

Elżbieta BANACZYK, Wojciech BŁOTNICKI, Andrzej KOZYRA,
Bartłomiej MATYJA, Stanisław WALUŚ
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

Metrologiczne i eksploatacyjne aspekty pomiaru poziomu metodą radarową i ultradźwiękową

Mgr inż. Elżbieta BANACZYK

Ukończyła studia na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze uzyskując dyplom na kierunku Elektrotechnika – w zakresie specjalności automatyka i metrologia elektryczna. Od 2008 roku nauczyciel akademicki PWSZ w Głogowie. Studentka drugiego roku studiów doktoranckich na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. W swoich pracach zajmuje się pomiarem poziomu materiałów sypkich ze szczególnym uwzględnieniem metody radarowej.

e-mail: elzba@master.pl



Mgr inż. Wojciech BŁOTNICKI

Ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej uzyskując dyplom na kierunku Automatyka i Robotyka – w zakresie specjalności systemy pomiarowe (2007). Student trzeciego roku studiów doktoranckich na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. W swoich pracach zajmuje się pomiarami strumienia płynu metodami znacznikowymi.

e-mail: wojciech.blotnicki@polsl.pl



Dr inż. Andrzej KOZYRA

Ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej na kierunku Elektronika w 1994 r. Tytuł doktora uzyskał w 2005 roku. Adiunkt w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej. Autor lub współautor ponad 20 publikacji z zakresu pomiarów jonoselektywnych oraz miernictwa przemysłowego, w tym współautor monografii „Szacowanie niepewności w pomiarach potencjometrycznych”. Członek Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach.

e-mail: andrzej.kozyra@polsl.pl



Mgr inż. Bartłomiej MATYJA

Absolwent Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. W 2008 roku uzyskał dyplom na kierunku Automatyka i Robotyka – w zakresie specjalności systemy pomiarowe.

e-mail: bartlomiej.matyja@gmail.com



Dr hab. inż. Stanisław WALUŚ

Absolwent Wydziału Automatyki Politechniki Śląskiej, dyplom (1970) w zakresie automatyki przemysłowej. Doktorat w 1980 r. Habilitacja na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki w 2004 r. w zakresie dyscypliny KBN: automatyka i robotyka (specjalność: metrologia, miernictwo przemysłowe). Autor lub współautor ponad 115 publikacji naukowych, w tym autor podręcznika akademickiego: „Przepływomierze ultradźwiękowe. Metodyka stosowania”. Sekretarz Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach.

e-mail: stanislaw.walus@polsl.pl



by radar level meter with wave-guide for some typical situations is introduced. It enables volume of material calculation on the base of the result of actual level measurement and the information of previous level. Also the method error as a function of distance between the probe and tank axis and the function of the mound cone angle is calculated. Introducing special algorithm of volume calculation or using two probes for level measurements can give decreasing of systematic error of volume calculation. On the base of laboratory tests and literature data from field objects the comparative analysis of ultrasonic level meter and radar level meter with wave-guide is introduced. Some guidelines for choosing proper level meter for various measurement conditions are presented.

Keywords: level measurement, ultrasonic level meter, radar level meter, exploitation of level meters.

Streszczenie

Istnieje wiele kryteriów podziału metod pomiaru poziomu. W referacie przedstawiono najbardziej ogólny podział na metody bezpośrednie i pośrednie. Wyprowadzono model matematyczny pomiaru objętości materiału sypkiego, który tworzy stożek nasypowy, przy zastosowaniu poziomomierza radarowego z falowodem i obliczono błędy metody takiego pomiaru. Na podstawie badań laboratoryjnych oraz danych literaturowych dokonano porównania przepływomierzy ultradźwiękowych z radarowymi z falowodem. Korzystając z doświadczeń laboratoryjnych i danych literaturowych z obiektów polowych podano wskazówki odnośnie doboru poziomomierza.

Słowa kluczowe: pomiar poziomu, poziomomierz ultradźwiękowy, poziomomierz radarowy, eksploatacja poziomomierzy.

