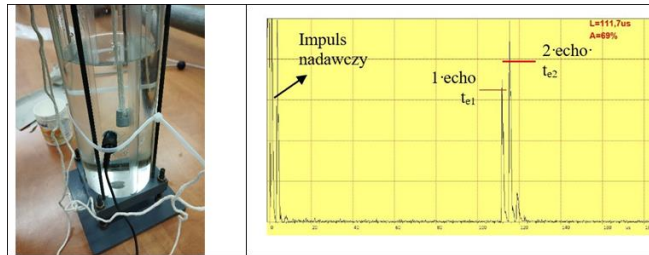
Rys. 2. Zasada pomiaru wykorzystująca metodę echa

W celu sprawdzenia prawidłowości wskazań defektoskopu ultradźwiękowego CUD K6 przeprowadzono kontrolny pomiar wysokości wałków stalowych. Rysunek 3 przedstawia natomiast rejestrowane sygnały pomiarowe.



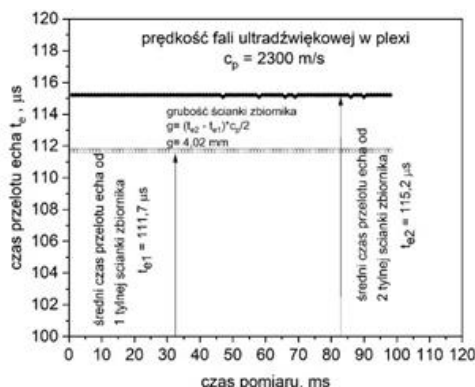
Rys. 3. Rejestrowane czasy przelotu echa wzdłuż wałka

Zmierzona suwmiarką elektroniczną wysokość wałka stalowego wynosi $H_{zm} = 43,01 mm$. Stąd różnica pomiarowa jest rzędu $0,2 mm$, a wynika ona z przyjętej do obliczeń prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w badanej stali. Kolejnym etapem badań był pomiar grubości ścianki zbiornika wypełnionego wodą przedstawionego na Rys. 4 wraz z wykresem rozchodzenia się sygnału w zbiorniku.



Rys. 4. Pomiar grubości ścianki zbiornika

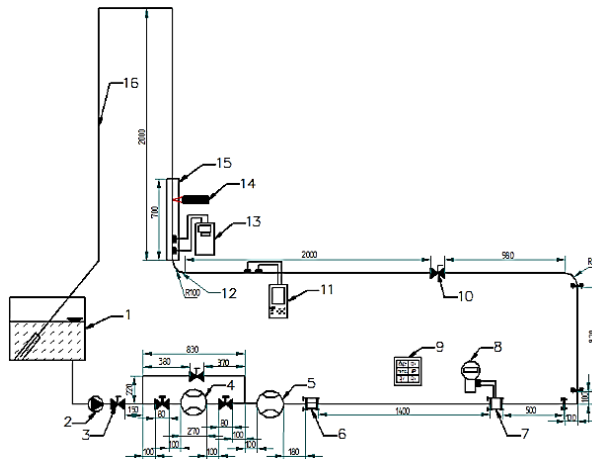
Rysunek 5 przedstawia zarejestrowane sygnały echa od tylnych ścianek zbiornika. Jak wynika z obliczeń grubość ścianki zbiornika wynosi $g = 4,02 mm$, zaś grubość zmierzona suwmiarką cyfrową $g_z = 4,00 mm$. Wyniki są prawie identyczne.



Rys. 5. Wartości czasów przelotu echa od tylnych ścianek zbiornika

Rezultaty badań

Pomiary przepływu przy użyciu defektoskopu CUD K6 zostały wykonane na instalacji z regulacją strumienia przyprywu obydwu faz: powietrza i wody. Rysunek 6 przedstawia stanowisko wykorzystywane do prac badawczych. Stanowisko przystosowane jest do wzorcowania przepływomierzy różnego typu. Posiada możliwość regulacji strumienia przepływu wody w zakresie $0-15 m^3/h$ oraz regulacji strumienia wprowadzanego do instalacji powietrza w zakresie $0-0,2 m^3/h$. Stanowisko wyposażone jest w urządzenia pomiarowe takie jak: przepływomierz elektromagnetyczny, zwężka pomiarowa, wodomierz oraz w możliwość montażu referencyjnych przepływomierzy ultradźwiękowych na poziomych i pionowych odcinkach rurociągu (zapewnione wymagane w normach odcinki proste rurociągu).



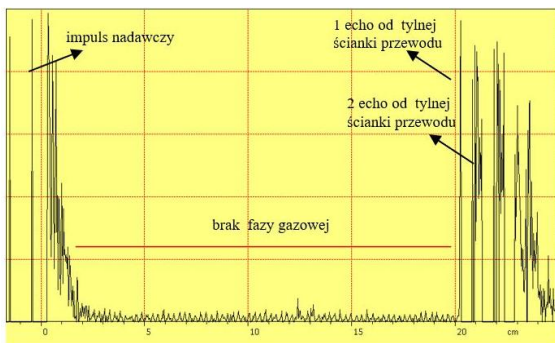
Rys. 6. Schemat instalacji pomiarowej

Czujniki ultradźwiękowe defektoskopu zainstalowane zostały na rurociągu poziomym, a odległość między nimi wynosiła 15 mm. Rysunek 7 przedstawia strukturę fazy gazowej w przepływie w przewodzie poziomym.

