

Miroslaw RUCKI

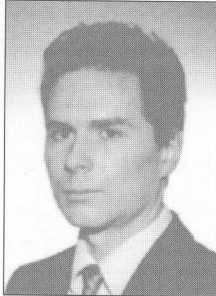
POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Wybrane aspekty metrologiczne zastosowania w przetwornikach pneumatycznych układu dwóch ukośnych dysz pomiarowych

Dr inż. Miroslaw RUCKI

ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej w roku 1993, specjalność metrologia techniczna. Na tym samym wydziale w 1997 roku uzyskał tytuł doktora. Obecnie jest pracownikiem Zakładu Metrologii i Systemów Pomiarowych w Instytucie Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania związane są z pomiarami wielkości geometrycznych z wykorzystaniem pneumatycznych przetworników pomiarowych. Badania są skierowane na optymalizację konstrukcji czujników w celu uzyskania lepszych właściwości metrologicznych. Jest autorem lub współautorem 8 publikacji i 26 wydrukowanych referatów.

mrucki@bimsplus.com



Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję konstrukcji czujnika pneumatycznego, pozwalającego na uzyskanie w układzie dysza pomiarowa-przesłona połączenia dwóch strumieni powietrza. Taka zmiana konstrukcji korzystnie wpływa na właściwości metrologiczne czujnika pneumatycznego, gdyż zjawiska związane z rozprężaniem powietrza zachodzą łagodniej niż w czujnikach prostych. Szczegółowo zostały opisane parametry geometryczne charakteryzujące czujnik dwudyszowy oraz przeanalizowano wpływ tych parametrów na kształtowanie charakterystyk metrologicznych, przede wszystkim charakterystyki statycznej i czułości. Przeprowadzono również obliczenia w celu wyznaczenia teoretycznej charakterystyki statycznej i porównania jej z charakterystyką uzyskaną doświadczalnie. Omówiono zalety zastosowania w czujniku pneumatycznych układu dwóch dysz pomiarowych w porównaniu do czujnika prostego.

Abstract

In the article, the concept of the construction of a pneumatic gauge in which the two air streams are interacting in the flapper-nozzle area has been presented. Such an idea improves metrological properties of the pneumatic gauge because the phenomenon of expanding air in the slot is smoother than in the air gauge with symmetrical outflow. The geometrical parameters of the new type of gauge has been described, as well their influence on the metrological characteristics such as static characteristics and sensitivity has been discussed. Also the modeling of the static characteristics and its comparison to experimental results has been carried out. The advantages of the new construction in comparison with the simple air gauge with symmetrical outflow has been pointed out.

Słowa kluczowe: pneumatyczny przetwornik pomiarowy, charakterystyki metrologiczne

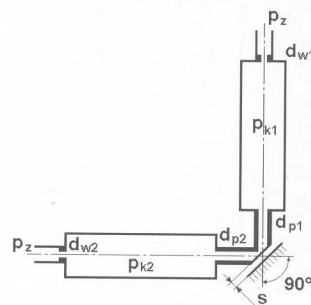
Keywords: air gauge, length measurement, metrological characteristics

1. Konstrukcja przetwornika

Badania wstępne oraz analiza literatury przedmiotu wykazały, że w znacznej mierze zjawisko „uskoku” czułości ograniczające zakres pomiarowy można złagodzić poprzez asymetryczne ukształtowanie wypływu powietrza. Stąd powstała koncepcja przetwornika z dwiema ukośnymi dyszami o wspólnym otworze wylotowym.

Rys. 1. przedstawia zasadę działania przetwornika dwudyszowego. Składa się on z dwóch komór pomiarowych, w których panują odpowiednio ciśnienia kaskadowe p_{k1} i p_{k2} . Do komór powietrze o ciśnieniu zasilania p_z dostaje się poprzez dysze wlotowe d_{w1} i d_{w2} , natomiast do atmosfery wypływa poprzez kanał utworzony z dysz pomiarowych d_{p1} i d_{p2} . I szczylnie pomiarową s . Ciśnienie kaskadowe jest miarą szerokości szczeliny s pomiędzy powierzchnią przesłaniającą a wspólnym czołem dysz pomiarowych. Osie dysz są pochylone do siebie pod kątem 90° .

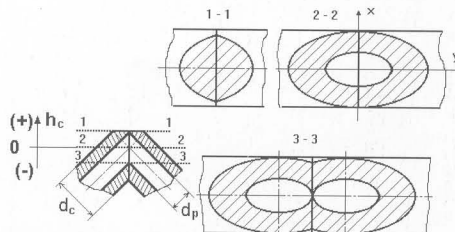
Charakterystyczną cechą takiego połączenia dysz pomiarowych jest wspólny otwór wylotowy. Ze względu na konieczność jednoznacznego opisu kształtu otworu wprowadzono wielkość h_c , która jest równa odległości powierzchni czołowej od punktu przecięcia się osi obu dysz pomiarowych. Umownie znak minus oznacza przesunięcie płaszczyzny czołowej w stronę przetwornika, znak plus z kolei - w kierunku od przetwornika. Widoczna jest zmiana wielkości otworu wylotowego od punkowego w przekroju 1-1 do największego składającego się z dwu pełnych elips w przekroju 3-3. W przekroju 2-2 ($h_c=0$) otrzymuje się elipsę składającą się z dwu połówek należących do różnych dysz pomiarowych. Od długości obwodu otworu wylotowego zależy powierzchnia wypływu. Z kolei zależność długości obwodu od parametru h_c przedstawia rys. 3. Jest prawie



wie prostoliniowa z niewielkim zakrzywieniem na początku i końcu przebiegu. Największą wartość $l_{obw} = \max$ osiąga się w przekroju 3-3, kiedy otwór wylotowy składa się z dwóch pełnych elips, natomiast w przekroju 1-1 $l_{obw} = 0$.

