

**Andrzej BIEŃ**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
ZAKŁAD METROLOGII

**Paweł MUSIAŁ**

ADtranz W KATOWICACH

**Grzegorz SIEKLUCKI**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA

KATEDRA AUTOMATYKI NAPĘDU I URZĄDZEŃ PRZEMYSŁOWYCH

## Diagnostyka amortyzatora samochodowego na podstawie sygnału przyspieszenia karoserii

Przedstawiono metodę określania jakości amortyzatorów samochodowych bez ich demontażu z wykorzystaniem nowoczesnego monolitycznego czujnika przyspieszeń. Omówiono model amortyzatora, wykorzystany do badania jego jakości. Pomiar wybranych parametrów przeprowadzono metodą strojonego modelu i optymalizacji Simplex. Uzyskane wyniki eksperymentów pozwalają sądzić, że opisana metoda badania jakości amortyzatorów jest poprawna.

### ABSTRACT

The method of the designation of the quality car shock-absorbers without its disassembly is presented. This method uses a new monolithically acceleration sensor. The model of the car shock-absorber, which quality was investigated, is discussed. The method of the tuned model parameters is Simplex optimization. The results of the investigations show, that this discussed method of the investigating the shock-absorber's quality is correct.

### Wstęp

Amortyzatory są niezbędnymi elementami współczesnych pojazdów. Ze względu na duże wymagania stawiane im podczas eksploatacji ich budowa jest skomplikowana.

Wspólną cechą wszystkich amortyzatorów samochodowych jest nieliniowość charakterystyk: siły oporu przy ściskaniu są bardzo małe, a przy rozciąganiu – duże. Przy najeździe na przeszkodę wypukłą oddziaływanie na nadwozie będzie tym mniejsze, im mniejszy opór stawiać będzie amortyzator. Przy przejeździe przez nierówność wklęsłą zależy nam na tym, aby samochód niejako przejechał nad tą nierównością. W obu przypadkach samochód będzie jednak wytrącony z równowagi i wtedy zadaniem amortyzatora jest szybkie wygaszenie drgań.

Stopień zużycia amortyzatora wpływa w istotny sposób na bezpieczeństwo. Dlatego też powinno się możliwie często sprawdzać stan amortyzatorów zamontowanych w samochodzie.

Istnieje kilka metod badania jakości amortyzatorów o różnym stopniu złożoności. Proponowana metoda polega na pomiarze parametrów amortyzatora samochodowego bez demontażu poprzez zamocowanie czujnika na samochodzie w pobliżu badanego amortyzatora i zarejestrowaniu jego odpowiedzi na wymuszenie skokowe. W wyniku analizy pomiarów możliwe jest dokonanie oceny jakości amortyzatorów zarówno na podstawie wyznaczonych współczynników tłumienia jak i metody EUSAMA np. [7]. Metoda EUSAMA ocenia bezpieczeństwo

zawieszenia pojazdu, a nie tylko stan amortyzatorów. Kryteria oceny są jednakowe dla wszystkich pojazdów z wyjątkiem nowoczesnych, lekkich pojazdów z napędem na przednią oś, gdzie jest konieczne obniżenie wymagań w stosunku do osi tylnej. Metoda EUSAMA polega na pomiarze skuteczności tłumienia jako wartości stosunku nacisku dynamicznego koła do nacisku statycznego przy wymuszeniach w zakresie 0,25 Hz. W przyjętej w niniejszym artykule metodzie po wymuszeniu skokowym badana jest wartość minimalna przyspieszenia karoserii, którą w sposób bezpośredni określa wartość kryterium EUSAMA.

Jednym z głównych czynników wpływających na wygodę jazdy jest charakter drgań mechanicznych i zachowanie się kół samochodu pod wpływem uderzeń kół jezdnych o nierówności drogi. Wpływ tych drgań jest w tym wypadku równie istotny jak hałas, ukształtowanie siedzeń, temperatura i czystość powietrza w kabinie samochodu. Organizm jest najbardziej wrażliwy na drgania o częstotliwości 4÷8 Hz. Wskaźnikiem mówiącym o płynności ruchu jest też częstotliwość drgań swobodnych mas uresorowanych samochodu. Przyjęto, że częstotliwość drgań rzędu 1÷1,5 Hz jest dopuszczalna i nie powoduje niepożądanych odczuć [7]. Samochody z tą częstotliwością drgań zachowują w zasadzie dostateczną płynność ruchu. Częstotliwość drgań swobodnych masy uresorowanej samochodu zależy od charakteru współpracy sprężystych elementów zawieszenia, ogumienia kół i parametrów amortyzatorów.