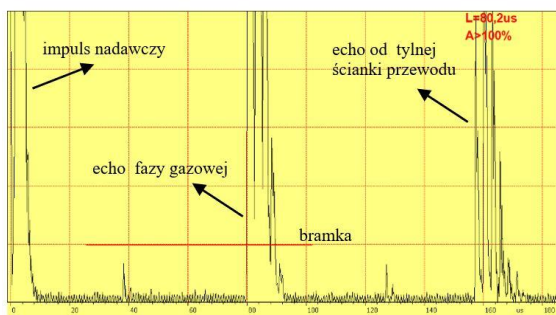


Rys. 7. Struktura przepływu dwufazowego woda-powietrze

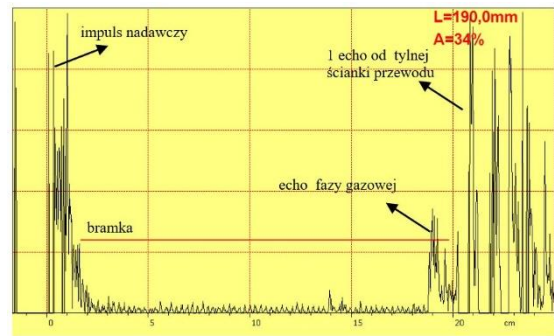
Rysunki 8, 9 i 10 przedstawiają rzeczywiste echa rejestrowane defektoskopem CUD K6 w przepływie dwufazowym w przewodzie pionowym i poziomym. W pierwszym przypadku (Rys. 8) brak jest echa od fazy gazowej, na drugim rysunku (Rys. 9) widoczne jest wyraźne echo od przepływającej fazy gazowej, która znajduje się w środkowej części przewodu, natomiast na trzecim rysunku (Rys. 10) faza gazowa znajduje się bliżej drugiej ścianki przewodu.



Rys. 8. Rejestrowane echa przez defektoskop ultradźwiękowy CUD K6

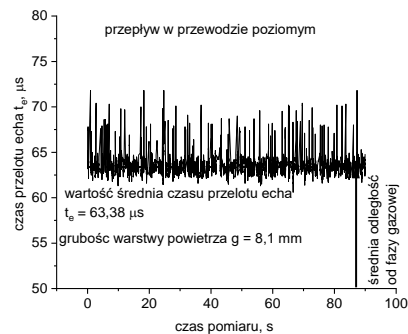


Rys. 9. Echo od fazy gazowej znajdującej się w okolicach środka przewodu

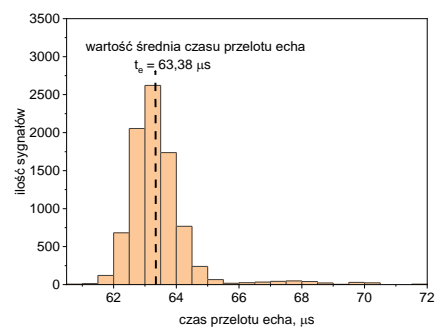


Rys. 10. Echo od fazy gazowej znajdującej się przy drugiej ściance zbiornika

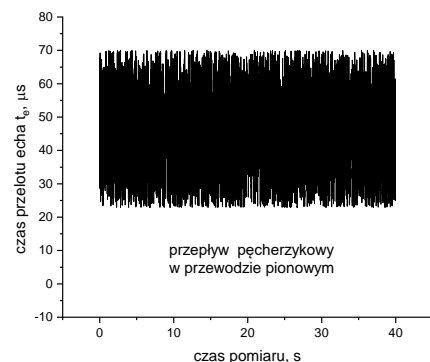
Rysunki 11 i 13 przedstawiają przykładowe sygnały zarejestrowane przez defektoskop ultradźwiękowy CUD K6, w przypadku przepływu fazy gazowej w przewodzie poziomym i pionowym. Natomiast na Rys. 12 i 14 pokazano histogramy zarejestrowanych sygnałów oraz obliczono grubość przepływającego w górnej części przewodu poziomego pęcherza w przepływie plug flow, oraz obszar występowania fazy gazowej w przepływie pęcherzykowym, w przewodzie pionowym.



