

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Koncepcja pneumatycznych przyrządów PneuStar do pomiarów długości

CZESŁAW JANUSZ JERMAK

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I ZARZĄDZANIA,
INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Słowa kluczowe: pneumatyczny przetwornik długości, pomiar długości metodą pneumatyczną

STRESZCZENIE

W artykule omówiono wybrane aspekty konstrukcji i wzorcowania pneumatycznych przyrządów pomiarowych. Układy konstrukcyjne przyrządów można podzielić na dwie grupy: z pomiarem za pomocą przetworników mechanicznych oraz z przetwornikami elektronicznymi ciśnienia. To ostatnie rozwiązanie zastosowano w przyrządzie PneuStar, dla którego opracowano inną niż dotychczas stosowane w praktyce procedurę wzorcowania. Przyrząd posiada zwartą budowę, w której zintegrowano komputer panelowy oraz zespół przetwarzania i pomiaru ciśnienia. Procedurę wzorcowania oparto na spostrzeżeniu, że zlinearyzowane charakterystyki statyczne przecinają się w jednym punkcie. Dzięki temu uproszczona została procedura wzorcowania, a zakres pomiarowy przyrządu jest dobierany automatycznie.

Concept of the pneumatic devices PneuStar for dimensional measurement

Keywords: air gauge, dimensional measurement

ABSTRACT

In the paper, the construction of new pneumatic devices for dimensional measurement and their calibration principle are described. Such a devices could be divided into two groups: ones based on the mechanical manometers scaled in the dimensional units and the ones based on the electronic pressure transducers. The latter solution was applied in the PNEUSTAR device. Additionally, innovative calibration procedure has been worked out for this device. Typically, PNEUSTAR is an integrated unit in one housing with a computer panel and pressure transducer unit. The calibration procedure applied the observation that the linearized static characteristics of the operated air gauges start in the same point. It simplified the calibration procedure, and the measurement range is being set automatically.

1. WPROWADZENIE

Rozwój mechanizacji i automatyzacji procesów produkcji części maszyn jest ściśle związany z doskonaleniem metod kontroli części maszyn. Szczególna rola przypada przyrządom realizującym pomiary metodą bezstykową, do których zaliczane są między innymi pneumatyczne przyrządy pomiarowe [1]. Stanowią one ważną grupę narzędzi pomiarowych stosowanych w dokładnych pomiarach części maszyn. Są aplikowane w biernych i czynnych układach kontroli wymiaru i kształtu [2, 3].

Ze względu na możliwość pomiaru w trudnych warunkach pracy (drgania i dynamiczny charakter pomiaru, obecność w strefie pomiaru chłodziwa i pyłu) wykazują zdecydowaną przewagę nad przyrządami wykorzystującymi inną zasadę pomiaru. Ponadto pneumatyczne przyrządy pomiarowe cechują:

- prosta konstrukcja większości typów głowic pomiarowych,
- bardzo duża niezawodność,
- niewrażliwość na zewnętrzne zanieczyszczenia,
- samooczyszczanie strefy pomiaru,
- bezstykowy pomiar,
- prosta zmiana parametrów metrologicznych.

Współcześnie wytwarzane przyrządy pneumatyczne wyposażone są w specjalizowaną elektronikę umożliwiającą przetwarzanie sygnału pneumatycznego na elektryczny [3]. Umożliwiają współpracę z komputerem, archiwizację danych, sterowanie zewnętrznymi urządzeniami itp. Dorównują w tym względzie najnowszym rozwiązaniom przyrządów z czujnikami indukcyjnymi lub optoelektronicznymi. Elementami składowymi przyrządów są głowice pomiarowe, które w zależności od zadania pomiarowego, kształtu i wymiarów mierzonej części, posiadają zróżnicowaną konstrukcję. Najprostsze, jednodyszowe stosowane są w pomiarach odchyłki promienia powierzchni walcowych lub zarysu powierzchni płaskich. W bardziej skomplikowanych, średnicówkach oraz głowicach do pomiarów odchyłek kształtu i położenia, liczba dysz wynosi od dwóch do kilkunastu [1, 4].

