

## **Badanie przewodności pneumatycznego modulatora ABS**

**JAROSŁAW CZABAN, MIKOŁAJ MIATLUK**

Politechnika Białostocka

W pracy przedstawiono metodykę badań charakterystyk przepływowych pneumatycznego modulatora ABS. Na podstawie wykonanych badań dokonano komputerowej identyfikacji przewodności modulatora 472 195. Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów i tabel.

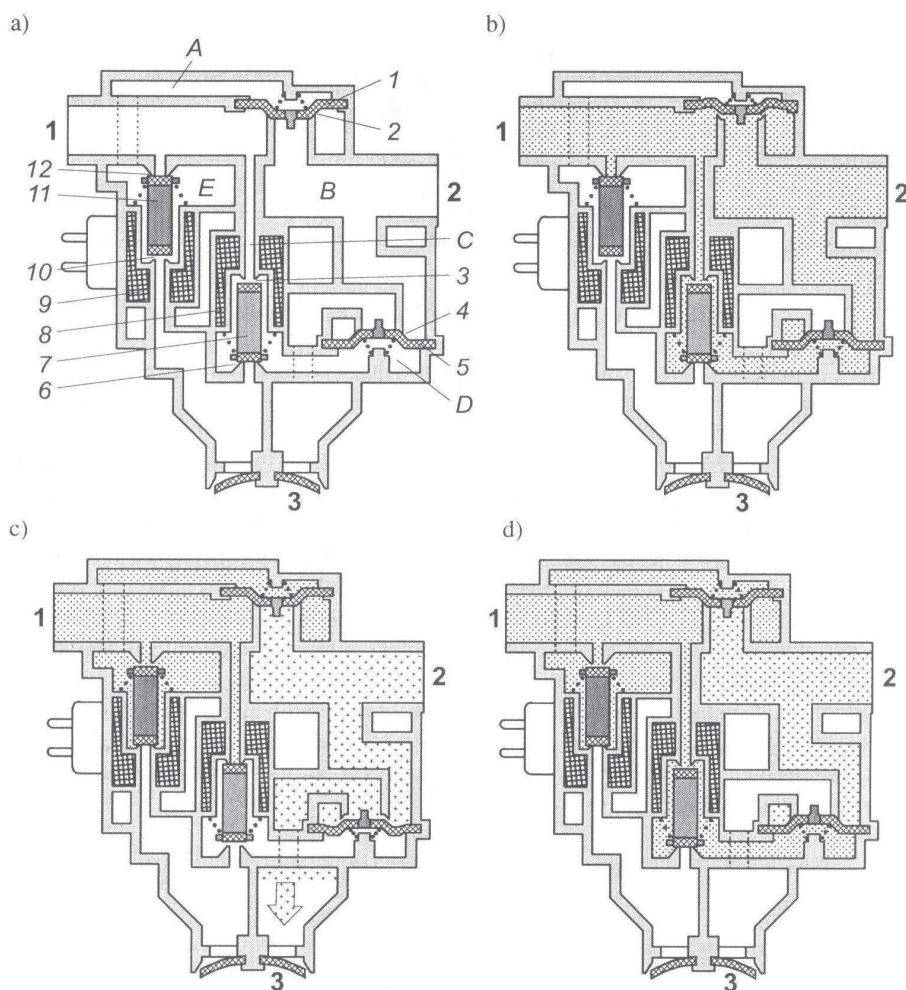
### **1. Wprowadzenie**

Pneumatyczne układy hamulcowe stosowane są głównie w autobusach, samochodach ciężarowych oraz samochodach ciężarowych z przyczepami i naczepami o dużej ładowności. Podczas eksploatacji takich samochodów wartości nacisków na osie oraz położenie środka masy zmieniają się w szerokim zakresie. Związane jest to ściśle z wielkością i charakterem obciążenia oraz z intensywnością hamowania pojazdu. W celu uzyskania wysokiej skuteczności hamowania i zachowania stateczności ruchu stosuje się w tych pojazdach automatyczne regulatory oraz korektory siły hamowania. Elementy te w przypadku hamowania panicznego, zwłaszcza na śliskiej nawierzchni, nie ograniczają blokowania kół, dlatego stosuje się we współczesnych pojazdach samochodowych układ regulacji poślizgu kół ABS, który umożliwia efektywniejsze wykorzystanie skuteczności hamulców.