### Budowa urządzenia do badania jakości amortyzatorów samochodowych

Założeniem konstrukcji urządzenia była jego prostota obsługi oraz użycie popularnego komputera. Schemat blokowy urządzenia do badania amortyzatorów samochodowych bez demontowania badanego amortyzatora przedstawia rys.1. Urządzenie składa się z dwóch modułów: układu pomiarowego i układu przetwarzania danych.

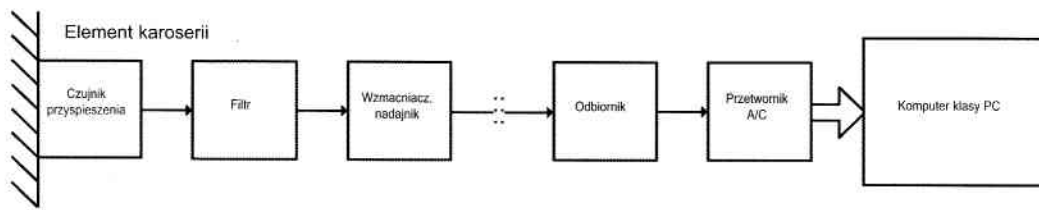
Układ pomiarowy składa się z nowoczesnego monolitycznego czujnika ADXL05 oraz wzmacniacza umożliwiającego transmisję sygnału na odległość do 5 m. Układ ADXL05 jest typowym czujnikiem przyspieszeń z masą sejsmiczną. Jest on zintegrowany z demodulatorem i wzmacniaczem tak, że na wyjściu czujnika otrzymuje się napięcie proporcjonalne do przyspieszenia. Zadaniem układu pomiarowego jest analogowe przetworzenie sygnału przyspieszenia odpowiadającego przemieszczeniu amortyzatora w taki sposób, aby dostosować go do parametrów pracy układu przetwarzania danych. Jest to filtracja oraz dostosowanie sygnału do transmisji i przetwarzania analogowo-cyfrowego. Zbudowana konstrukcja oparta na scalonym przetworniku przyspieszeń jest mała ( $2 \times 3 \times 5 \text{ cm}^3$ ) i łatwa w mocowaniu.

Układ przetwarzania danych składa się z odbiornika i przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C). Przetwarzanie danych

**Dr inż. Andrzej BIEŃ** – studia na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej ukończył w 1979 roku. W 1988 roku uzyskał stopień doktora. Od 1979 r. pracuje w Zakładzie Metrologii AGH zajmując się budową cyfrowych systemów pomiarowych i ich zastosowań do pomiarów wielkości złożonych. Członek SEP.

**Mgr inż. Paweł MUSIAŁ** – studiował na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w latach 1992–1997. Zajmuje się systemami transmisji danych w ADtranz w Katowicach.

**Mgr inż. Grzegorz SIEKLUCKI** – studiował na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w latach 1992–1997. Asystent w Katedrze Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych AGH.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego

jest przeprowadzane na komputerze klasy PC. Układ przetwarzania danych przeprowadza analizę sygnału przyspieszenia i wyznacza parametry charakterystyczne amortyzatora. Parametry te umożliwiają określenie jakości amortyzatora oraz jego prawdopodobnych uszkodzeń.