2. ZASADA DZIAŁANIA I KONSTRUKCJA PRZETWORNIKÓW

Głowica pomiarowa w połączeniu z dyszą wlotową tworzy pneumatyczny przetwornik (czujnik)

długości. Działanie przetwornika związane jest ze zmianą parametrów powietrza przepływającego przez jego elementy przepływowe. Zmiana jest wywołana przyrostem bądź zmniejszeniem szczeliny pomiarowej utworzonej pomiędzy czołem dyszy pomiarowej a powierzchnią mierzonego przedmiotu. W zależności od tego, jaki parametr przepływu jest mierzony, przetworniki dzielą się na przepływowe i ciśnieniowe [5], przy czym do przepływowych zaliczane są również takie, w których mierzona jest prędkość przepływu.

Stosowany powszechnie w pomiarach pneumatycznych jednokaskadowy przetwornik ciśnieniowy zbudowany jest z dyszy wlotowej 1, komory pomiarowej 2 oraz dyszy pomiarowej 3 (Rys. 1a). W rozwiązaniach technicznych może występować większa liczba dysz pomiarowych o identycznych średnicach. Przetworniki są zasilane uzdatnionym powietrzem spełniającym warunki oczyszczenia wg drugiej klasy jakości stanu powietrza technicznego [1].

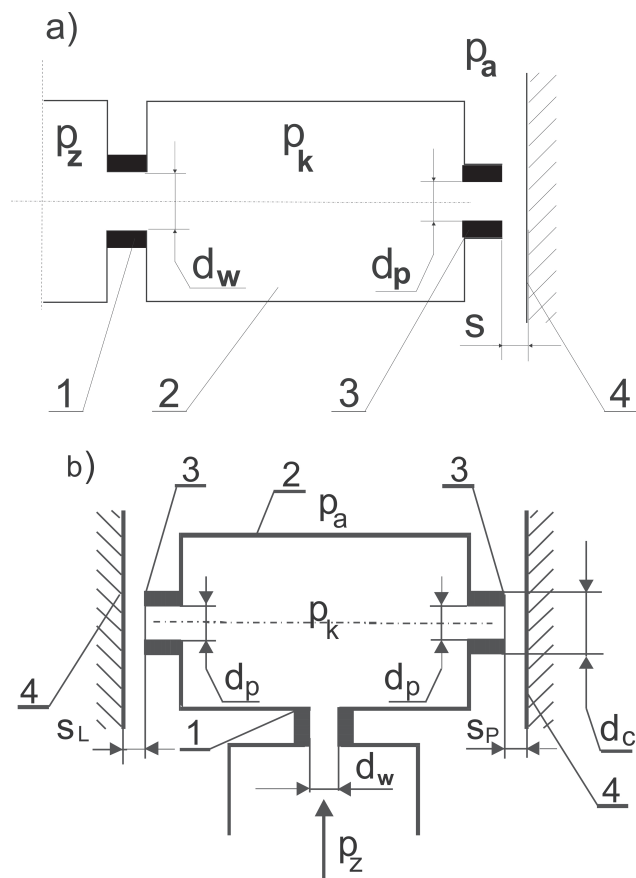
W praktyce najczęściej stosowane są przyrządy, w których ciśnienie zasilania p_z spełnia warunek $p_z \geq 150$ kPa nadciśnienia.

Aby zapewnić poprawną pracę przyrządów pomiarowych wymagana jest stabilizacja ciśnienia zasilania p_z z dużą dokładnością (wahania nie powinny przekraczać 0,03%).

Podczas pomiaru w komorze pomiarowej panuje ciśnienie kaskadowe p_k , którego wartość uzależniona jest od wymiaru s szczeliny pomiarowej oraz geometrii (wymiaru i ukształtowanie części wlotowej) dysz 1 i 3.