Do głównych zespołów ABS należą czujniki prędkości obrotowej koła, elektro-pneumatyczne modulatory ciśnienia (dwu- lub trójstanowe) dla siłowników pneumatycznych oraz elektroniczny moduł sterujący realizujący zaprogramowane algorytmy działania układu w celu osiągnięcia maksymalnej przyczepności w każdych warunkach.

Przykład modulatora trójstanowego przedstawiono na rysunku 1. W zależności od wzbudzenia wewnętrznych elektromagnesów, realizowanego przez elektroniczny moduł sterujący, można uzyskać w siłowniku hamulcowym następujące stany:

- wzrost ciśnienia (rys. 1b),
- utrzymanie ciśnienia (rys. 1d),
- spadek ciśnienia (rys. 1c).



Rys. 1. Schemat budowy modulatora trójstanowego ABS: a) położenie odhamowane; b) hamowanie normalne; c) reakcja układu ABS; d) kontynuacja interwencji układu ABS; 1-5 –membrany; 2, 3, 6, 10, 12 – przeloty; 7, 11 – zawory; 8, 9 – elektromagnesy [6].

Fig. 1. Constructive scheme of three-state ABS modulator: a) unbraking position, b) normal braking, c) reaction of ABS system, d) continuation of ABS system intervention; 1-5 – membranes, 2,3,6,10,12 - air ways, 7,11 – valves, 8,9 – electromagnets.

Zastosowanie systemu ABS w układzie hamulcowym wpływa na właściwości dynamiczne tego układu. Tak więc znajomość przewodności pneumatycznej i charakterystyk przepływowych elementów pneumatycznych zastosowanych w układzie ABS jest niezbędna do analizy i syntezy pneumatycznych układów hamulcowych.

Celem pracy jest doświadczalne określenie przewodności pneumatycznej modulatora trójstanowego 472 195.

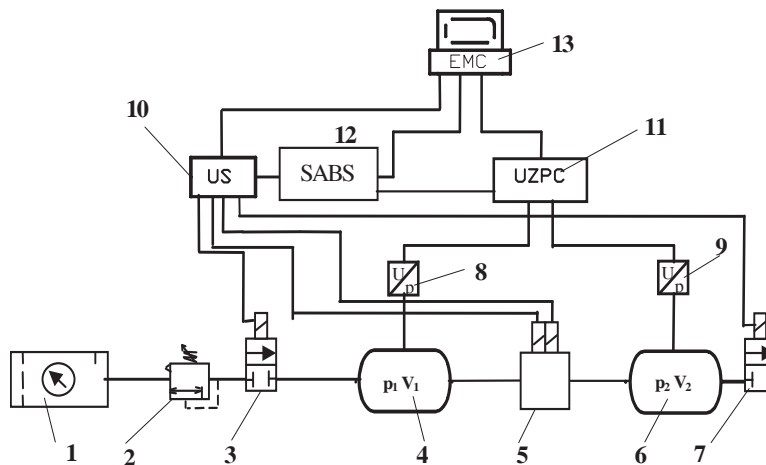
## 2. Metodyka badań

Do badań regulatora zastosowano metodę opracowaną w Katedrze Budowy i Eksploatacji Maszyn Politechniki Białostockiej [2, 4], w której wykorzystano zależność opisującą masowe natężenie przepływu powietrza przez dyszę [5]:

$$Q = (\mu A) \cdot v_m \frac{P_1}{R \cdot T} \varphi_{\max}(\sigma_{kr}) \cdot \varphi(\sigma) \quad (1)$$

gdzie:  $(\mu A)$  – przewodność (efektywne pole przepływu) [m<sup>2</sup>],  $T$  – temperatura powietrza przed oporem [K],  $\sigma$  – stosunek ciśnienia  $p_2$  za oporem do ciśnienia  $p_1$  przed oporem (rys.2),  $\varphi(\sigma)$  – bezwymiarowa funkcja przepływu,  $R$  – stała gazowa, dla powietrza  $R=287,14$  [J/(kg·K)],  $v_m$  – prędkość rozchodzenia się dźwięku w nieruchomym gazie  $v_m = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}$ ,  $\kappa$  – współczynnik adiabaty,  $\varphi_{\max}(\sigma_{kr})$  – wartość maksymalna funkcji teoretycznej Saint Venanta i Wantzela.