**Metoda pomiaru**

Podstawowym elementem realizującym pomiar wartości współczynnika tłumienia  $\xi_1$  i  $\xi_2$  (1), a przez to jakości amortyzatora, jest blok identyfikacji parametrów modelu amortyzatora. Model ten oparto na przyjęciu działania amortyzatora opisanego w literaturze np. [7], sprowadzając go do „przełączania” dwóch różnych współczynników tłumienia w zależności od kierunku ruchu czyli od znaku prędkości. Model matematyczny amortyzatora samochodowego został przyjęty jako nieliniowe równanie różniczkowe o zerowych warunkach początkowych (pojazd przed eksperymentem jest w spoczynku):

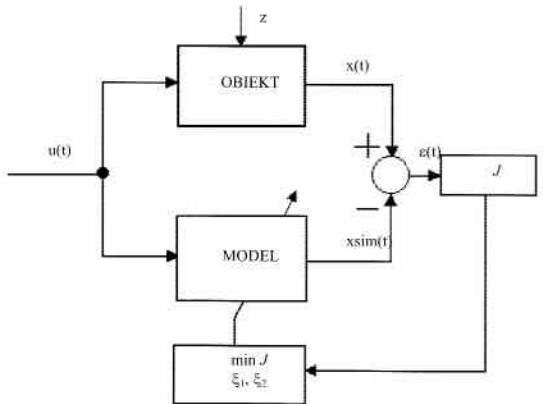
$$\ddot{x}(t) + 2\xi(\dot{x}(t)\omega_0 x(t) + \omega_0^2 x(t) = k\omega_0^2 u(t) \quad (1)$$

gdzie  $\xi(\dot{x}(t)) = \begin{cases} \xi_1 & \text{gdzy } \text{sgn}(\dot{x}) > 0 \\ \xi_2 & \text{gdzy } \text{sgn}(\dot{x}) < 0 \end{cases}$

Przyjęto, że  $u(t)$  jest wymuszeniem typu skok jednostkowy. Na podstawie równania (1) w środowisku Matlab – Simulink został zrealizowany model symulacyjny, na którym początkowo były testowane algorytmy przetwarzania i identyfikacji. Wyznaczenie współczynników tłumienia  $\xi_1$  i  $\xi_2$  rozpoczyna się od założenia, że są one jednakowe i równe  $\xi$ . Wartość współczynnika  $\xi$  jest wyznaczana w oparciu o uproszczony model liniowy (2) oraz przyjęcie, że zarejestrowane wyniki są jego odpowiedzią dla zerowych warunków początkowych.

$$x(t) + 2\xi(x(t)\omega_0 x(t) + \omega_0^2 x(t) = k\omega_0^2 u(t) \quad (2)$$

Dla tak uproszczonego modelu wartość  $\xi$  jest wyznaczana na podstawie znanych zależności dla obiektu oscylacyjnego drugiego rzędu np. [3], jest ona następnie użyta jako warunek początkowy do identyfikacji w oparciu o równanie (1). Wartości współczynników tłumienia amortyzatora samochodowego  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  są wyznaczane w procesie identyfikacji określanym jako



Rys. 2. Metoda strojonego modelu użyta do wyznaczenia  $\xi_1$ ,  $\xi_2$

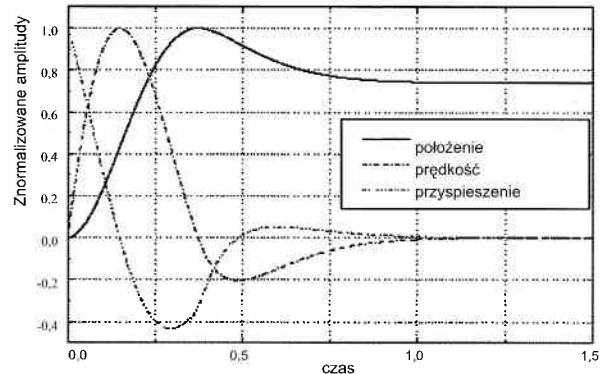
metoda strojonego modelu. Idea tej metody jest prezentowana na rys. 2.

Podczas identyfikacji wyznaczana jest trajektoria odpowiedzi modelu na przyjęte wymuszenie, następnie jest ona porównywana z trajektorią zarejestrowaną. Wynikiem porównania jest zależność

$$J = \sum_{i=1}^N \varepsilon^2(i) \quad (3)$$

gdzie:  $\varepsilon(i)$  – różnica przyspieszeń obiektu i modelu;  $N$  – liczba zarejestrowanych próbek.

