

# Inteligentny przetwornik strumienia objętościowego

Michał Bartyś

Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej

W artykule zaprezentowano konstrukcję inteligentnego przetwornika do pomiaru strumienia objętościowego płynów. Przetwornik jest przeznaczony zwłaszcza do współpracy z indukcyjnymi, impulsowymi czujnikami przepływu. Przedstawiono podstawowe właściwości metrologiczne generacyjnych czujników indukcyjnych. Wskazano na główne wielkości fizyczne wpływające na niepewność pomiaru. Sprecyzowano wnioski dotyczące możliwości zmniejszenia niepewności pomiaru. Przedstawiono charakterystykę techniczną inteligentnego przetwornika pomiarowego oraz podano przykładowe wyniki badań eksperymentalnych pomiarów strumienia objętościowego.

**Słowa kluczowe:** przetwornik strumienia objętościowego, przepływomierz indukcyjny, inteligentny przetwornik pomiarowy, przemysłowe sieci komunikacyjne

W automatyzacji ciągłych i wsadowych procesów przemysłowych pomiary strumienia masowego i objętościowego są stosowane powszechnie i wykorzystywane w kilku typowych obszarach aplikacyjnych. Do obszarów tych należą m.in.:

- systemy nadzoru, bilansowania i rozliczania procesu, wśród których należy wyróżnić systemy: bilansowania strumieni surowców wejściowych, pomiaru strumieni produktów wyjściowych procesu, rozliczania i dystrybucji produktów między odbiorcami produktów
- systemy regulacji strumieni masowych, regulacji stosunku, układy regulacji kaskadowej z regulatorami pomocniczymi strumienia objętościowego lub masowego, układy regulacji poziomu itp.

W stosunku do tych przepływomierzy stosowane są zazwyczaj bardzo wysokie wymagania w zakresie właściwości metrologicznych, niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonalnego. Znane i stosowane są przepływomierze wykorzystujące zwięźkę Venturiego, efekt Coriolisa, przepływomierze ultradźwiękowe, wirowe, elektromagnetyczne, rotametryczne, mechaniczne, zębate, tłokowe itp.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że przepływomierze są stosowane w instalacjach przemysłowych tylko wówczas, gdy jest to absolutnie konieczne. Decydującą rolę odgrywa tutaj czynnik ekonomiczny, konieczność wykonania dość kłopotliwych prac w celu ich właściwego montażu oraz fakt, że przepływomierze najczęściej wywołują zaburzenia mierzonego strumienia [1].

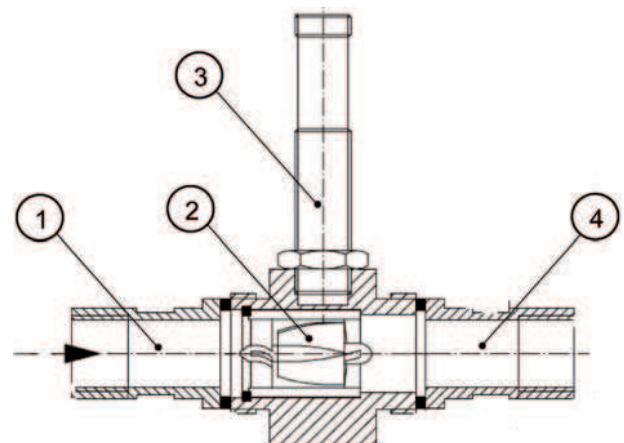
Nieco inne wymagania są formułowane w odniesieniu do przepływomierzy instalowanych na stanowiskach odbiorczych do testowania wybranych parametrów technicznych produktów końcowych, np. sprawności energetycznej hydraulicznych przekładników hydrokinetycznych. W tym przypadku czynnik niezawodności oraz bardzo niskiej wartości niepewności pomiaru nie jest decydujący. Decydujący jest czynnik ekonomiczny.

W artykule zostanie przedstawiony inteligentny przetwornik pomiarowy przeznaczony do współpracy z czujnikami przepływu z wyjściem impulsowym. Czujniki takie są znane i stosowane od dawna i należą do grupy ekonomicznych czujników przepływu. Są realizowane w postaci czujników generacyjnych (np. indukcyjnych) lub w postaci czujników pasywnych (np. czujników hallotronowych).