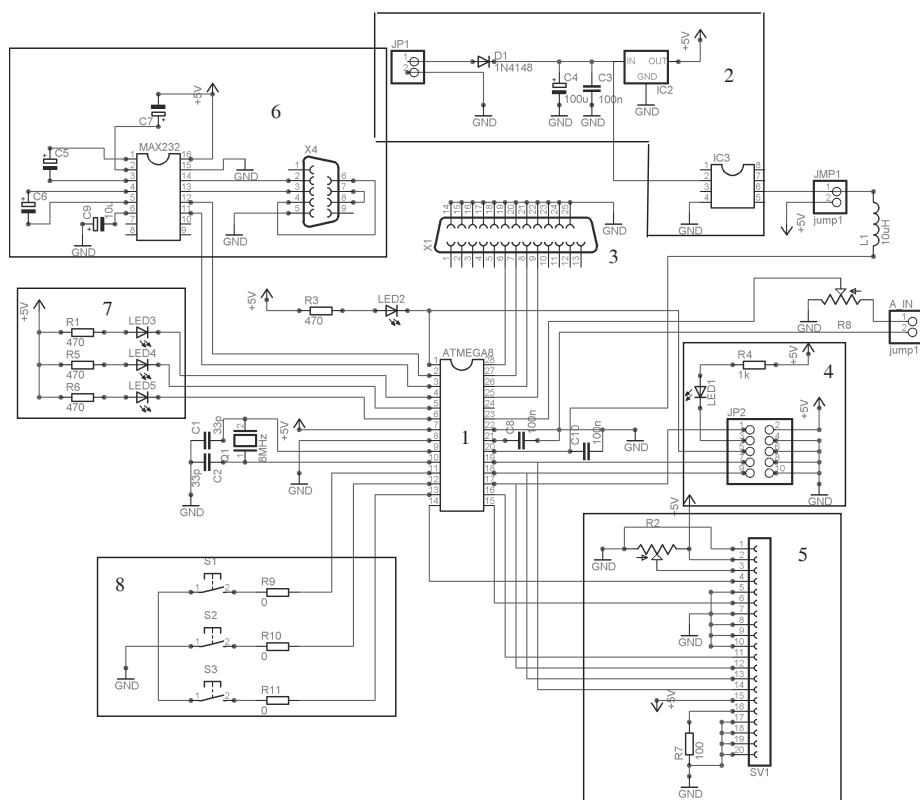
W metodzie tej, w celu uproszczenia stanowiska, przyjęto koncepcję pomiaru pośredniego na podstawie przebiegu ciśnienia w komorze napełnianej oraz komorze przed badanym elementem. Założono, że proces napełniania jest adiabatyczny. Ze względu na dyskretny charakter pracy modulatora, wymagający odpowiedniego sterowania, stanowisko zostało zmodyfikowane. Schemat zmodyfikowanego stanowiska przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 – sprężarka, 2 – regulator ciśnienia LPR-1/4-10, 3,7 – zawory elektromagnetyczne, 5 – badany modulator ABS, 4, 6 – zbiornik powietrza, 8,9 – przetwornik ciśnienia P15 RVA1/10B, 10 – urządzenie sterujące zaworami, moduł mocy, 11 – układ zasilania przetworników ciśnienia, interfejs wejść analogowych, 12 – mikrokontroler SABS, 13 – komputer EMC z kartą pomiarową MC1212.