Nowe wartości  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  są wyznaczane na podstawie  $J$  według metody optymalizacji Simplex [2], [6] i następuje kolejny krok optymalizacji. Strojenie modelu trwa do momentu, w którym nie występuje już zauważalne zmniejszenie  $J$  lub została przekroczona liczba obliczeń pętli. Przykładowe wyniki uzyskiwane podczas badań modelowych są przedstawione na rys. 3.

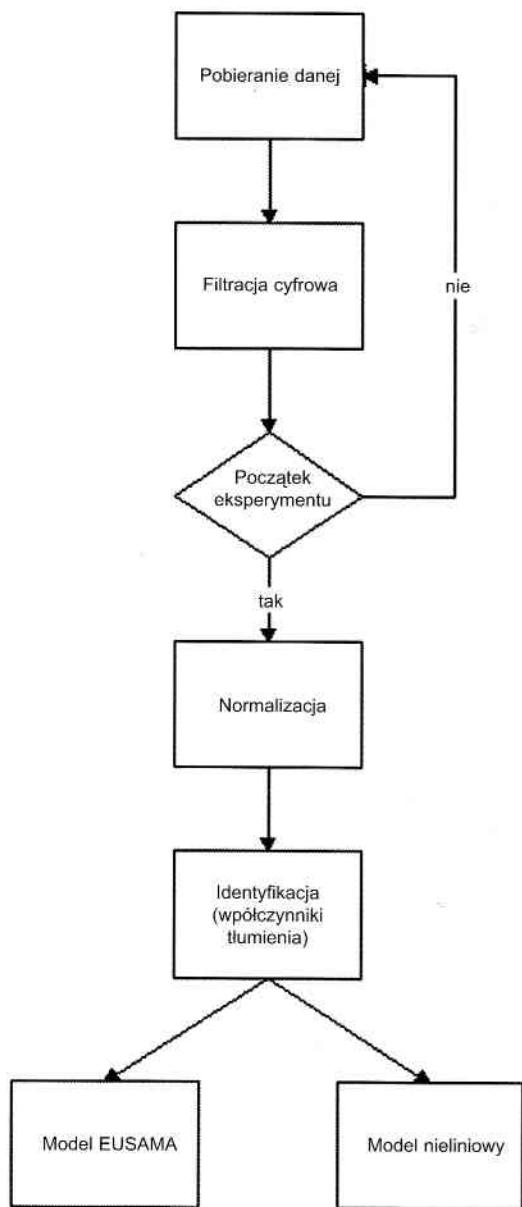


Rys. 3. Przebiegi  $\ddot{x}(t)$ ,  $\dot{x}(t)$ ,  $x(t)$  wyliczone w wyniku symulacji modelu (1)

Na rys. 3 można zaobserwować efekt zmiany współczynnika tłumienia w chwili  $t = 0.35$  powodujące wyraźnie widoczną zmianę charakteru przebiegu przyspieszenia. Metodę Simplex wybrano ze względu na brak możliwości wyznaczenia gradientu  $J$  dla modelu (1) i poszukiwanych współczynników. Dodatkową zaletą tej metody była jej prosta implementacja.

W oparciu o przedstawioną metodę pomiaru opracowano program wyznaczający wartości  $\xi_1$  i  $\xi_2$  oraz kryterium EUSAMA. Rys. 4 przedstawia algorytm przetwarzania sygnału przyspieszenia i pomiaru wybranych parametrów amortyzatora. Przed zebraniem danych do wyznaczenia parametrów amortyzatora sprawdzany jest warunek wystąpienia ruchu amortyzatora. Od tego momentu rozpoczyna się obserwacja przyspieszenia amortyzatora. Przed zapamiętaniem cyfrowego sygnału przyspieszenia jest on filtrowany i normalizowany na bieżąco. Następnie wyznaczane są parametry początkowe identyfikacji. Jest to globalne maksimum zarejestrowanego sygnału, które określa początek analizowanej odpowiedzi obiektu na wymuszenie. Następnie przeprowadzana jest identyfikacja parametrów modelu amortyzatora. Identyfikacja jest procesem dwuetapowym, w pierwszej kolejności jest przeprowadzane przybliżenie obiektu

(amortyzatora) modelem liniowym, a następnie przybliżenie modelem nieliniowym. W rezultacie wyznaczane są wartości współczynników tłumienia oraz przeprowadzana jest klasyfikacja EUSAMA badanego amortyzatora.