Rys. 1. Schemat dwudyszowego przetwornika z dyszami ukośnymi

Fig. 1. The air gauge with two skewed nozzles



Rys. 2. Wielkość i kształt otworu wylotowego w zależności od położenia płaszczyzny czołowej

Fig. 2. The shape of the outlet orifice dependant on the parameter h_c

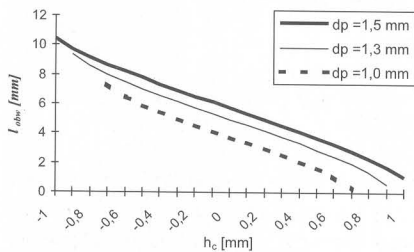
Jednocześnie zmienia się powierzchnia czoła, ale w sposób nieliniowy. Za miarę wielkości czoła przyjęto pierwiastek stosunku powierzchni czołowej do powierzchni otworu wylotowego $\bar{D} = \sqrt{A_{cz} / A_{ot}}$, który odpowiada wielkości czoła $\bar{D} = d_c / d_p$ klasycznego przetwornika pneumatycznego. Zauważa się, że w zakresie ujemnych wielkości h_c zmiany wielkości czoła zachodzą w bardzo małym stopniu, podczas gdy dalsze zwiększenie h_c powoduje znaczny wzrost $\sqrt{A_{cz} / A_{ot}}$. Najbardziej zakrzywione są wykresy dla dysz z małymi średnicami otworów d_p . Należy odnotować, że w punkcie $h_c=0$, kiedy otwór wylotowy składa się z dwóch połówek elipsy, wielkość czoła jest równa ilorazowi średnic zewnętrznej i wewnętrznej dysz pomiarowych: $\sqrt{A_{cz} / A_{ot}} = d_c / d_p$.

W analizie porównawczej wpływu wielkości czoła na przebieg charakterystyki statycznej przetwornika różny stopień zakrzywienia omawianego wykresu będzie stanowił pewien problem. Mianowicie, wykonując dysze pomiarowe o określonej średnicy zewnętrznej należy brać pod uwagę dwa fakty:

- 1) zmiana położenia płaszczyzny czołowej (wielkości h_c) spowoduje zmianę wielkości czoła $\bar{D} = \sqrt{A_{cz} / A_{ot}}$;
- 2) dla większych średnic dysz pomiarowych d_p lepsze charakterystyki uzyskuje się przy mniejszych wartościach h_c .

Z tego względu obliczenie i wykonanie dysz pomiarowych o jednakowych wielkościach czoł jest kłopotliwe. Można jednak skorzystać z uproszczenia, które pozwoli z niewielkim błędem ocenić wpływ \bar{D} . Mianowicie zastosowano dysze o jednakowym stosunku

średnicy zewnętrznej do średnicy otworu dyszy d/d_p , czyli o jednakowym \bar{D} przy $h_c=0$. Mimo to, że krzyżowna wykresów $\bar{D}=f(h_c)$ przy różnych średnicach otworów dysz pomiarowych jest inna, zauważamy, że \bar{D} dąży do tej samej wartości przy $l_{obw}=\max$ (rys. 5 i 6).

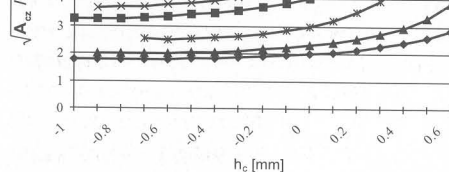


Rys. 3. Zmiana długości obwodu otworu wylotowego l_{obw} w zależności od h_c dla przetworników z różnymi dyszami pomiarowymi d_p

Fig. 3. Perimeter of the orifice l_{obw} versus h_c for different nozzle diameters d_p

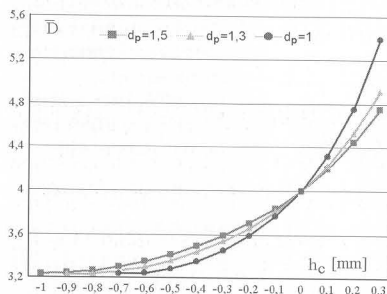
Z wstępnych badań [1] wynika, że czujnik posiada najkorzystniejsze charakterystyki przy takim położeniu płaszczyzny czołowej, kiedy długość obwodu jest bliska $l_{obw}=\max$. Pozwala to na traktowanie czoł przetworników dwudyszowych o jednakowych d_c/d_p jako przetworników o zbliżonej wielkości czoła, zaś porównanie do klasycznego układu pomiarowego wymaga wykonania dysz pomiarowych prostych o wartości $d_c/d_p = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ dla danego położenia płaszczyzny czołowej przetwornika dwudyszowego. Dotyczy to zwłaszcza zespołów o szerokich czołach (np. dla stosunku zewnętrznej średnicy do średnicy otworu $d_c/d_p=4$ wartość $\sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ zmienia się od 4

do 3,2 dla ujemnych wielkości h_c , por. rys. 5).