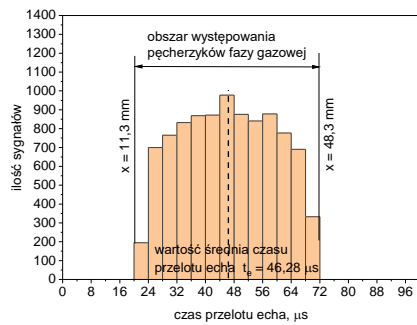
Rys. 11. Przebieg zmian sygnału pomiarowego w rurociągu poziomym



Rys. 12. Histogram wykonany dla pomiaru w rurociągu poziomym

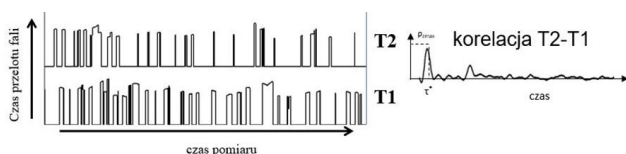


Rys. 13. Przebieg zmian sygnału pomiarowego w rurociągu pionowym



Rys.14. Histogram wykonany dla pomiaru w rurociągu pionowym.

W przypadku przepływu roju pęcherzy prędkość pęcherzy wyznacza się za pomocą funkcji korelacji wzajemnej rejestrowanych sygnałów z dwóch czujników ultradźwiękowych, poprzez wyznaczenie czasu opóźnienia sygnałów τ^* co przedstawia rysunek 15.



Rys.15. Przykładowe sygnały od poruszającej się fazy gazowej i ich funkcja korelacji wzajemnej z czasem opóźnienia τ^* .

Podsumowanie

- Defektoskop ultradźwiękowy CUD K6 wraz z głowicami został przetestowany i można go wykorzystać do rejestracji sygnałów od przepływającej fazy gazowej.
- Badania można wykonywać przy różnym udziale objętościowym fazy gazowej i różnych formach ich występowania.
- W przypadku wyznaczenia prędkości fazy gazowej należy dopracować algorytm funkcji korelacji wzajemnej sygnałów.

- Stanowisko badawcze jest kompletne i zostało przystosowane do pomiarów parametrów przepływów dwufazowych zarówno w przewodzie poziomym jak i pionowym – pozwala ono również na zastosowanie do pomiarów, oprócz kryzy ISA, również dyszy, zwężki Venturiego, zwężki cylindrycznej czy wielootworowej.
- Należy sprawdzić możliwości wykorzystania przepływomierzy ultradźwiękowych typu „transit – time”: Porta flow 330 i Prosonic flow 92 do identyfikacji parametrów przepływów dwufazowych woda – powietrze zarówno w przewodzie pionowym i poziomym.

Autorzy: dr inż. Andrzej Mrowiec, Uniwersytet Kaliski im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego, Wydział Politechniczny, Poznańska 201-205, 62-800 Kalisz, E-mail: a.mrowiec@uniwersytetkaliski.edu.pl; dr inż. Piotr Piechota, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Techniki Ciepłej, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: piotr.piechota@pwr.edu.pl; prof. dr hab. Artur Andruszkiewicz Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Techniki Ciepłej, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław E-mail: artur.andruszkiewicz@pwr.edu.pl; dr inż. Piotr Synowiec, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Techniki Ciepłej, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: piotr.synowiec@pwr.edu.pl; dr inż. Wiesław Wędrychowicz, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Techniki Ciepłej, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: wieslaw.wedrychowicz@pwr.edu.pl; dr inż. Elżbieta Wróblewska, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Techniki Ciepłej, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: e.wroblewska@pwr.edu.pl; dr inż. Erwin Przybysz, Uniwersytet Kaliski im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego, Wydział Politechniczny, Poznańska 201-205, 62-800 Kalisz, E-mail: e.przybysz@uniwersytetkaliski.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Kabza Z.: Pomiary strumieni płynów (przewodnik), Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Studia i monografie z.90, Opole 1996
- [2] Turkowski M., Metrologia przepływów, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2018
- [3] Synowiec P., Andruszkiewicz A., Wędrychowicz W., Regucki P., Badania możliwości pomiaru strumienia objętości czynnika dwufazowego przepływomierzem ultradźwiękowym. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2015
- [4] Sommerlatt H.D., Andruszkiewicz A, Dynamic measurement of particle diameter and drag coefficient using the ultrasonic method, *Archives of Acoustics*, 33, 3, pp. 351–362, 2008
- [5] Murakawa H., Maeda S., Eckert S., Effects of a horizontal magnetic field on the cross-sectional distribution of gas bubbles chain rising in a gallium alloy, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 170, 2024
- [6] Oku Ekpenyong Nyong, Dodeye Ina Igbong, Celestine Ebieto Ebieto, Bassey Ekpo Ene, Benjamin Oluwadare, Archibong Archibong Eso, Numerical simulation of two-phase gas-liquid flow through horizontal annulus pipe, *Archives of Thermodynamics* Vol. 44, No. 4, 705–731, 2023
- [7] Li Liu , Haotian Luo , Junjie Yuan , Ruiqi Bao , Da Li , Xiaoyan Tian, Hanyang Gu, Numerical simulation and model development of drag coefficient of bubbles in gas-liquid metal two-phase flow, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 178, 2024
- [8] Anders, D.; Rzasa, M. The possibility of composting animal waste products, *Environment Protection Engineering*, Vol. 33, Issue 2, Page 7-15, 2007