## Zasada działania generacyjnego indukcyjnego czujnika przepływu

Generacyjne indukcyjne czujniki przepływu stosowane są zwłaszcza w przemysłowych stanowiskach kontrolnych do sprawdzania parametrów wolumetrycznych (np. podczas produkcji maszyn przepływowych).

Zasada działania przetwornika impulsowego zostanie wyjaśniona na przykładzie turbinkowego generacyjnego przetwornika indukcyjnego (rys. 1). Czujnik składa się z przelotowego tubusa zaopatrzonego w króćce: wlotowy (1) i wylotowy (4). Wewnątrz tubusa jest zainstalowana osiowo ułożyszowana turbina wielołopatkowa (2). Turbina jest wykonana z materiału ferromagnetycznego lub materiału diamagnetycznego pokrytego materiałem ferromagnetycznym o określonej indukcji remanencji. Turbinka ułożyszowana jest na specjalnych stożkowych łożyskach precyzyjnych [3] (wykonanych np. z szafiru), zapewniających jej trwałość eksploatacyjną oraz bardzo



**Rys. 1.** Szkic konstrukcyjny generacyjnego indukcyjnego turbinkowego czujnika pomiarowego strumienia objętościowego. Oznaczenia: 1 – króciec wlotowy, 2 – turbinka, 3 – cewka elektryczna lub indukcyjny czujnik zbliżeniowy, 4 – króciec wylotowy. [4]

**Fig. 1.** Sketch drawing of the turbine volume flow rate sensor. Notion: 1 – inlet, 2 – turbine, 3 – electric coil or inductive proximity sensor, 4 – outlet. [4]

mały moment tarcia. Łopatki turbinki są tak ukształtowane, że w rzucie prostokątnym do kierunku przepływu strugi płynu całkowicie przesłaniają światło tubusa. Struga płynu przepływającego przez czujnik wprawia w ruch obrotowy turbinę, a ta z kolei wywołuje zmiany strumienia magnetycznego skojarzonego z uzwojeniami (3). W efekcie tych zmian w uzwojeniach czujnika indukuje się przemienna siła elektromotoryczna o częstotliwości i amplitudzie proporcjonalnych do prędkości obrotowej turbiny. Do celów pomiarowych wykorzystywany jest sygnał częstotliwości. W pewnym zakresie lepkości płynu zależność między częstotliwością a strumieniem objętościowym płynu jest proporcjonalna.

Czujniki tego typu mają szereg wad. Do najbardziej istotnych należy zaliczyć inwazyjny sposób pomiaru. W wyniku przepływu płynu na turbinę działa siła reakcji wynikająca z oddziaływania sił hydrodynamicznych i nieskompensowanych sił hydrostatycznych. Siła ta obciąża łożyska turbinki. Ze względu na minimalizację wartości tych sił, czujniki stosowane są zwłaszcza w liniach niskociśnieniowych, np. w liniach spływu w układach hydraulicznych. Obracająca się turbinka wymaga odpowiedniego smarowania łożysk. Z tego powodu czujniki tego typu stosowane są zwłaszcza w pomiarach strumienia płynów o dobrych właściwościach smarnych. Pokrycie ferromagnetyczne łopatek turbinki stwarza poważne problemy eksploatacyjne wtedy, gdy czujnik jest stosowany w układach pomiarowych cieczy zanieczyszczonych cząsteczkami materiałów ferromagnetycznych. Cząsteczki te mają tendencję do odkładania się na krawędziach łopatek, co może wywołać zablokowanie ruchu obrotowego turbinki. W takich przypadkach stosowane są rozwiązania czujników z turbiną wykonaną z materiału diamagnetycznego. Ruch obrotowy turbinki wywołuje zaburzenia przemiennego pola elektrycznego wytwarzanego przez zasilaną napięciem przemiennym cewkę czujnika (3). Zaburzenia te są następnie przekształcane do postaci dwuwartościowego wyjściowego sygnału impulsowego. Istotnymi zaletami tego typu czujników jest brak efektu obliteracji cząstek ferromagnetycznych na krawędziach turbinki, oraz to, że zakres pomiarowy czujnika obejmuje bliskie zera prędkości obrotowe turbinki. Pewną wadą tego typu rozwiązania jest konieczność odrębnego zasilania cewki czujnika.