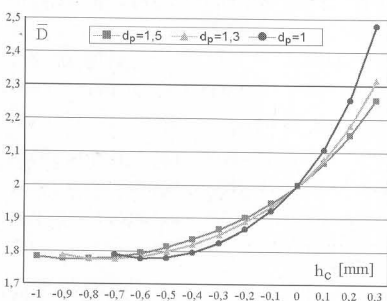
Rys. 4. Wielkości czoła przetworników $\bar{D} = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ w zależności od h_c

Fig. 4. The head surface $\bar{D} = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ versus h_c



Rys. 5. Wielkości czoła przetworników $\bar{D} = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ w zależności od h_c (dla $d_c/d_p=4$)

Fig. 5. Parameter $\bar{D} = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ versus h_c (the relation $d_c/d_p=4$)



Rys. 6. Wielkości czoła przetworników $\bar{D} = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ w zależności od h_c (dla $d_c/d_p=2$)

Fig. 6. Parameter $\bar{D} = \sqrt{A_{cz}/A_{ot}}$ versus h_c (the relation $d_c/d_p=2$)

2. Czynniki kształtujące charakterystykę statyczną przetwornika dwudyszowego

Cechy charakterystyczne konstrukcji przetwornika dwudyszowego wskazują na szereg możliwości kształtowania jego parametrów geometrycznych i, co za tym idzie, charakterystyki statycznej. Są to:

- możliwość doboru par dysz pomiarowych i wlotowych w celu uzyskania odpowiedniej czułości. Ze względu na wspólny otwór wylotowy obu dysz pomiarowych przyjęto, że ich średnice powinny być jednakowe. Dlatego taki dobór jest prosty tylko w tym

- wypadku, kiedy zasilanie jest symetryczne - czyli są dwa kanały z jednakowymi parami dysz pomiarowych i wlotowych,
- możliwość zmiany parametru h_c dającego inną wielkość wspólnego otworu wylotowego tej samej pary dysz,
- możliwość zmiany wielkości czoła dysz pomiarowych,
- możliwość uzyskania dwóch niezależnych charakterystyk o różnych właściwościach w różnych komorach przy zasilaniu asymetrycznym, którego skrajnym przypadkiem jest zaślepienie wlotu jednego kanału (komora bierna),
- możliwość łączenia obu charakterystyk w charakterystykę różnicową.

3. Program badań

Aby prześledzić wpływ zmian parametrów przetwornika na przebieg charakterystyk, wyszczególnione zostały następujące zadania:

- wyznaczenie charakterystyki statycznej przetwornika dla różnych pól przekroju otworu wylotowego;
- wyznaczenie charakterystyki statycznej dla poszczególnych pól przekroju otworu wylotowego przy różnych średnicach dysz wlotowych d_w (przepływ symetryczny);
- wyznaczenie charakterystyki statycznej dla poszczególnych pól przekroju otworu wylotowego przy różnych średnicach dysz wlotowych d_w (przepływ asymetryczny);
- wyznaczenie charakterystyki przepływowej dla obu kanałów przy stałym polu przekroju otworu wylotowego oraz przy jednakowych dyszach wlotowych.

W celu wyznaczenia charakterystyki statycznej przeprowadzono pomiary ciśnienia kaskadowego w zależności od wielkości szczeliny pomiarowej. Pomiary wykonano dla zestawu średnic dysz wlotowych przy różnych powierzchni wypływu. W tym celu dokonano podziału na kilka płaszczyzn czołowych co 0,25 mm dla dysz pomiarowych o średnicy 1,5 mm oraz co 0,1 mm dla pozostałych ($d_p=1,3$ i 1,0 mm) zaczynając od punktu przecięcia się osi otworów dysz pomiarowych. W ten sposób znając odległość płaszczyzny czołowej od tego punktu można obliczyć długość obwodu otworu, a więc i pole wypływu powietrza. Daje to możliwość zaobserwowania zmian przebiegu charakterystyki przetwornika w zależności od kształtu otworu wylotowego. Kolejne wartości h_c uzyskiwano drogą szlifowania czoła.

Dla każdego kolejnego zeszlifowania zmieniano geometrię dysz wlotowych. Przy zastosowaniu dysz pomiarowych $d_p=1,5$ mm dla każdej kolejnej wartości h_c przeprowadzono pomiar przyjmując następujące pary dysz wlotowych (tabela 1).

Tabela 1. Pary dysz wlotowych stosowanych z dyszami pomiarowymi $d_p=1,5$ mm
Table 1. Couples of the inlet nozzles set with the measuring nozzles $d_p=1.5$ mm

Kanał 1 (d_{w1})	0,985 mm	1,220 mm	1,510 mm	1,510 mm	1,510 mm	1,510 mm
Kanał 2 (d_{w2})	0,985 mm	1,220 mm	1,510 mm	zaślepiony	0,985 mm	1,220 mm

Podobnie dla pozostałych średnic dysz pomiarowych zastosowano dysze wlotowe 0,65; 0,7; 0,8 i 1,0 mm w różnych zestawieniach uzyskując zarówno symetryczny jak i asymetryczny wpływ powietrza w układach pomiarowych o wysokiej i niskiej czułości. Dzięki takim pomiarom można dokonać oceny przebiegu charakterystyk przetwornika w zależności nie tylko od wielkości dysz wlotowych, ale również od stopnia asymetrii wpływających strumieni powietrza. Skrajnym przypadkiem asymetrii jest zaślepienie jednego z kanałów.