Metrological and exploitation aspects of level measurement with radar by ultrasonic method

Abstract

The paper presents the division of level measurement methods taking into account various criteria: principle of operation, contact with the process material, open or closed tank and art of measurement: direct and indirect. The mathematical model of measurement of volume of solid in the tank

1. Wprowadzenie

Pomiary poziomu obok pomiarów temperatury, ciśnienia, strumienia płynu i składu chemicznego należą do najczęściej stosowanych w przemyśle, przy czym pod względem trudności można je umieścić pomiędzy pomiarami strumienia płynu (rozległość przestrzenna zjawiska, płyny wielofazowe) i składu chemicznego (pobór i oczyszczanie próbki, selektywność, opóźnienia pomiarowe) a pomiarami temperatury i ciśnienia [1, 2, 3]

Tematyka pracy nawiązuje do poziomomierzy ultradźwiękowych konstruowanych i badanych w Zakładzie Pomiarów i Systemów Sterowania (poprzednio Zakład Systemów Pomiarowych [4, 5]) w związku z automatyzacją gospodarki wodno-ściekowej na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego oraz do badań poziomomierza radarowego [6, 7]. W celu wyznaczenia charakterystyk metrologicznych (przede wszystkim charakterystyka przetwarzania i niepewność pomiaru) konieczna jest znajomość modelu obiektu pomiaru [8] i zależności błędów dodatkowych poziomomierza od wielkości wpływających. Wobec wielu typów poziomomierzy wymagane są wskazówki dotyczące metodyki doboru i eksploatacji poziomomierza.

2. Podział metod pomiaru poziomu

Poziomierze, podobnie jak i przyrządy pomiarowe innych wielkości najczęściej dzielone są według zasad działania [3, 8, 9]. W [10] wymieniono 19 zasad pomiaru stosowanych w poziomierzach dzieląc je na 8 grup. Natomiast w [1] są wyszczególnione 22 metody podzielone na 4 grupy. W literaturze dotyczącej pomiaru poziomu wyodrębniona jest osobno grupa sygnalizatorów, gdyż w wielu przypadkach wystarczy informacja o przekroczeniu określonego poziomu [11, 12, 13, 14]. Poziomierze można dzielić na kontaktowe i bezkontaktowe, do zbiorników otwartych i zamkniętych (często pod ciśnieniem). Ze względu na obiekt pomiaru można wyróżnić poziomierze dla cieczy, ciał sypkich i powierzchni rozdziału między dwoma fazami [15]. Najbardziej ogólny podział to podział na metody bezpośrednie (do pomiaru ręcznego - z odczytem wizualnym) i pośrednie (do pomiaru ciągłego - z możliwością zdalnego przekazania wyniku pomiaru poziomu) [16, 17].

3. Pomiar objętości materiałów sypkich

3.1. Model matematyczny pomiaru

W przypadku napełniania zbiornika materiałem sypkim tworzy się stożek nasypowy o pewnym kącie α zależnym od rodzaju substancji. W zależności od miejsca położenia sondy poziomierza wynik pomiaru poziomu będzie inny. Obliczona na podstawie wyniku pomiaru poziomu wartość objętości substancji w zbiorniku będzie zależała zarówno od kształtu powierzchni, jak i od miejsca pomiaru poziomu.

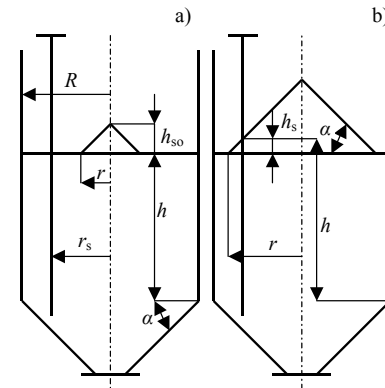
Analiza zagadnienia zostanie przeprowadzona dla zbiornika w kształcie walca o podstawie odwróconego stożka o takim kącie, który odpowiada kątowi nasypu magazynowanej substancji (co zapewnia możliwość całkowitego opróżnienia zbiornika) i dla poziomierza radarowego z falowodem lub innego z praktycznie punktowym pomiarem poziomu. Analiza zostanie wykonana dla sytuacji początkowej, gdy powierzchnia substancji jest pozioma i zaczyna się nasypywanie materiału do zbiornika. Wprowadzając zbiornik w drgania można uzyskać w przybliżeniu górną powierzchnię poziomą, podobnie przez odpowiednie napełnianie i opróżnianie. Zwykle otwór do napełniania i opróżniania znajdują się w osi walca.