Rys. 4. Algorytm przetwarzania sygnału przyspieszenia

Po wykonaniu szeregu eksperymentów symulacyjnych przyjęto tę metodę do implementacji. Eksperymenty wykazały, że dla wykonania poprawnego pomiaru wystarczy zarejestrować i użyć do optymalizacji odcinek sygnału  $x(t)$ , dla którego prędkość zmieniła znak pięć razy. W celu przyspieszenia obliczeń wykorzystano również analityczne rozwiązania fragmentów równania (1) dla  $u(t)$  będącego skokiem jednostkowym.

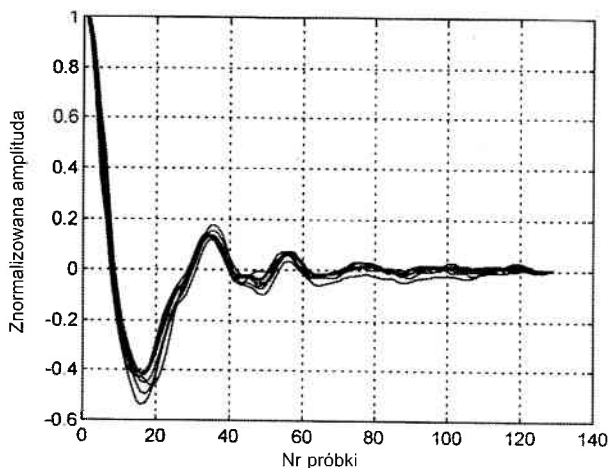
### Wyniki pracy zbudowanego systemu pomiarowego

W celu sprawdzenia zaprojektowanego przyrządu i metody identyfikacji przeprowadzono wielokrotne testy amortyzatorów samochodowych zamontowanych w różnych typach samochodów. Uzyskane przykładowe wyniki wyznaczenia parametrów

amortyzatorów dla różnych samochodów przedstawione są w poniższych tabelach 1 i 2, a na rysunkach 7 i 8 zarejestrowane pomiary (dla jednego amortyzatora tego samego pojazdu). Nie przeprowadzono pełnej analizy błędów uzyskanych wartości  $\xi_1$  i  $\xi_2$ . Wpływ na wielkość błędów ma w niewielkiej części aparatura pomiarowa, natomiast głównym źródłem błędów są warunki pomiaru (mocowanie czujnika, sztywność podłoża, na którym stoi samochód czy sposób zablokowania kół). Uzyskane wyniki eksperymentów sugerują, że błędy są mniejsze od 10%. Ponieważ badano sposób pomiaru pod kątem oceny jakości amortyzatorów wg kryterium EUSAMA, autorzy nie weryfikowali uzyskanych wartości  $\xi_1$  i  $\xi_2$ , ograniczając się do sprawdzenia przydatności wartości  $\xi_1$  i  $\xi_2$  dla diagnostyki.

Nr eksp.	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_2/\xi_1$	EUSAMA	Ocena
1.	0.30	0.35	1.16	59%	dobry
2.	0.28	0.40	1.43	59%	dobry
3.	0.19	0.47	2.43	46%	dobry
4.	0.22	0.48	2.17	54%	dobry
5.	0.26	0.39	1.53	57%	dobry
6.	0.22	0.52	2.38	51%	dobry
7.	0.26	0.47	1.79	55%	dobry
8.	0.30	0.38	1.27	59%	dobry
9.	0.31	0.43	1.38	59%	dobry
10.	0.31	0.38	1.24	58%	dobry
11.	0.31	0.31	1.01	61%	doskonaly
12.	0.35	0.27	0.78	58%	dobry

TABELA 1. Testowany pojazd 1 (przód)