Przetworniki dwudyszowe (średnicówki dwupunktowe) najczęściej stosowane są w konfiguracji przedstawionej na Rysunku 1b. Zastosowanie dwóch dysz pomiarowych 3 połączonych wspólnym kanałem tworzącym komorę pomiarową 2 eliminuje konieczność dokładnego współosiowego ustawienia przedmiotu względem czoł dysz 3, wpływając tym samym na zwiększenie dokładności pomiaru. Wypadkowa szczelina pomiarowa wynosi $s = s_L + s_p$, a mierzony przedmiot może zajmować dowolne położenie w granicach szczeliny s .

We współczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych pneumatycznych przyrządów pomiarowych pomiar ciśnienia dokonywany jest za pomocą mechanicznych przetworników ciśnienia (manometry precyzyjne), elektronicznych przetworników piezorezystancyjnych z układem autokompensacji temperatury i przetwornikiem A/C. Stosowany jest również [3, 4] kombinowany sposób



Rysunek 1 Jednokaskadowy pneumatyczny przetwornik do pomiaru długości (PPD): a) jednodyszowy, b) dwudyszowy do pomiaru wymiarów wewnętrznych, 1 – dysza wlotowa, 2 – komora pomiarowa, 3 – dysza pomiarowa, 4 – przesłona [7]

Figure 1 Single-cascade air gauge for length measurement: a) with one nozzle, b) with two nozzles, for measurement of internal dimensions, 1 – inlet nozzle, 2 – measuring chamber, 3 – measuring nozzle, 4 – flapper [7]

zamiany ciśnienia pomiarowego na sygnał elektryczny – przetwornik membranowy ciśnienia skojarzony jest z indukcyjnym czujnikiem przemieszczenia mierzącym przemieszczenie membrany. Manometry mechaniczne stosowane są w prostszych konstrukcjach niewymagających współpracy z urządzeniami archiwizującymi dane pomiarowe, natomiast pozostałe rozwiązania nie mają tych ograniczeń. W przyrządach stosowane bywają również przełączniki ciśnienia, których zadaniem jest sterowanie elementami wykonawczymi obrabiarki względnie selektorem mierzonych części.

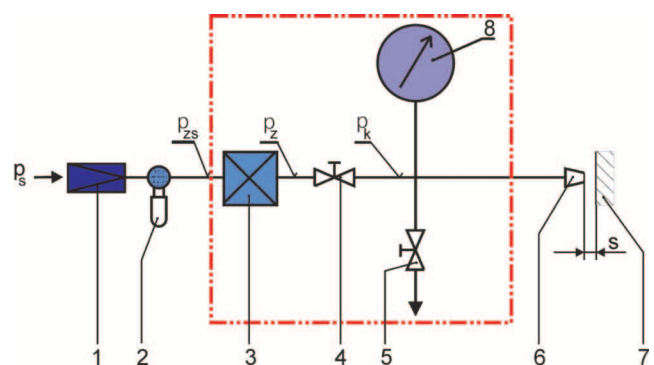
Schemat ideowy budowy przyrządu z mechanicznym przetwornikiem ciśnienia przedstawia Rysunek 2.

Komorę pomiarową stanowi część układu mechanicznego znajdującego się w przyrządzie pomiarowym (obszar otoczony czerwoną linią) połączony od dyszy 4 wraz z giętkim przewodem

podłączonym aż do dyszy głowicy pomiarowej 6 (pneumatycznego przetwornika długości). Zawór 5 służy do ustawienia położenia wskazówki manometru 8 odpowiadającego wartości jednej z dwóch odchyłek wzorca.

W przyrządach z przetwornikiem elektronicznym funkcja ta realizowana jest sposobem elektrycznym.