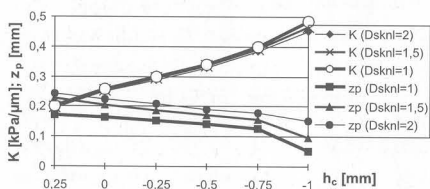
Dokonano również pomiarów nacisku pomiarowego, czyli wypadkowej siły działającej na przesłonę pomiarową. Podstawowym zadaniem w tym wypadku było ustalenie zależności nacisku od szerokości szczeliny pomiarowej oraz porównanie tej zależności z wykresami uzyskanymi dla przetworników prostych. Kształtowanie się przebiegu zmian nacisków było wyznaczone zarówno dla przetworników zasilanych symetrycznie jak i asymetrycznie.

4. Charakterystyki statyczne przy wypływie symetrycznym

Ze względu na większą złożoność parametrów geometrycznych przetwornika dwudysowego należy zwrócić uwagę przede wszystkim na parametry nie występujące w przetwornikach prostych, mianowicie wielkość h_c , która determinuje wielkość otworu wylotowego. Zwiększenie powierzchni wylotowej powoduje zwiększenie czułości, skrócenie odcinka prostoliniowego i przesunięcie go w kierunku mniejszych szczelin. Jest to typowe zachowanie układów pneumatycznych. Przetwornik dwudysowy ma tę zaletę, że nie wykazuje „uskoku” czułości, którym charakteryzują się klasyczne czujniki pneumatyczne. Uskok czułości pojawia się jedynie w przypadku małych czół nie wpływając na długość zakresu pomiarowego, gdyż ujawnia się ona daleko poza odcinkiem prostoliniowym. Zastosowanie większych dysz wlotowych powoduje typową zmianę charakterystyki, czyli zwiększenie odcinka prostoliniowego kosztem czułości.

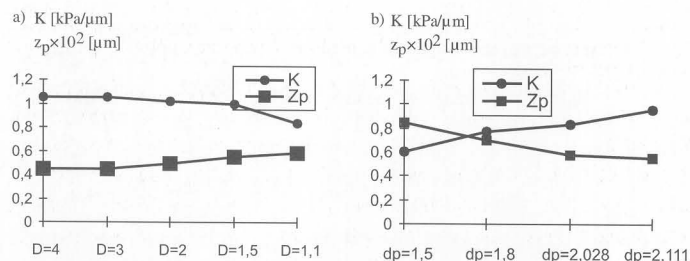
Wykresy (rys. 7) przedstawiają zmiany czułości i długości zakresu liniowego w funkcji pola wypływu powietrza, którego miarą jest odległość h_c . Parametrem jest w tym wypadku średniokwadratowy błąd nieliniowości D_{sknl} przyjmujący wartości 1; 1,5 i 2%.

Rys. 8 przedstawia wykresy dotyczące przetworników prostych. Ze względu na brak odpowiednika wielkości h_c na tych wykresach zmiany czułości K i zakresu pomiarowego z_p są pokazane w zależności od średnic dysz pomiarowych (zwiększenie powierzchni wypływu) oraz od wielkości czoła, która w mniejszym stopniu, ale również powoduje zmiany powyższych charakterystyk metrologicznych. Zauważalny jest większy wzrost czułości przetwornika dwudysowego przy wzroście obwodu otworu wylotowego przy jednoczesnym mniejszym skróceniu zakresu pomiarowego (rys. 7), niż w wypadku zwiększenia średnicy dyszy pomiarowej przetwornika prostego (rys. 8c). Zmiany wielkości czoła w czujniku prostym powodują pojawianie się omówionych w poprzednich rozdziałach zakłóceń skracających odcinek pomiarowy, co uwidacznia się w znacznie gorszym przebiegu przedstawionych na rys. 8c zmian. Takie porównanie pozwala stwierdzić, że czujnik dwudysowy zasilany symetrycznie posiada korzystniejsze



Rys. 7. Zmiany czułości K i długości zakresu pomiarowego z_p w zależności od h_c dla przetwornika $d_p=1,5$, $d_{w1}=1,51$ (kanał 1), $d_{w2}=0,985$ mm (kanał 2), $\bar{D}=4$

Rys. 7. The graphs of the sensitivity K and measuring range z_p versus h_c of the gauge $d_p=1,5$, $d_{w1}=1,51$ (1st channel), $d_{w2}=0,985$ mm (2nd channel), $\bar{D}=4$



Rys. 8. Zmiany czułości K i długości zakresu pomiarowego z_p w zależności od: a) wielkości czoła $\bar{D}=d_c/d_p$ dla przetwornika $d_p=2,028$, $d_w=0,8$ mm; b) średnicy dyszy pomiarowej d_p przy stałych $d_w=0,8$ mm i $\bar{D}=1,2$

Fig. 8. Graph of the sensitivity K and measuring range z_p versus: a) the head width $\bar{D}=d_c/d_p$ of the gauge $d_p=2,028$, $d_w=0,8$ mm; b) measuring nozzle diameter d_p with constant $d_w=0,8$ mm and $\bar{D}=1,2$

Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, że obserwuje się korzystny wpływ asymetrii wypływu powietrza na charakterystyki metrologiczne, uwidoczniony przede wszystkim przez brak gwałtownych zmian w przebiegu charakterystyk statycznych.