W artykule zostanie przedstawiony ekonomiczny przetwornik pomiarowy przeznaczony do współpracy z obu typami czujników turbinkowych. Szczególna uwaga będzie jednak poświęcona indukcyjnym czujnikom generacyjnym (rys. 2).



**Rys. 2.** Fotografia generacyjnego indukcyjnego turbinkowego czujnika pomiarowego strumienia objętościowego typ PMB-6000 produkcji Instytutu Lotnictwa w Warszawie

**Fig. 2.** Snap shot of the inductive volume flow rate sensor type PMB-6000 manufactured by the Institute of Aviation in Warsaw, Poland

## Charakterystyka generacyjnego indukcyjnego czujnika turbinkowego

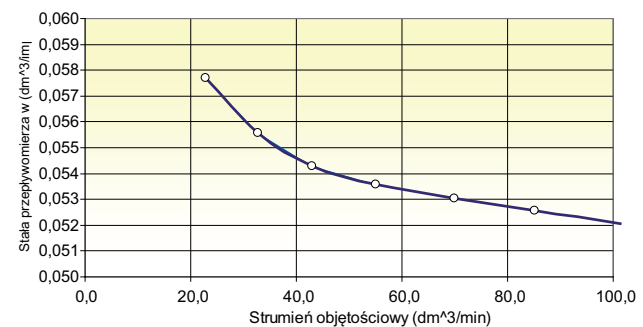
Indukcyjne generacyjne czujniki turbinkowe przepływu przetwarzają wartości wielkości strumienia objętościowego przepływającego przez nie płynu na wartość częstotliwości elektrycznego sygnału wyjściowego. Tradycyjnie czujniki takie nazywane są czujnikami z wyjściem częstotliwościowym lub impulsowym. Miarą czułości tych czujników jest pochodna częstotliwości  $f$  sygnału wyjściowego względem strumienia objętości  $v$ :

$$s = \frac{df}{dv}$$

Wartość czułości idealnego czujnika powinna być stała. W rzeczywistości czułość czujnika turbinkowego jest funkcją wielu parametrów, w tym wartości wielkości strumienia oraz rodzaju, gęstości, lepkości i temperatury płynu. W praktyce technicznym parametrem charakteryzującym czujnik przepływu jest tzw. stała czujnika (przepływomierza). Wyraża ona wartość czułości w jednostkach technicznych. Eksperymentalną zależność czułości od strumienia objętościowego dla wybranego przepływomierza przedstawiono na rys. 3.

Jak łatwo zauważyć (rys. 3) czułość przepływomierza jest funkcją strumienia objętościowego. W tym przypadku zmiana czułości w zakresie strumienia od 40 dm<sup>3</sup>/min do 90 dm<sup>3</sup>/min odniesiona do czułości dla strumienia 100 dm<sup>3</sup>/min jest rzędu 5 %. Stąd wniosek, że pomiar strumienia objętościowego przez pomiar częstotliwości sygnału wyjściowego przy założeniu czułości przeciętnej zakresowej jest obciążony znaczną niepewnością pomiaru. W tym przypadku wynika ona głównie z nieliniowości charakterystyki przetwarzania czujnika.

Stala przepływomierza turbinkowego typ PMB 6000 nr fabr. 282 w funkcji strumienia objętościowego



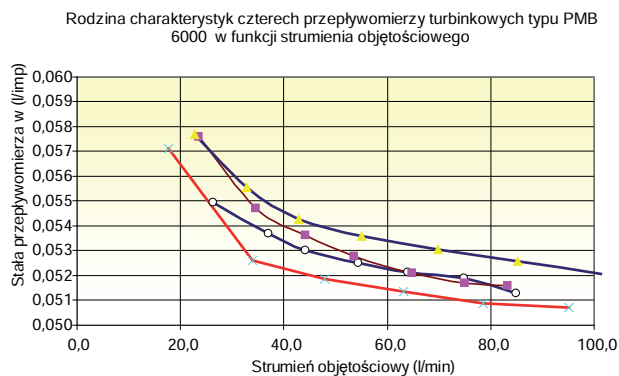
**Rys. 3.** Wykres czułości czujnika turbinkowego typ PMB-6000. Górny zakres pomiarowy przepływomierza wynosi 100 dm<sup>3</sup>/min. Pomiary wykonywano dla oleju SUPEROL CD SAE 10W w temperaturze 27,9 ± 0,5 °C.