W przypadku dopełniania zbiornika od poziomej powierzchni materiału sypkiego można wyróżnić 6 sytuacji:

- 1) początek wsypywania – obliczona objętość materiału na podstawie poziomu h opowiada objętości rzeczywistej,
- 2) tworzy się stożek nasypowy o promieniu podstawy mniejszym niż odległość sondy (falowodu) od osi zbiornika – rzeczywista objętość materiału będzie większa niż obliczona na podstawie wyniku pomiaru poziomu, który jest ten sam, co przedstawiono na rysunku 1a),
- 3) stożek nasypowy swą podstawą dotyka sondy – poziomierz wykrywa zwiększanie się poziomu – o ile znany jest kąt nasypowy istnieje możliwość obliczenia objętości stożka nasypowego i tym samym pomiar objętości bez błędu metody,
- 4) stożek nasypowy obejmuje sondę - o ile znany jest kąt nasypowy istnieje możliwość obliczenia objętości stożka nasypowego i tym samym pomiar objętości bez błędu metody, co przedstawiono na rysunku 1b),
- 5) stożek nasypowy zaczyna dotykać swą podstawą ściankę zbiornika – przy znanym kącie nasypowym i znanej geometrii zbiornika i miejsca położenia sondy istnieje możliwość wyznaczenia objętości materiału w zbiorniku,
- 6) stożek nasypowy podnosi się – na podstawie pomiaru h jest możliwe obliczenie objętości materiału w zbiorniku.

Dla sytuacji 1) objętość w części walcowej zbiornika obliczana jest ze wzoru:

$$V = \pi R^2 h \quad (1)$$



Rys. 1. Powstawanie stożka nasypowego: a) promień podstawy mniejszy od odległości do falowodu, b) promień podstawy większy od odległości do falowodu, R – promień wewnętrzny zbiornika, α – kąt stożka nasypowego, r_s – odległość falowodu od osi zbiornika, r – promień podstawy stożka nasypowego, h_{s0} – wysokość stożka (leży w osi zbiornika), h_s – odległość punktu przecięcia się tworzącej stożka z falowodem od płaszczyzny poziomej, na której tworzy się stożek nasypowy, h – wynik pomiaru poziomu

Fig. 1. Formation of mound cone: a) the radius of the basement smaller than the distance to the wave-guide, b) the radius of the basement greater than the distance to the wave-guide, R – inner radius of the tank, α – mound cone angle, r_s – the distance of the wave-guide from the axis of the tank, r – radius of the basement of the mound cone, h_{s0} – height of the cone (is in the tank axis), h_s – the distance of the point of the intersection of the ruling of cone with the wave-guide from the vertical surface, on which the mound cone is forming, h – result of level measurement

Dla sytuacji 2) objętość będzie obliczona ze wzoru (1), natomiast rzeczywista objętość będzie wynosiła:

$$V_{rz} = \pi R^2 h + \frac{\pi r_s^3 \operatorname{tg} \alpha}{3} \quad (2)$$

W przypadku, gdy kąt nasypu wynosi α to:

$$\operatorname{tg} \alpha = h_{s0} / r = h_{s\max} / R \quad (3)$$

gdzie: $h_{s\max}$ – wysokość stożka nasypowego, gdy jego podstawa dotyka ścianki zbiornika.