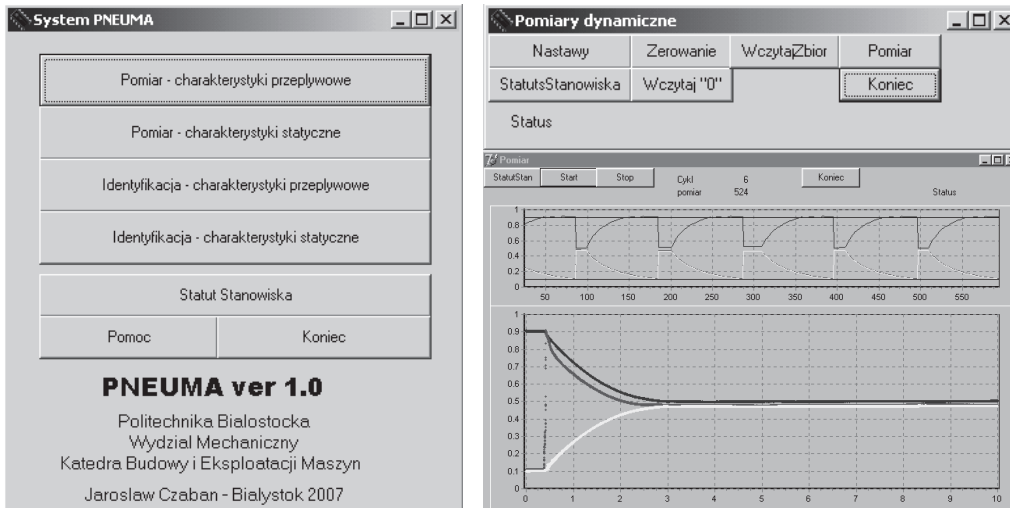
Fig. 2. Scheme of experimental stand: 1- compressor, 2- pressure regulator, 3 – electromagnetic valves, 5 – modulator ABS being investigated, 4,6 – receiver, 8,9 – pressure converter P15 RVA1/10B, 10 – valves control unit, power module, 11 – filling system of pressure converters, interface of analogous inputs, 12 – microcontroller SABS, 13 – computer EMC with measuring card MC1212.

Do sterowania pracą modulatora ABS zaprojektowano i wykonano własny sterownik *SABS*, którego schemat przedstawiono na rysunku 3. Sterownik został oparty na mikrokontrolerze ATmega8 i oprogramowany w systemie Bascom. Wewnętrzny program sterownika umożliwił odpowiednią realizację cykli pracy badanego modulatora (wzrost, utrzymywanie i spadek ciśnienia w zbiorniku 6). Do ustawiania parametrów cykli pracy wykorzystano interfejs RS232 oraz system komputerowy *PNEUMA* [2], który wspomagał badania zarówno w akwizycji danych, jak również w ich opracowywaniu. System został stworzony w środowisku programistycznym Delphi. Przykładowe okna systemu przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Schemat sterownika „SABS” 1 – mikrokontroler ATmega8, 2 – obwód zasilania, 3 – wyjście do układu mocy 4 – złącze programatora, 5 – obwód wyświetlacza LCD, 6 – interfejs RS232, 7 – diody sygnalizujące, 8 – obwód przełączników.

Fig. 3. Scheme of „SABS” controller, 1 – microcotroller ATmega8, 2 – loading circuit, 3- output to power system, 4 – programmer connector, 5 – circuit of LCD monitor, 6 – interface RS232, 7 – signal diodes, 8 – switchers circuit.



Rys. 4. Przykładowe okna systemu komputerowego wspomagania badań elementów pneumatycznych *PNEUMA*.

Fig. 4. Exemplary windows of computer aided system for investigation of pneumatic elements – *PNEUMA*.

W celu opisu matematycznego procesu przejściowego na stanowisku badawczym sprowadzono je do schematu obliczeniowego przedstawionego na rysunku 5. Dla tak przyjętego schematu oraz sposobu pracy modulatora równanie opisujące zmiany ciśnienia w zbiorniku napełnianym i opróżnianym do atmosfery przyjmuje następującą postać:

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{\kappa RT}{V_2} \left( (\mu A)_1 \cdot v_m \cdot \frac{p_1}{RT} \cdot \varphi_{\max}(\sigma_{kr}) \cdot \varphi_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \right) + \quad (2)$$

$$- \frac{\kappa RT}{V_2} \left( (\mu A)_2 \cdot v_m \cdot \frac{p_2}{RT} \cdot \varphi_{\max}(\sigma_{kr}) \cdot \varphi_2 \left( \frac{p_a}{p_2} \right) \right)$$

gdzie:

$(\mu A)_1$ ,  $(\mu A)_2$  – przewodności modulatora w procesie napełniania i opróżniania zbiornika,

$\varphi_1(p_2/p_1)$ ,  $\varphi_2(p_a/p_2)$  – bezwymiarowe funkcje przepływu w procesie napełniania i opróżniania zbiornika,