**Fig. 3.** Sensitivity of the volume flow rate turbine sensor PMB-6000. Maximal flow rate value of the sensor is equal to 100 dm<sup>3</sup>/min. Measurements have been done with application of the SUPEROL CD SAE 10W oil in temperature 27,9 ± 0,5 °C.

Ponadto dość typowa jest również specyficzność funkcji czułości. Oznacza to, że dla każdego konkretnego egzemplarza czujnika tego samego typu konstrukcyjnego funkcja czułości może być inna. Na rys. 4 przedstawiono zależności czułości od strumienia objętościowego wyznaczone dla czterech losowo wybranych czujników turbinkowych typu PMB-6000 produkcji Instytutu Lotnictwa w Warszawie.

Jak łatwo zauważyć (rys. 4), każdy z czujników przepływu tego samego typu charakteryzuje się inną funkcją czułości. Badania eksperymentalne potwierdzają monotoniczny spadek wartości czułości w funkcji strumienia objętościowego dla wszystkich badanych czujników. Niemniej jednak rozrzut wartości czułości przetworników tego samego typu dla określonej wartości strumienia (np. 50 dcm<sup>3</sup>/min), odniesiony do zakresu pomiarowego, wynosi w tym przypadku nawet 6 %. Charakterystyki te mogą być oczywiście aproksymowane dowolnymi aproksymatorami algebraicznymi lub aproksymatorami bazującymi na metodach sztucznej inteligencji, np. w postaci sieci neuronowych lub układów rozmytych, np. aproksymator Sugeno-Takagi.

Jednak zastosowanie aproksymatorów tego typu jest racjonalne zwłaszcza wtedy, gdy jest możliwy pomiar dodatkowych wielkości wpływających, takich jak np. lepkość i gęstość oraz temperatura przepływającego płynu. Wartości tych wielkości są mierzone bezpośrednio lub/i estymowane w zaawansowanych przepływomierzach wykorzystywanych w systemach nadzoru, bilansowania i rozliczania procesów produkcyjnych. W przypadku przepływomierzy o konstrukcji przedstawionej na rys. 1 pomiary dodatkowych wielkości wpływających nie są zazwyczaj dostępne.



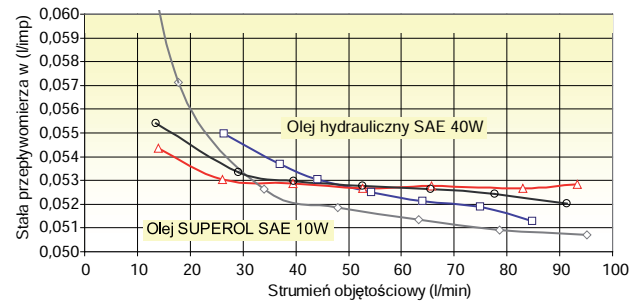
**Rys. 4.** Ilustracja rozrzutu czułości losowo wybranych czterech czujników turbinkowych typ PMB-6000. Pomiary wykonywano dla oleju SUPEROL CD SAE 10W w temperaturze 28,7 ±0,5 °C

**Fig. 4.** Illustration of the sensitivity dispersion of the randomly chosen four turbine flow rate sensors PMB-6000. Measurements have been done with application of the SUPEROL CD SAE 10W oil in temperature 28,7 ±0,5 °C