Dla sytuacji 3) objętość będzie wynosiła:

$$V = \pi R^2 h + \frac{\pi r_s^3 \operatorname{tg} \alpha}{3} \quad (4)$$

Dla sytuacji 4) objętość będzie wynosiła:

$$V = \pi R^2 (h - h_s) + \frac{\pi (h_s / \operatorname{tg} \alpha + r_s)^2 (h_s + \operatorname{tg} \alpha r_s)}{3} \quad (5)$$

Dla sytuacji 5) objętość będzie wynosiła:

$$V = \pi R^2 (h - h_s) + \frac{\pi R^3 \operatorname{tg} \alpha}{3} \quad (6)$$

Dla sytuacji 6) objętość będzie wynosiła:

$$V = \pi R^2 [h - \operatorname{tg} \alpha (R - r_s)] + \frac{\pi R^3 \operatorname{tg} \alpha}{3} \quad (7)$$

3.2. Błąd metody

Błędy metody można tu podzielić na dwie grupy: związane z pomiarem i związane z obliczeniem objętości cieczy lub substancji stałej w zbiorniku. Często w urządzeniu wtórnym pozio-

momierza jest wprowadzana charakterystyka zbiornika pozwalająca dla danego poziomu ustalić jaka jest objętość substancji w zbiorniku. W przypadku poziomomierza ultradźwiękowego [18] w urządzeniu wtórnym wprowadzana jest charakterystyka przelewu w kanale otwartym, która służy do wyznaczenia strumienia objętości wody na podstawie wyniku pomiaru poziomu przed przelewem.

Najprościej błąd metody zdefiniować jako różnicę między wynikiem pomiaru poziomu a wartością średnią poziomu w przekroju pomiarowym. W pewnych warunkach można ten błąd na drodze obliczeniowej zmniejszyć (korzystając z dokładniejszego modelu matematycznego obiektu pomiaru) lub całkowicie wyeliminować. Przykładem może być uwzględnienie aktualnej gęstości cieczy w pomiarze poziomu poziomomierzem pływakowym, np. gdy gęstość zmienia się w stosunku do przyjmowanej przy instalowaniu i uruchamianiu poziomomierza.

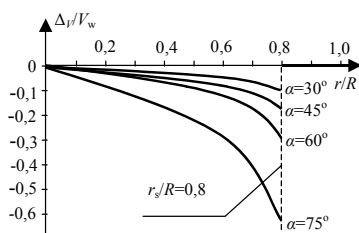
W analizowanej wyżej metodzie pomiaru błąd metody wynika stąd, że przy rosnącym stożku nasypowym do momentu, gdy jego podstawa nie dotknie sondy wskazanie poziomomierza jest niezmiennie. Wobec tego błąd metody dla sytuacji 2) przedstawionej na rysunku 1a) będzie różnicą między wynikiem pomiaru objętości opisanym wzorem (1), a wartością rzeczywistą objętości, wyrażoną wzorem (2):

$$\Delta V = -\pi r^3 \operatorname{tg} \alpha / 3 \quad (8)$$

Ocena błędu dla konkretnego zbiornika na podstawie wzoru (8) jest możliwa, jednak aby ocenić jego wartość dla ogólnego przypadku proponuje się odniesienie tego błędu do objętości walca V_w o podstawie będącej przekrojem poziomym zbiornika i wysokości równej promieniowi R :

$$\Delta V / V_w = -\frac{\operatorname{tg} \alpha}{3} \left(\frac{r}{R} \right)^3 \quad (9)$$

Na rysunku 2 przedstawiono zależność błędu opisanego wzorem (9) w funkcji od kąta nasypu.



Rys. 2. Błąd wyznaczenia objętości
Fig. 2. Volume estimation error

3.3. Kryteria umiejscowienia sondy

Analizując wykresy przedstawione na rysunku 2 można dojść do wniosku, że sonda powinna być umieszczona jak najbliżej osi zbiornika. Nie jest to możliwe, gdyż zwykle w osi znajduje się otwór wyspowy. Pozostaje więc drugie kryterium; aby przy napełnianiu zbiornika, gdy stożek nasypowy sięga podstawy ścianki zbiornika, objętość materiału w zbiorniku wynosiła $V = \pi R^2 h$. Wobec tego położenie sondy (odległość od osi zbiornika r_s) można wyznaczyć porównując wzór (1) ze wzorem (7). Jako wynik otrzymuje się zależność:

$$r_s = 2/3R \quad (10)$$

Następne kryterium może być sformułowane następująco; sondę należy umieścić w takiej odległości od osi zbiornika, aby okrąg poziomy przechodzący przez nią dzielił poziomą powierzchnię

przekroju zbiornika na dwie części o równych powierzchniach, czyli:

$$r_s = R/\sqrt{2} \quad (11)$$

Wartość ta jest większa od wartości obliczonej ze wzoru (10) o 6%, a więc obydwie położenia mogą być uznane jako spełniające pewne racjonalne kryteria.