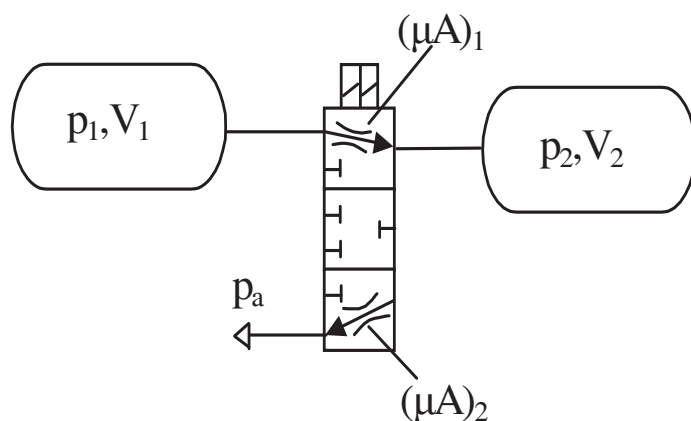
$p_a$  – ciśnienie atmosferyczne.

Równanie (2) posłużyło do identyfikacji przewodności oraz funkcji przepływu modulatora ABS. Przyjmując funkcje przepływu w postaci proponowanej przez Miałtuka i Awtuszko [5]:

$$\varphi_1(\sigma) = B_1 \frac{1-\sigma}{B_1-\sigma}; \quad \varphi_2(\sigma) = B_2 \frac{1-\sigma}{B_2-\sigma}$$

równanie (2), dla teoretycznie określanego przebiegu ciśnienia  $p_{2t}$  w komorze  $V_2$  oraz doświadczalnie określonego ciśnienia  $p_{1d}$ ,  $p_{2d}$  przed i za badanym modulatorem, przyjmuje postać:

$$\frac{dp_{2t}}{dt} = \frac{\kappa RT}{V_2} \left( (\mu A)_1 \cdot v_m \cdot \frac{p_{1d}}{RT} \cdot \varphi_{\max}(\sigma_{kr}) \cdot \varphi_1 \left( \frac{p_{2t}}{p_{1d}} \right) \right) + \left( -\frac{\kappa RT}{V_2} \left( (\mu A)_2 \cdot v_m \cdot \frac{p_{2d}}{RT} \cdot \varphi_{\max}(\sigma_{kr}) \cdot \varphi_2 \left( \frac{p_a}{p_{2t}} \right) \right) \right) \quad (3)$$



Rys. 5. Schemat obliczeniowy stanowiska.  
Fig. 5. Stand computational scheme.

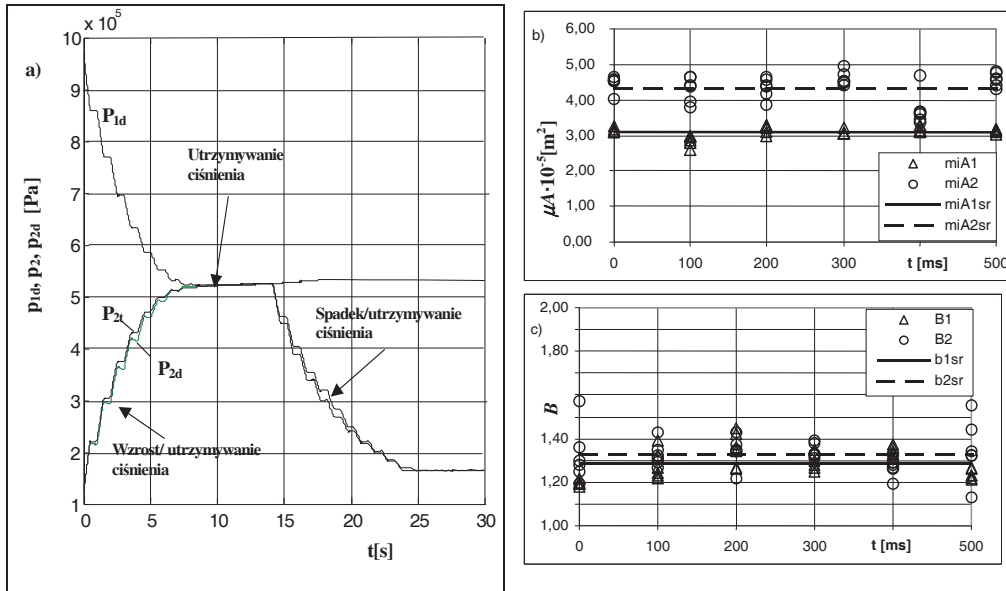
### 3. Przebieg i wyniki badań

Badania modulatora ABS przeprowadzono dla różnych czasów otwarcia-zamknięcia zaworów wewnętrznych modulatora sterowanych elektromagnesami. W rzeczywistych układach hamulcowych cykl pracy modulatora powtarzany jest 2-6 razy w ciągu sekundy [5], dlatego badania przeprowadzono dla następujących czasów działania: 100, 200, 300, 400 i 500ms. Dodatkowo zbadano modulator przy ciągłym otwarciu zaworów (próbą bez utrzymywania ciśnienia). Liczbę cykli w każdym doświadczeniu dobierano tak, aby uzyskać wyrównanie wartości ciśnienia w obu zbiornikach, a następnie opróżnić całkowicie zbiornik  $V_2$ . W badaniach wykorzystano modulator 472 195.