5. Obliczenie charakterystyk statycznych przetwornika

Charakterystyki pneumatycznych przyrządów pomiarowych dobrze przybliża wzór Głuchowa [1]:

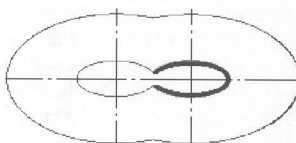
$$p_k = \frac{p_z}{1 + \left(\frac{\alpha_p A_p}{\alpha_w A_w} \right)^2} \quad (1)$$

gdzie: p_k - ciśnienie kaskadowe, p_z - ciśnienie zasilania, A_p , A_w - powierzchnie przepływu dla dyszy pomiarowej i wlotowej, α_p , α_w - współczynniki wypływu dla dyszy pomiarowej i wlotowej.

Autor [1] podaje też doświadczalnie ustalone wielkości współczynników wypływu układu pomiarowego α_p/α_w dla najbardziej rozpowszechnionych zestawów dysz oraz proponuje zastosować do obliczeń wielkość $\alpha=0,6$ dla $d_w=1$ mm i większych, i $\alpha=0,7$ dla $d_w < 1$ mm.

Powyższy wzór można zastosować do obliczenia charakterystyki statycznej przetwornika dwudysowego zasilanego symetrycznie ($d_{w1}=d_{w2}$). Należy jednak brać pod uwagę fakt, że współczynnik strat w zespole dysza pomiarowa - przesłona jest wyższy, niż w klasycznym układzie, ze względu na zderzenie i mieszanie dwóch strumieni.

Jednocześnie obliczenie powierzchni wypływu powietrza w wypadku przetwornika dwudysowego jest bardziej skomplikowane. Należy bowiem przyjąć długość obwodu do obliczenia powierzchni wypływu powietrza z jednego kanału $A_{p1}=l_{obw1} \times s$. Zakładając, że dla obu kanałów powierzchnia wypływu jest związana z obwodem fragmentów elips, oraz, że wpływ powietrza w kierunku drugiego strumienia nie następuje, możemy przyjąć, że dla jednego kanału obwód do obliczenia powierzchni wypływu będzie stanowiła część elipsy o długości $l_{obw1}=1/2 l_{obw}$, jak pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Obwód otworu przyjmowany do obliczenia powierzchni wypływu powietrza dla pojedynczego kanału przy zasilaniu symetrycznym

Fig. 9. Perimeter of the orifice calculated for the theoretical outlet surface when the inlet nozzles in both channels are of the same diameter (symmetrical feeding)

W ten sposób podstawiając do równania (1) powierzchnię wypływu $A_p=0,5 l_{obw} \times s$ otrzymujemy postać równania do obliczenia charakterystyki przetwornika dwudysowego zasilanego symetrycznie:

$$p_{k1} = p_{k2} = \frac{p_z}{1 + \left(\alpha \frac{2s l_{obw}}{\pi d_w^2} \right)^2} \quad (2)$$

Po przyjęciu zmiennych bezwymiarowych

$$y = \frac{p_k}{p_z}; \quad x = \frac{\alpha_p A_p}{\alpha_w A_w} = \alpha \frac{2 l_{obw}}{\pi d_w^2} s \quad (3)$$

otrzymujemy równanie (2) w następującej postaci:

$$y = \frac{1}{1 + x^2} \quad (4)$$

którą w celu uproszczenia obliczeń można zapisać również odwrotnie [3]:

$$x = \sqrt{\frac{1-y}{y}} \quad (5)$$

Uwzględniając, że $x=a \cdot s$, warunek na minimalną wartość błędu przybliżenia można za [1] zapisać następująco:

$$\sum_{i=1}^n \left(s_i - \frac{2}{a} \sqrt{\frac{1-y_i}{y_i}} \right)^2 = \min \quad (6)$$

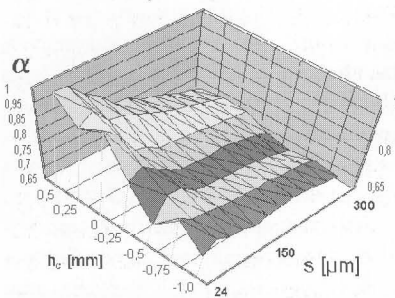
Po przyrównaniu pochodnej cząstkowej do zera i przekształceniu uzyskuje się zależność:

$$a = \frac{2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{1-y_i}{y_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(s_i \sqrt{\frac{1-y_i}{y_i}} \right)} \quad (7)$$

z której dla wyznaczonych doświadczalnie n par wartości s_p, p_{ki} można obliczyć wartość a spełniającą ten warunek. Można też obliczyć całkowity współczynnik wypływu α ze wzoru:

$$\alpha = \frac{\alpha_p}{\alpha_w} = \frac{a}{2} \cdot \frac{\pi d_w^2}{l_{obw}} \quad (8)$$