4. Porównanie poziomomierzy ultradźwiękowych z radarowymi

Zastosowanie poziomomierza ultradźwiękowego EchoTREK do pomiaru poziomu przed przelewem o znanej charakterystyce pozwoliło na wyznaczenie strumienia objętości w kanale otwartym [18]. Wyznaczono błędy pomiaru dla 10 % zakresu pomiarowego (wynosił on 6 m) i okazało się, że mieszczą się w granicach $\pm 0,05\%$ zakresu, a więc są mniejsze niż podane przez producenta. Drugi poziomomierz ultradźwiękowy o zakresie 3 m służy jako wskaźnik poziomu w zbiorniku pomiarowym na stanowisku do badania przepływomierzy wody [19]. Badania poziomomierza ultradźwiękowego z zatapianą głowicą w zakresie 0 – 10 m potwierdziły zasadność stosowania rury prowadzącej wiązkę ultradźwiękową. Nieprostoliniowość rzędu średnicy rury nie przeszkadzała w uzyskaniu błędu mniejszego niż ± 3 mm w całym zakresie pomiarowym [20].

W laboratorium pomiarów przepływu Instytutu Automatyki zainstalowano poziomomierz radarowy z falowodem prętowym Levelflex M FMP40 i napisano program do konfiguracji poziomomierza i zbierania danych [6]. Uzyskano błędy nie większe niż $\pm 1,3\%$ zakresu pomiarowego, co jest wyraźnie więcej niż dla czujnika ciśnieniowego ($\pm 0,6\%$). Trudno wysuwać wnioski na podstawie niepełnych badań kilku poziomomierzy w jednym laboratorium, stąd zebrano też dane literaturowe.

W [10] wśród 8 grup poziomomierzy wyodrębniono na szóstym miejscu, jako jedną grupę poziomomierze falowe, a wśród nich ultradźwiękowe i dźwiękowe oraz radarowe (mikrofalowe). W [21] przedstawiono zalety poziomomierza ultradźwiękowego i porównano niektóre z jego cech z cechami poziomomierza radarowego i hydrostatycznego (pomiar różnicy ciśnień). Podano również zakres cen, jednak w tabeli 1 podane są stosunki średnich cen poziomomierza ultradźwiękowego i radarowego do średniej ceny poziomomierza hydrostatycznego, gdyż ceny się zmieniają i lepiej podać ich stosunki. Autor [21] ocenia poziomomierz ultradźwiękowy dla trzech cech (ciecze pniące się, wymagana przestrzeń i wpływ mieszania) jako dobry, ale podaje, że to jest możliwe przy spełnieniu pewnych warunków. W tabeli 1 podano cechy tych poziomomierzy oceniając je jako dobry „+”, zły „-” i przeciętny „0”.

Tab. 1. Ocena trzech poziomomierzy

Tab. 1. Evaluation of three level meters

Cecha	Ultradźw.	Hydrostat.	Radarowy
Bezkontaktowość	+	-	+
Ciecze pniące	0	+	+
Wymagane miejsce	0	0	-
Wpływ mieszania	0	0	0
Łatwość instalacji	+	-	-
Cena	0,6	1	3,6

W [1] podano w tabeli zależność prędkości fal ultradźwiękowych i elektromagnetycznych od rodzaju materiału. Z danych zawartych w tabeli wynika, że trzeba kompensować wpływ temperatury na wynik pomiaru poziomu w poziomomierzu ultradźwiękowym [22], natomiast prędkość fal elektromagnetycznych można przyjąć za stałą. Prędkość fal ultradźwiękowych zależy od rodzaju ośrodka i jego temperatury (dla wody zależność jest nawet

niejednoznaczna), jednak w [23] stwierdzono, że poziomierz ultradźwiękowy jest konkurencyjny w porównaniu z poziomierzem hydrostatycznym. Potwierdziły to badania przeprowadzone w [20].