Skala problemu wpływu innych parametrów na wartość wielkości strumienia została przedstawiona na rys. 5. Rysunek przedstawia zależność czułości dwóch wybranych przepływomierzy tego samego typu w odniesieniu do dwóch rodzajów medium różniących się lepkością kinematyczną. Badania wykonywano w zbliżonych warunkach temperaturowych. Badania przeprowadzono dla oleju silnikowego Superol CD SAE10W o gęstości właściwej 0,880 kg/dcm<sup>3</sup> w temperaturze 15 °C i lepkości kinematycznej 5,7–7,5 mm<sup>2</sup>/s w temperaturze 100 °C oraz dla oleju hydraulicznego Hydrol L-HL46 o gęstości właściwej 0,866 kg/dcm<sup>3</sup> w temperaturze 15 °C i lepkości kinematycznej od 41,4 mm<sup>2</sup>/s do 51,6 mm<sup>2</sup>/s w temperaturze 40 °C.

Jak widać, zależność czułości od strumienia (rys. 5) jest również funkcją parametrów fizykochemicznych przepływającego płynu. Zależność czułości przetwornika od temperatury prze-

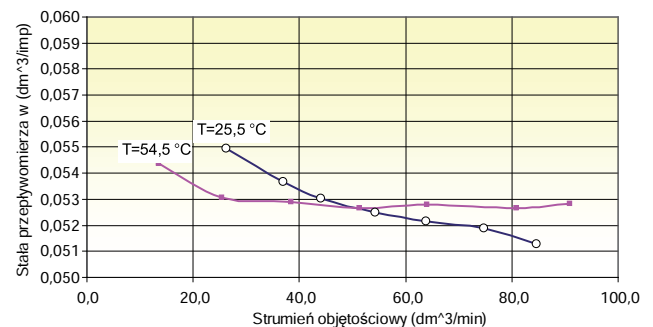
Charakterystyki przepływomierzy typu PMB 6000 nr fabr. 8606007 i 8606009 w funkcji strumienia objętościowego



**Rys. 5.** Ilustracja rozrzutu czułości dla dwóch czujników turbinkowych typu PMB-6000 w zależności od właściwości fizykochemicznych przepływającego płynu. Pomiary wykonywano dla dwóch typów olejów Superol CD SAE10W i Hydrol L-HL-46. Badania wykonano w temperaturze 28,3 ±0,5°C

**Fig. 5.** Illustration of the sensitivity dispersion of the two turbine flow rate sensors PMB-6000. The sensitivity depends on the medium physical properties. Measurements have been done with application of the SUPEROL CD SAE10W and Hydrol L-LH-46 oils in temperature 28,3 ±0,5°C

Zależność czułości przepływomierza turbinkowego typ PMB 6000 nr fabr. 860607 od temperatury



**Rys. 6.** Ilustracja wpływu temperatury płynu na czułość czujnika turbinkowego. Badano czujnik typu PMB-6000. Pomiary wykonywano dla oleju Superol CD SAE 10W. Badania wykonano dla temperatur oleju: 25,5 ±0,5°C i 54,5 ±0,5°C

**Fig. 6.** Sensitivity of the sensor versus oil temperature for the PMB-6000 flow rate sensor. Measurements have been done with application of the SUPEROL CD SAE 10W oil in temperatures: 25,5 ±0,5°C i 54,5 ±0,5°C

przepływającego medium (rys. 6) jest szczególnie widoczna w zakresie strumieni o wartościach bliskich początkowi i końcowi zakresów pomiarowych.

Wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na próbcie czterech czujników generacyjnych indukcyjnych prowadzą do następujących wniosków:

- charakterystyki przetwarzania czujników przepływu nie są liniowe
- ze względu na mały stosunek sygnału do szumu, dolny zakres pomiarowy czujników nie obejmuje strumieni objętościowych bliskich zeru; należy przyjąć, że zakres dolny pomiaru może być określony na poziomie 10 % górnej wartości zakresowej
- głównymi wielkościami wpływającymi na pomiar są: temperatura, lepkość i gęstość płynu
- czujniki wykazują zróżnicowane właściwości metrologiczne nawet dla tego samego typu konstrukcyjnego.