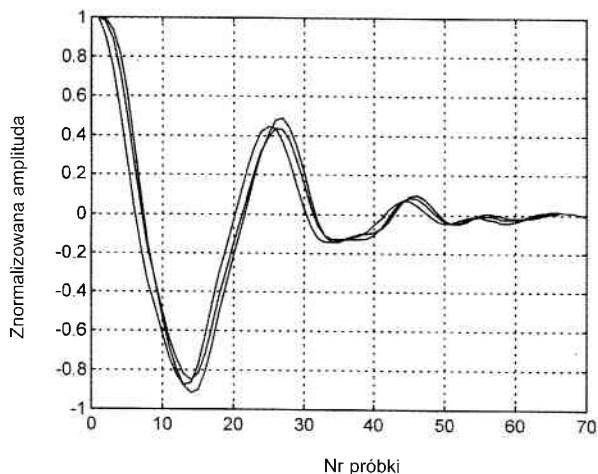


Rys. 5. Znormalizowane przebiegi przyspieszeń dla eksperymentów z tabeli 1

Nr eksp.	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_2/\xi_1$	EUSAMA	Ocena:
1.	0,056	0,337	5991	15%	zły
2.	0,030	0,413	13 717	8%	zły
3.	0,044	0,292	6600	12%	zły
4.	0,046	0,281	6130	12%	zły

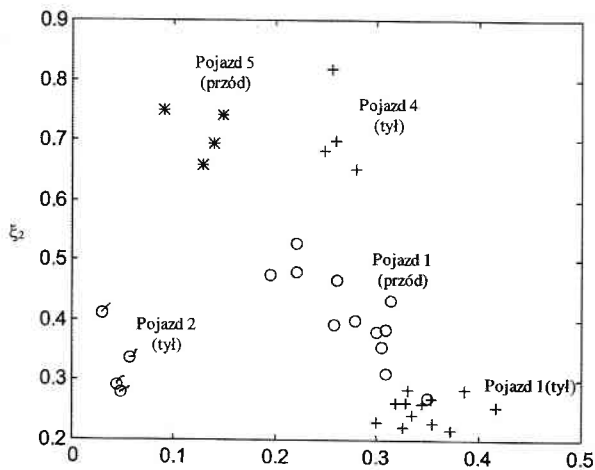
TABELA 2. Testowany pojazd 2 (tył)

Na rysunkach 7 i 8 przyjęto: wartości na osi poziomej przebiegu przyspieszenia przedstawiają kolejne próbki sygnału, a na osi pionowej znormalizowane wartości przyspieszeń wybranego fragmentu karoserii (nadkola) badanego samochodu.



Rys. 6. Znormalizowane przebiegi przyspieszeń dla eksperymentów z tabeli 2

Tabela 1 odpowiada eksperymentom przeprowadzonym na samochodzie wyposażonym w sprawne amortyzatory, natomiast tabela 2 zawiera wyniki dla amortyzatorów o znacznym zużyciu. Podczas eksperymentów zauważono wpływ zjawisk nie opisanych w modelu. Do zjawisk tych można zaliczyć np. ruch paliwa w baku czy też dodatkowe ruchy pojazdu na podłożu. Rozrzut uzyskiwanych wartości  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  nie wpłynął na jednoznaczność oceny EUSAMA. Na rys. 7 w płaszczyźnie  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  graficznie przedstawione są zidentyfikowane współczynniki tłumienia dla kilku samochodów. Określone współczynniki tłumienia dla danego amortyzatora nie są dokładnie takie same dla każdego pomiaru. Jest to spowodowane błędem pomiaru oraz niedotrzymywaniem jednakowych warunków pomiaru, takich jak miejsce eksperymentu i wielkość wymuszenia. Obszar rozmyty dla „Pojazd 1 (przód) -” był uzyskany przy nie zaciągniętym hamulcu ręcznym

Rys. 7. Wyniki eksperymentów dla kilku pojazdów przedstawione w płaszczyźnie  $\xi_1$ ,  $\xi_2$ 

(dodatkowe ruchy pojazdu podczas eksperymentów). Można jednak wyraźnie zaobserwować skupienia punktów określających dany amortyzator. Uzyskana ocena EUSAMA dla przedstawionych wyników jest jednoznaczna i została zweryfikowana jako poprawna.