5. Dobór poziomierza

Nie ma poziomierza, który byłby najlepszy, a nawet nie można powiedzieć, że do danego konkretnego stosowania powinien być zastosowany ten, a nie inny poziomierz [24, 25, 26]. Problematyka bardzo trudnych warunków pomiaru poziomu w walczaku kotła parowego została szczegółowo przedstawiona w [8], a o ważności tego problemu i zastosowaniu nowej metody - radarowej z falowodem świadczy publikacja [27]. W przypadku stosowania poziomierza radarowego w zbiornikach, gdzie istnieją elementy odbijające falę elektromagnetyczną mogą powstać sygnały, które nie odpowiadają wartości poziomu. Wykonuje się wtedy tzw. mapowanie, czyli zapis sygnału odbieranego przy pustym zbiorniku. W czasie pomiaru poziomu analizowana jest różnica między sygnałem odbieranym a wcześniej zarejestrowanym sygnałem podczas mapowania [6].

W przypadku poziomierzy pojemnościowych konieczna jest regulacja czułości przetwornika, co jest wadą tego poziomierza – odbywa się ona podczas wstępnej konfiguracji poziomierza [28]. Opisujący poziomierz pojemnościowy pozwala na pomiar poziomu z zewnątrz, o ile ścianki zbiornika są cienkie i wykonane np. z politetrafluoroetyleny (PTFE) lub z polifluorku winylidenu (PVDF). Pomiar poziomu czynnika dwufazowego jest szczególnie trudny [29] i w celu ułatwienia doboru poziomierza w przypadku konieczności rozdziału faz cieczy został opracowany poradnik [15], w którym przedstawiono z jednej strony zalety i korzyści, a z drugiej strony ograniczenia stosowania następujących poziomierzy: radarowy falowodowy, pojemnościowy, pływakowy i radiometryczny.

Warunki eksploatacji poziomierza mają znaczny wpływ na wynik pomiaru i stąd zalecane jest zapewnienie warunków ruchomych odpowiadających ściśle wymaganiom związanym z zasadą działania poziomierza i wybór takiej metody pomiaru, która byłaby niezawodna w stanie awaryjnym instalacji technologicznej [25]. Niezawodność jest bardzo ważnym parametrem ze względu na koszty zarówno obsługi na obiekcie, jak i koszty napraw w serwisach [23]. W miarę upływu lat liczba dostępnych na rynku typów poziomierzy się zwiększa [30] i dobór staje się coraz trudniejszy. Można tu posłużyć się metodyką etapowego doboru przepływomierzy [31].

6. Podsumowanie

Znajomość, choćby orientacyjna charakteru zmian poziomu pozwoli na udoskonalenie algorytmu pomiaru, natomiast zastosowanie dwóch sond odpowiednio rozmieszczonych pozwoli na identyfikację modelu obiektu pomiaru i zmniejszenie błędu metody.