## Analiza konieczności i możliwości korekcji charakterystyki

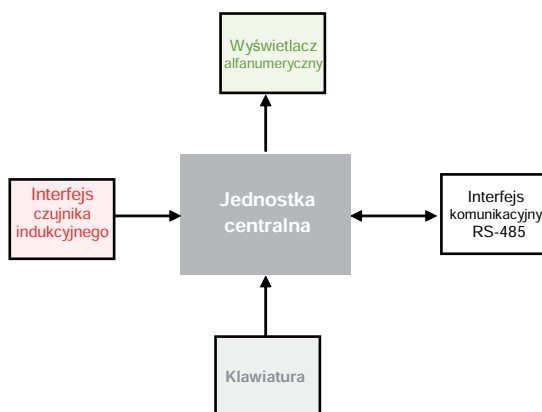
Wpływ wielkości wpływających na wynik pomiaru strumienia istotnie ogranicza pole zastosowań czujników indukcyjnych. Z przeprowadzonych badań wynika, że pomiar strumienia objętości może być dokonywany metodą pomiaru częstotliwości sygnału wyjściowego czujnika przepływu wyłącznie w przypadkach, gdy wymagania na niepewność pomiaru nie są wyższe niż ok. 5-10 % wartości górnego zakresu pomiarowego.

Zmniejszenie niepewności pomiaru wymaga zastosowania odpowiedniego algorytmu przetwarzania sygnału wyjściowego czujnika, tak aby możliwe było skompensowanie wpływu wielkości wpływających na wynik pomiaru (rys. 3–6). W stosunku do czujników generacyjnych bez wbudowanych czujników wielkości wpływających (np. czujnika temperatury) możliwe jest wykonanie na przykład jednowymiarowej korekcji nieliniowości charakterystyki przetwarzania. Ze względu na swoisty kształt charakterystyki każdego czujnika (rys. 4) korekcja nieliniowości charakterystyki przetwarzania musi być realizowana dla każdego czujnika indywidualnie. Wymaga to zastosowania odpowiednich metod i urządzeń laboratoryjnych.

Korekcja nieliniowości charakterystyki czujników może być już wystarczająca w przypadku zastosowania czujników w układach pomiarowych, w których warunki dla czynników wpływających są względnie stałe. Tak się zdarza w przypadku testowania parametrów maszyn i urządzeń na stanowiskach produkcyjnych. Dla przykładu, w procedurach kontroli sprawności wolumetrycznej przekładni hydrokinetycznych przewiduje się przeprowadzenie tych badań w warunkach standaryzowanej temperatury (np.  $85 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) przy zastosowaniu płynu roboczego o ściśle określonych właściwościach fizykochemicznych.

## Budowa inteligentnego przetwornika strumienia objętościowego

Uproszczony schemat blokowy inteligentnego przetwornika przepływu objętościowego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Uproszczony schemat ideowy inteligentnego przetwornika przepływu objętościowego

Fig. 7. Simplified schematic diagram of the smart volume flow rate transmitter

Inteligentny przetwornik pomiarowy jest urządzeniem mikroprocesorowym złożonym z kilku podstawowych bloków funkcjonalnych. Należą do nich:

- jednostka centralna
- interfejs czujnika indukcyjnego strumienia objętościowego
- interfejs komunikacyjny
- wyświetlacz alfanumeryczny
- klawiatura
- układ zasilania.

Jednostka centralna realizuje usługi programowe, do których należą:

- obsługa przerw generowanych przez interfejs czujnika indukcyjnego
- obsługa interfejsu użytkownika (klawiatura i wyświetlacz alfanumeryczny)
- obsługa interfejsu komunikacyjnego oraz jednostki podporządkowanej zgodnej ze specyfikacją warstwy łącza danych i warstwy aplikacyjnej protokołu Modbus RTU [3]
- obsługa procesu korekcji nieliniowości charakterystyki czułości czujnika.



Rys. 8. Fotografia części pomiarowo-sterującej stanowiska do wzorcowania przetworników indukcyjnych. Zdjęcie wykonane w Przemysłowym Instytucie Maszyn Budowlanych w Kobylce. Pierwszy z lewej – inteligentny przetwornik strumienia

Fig. 8. Snap shot of the part of the laboratory set-up used for the calibration of the smart transmitter. Snap was taken in the Construction Equipment Research Institute Ltd. in Kobylka, Poland. Smart flow rate transmitter is visible as first from the left.