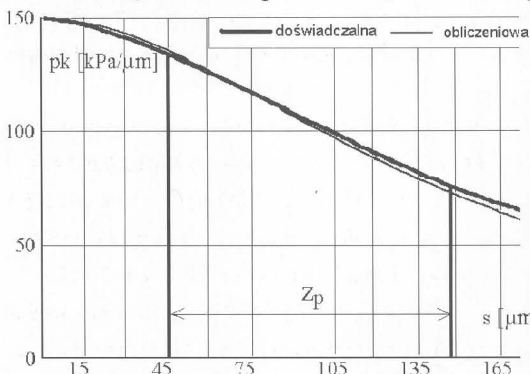
Obliczając w ten sposób współczynnik wypływu dla układów pomiarowych z dyszami ukośnymi uzyskano wyniki, które przedstawione zostały w postaci wykresów α w zależności od szerokości szczeliny pomiarowej s oraz odległości h_c (rys. 10). Znając współczynnik wypływu α można obliczyć przebieg teoretycznej charakterystyki statycznej. Przybliżenie wyników eksperymentu za pomocą wzoru Głuchowa (2) daje dobre rezultaty. Przyjmując wartość współczynnika wypływu układu pomiarowego $\alpha=0,8$ dla dysz wlotowych $d_{w1}=d_{w2}=0,7$ mm oraz pomiarowych $d_p=1,3$ uzyskujemy wykresy obliczeniowe zbliżone do rzeczywistych (rys. 11a i b) przy różnych wielkościach h_c .



Rys. 10. Wartości współczynnika wypływu α w funkcji szczeliny s dla różnych wielkości h_c dla przetwornika z dyszami pomiarowymi $d_p=1,5$ oraz wlotowymi $d_{w1}=d_{w2}=0,985$ mm

Rys. 10. Outlet coefficient α versus slot width s for different values of h_c of the gauge with measuring nozzles $d_p=1,5$ and inlet nozzles $d_{w1}=d_{w2}=0,985$ mm

Dla różnych wielkości h_c wykresy te pokrywają się w różnym stopniu. Wynika to ze zmienności współczynnika α , który zależy też od sposobu zderzenia się strumieni. Przy h_c bliższym zera kontakt strumieni następuje w większym stopniu wewnątrz wspólnego otworu dyszy, natomiast przy większych wartościach ujemnych h_c obszar zderzenia się strumieni przenosi się do szczeliny pomiarowej.



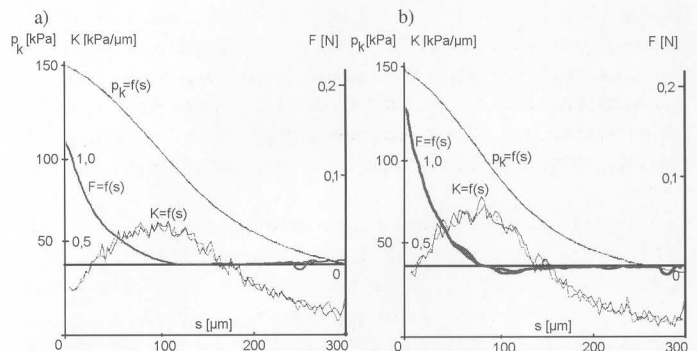
Rys. 11. Porównanie doświadczalnych i obliczeniowych (dla $\alpha=0,8$) charakterystyk statycznych przetwornika dwudyszowego o parametrach $d_p=1,3$, $d_{w1}=d_{w2}=0,7$ mm dla $h_c=-0,4$

Fig. 11. Comparison of the theoretical ($\alpha=0,8$) and experimental static characteristics of the gauge with skewed nozzles ($d_p=1,3$, $d_{w1}=d_{w2}=0,7$ mm, $h_c=-0,4$)

6. Analiza nacisków pomiarowych

Z metrologicznego punktu widzenia znajomość nacisku wypadkowego na powierzchnię przysłaniającą jest bardzo ważna, zwłaszcza w przypadku pomiarów materiałów o dużej podatności. Analizując kształtowanie się zmian nacisków w zależności od szerokości szczeliny pomiarowej s należy zwrócić uwagę na zależność ich przebiegu

od wielkości h_c . Jak zostało wyjaśnione w poprzednich rozdziałach, zmniejszanie wielkości h_c daje większe pole otworu wylotowego przy jednoczesnym zwiększeniu wielkości czoła. Oznacza to, że im mniejsza jest wielkość h_c , tym większa jest powierzchnia przesłony poddana działaniu ciśnienia zasilania przy szczelinie $s=0$, i, odpowiednio, wyższy jest nacisk wypadkowy na przesłonę przy małych szerokościach szczelin (zob. rys. 12). Dalsze zwiększenie szczeliny powoduje wzrost prędkości wypływającego powietrza, która jest większa dla większych otworów, w związku z czym w przetwornikach o mniejszej wielkości h_c osiągane są większe podciśnienia na przesłonie.



Rys. 12. Nacisk F na powierzchnię przesłaniającą w funkcji szerokości szczeliny s ($d_p=1,3$ mm; $d_{w1}=d_{w2}=0,700$ mm; $D=4$) a) $h_c=-0,4$ mm, b) $h_c=-0,6$ mm

Fig. 12. Measuring force F on the flapper versus slot width s ($d_p=1.3$ mm; $d_{w1}=d_{w2}=0.700$ mm; $D=4$) a) $h_c=-0.4$ mm, b) $h_c=-0.6$ mm

Wzajemne oddziaływanie strumieni powoduje szybkie zmniejszenie wartości nacisków do zera - w przykładzie przedstawionym na rys. 12a już przy $s=120$ μm nacisk wynosi $N=0$. Nieznaczące wahanie nacisku (do wartości ok. $-0,01$ N) występuje daleko poza zakresem pomiarowym i wykazuje histerezę. Wskazuje to na uskokową zmianę charakteru rozprężania się powietrza w szczelinie nie wpływającą jednak na przebieg charakterystyki statycznej przetwornika. Stabilny przebieg rozprężania się powietrza przy różnych wartościach szczeliny jest bardzo ważną zaletą przetwornika dwudyszowego, gdyż pozwala na wykorzystanie całego zakresu pomiarowego.