7. Literatura

- [1] Instrument Engineer's Handbook, Process Measurement and Analysis. Vol. I, Editor-in-Chief Béla G. Lipták, ISA, CRC PRESS, Boca Raton – London – New York – Washington, D.C., 2003.
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe. PWN, Warszawa 1978.
- [3] Milek M.: Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2006.
- [4] Hagel M.: Przykład rozwiązania poziomierza ultradźwiękowego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Nr 645, Automatyka z. 52, Gliwice 1980, 111-120.
- [5] Poziomierz ultradźwiękowy typ PU-I. Zakłady Automatyki Przemysłowej MERA ZAP, karta katalogowa, 1981.
- [6] Matyja B.: Badanie własności metrologicznych czujników poziomu. Praca dyplomowa magisterska, promotor Kozyra A., Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Gliwice 2008.
- [7] Banaczyk E.: Kryteria doboru poziomierza radarowego z falowodem. Pomiar na poziomie, Control Engineering Polska, 7 (2009), n. 4, 51-53.
- [8] Strzelczyk F.: Metody i przyrządy w pomiarach ciepłnoenergetycznych, Politechnika Łódzka, Łódź 1993.
- [9] Van de Kamp W.: Fülstandmeßtechnik in Theorie und Praxis. 8. Ausgabe, Endress+Hauser B V. in Naarden, De Toekomst. Hilversum 1990.
- [10] Level Measurement & Control, Measurements & Control, 188 (1998), n. 4, 157-180.
- [11] Turkowski M.: Przemysłowe sensory i przetworniki pomiarowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [12] Cemel J.: Pojemnościowe sygnalizatory poziomu typu PSP. Pomiar Automatyka Robotyka, 13 (2009), n. 3, 54.
- [13] Dziunikowski B.: Zastosowania izotopów promieniotwórczych. Część I, Wydawnictwa AGH, Kraków 1995.
- [14] Ultrasonic level transmitter/switch. Control Engineering, 55 (2008), n. 7, 63.
- [15] Pomiary poziomu z detekcją rozdziału faz cieczy. Poradnik doboru przyrządu pomiarowego, Endress+Hauser, 2009.
- [16] Rózdzyński K.: Miernictwo hydrologiczne. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1998.
- [17] Waluś S.: Pomiary poziomu. Rozdział 4 w: Pomiary, czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, pod red. J. Piotrowskiego, WNT, Warszawa 2009.
- [18] Błotnicki W.: Laboratorium pomiaru poziomu i strumienia płynu w kanałach otwartych. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 85 (2009), 83-85.
- [19] Laboratorium miernictwa przemysłowego. Pod red. J. Frączka i S. Walusia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [20] Hagel M.: Analiza dokładności wskazań poziomierza ultradźwiękowego. Konferencja naukowo-techniczna „Pomiary przepływów i poziomów w energetyce”, Ślesin, 16-18 kwietnia 1986, 171-177.
- [21] Livingston M.: Ultrasonic Level Transmitter for Difficult Applications, Measurement & Control, 184 (1997), n. 9, 173-175.
- [22] Redding R.J.: Temperature compensation in level measurement, Measurement and Control, 15 (1982), n. 6, 216.
- [23] Bailey B.J.: Level Sensing '83: Ultrasonic Compete With Dominant Differential Pressure Techniques, Control Engineering, 30 (1983), n. 9, 133-138.
- [24] Sroka S.: Ocena aparatury do pomiarów przepływów, ciśnień i poziomów w elektrowniach, Konferencja naukowo-techniczna „Pomiary przepływów i poziomów w energetyce”, Ślesin, 16-18 kwietnia 1986, 8-13.
- [25] Maczan R.: Dobór i instalowanie układów do pomiaru poziomu cieczy w elektrowniach. Konferencja naukowo-techniczna „Pomiary przepływów i poziomów w energetyce”, Ślesin, 16-18 kwietnia 1986, 147-153.
- [26] Bacia H.: Wpływ warunków eksploatacyjnych na wynik pomiaru poziomu, Konferencja naukowo-techniczna „Pomiary przepływów i poziomów w energetyce”, Ślesin, 16-18 kwietnia 1986, 154-156.
- [27] Radary falowodowe w walczakach. Control Engineering Polska, 6 (2008), n. 2, 60-61.
- [28] Nowe technologie czujników pojemnościowych: Niezawodna detekcja poziomu cieczy w niekorzystnych warunkach, Pomiar Automatyka Robotyka, 13 (2009), n. 6, 28-29.
- [29] Nawrocki A.: Pomiar objętościowego (rzeczywistego) poziomu czynnika dwufazowego, Konferencja naukowo-techniczna „Pomiary przepływów i poziomów w energetyce”, Ślesin, 16-18 kwietnia 1986, 167-170.
- [30] Banaczyk E.: Rozwój technik pomiaru poziomu. Control Engineering Polska, 7 (2009), n. 12, 52-55.
- [31] Jezierska A., Krieser W., Waluś S.: Dobór przepływomierza – zasady ruchu. Control Engineering Polska, 5 (2007), n. 5, 54-61.