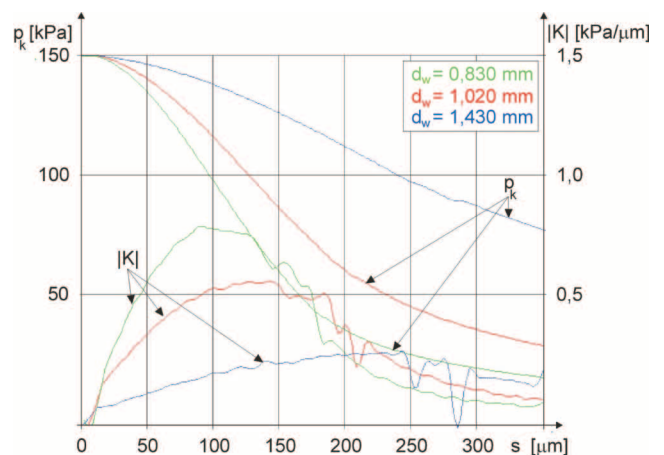
Podstawową charakterystyką metrologiczną przyrządów pneumatycznych jest charakterystyka statyczna $p_k = f(s)$ (Rys. 3), jednak do analizy zakłóceń jej przebiegu wygodnie jest posłużyć się charakterystyką czułości $|K| = g(s)$ prezentującą zmianę pochodnej ciśnienia pomiarowego p_k względem szczeliny pomiarowej s .



Rysunek 2 Schemat pneumatycznego przyrządu pomiarowego z przetwornikiem mechanicznym [6]

Figure 2 The schematic diagram of the pneumatic measuring system with mechanical sensor [6]

Widoczne na Rysunku 3 [7] zakłócenia w przebiegu charakterystyk czułości ograniczają zakres pomiarowy przetwornika i są efektem złożonych zjawisk przepływowych w strefie szczeliny pomiarowej.



Rysunek 3 Przebiegi charakterystyk statycznych $p_k = f(s)$ i czułości $|K| = g(s)$ pneumatycznego przetwornika długości w zależności od średnicy dyszy wlotowej; $d_p = 2,006$ mm [7]

Figure 3 Static characteristics $p_k = f(s)$ and sensitivity $|K| = g(s)$ of air gauge depending on the diameter of the inlet nozzle; $d_p = 2,006$ mm [7]

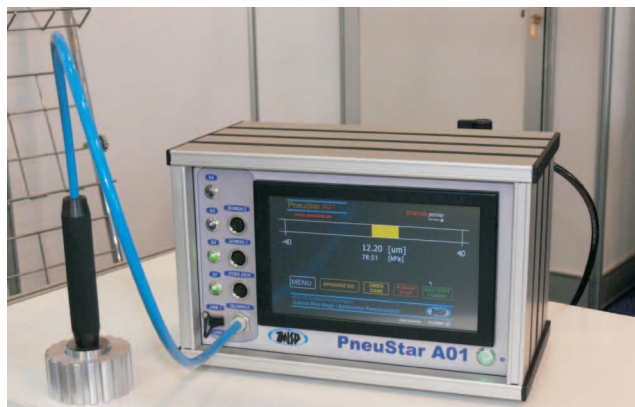
Najprostszym sposobem ustalenia parametrów metrologicznych przyrządu jest zmiana średnicy d_w dyszy wlotowej. Na Rysunku 3 przedstawiono rodzinę charakterystyk przetwornika z dyszą pomiarową o średnicy $d_p = 2,006$ mm uzyskaną dla różnych średnic d_w . W pomiarach wymagających częstego dopasowania przyrządu do zadania pomiarowego zamiast stałych dysz wlotowych stosuje się zawór iglicowy.

Przygotowanie przyrządu do pracy polega na uzyskaniu wskazania zgodnego ze zmianą wymiaru zapewnioną przez wzorce. W tym celu wykorzystuje się zestaw składający się przeważnie z dwóch, a rzadziej z trzech wzorców i poprzez regulację zaworem iglicowym doprowadza się do zgodności wskazań z wartością odchyłek wzorca. Metoda oprócz pracochłonności nie pozwala na efektywną minimalizację błędów nieliniowości, ponieważ utrwalona charakterystyka statyczna jest aproksymowana co najwyżej dwoma odcinkami. W przyrządach Pneutronik [6], patent PL 203272, produkowanych przez Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie, przewidziano możliwość zastąpienia charakterystyki statycznej 15 odcinkami. W tym przypadku konieczne jest jednak zastosowanie specjalizowanego stanowiska stanowiącego źródło wielkości wzorcowej. Przyrządy Pneutronik zbudowane są w oparciu o koncepcję specjalizowanych modułów sterowanych z układów mikroprocesorowych, co komplikuje konstrukcję przyrządu i stało się przyczynkiem do opracowania innego rozwiązania.