7. Uwagi końcowe

Czujnik dwudyszowy z dyszami ukośnymi stanowi nowe rozwiązanie konstrukcyjne przetwornika pneumatycznego do pomiaru długości. Został on zbudowany w taki sposób, aby uniknąć osiowej symetrii wypływu powietrza, co miało polepszyć jego właściwości metrologiczne w porównaniu do przetwornika prostego przy minimalnym zwiększeniu kosztów wykonania. Jednocześnie budowa przetwornika stworzyła nowe możliwości kształtowania charakterystyk metrologicznych.

Badania rozkładów ciśnień oraz nacisków pomiarowych wypadkowych na powierzchnię przysłaniającą potwierdziły słuszność przypuszczenia, że pojawienie się „uskoków” czułości charakterystyk statycznych jest związane z osiową symetrią wypływu powietrza. Przy wzajemnym oddziaływaniu dwóch strumieni pochylonych do siebie w szczelinie pomiarowej powstają strefy podciśnień (wysokie prędkości) już przy bardzo małych szczelinach pomiarowych. Dalsze zwiększanie szczeliny powoduje stopniowe rozszerzanie tych stref i ich przesunięcie, które zachodzi bez gwałtownych zjawisk oderwania strumienia. Przy zasilaniu tylko jednego kanału rozkład ciśnień na przesłonie wygląda inaczej, ale również w tym wypadku zwiększanie się szczeliny pomiarowej nie powoduje niekorzystnych zmian. W ten sposób stosowanie przetwornika dwudyszowego nie posiada ograniczeń związanych ze uskokiem na wykresie czułości przetwornika prostego, często w znaczny sposób skracającym jego zakres pomiarowy. Oznacza to, że nie ma konieczności stosowania małych czoł, a wręcz przeciwnie, zwiększając wielkość czoła można uzyskać pożądane parametry metrologiczne, jak np. wartość nacisku

miarowego zbliżoną do zera. Jednocześnie można stwierdzić, że większe czoła zwiększają współczynnik wypływu i oddziałują stabilizującą na rozprężające się w szczelinie strumienie powietrza.

Ważną zaletą przetwornika dwudyszowego jest szerokie pole możliwości ukształtowania otworu wylotowego za pomocą parametru h_c . Ze względu na brak analogii w czujniku prostym z racji zmian pola powierzchni wypływu powietrza wpływ tego parametru na charakterystykę statyczną został porównany do wpływu zmian średnicy dyszy pomiarowej. Charakterystyki statyczne przetwornika dwudyszowego uzyskane dla różnych h_c wykazują poprawę parametrów metrologicznych, wynikającą ze wzajemnego oddziaływania wpływających strumieni powietrza jeszcze przed opuszczeniem wspólnego otworu dyszy pomiarowej.

Dodatkową możliwością stwarza budowa przetwornika, w którym każdy kanał jest zasilany oddzielnie. Dzięki temu możliwe jest zasilanie tylko jednego kanału z odczytem wielkości ciśnienia pomiarowego w obu (kanały czynny i bierny). Również zaletą w porównaniu do przetwornika prostego jest możliwość uzyskania sygnału różnicowego będącego różnicą wskazań każdego z kanałów. Dzięki temu uzyskuje się charakterystykę różnicową mającą własny przebieg i cechy metrologiczne.

Podsumowując wyniki badań dwudyszowego przetwornika pneumatycznego z dyszami ukośnymi można wydzielić dwie podstawowe grupy zalet w porównaniu do przetworników prostych: zalety związane z parametrami metrologicznymi oraz związane z możliwościami ukształtowania charakterystyk statycznych w zależności od zadania pomiarowego.

1) **Możliwości kształtowania charakterystyk statycznych.** W przetwornikach prostych podstawowym czynnikiem decydującym o przebiegu charakterystyki statycznej jest średnica dysz wlotowej i pomiarowej. Dodatkowo, ale w znacznie mniejszym stopniu, wpływ na jej przebieg ma wielkość czoła oraz wyprofilowanie otworu dyszy, które przeważnie są stosowane w celu optymalizacji warunków wypływu powietrza i zmniejszenia wpływu niekorzystnych zjawisk gazodynamicznych. Jeżeli chodzi o parametry konstrukcyjne, istotny wpływ na przebieg charakterystyk statycznych posiadają:

- średnice dysz wlotowych i pomiarowych,
 - zasilanie obu kanałów poprzez dysze wlotowe o jednakowych lub różnych średnicach oraz zasilanie jednego tylko kanału,
 - kształt wspólnego otworu wylotowego dysz pomiarowych określony parametrem h_c ,
 - szerokość czoła dysz pomiarowych,
- oraz dodatkowo profil otworów dysz, podobnie jak u przetworników prostych. Otwiera to szerokie możliwości dostosowania charakterystyki statycznej do aktualnych potrzeb.