Położenie punktu na płaszczyźnie  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  charakteryzującego dany amortyzator określa jego właściwości użytkowe, przy czym można przyjąć, że im mniejsza jest wartość współczynnika  $\xi_1$ ,

tym amortyzator jest gorszy wg kryterium EUSAMA. Czas wyznaczenia wartości  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  dla komputera z procesorem 486 wynosił 5s, natomiast cały eksperyment trwał ok. 6s. Dodatkowo zamontowanie czujnika za pomocą wosku trwa ok. 2-3 s.

### Zakończenie

Na podstawie zarejestrowanych sygnałów możliwe jest dokonanie prostej i szybkiej oceny jakości amortyzatora w oparciu o przedstawioną metodę pomiaru. Metoda ta nie wymaga stosowania jednakowych wymuszeń, natomiast należy ją stosować w stabilnych warunkach podczas trwania eksperymentu. Można dodać, że najlepiej powtarzane wyniki uzyskano dla pojazdów z prawie pustym lub pełnym bakiem paliwa (możliwość przemieszczenia znacznych mas podczas eksperymentu). Całkowita masa pojazdu nie wpływa na uzyskiwane wyniki pomiarów. Zestawienie systemu pomiarowego w oparciu o komputer klasy PC w celu wykonania pomiarów jest stosunkowo proste, ponieważ wymagania dla używanego przetwornika A/C są niewielkie. Wystarczająca jest rozdzielczość 10 bitów i możliwość próbkowania jednego sygnału z częstotliwością 500 Hz.

### LITERATURA

- [1] H. GÓRECKI: Analiza i synteza układów regulacji z opóźnieniem. WNT, Warszawa 1971.
- [2] W. FINDEISEN, J. SZYMANOWSKI, A. WIERZBIKI: Metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1977.
- [3] T. KACZOREK: Teoria sterowania. PWN, Warszawa 1977.
- [4] SIMULINK. User's Guide. Netick, The MATH WORKS Inc. 1993.
- [5] MATLAB. User's Guide. Moler, The MATH WORKS Inc. 1993.
- [6] W. H. PRESS, B. P. FLANNERY: Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing. Cambridge 1988.
- [7] K. TRZECIAK: Diagnostyka samochodów osobowych. WKŁ, Warszawa 1991.

Otrzymano: 12.03.1998

**Monarch Instrument USA** DATA-CHART®

**REJESTRATORY „PAPERLESS”** („bez-papierowe”)  
z zapisem na dyskietkach 1,44 MB lub kartach magnetycznych wyj. RS-232




dla oczyszczalni ścieków, gospodarki wodno-ściekowej, ochrony środowiska, monitoringu skażeń, szpitali, energetyki, przem. chemicznego, spożywczego, przetwórczego, browarów

	ilość kanałów	częstość próbkowania	wyświetlacz
- DATA CHART 1200	1,2	100/s=1/600s	LCD 3" monochrom
- DATA CHART 3000	3,4,6,8(12)	4/s=1/60s	LCD 5" touchscreen
- DATA CHART 3600	6 (12)	4/s=1/60s	LCD 5" touchscreen
- DATA CHART 4600	6 (12)	4/s=1/60s	LCD 5" aktywny, kolor

Liczba progów definiowanych przez użytkownika: 5 na każdy kanał - 16K RAM  
odczyt cyfrowy (tablica), graficzny (wykresy, bargrafy), 8 opcji skalowania

Wyjścia: 3(6) wyjść alarmowych przekątnikowych [1A/250VAC/24VDC]  
3 wejścia sterujące [aktywujące zmianę parametrów pracy (5-12 VDC)]

**10 różnych ekranów (display modes)**

również

TACHOMETRY- 5 - 500 000 (+/- 0.1) obr/min.  
1.7 - 845 m/min

STROBOSKOPI 30 - 32 500 (+/- 1) obr/min.  
- odczyt: analogowy lub cyfrowy

CZUJNIKI: optyczne, zblizeniowe, magnetyczne, podczernieni, laserowe



---

WYŁĄCZNY PRZEDSTAWICIEL: ARCONSULTING Ltd. Sp. z o.o.  
00-686 Warszawa ul. Barbary 1  
tel. 622 62 42, 622 46 30, fax 622 62 49, 625 33 63