3. KONCEPCJA PRZYRZĄDU PNEUSTAR

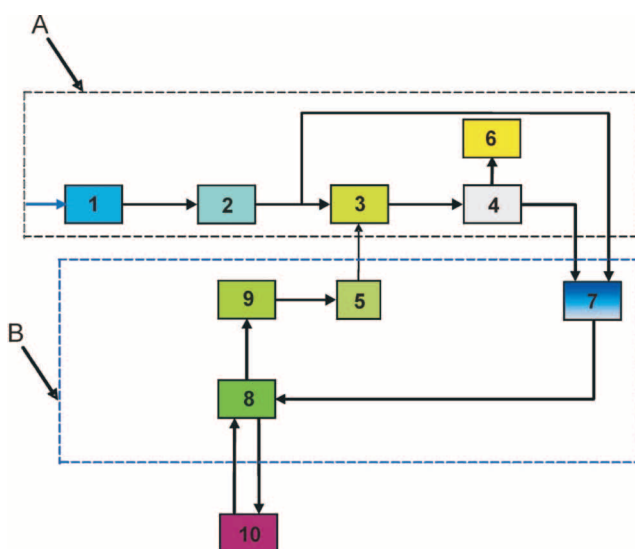
W przeciwieństwie do przyrządów Pneutronik w których zastosowano specjalizowane układy elektroniczne, bazę sprzętową systemu PneuStar – zgłoszenie P 390791 – stanowi komputer panelowy z ekranem dotykowym (Rys. 4). Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie dowolnego oprogramowania pracującego pod nadzorem systemu operacyjnego Windows XP.

Przyrząd składa się z bloku pneumatycznego A, i elektronicznego B oraz komputera 10 (Rys. 5). Blok pneumatyczny A zawiera: filtr dokładnego oczyszczania 1, stabilizator ciśnienia 2, zawór iglicowy 3 połączony z komorą pomiarową 4. Oś zaworu iglicowego 3 połączona jest mechanicznie z silnikiem krokowym 5, sterowanym z komputera 10 za pośrednictwem sterownika 9 połączony z kontrolerem 8.



Rysunek 4 Widok pneumatycznego przyrządu pomiarowego PneuStar A01 (Targi ITM 2010 – Poznań) [7]

Figure 4 The pneumatic measuring system PneuStar A01 (Fair ITM 2010 – Poznań) [7]

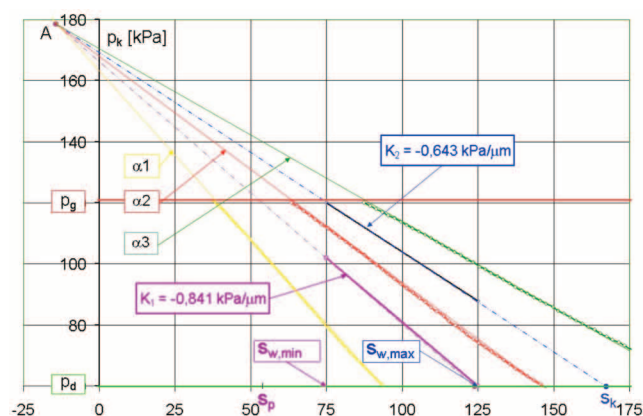


Rysunek 5 Schemat strukturalny pneumatycznego przyrządu pomiarowego PneuStar A01 [7]

Figure 5 Structural diagram of the pneumatic measuring system PneuStar A01 [7]