Obsługa przetwornika jest dokonywana lokalnie w trybie ręcznym z wykorzystaniem odpowiedniego menu lub w trybie zdalnym przy wykorzystaniu komunikacji zgodnej z protokołem Modbus RTU. Przetwornik może współpracować wymiennie z różnymi przetwornikami indukcyjnymi strumienia objętościowego. Wybór aktualnie dołączonego czujnika jest dokonywany lokalnie lub zdalnie.

Przetwornik jest obsługiwany zdalnie przy wykorzystaniu dwóch standardowych rozkazów odczytu (F03) i zapisu rejestrów (F16) protokołu Modbus RTU. W sieci przemysłowej przetwornik pełni rolę urządzenia podrzędnego. W warstwie fizycznej zastosowany sterownik sprzętowy jest zgodny ze specyfikacją RS-485. Komunikacja z przetwornikiem możliwa jest w zakresie szybkości transmisji wynoszącym: 9600–11 520 Bd.

Fotografię zrealizowanego fizycznie przetwornika zainstalowanego na stanowisku laboratoryjnym przedstawia rys. 8.

## Korekcja nieliniowości charakterystyki czujnika

Jak wynika z wcześniej przeprowadzonej analizy, możliwe jest istotne zmniejszenie niepewności pomiaru przez korekcję nieliniowości charakterystyki przetwarzania czujnika. Aby przeprowadzić korekcję charakterystyki, musi być ona jednak znana. Charakterystykę taką można odczytać z metryczki czujnika lub wyznaczyć eksperymentalnie, np. na specjalnym stanowisku badawczym. Charakterystyka rzeczywista jest wprowadzana do przetwornika w trybie off-line i zapamiętywana na stałe wraz z przyporządkowanym typem i numerem seryjnym czujnika. Po wprowadzeniu tej charakterystyki, bieżące pomiary strumienia są już korygowane automatycznie w trybie on-line. Efekt działania mechanizmu korekcji nieliniowości charakterystyki czułości przedstawiono na rys. 9 i 10. Charakterystykę czułości indukcyjnego czujnika strumienia objętościowego przedstawiono przed korekcją (rys. 9) i po dokonaniu korekcji (rys. 10). Wpływ korekcji jest ewidentny. Można szacować,

że względna zmiana czułości w zakresie od 30  $\text{dm}^3/\text{min}$  do 80  $\text{dm}^3/\text{min}$  została w ten sposób zredukowana z ok. 5,3 % do ok. 0,5 %, a więc dziesięciokrotnie.

## Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wybrany materiał z badań eksperymentalnych indukcyjnych generacyjnych czujników strumienia objętościowego. Stwierdzono, że proste metody pomiarowe oparte na pomiarach częstotliwości sygnału generowanego przez czujnik są obciążone znaczną niepewnością pomiaru. Zidentyfikowano inne źródła wpływające na niepewność pomiaru. Przedstawiono charakterystykę techniczną inteligentnego przetwornika pomiarowego przeznaczonego do pomiarów strumienia objętościowego z wbudowanymi funkcjami korekcji nieliniowości czujników oraz z wbudowanymi funkcjami komunikacyjnymi. Zaprezentowano przykładowy efekt korekcji nieliniowości charakterystyki czułości czujnika.

## Bibliografia

1. Bębenek B., Bębenek H.: *Straty energii w przepływach płynów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej, tom I, Kraków 1987.
2. [www.modbus.org] – *Modbus Protocol Specification*, Modbus Organisation.
3. Seroka J., Odziemkowski W.: *Wirnik czujnika turbinkowego*, 1974. Instytut Lotnictwa, Warszawa (Polska) Urząd Patentowy PRL Patent nr 72543.
4. [www.mech.pk.edu.pl/~m52/pdf/[13\_opis].pdf] – *Badanie zjawiska kawitacji*. ■

## Smart volume flow rate transmitter

The smart flow volume transmitter has been presented in this paper. Transmitter has been designed particularly for the use with the inductive volume flow sensors. However, it can be applied also with the variety of other flow volume sensors. The main metrological properties of some class of inductive fluid flow sensors as well as main influencing physical values have been described. The concluding remarks regarding possibilities of the improvement of measurement uncertainty have been formulated. The technical parameters of the smart flow meter have been briefly described. Exemplary experimental results achieved have been shown.