W każdym punkcie doświadczenia wykonano po 6 powtórzeń pomiarów, rejestrując przebiegi  $p_{1d}$  i  $p_{2d}$  oraz wartości napięcia sygnału generowanego przez sterownik SABS. Na podstawie zarejestrowanych stanów napięć sterujących możliwe było dokładne określenie początku i końca otwarcia zaworów modulatora. Wartości oporności  $(\mu A)_1$  i  $(\mu A)_2$  w zależności od stanów zasilania elektrozaworów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości oporności modulatora w zależności od stanu zasilania elektrozaworów.  
Table 1. Values of modulator resistance depending on the state of electro-valves voltage.

Zmiana ciśnienia w komorze V2	Przewodność $(\mu A)_i$	Stan zasilania elektrozaworu 1	Stan zasilania elektrozaworu 2
Wzrost	$(\mu A)_1 > 0$ ; $(\mu A)_2 = 0$	0	0
Utrzymywanie	$(\mu A)_1 = 0$ ; $(\mu A)_2 = 0$	0	1
Spadek	$(\mu A)_1 = 0$ ; $(\mu A)_2 > 0$	1	0



Rys. 6. Wyniki identyfikacji charakterystyk przepływowych modulatora ABS. a) przykładowy przebieg doświadczalny i teoretyczny dla czasu utrzymywania ciśnienia 500ms, b) wartości identyfikacji przewodności  $\mu A_1$ ,  $\mu A_2$  w funkcji czasu utrzymywania ciśnienia, c) wartości identyfikacji  $B_1$ ,  $B_2$  parametrów funkcji przepływu w funkcji czasu utrzymywania ciśnienia.

Fig. 6. Identification results of flow characteristics of ABS modulator. a) exemplary experimental and theoretical run for pressure keeping time 500ms b) identification values of conductivity  $\mu A_1$ ,  $\mu A_2$  as function of pressure keeping time, c) identification values of parameters  $B_1$ ,  $B_2$  as function of pressure keeping time.

Parametry  $(\mu A)_1$ ,  $(\mu A)_2$ ,  $B_1$  i  $B_2$  identyfikowano numerycznie metodą bezgradientową poszukiwań prostych Hooaka-Jeevesa minimalizując wyrażenie:

$$\sum_{i=1}^m (p_{2di} - p_{2ti})^2$$

aż do osiągnięcia zadanej dokładności obliczeń. W każdym kroku iteracji równanie różniczkowe (3) rozwiązywano metodą Fehlberga. Do identyfikacji wykorzystano własny podprogram systemu PNEUMA oraz procedury numeryczne zawarte w pracy [1].

Stopień dopasowania krzywej ciśnienia  $p_{2d}$  rejestrowanego i teoretycznego  $p_{2t}$  oceniano na podstawie współczynnika korelacji  $R^2$ . We wszystkich przypadkach otrzymano wartości  $R^2$  większe od 0.98.

Przykładowe przebiegi zarejestrowanych ciśnień wraz z przebiegiem teoretycznym przedstawiono na rysunku 6a. Otrzymane wartości  $\mu A_1$ ,  $\mu A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ , oraz ich wartości średnie przedstawiono w tabeli 2 oraz rysunkach 6a i 6b.

Tabela 2. Wyniki identyfikacji charakterystyk przepływowych modulatora ABS.  
Table 2. Identification results of flow characteristics of ABS modulator.