Ciśnienie pomiarowe w komorze jest mierzone czujnikiem piezorezystancyjnym 7 z układem autokompensacji temperaturowej. Pomiar ciśnienia odbywa się metodą różnicową. Czułość przyrządu jest ustalana za pomocą zaworu iglicowego 3. Element ten regulując natężenie przepływu powietrza wpływa na nachylenie charakterystyki statycznej i tym samym na czułość. Zmianę położenia iglicy zapewnia silnik krokowy 5 sterowany z komputera poleceniami wydawanymi przez operatora. Do przyrządu podłączona jest głowica pomiarowa 6.

W procedurze ustalania parametrów metrologicznych – głównie zakresu pomiarowego – wykorzystano spostrzeżenie, że zlinearyzowane rzeczywiste charakterystyki statyczne przecinają się w jed-



Rysunek 6 Doświadczone i zlinearyzowane charakterystyki statyczne przyrządu pomiarowego PneuStar A01, $d_p = 2,006$ mm [7]

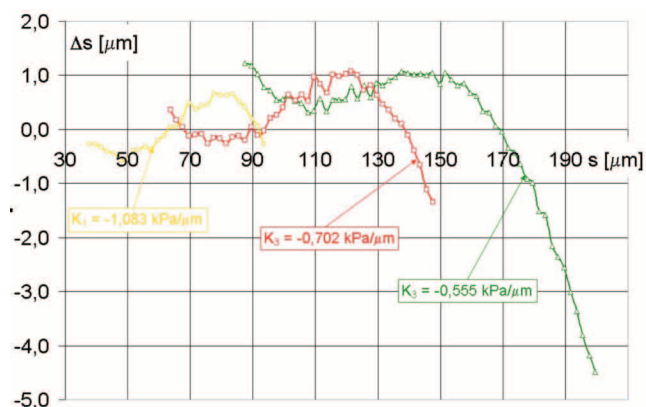
Figure 6 Experimental and linearized static characteristics of a measuring system PneuStar A01, $d_p = 2,006$ mm [7]

nym punkcie A (Rys. 6). Pozwala to w dalszych krokach traktować ten punkt jako odniesienie do wyznaczania charakterystyk liniowych o pożądanej czułości. Rysunek 6 przedstawia przebiegi rzeczywistych i zlinearyzowanych charakterystyk statycznych uzyskanych dla trzech różnych α_1 , α_2 i α_3 (różne czułości) ustawień precyzyjnego zaworu iglicowego 3.

Mając na uwadze minimalizację błędu nieliniowości charakterystyk doświadczalnych, w przyrządach PneuStar ograniczono zakres zmienności ciśnienia pomiarowego p_k do wartości opisanych przez ciśnienia graniczne dolne p_d i górne p_g . Jeżeli jest spełniony ten warunek, możliwe staje się wyznaczenie dowolnych charakterystyk przebiegających w obszarze zmian ciśnienia pomiarowego. Projektując skalę przyrządu pomiarowego, bądź tablicę kalibracyjną należy wziąć pod uwagę fakt zwiększania się w końcowych fragmentach charakterystyki błędu aproksymacji funkcją liniową (Rys.7). Stąd w wielu konstrukcjach przyrządów pneumatycznych spotyka się nierównomierne rozłożenie wskazań na podzielnicy, zwłaszcza w pobliżu końca zakresu pomiarowego. Kompensuje się w ten sposób nieliniowość charakterystyki statycznej.

W procesie wzorcowania zmierzona wartość ciśnienia pomiarowego jest porównywana z zadaną, a różnica tych wartości wypracowuje sygnał uruchamiający zawór 3.

W pamięci komputera 10 utworzona jest tablica kalibracyjna zawierająca informacje o głowicy pomiarowej 6 i wzorcach użytych w procesie wzorcowania.