**Keywords:** flow volume transmitter, inductive flow meter, smart transmitter, fieldbus system

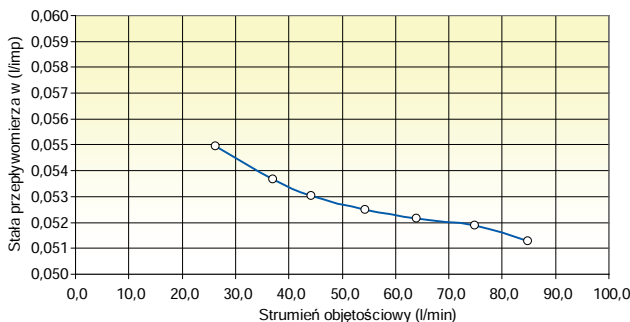
## dr inż. Michał Bartyś

Jest pracownikiem Instytutu Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. W pracy zawodowej zajmuje się głównie zagadnieniami związanymi z automatyzacją procesów, diagnostyką procesów, systemami tolerowania uszkodzeń, systemami sieciowymi automatyki, inteligentnymi urządzeniami pomiarowymi i wykonawczymi automatyki oraz zastosowaniami logiki rozmytej. Współautor 3 książek i 3 podręczników, autor 101 publikacji w czasopiśmie naukowych i na konferencjach, autor i współautor 4 patentów. Konstruktor 61 unikalnych konstrukcji urządzeń mechatronicznych. Autor licznych wdrożeń przemysłowych.

e-mail: bartys@mchtr.pw.edu.pl



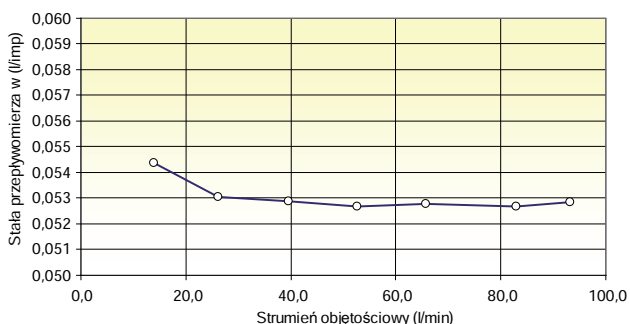
Stala przepływomierza turbinkowego typ PMB 6000 nr fabr. 8606007 w funkcji strumienia objętościowego



**Rys. 9.** Wykres czułości czujnika typ PMB-6000. Górny zakres pomiarowy przepływomierza wynosi 100  $\text{dm}^3/\text{min}$ . Pomiary wykonywano dla oleju SUPEROL CD SAE 10W w temperaturze  $25,5 \pm 0,5$  °C

**Fig. 9.** Sensitivity of the volume flow rate turbine sensor PMB-6000. Maximal flow rate value of the sensor is equal 100  $\text{dm}^3/\text{min}$ . Measurements have been done with application of the SUPEROL CD SAE 10W oil in temperature  $25,5 \pm 0,5$  °C

Stala przepływomierza turbinkowego typ PMB 6000 nr fabr. 8606000 w funkcji strumienia objętościowego



**Rys. 10.** Wykres czułość czujnika turbinkowego typ PMB-6000 po dokonaniu korekcji nieliniowości. Górny zakres pomiarowy przepływomierz wynosi 100  $\text{dm}^3/\text{min}$ . Pomiary wykonywano dla oleju SUPEROL CD SAE 10W w temperaturze  $25,0 \pm 0,5$  °C

**Fig. 10.** Sensitivity of the volume flow rate turbine sensor PMB-6000 measured after correction of sensitivity. Maximal flow rate value of the sensor is equal 100  $\text{dm}^3/\text{min}$ . Measurements have been done with application of SUPEROL CD SAE 10W oil in temperature  $25,5 \pm 0,5$  °C