Nr doświadczenia	Nr próby	Czas zwiększania ciśnienia [ms]	Czas utrzymywania ciśnienia [ms]	Czas zmniejszania ciśnienia [ms]	$\mu A_1$ $\times 10^{-5}[\text{m}^2]$	$\mu A_2$ $\times 10^{-3}[\text{m}^2]$	B1	B2
1	1	100	0	100	3,19	4,04	1,18	1,57
	2	100	0	100	3,26	4,65	1,22	1,36
	3	100	0	100	3,11	4,54	1,19	1,19
	4	100	0	100	3,10	4,55	1,19	1,30
	5	100	0	100	3,11	4,53	1,20	1,25
	6	100	0	100	3,10	4,57	1,19	1,28
2	1	100	100	100	3,00	3,79	1,24	1,27
	2	100	100	100	2,95	3,93	1,27	1,32
	3	100	100	100	2,97	4,63	1,22	1,31
	4	100	100	100	2,85	4,64	1,23	1,43
	5	100	100	100	2,59	4,39	1,39	1,35
	6	100	100	100	2,77	4,43	1,32	1,29
3	1	200	200	200	3,26	3,89	1,34	1,37
	2	200	200	200	3,23	4,17	1,42	1,22
	3	200	200	200	3,29	4,37	1,45	1,35
	4	200	200	200	3,25	4,40	1,36	1,43
	5	200	200	200	3,10	4,55	1,26	1,34
	6	200	200	200	2,98	4,63	1,27	1,34
4	1	300	300	300	3,06	4,52	1,28	1,33
	2	300	300	300	3,06	4,42	1,35	1,39
	3	300	300	300	3,06	4,50	1,30	1,31
	4	300	300	300	3,06	4,52	1,25	1,33
	5	300	300	300	3,06	4,73	1,27	1,32
	6	300	300	300	3,20	4,95	1,35	1,38



cd. Tabeli 2  
contd Table 2

5	1	400	400	400	3,30	4,70	1,37	1,33
	2	400	400	400	3,25	3,36	1,29	1,26
	3	400	400	400	3,09	3,46	1,36	1,29
	4	400	400	400	3,12	3,60	1,33	1,19
	5	400	400	400	3,13	3,62	1,33	1,27
	6	400	400	400	3,10	3,67	1,34	1,28
6	1	500	500	500	3,16	4,60	1,26	1,13
	2	500	500	500	3,16	4,81	1,27	1,44
	3	500	500	500	3,14	4,30	1,23	1,32
	4	500	500	500	3,03	4,42	1,21	1,34
	5	500	500	500	3,09	4,56	1,22	1,55
	6	500	500	500	3,13	4,78	1,23	1,32
średnia					3,09	4,34	1,28	1,33

### 3. Podsumowanie

Przedstawiona w pracy metoda badań umożliwia identyfikację charakterystyk przepływowych modulatora trójstanowego ABS. Uzyskane wyniki pozwalają na prowadzenie obliczeń dynamiki pneumatycznych układów hamulcowych z układem regulacji poślizgu kół ABS, a w szczególności optymalizacji algorytmów sterowania w celu podniesienia skuteczności hamowania, zapewnienia stateczności ruchu i skrócenia czasu reakcji siłowników pneumatycznych. Zaprezentowana metoda może być stosowana również w badaniach innych typów zaworów i regulatorów pneumatycznych stosowanych w pojazdach samochodowych.

### Literatura

- [1] BARON B., MARCOL A., ST. PAWLIKOWSKI: *Metody numeryczne w Delphi 4*. Helion, Gliwice 1999.
- [2] CZABAN J., MIATLUK M.: *Wyznaczanie charakterystyk urządzeń pneumatycznych wspomagane komputerowo*. Pneumatyka nr 1, 2008.
- [3] Regulamin 13 ECE. Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania.
- [4] MIATLUK M., KAMIŃSKI Z., CZABAN J.: *Characteristic features of the airflow of pneumatic elements of agricultural vehicles*. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Vol.3 2003.
- [5] MIATLUK M., AVTUŠKO V.: *Dinamika pnevmatičeskich i gidravličeskich prividov avtomobilej*. Mašinostroenije, Moskva 1980.
- [6] ŁOMAKO D.M., STAŃCZYK T.L.; GRZYB J.: *Pneumatyczne układy hamulcowe w pojazdach samochodowych*. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002.

## **Conductivity investigation of ABS pneumatic modulator**

### **S u m m a r y**

The method of flow characteristics investigation of ABS pneumatic modulator is presented in the paper. Computer identification of 472 195 modulator conductivity was performed on the basis of the conducted investigations. Results of investigations are presented in form of graphs and tables.