Rysunek 7 Różnice wskazań przyrządu PneuStar dla różnych czułości, wynikające z linearyzacji charakterystyk statycznych, $d_p = 2,006$ mm [7]

Figure 7 Differences of results occurred from PneuStar for setting different sensitivity followed from the linearization of static characteristics, $d_p = 2,006$ mm [7]

Na Rysunku 6 pokazano przykładowe przebiegi zlinearyzowanych charakterystyk statycznych oraz położenie punktów wzorcowania ustalonych przez wzorce pierścieniowe o wymiarach $s_{w,max}$ – odchyłka 125 μm i $s_{w,min}$ – odchyłka 75 μm . Współrzędne punktów przecięcia prostych o czułości K_1 ($s_p = 56,3$ μm) i czułości K_2 ($s_k = 168,3$ μm) wyznaczają na osi szczeliny – dla przyjętych wzorców – zakres zmiany szczeliny pomiarowej – $z_s = 112$ μm . Wartość s_p stanowi jednocześnie minimalną szczelinę pomiarową, począwszy od której może być wykonywany pomiar. Możliwe do wykorzystania charakterystyki posiadają zakres czułości $K < -0,643 \div -0,841 >$ kPa/ μm . Odpowiednio do zmian czułości zmienia się zakres pomiarowy od 68,7 μm do 95 μm . Po wyborze przez operatora czułości z wyżej podanego zakresu przyrząd jest gotowy do pomiaru.

Przyrządem PneuStar możliwe są również pomiary z mniejszą lub większą czułością od podanej wyżej – proste α_1 i α_3 . Oprócz zmiany zakresu i czułości zmianie ulega wówczas wartość błędu nieliniowości, który w skrajnym przypadku może przekroczyć dopuszczalną granicę w przyrządach pneumatycznych wartość $d_1 = 2\%$.

Na Rysunku 7 pokazano wyniki badań odchyłek charakterystyk zlinearyzowanych od rzeczywistych dla położenia α_1 , α_2 i α_3 iglicy zaworu. Dla przypadku największej czułości $K = -1,083$ kPa/ μm , prosta α_1 – odchylenie wynosi $\Delta s = +0,7$ μm przy szczelinie $s = 77,6$ i 83,5 μm , co zapewnia błąd nieliniowości $d_1 = 1,25\%$. Chcąc realizować pomiary w dużym zakresie pomiarowym $z_p = 112$

μm , prosta a3, czułość $K = -0,555 \text{ kPa}/\mu\text{m}$ – należy się liczyć z błędem nieliniowości rzędu 4% (Rys. 7). Jednym ze sposobów przeciwdziałania jest ograniczenie zakresu pomiarowego, względnie zastosowanie dwuodcinkowej linearyzacji charakterystyki statycznej.

W konkluzji należy stwierdzić, że przedstawiona w artykule koncepcja przyrządu do pomiarów pneumatycznych PneuStar stanowi kolejny krok w rozwoju nowoczesnych narzędzi pomiarowych do dokładnych pomiarów długości.

LITERATURA

- [1] Zelczak A., Pneumatyczne pomiary długości, Warszawa, WKŁ, 2002.
- [2] Kondaszewski W. W., Lotze W., Urządzenia pomiarowo-sterujące obrabiarek, Warszawa, WNT, 1979.
- [3] Mahr Dimensional Metrology Catalog, 2012.
- [4] Technische Information (pneumatische Fertigungsmesstechnik), Rudolf Nieberding GmbH, 2000.
- [5] Farago F. T., Curtis M. A. (2004), Handbook of Dimensional Measurement, New York, Industrial Press Inc., 2004.
- [6] Jermak Cz. J., Chuchro Z., Pneumatyczne przyrządy do pomiaru długości Pneutronik – od koncepcji do realizacji, Materiały I Międzynarodowej Konferencji „Metrologia w Technikach Wytwarzania”, Kraków 25-27, 09 2003, t. 1, s. 87-95.
- [7] Jermak Cz. J., Teoretyczne i praktyczne aspekty kształtowania statycznych właściwości metrologicznych pneumatycznych przetworników długości, Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, seria Rozprawy, Nr 476, 2012.