2) **Parametry metrologiczne.** Porównując parametry metrologiczne przetwornika dwudyszowego i przetworników prostych zauważyć można niewątpliwą wyższość nowego rozwiązania. Dotyczy to różnych sposobów zasilania przetwornika dwudyszowego:

- przy zasilaniu symetrycznym uzyskuje się charakterystyki statyczne zbliżone do czujników prostych, ale pozbawione niekorzystnych uskoku czułości, dzięki czemu zakres pomiarowy jest wykorzystany w pełni,
- przy zasilaniu asymetrycznym czujnik posiada dwie charakterystyki o parametrach lepszych niż w przypadku przetworników prostych, przy czym charakterystyka komory biernej zdecydowanie przewyższa możliwości przetworników prostych posiadając zakresy kilkakrotnie większe przy porównywalnej czułości,
- istnieje możliwość uzyskania charakterystyki różnicowej eliminującej przypadkowe wahania ciśnienia w komorach przetwornika.

Podstawową zaletą przetwornika jest zastąpienie osiowej symetrii wypływu, dzięki czemu zjawisko oderwania strumienia nie skracca zakresu pomiarowego.

Należy stwierdzić, że lepsze charakterystyki statyczne posiadają czujniki, w których wspólny otwór wylotowy składa się z dwu elips, w małym stopniu ze sobą połączonych. Wynika to ze stopnia

oddziaływania na siebie strumieni powietrza: jeżeli otwory obu dysz są ze sobą rozdzielone, takie oddziaływanie nie zachodzi; jeżeli natomiast są ze sobą połączone w dużym stopniu, ich wzajemne wymieszanie się jeszcze wewnątrz dyszy powoduje wypływ do szczeliny jednego tylko wspólnego strumienia - czujnik działa wówczas jak czujnik prosty. Należy również brać pod uwagę wielkość czoł przetwornika, zwłaszcza w układzie asymetrycznym. Ogólnie można sformułować zasadę, że przy jednakowej wielkości h_c czujnik o większych czołach posiada większą czułość.

Czoła również wpływają na przebieg zmian nacisku pomiarowego w funkcji szczeliny pomiarowej. Tak samo, jak w przetwornikach prostych, nacisk wypadkowy na przesłonę pomiarową zmniejsza się przy zwiększeniu szerokości czoła dyszy pomiarowej, wywołując często naciski ujemne. Jednak w przypadku przetworników prostych zwiększenie czoła powoduje nasilenie niekorzystnych zjawisk gazodynamicznych skracających zakres pomiarowy, i dlatego raczej niemożliwe byłoby kształtowanie czoł z myślą o nacisku pomiarowym. Czujnik dwudyszowy daje taką możliwość, ponieważ zjawisko uskoku czułości tutaj nie występuje. Jako zalecenie konstrukcyjne również można zaznaczyć, że zasadniczo wypadkowe naciski pomiarowe są zbliżone do zera przy stosunku średnicy zewnętrznej do średnicy otworu dyszy pomiarowej w granicach 2-4.

Dwudyszowy czujnik pneumatyczny z dyszami ukośnymi pod wieloma względami przewyższa czujniki proste, a jednocześnie nie posiada skomplikowanej konstrukcji wymagającej wysokiej dokładności wykonania. Można stwierdzić, że stanowi on nowe rozwiązanie w dziedzinie pneumatycznych pomiarów długości, którego zalety są połączone ze stosunkowo niewielkim wzrostem kosztów wykonania i brakiem wzrostu kosztów eksploatacji. Już na obecnym etapie może on wywołać zainteresowanie w przemyśle, gdzie mógłby zastąpić czujniki proste w każdym układzie pomiarowym. W przyszłości jednak należałoby opracować dokładniejsze wzory i modele matematyczne, zwłaszcza dotyczące charakterystyki statycznej kanału biernego oraz rozprężania się powietrza w szczelinie pomiarowej przy zasilaniu symetrycznym i asymetrycznym.

Literatura

- [1] Gluchow W. I., Rasczot charakteristik pneumaticzeskich sistem vysokogo dawlenija dla izmerenija razmerow, „Izmeritel'naja tehnika” 1971, nr 6, s. 107.
- [2] Rucki M., Ocena statycznych właściwości metrologicznych czujnika pneumatycznego z dyszami ukośnymi. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1997.
- [3] Soboczyński R. J., Badanie właściwości metrologicznych pneumatycznych przyrządów wysokociśnieniowych. Praca doktorska, Wrocław 1978.
- [4] Jermak Cz. J., Rucki M., Marlewski A., Measuring of the Cylindrical Details by the Double-Nozzled Pneumatic Sensor, 8th International DAAAM Symposium, University of Zagreb, ICCU Dubrovnik 1997, s. 145-146.
- [5] Jermak Cz. J., Rucki M., Ocena wpływu geometrii zespołu dysza pomiarowa - przesłona na charakterystyki metrologiczne czujnika pneumatycznego, Konferencja „Manufacturing 2001”, Poznań 8-9.11.2001, Materiały konferencyjne t. 2, s. 179-186.
- [6] Breitinger R., Fehlerquellen beim pneumatischen Langenmessen. Dissertation, TU Stuttgart 1969.
- [7] Lotze W., Neue Methoden zur Berechnung pneumatischer Feinzeiger. „Feingeratetechnik”, 15. Jg. Heft 6/1966, s. 275-281.

Title: Chosen Metrological Aspects of the Application in the Air Gauge of the Two Skewed Measuring Nozzles