

## **Badanie skuteczności hamulców ciągników rolniczych**

**JAROSŁAW CZABAN, ZBIGNIEW KAMIŃSKI**

Politechnika Białostocka

W pracy opisano wymagania dotyczące skuteczności hamowania ciągników rolniczych zgodne z propozycją przepisów WGAT (Working Group on Agricultural Tractors). Opracowano metodykę badań i system pomiarowy, zawierający czujnik nacisku na pedał hamulcowy, „piąte koło” i frenotest elektroniczny. Zamieszczono przykładowe wyniki badań drogowych.

### **1. Wprowadzenie**

W 2003 roku wprowadzono nowe przepisy dotyczące homologacji ciągników rolniczych oraz przyczep i maszyn z nimi agregatowanych w zakresie hamowania [1, 5]. Ze względu na zwiększenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości jazdy ciągników do 40 km/h dla kategorii T1-T4, a nawet powyżej 40 km/h dla kategorii T5, wprowadzono wymóg stosowania dwuprzewodowego połączenia między ciągnikiem a pojazdem ciągniętym wyposażonym w pneumatyczny układ hamulcowy oraz zwiększono wartość wskaźnika hamowania do 0,45. Propozycję programu badań homologacyjnych, dostosowanego do nowych wymogów, obejmującego sprawdzanie skuteczności zasadniczego i postojowego układu hamulcowego oraz sprawdzanie instalacji pneumatycznej ciągnika opisano w pracy [7]. Niezadowalający stan wdrażania nowych przepisów oraz eksploatawanie pojazdów rolniczych z niesprawnymi lub niekompatybilnymi instalacjami hamulcowymi stanowi istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego z ich udziałem. Autorzy pracy [8] postulują nawet rozszerzenie nadzoru pneumatycznych układów hamulcowych ciągników rolniczych przystosowanych do ciągnięcia przyczep, realizowanego przez Stacje Kontroli Pojazdów.

Obecnie w Unii Europejskiej kontynuowane są prace nad przepisami homologacyjnymi w zakresie hamowania [6]. Zakłada się w nich między innymi dalsze zwiększenie skuteczności hamowania oraz wymóg kompatybilności układu hamulcowego ciągnika i przyczepy dla pojazdów poruszających się z prędkością ponad 30 km/h. W związku z tym niezbędne wydaje się opracowanie metodyki i urządzeń do sprawdzania instalacji hamulcowej przyczep i ciągników oraz urządzeń do określania skuteczności hamowania ciągników w ramach badań homologacyjnych i kwalifikacyjnych.

## 2. Wymagania dotyczące skuteczności hamulców ciągnika

W opracowywanym przez WGAT (Working Group on Agricultural Tractors) Regulaminie [6] przewiduje się następujące badania skuteczności hamulców ciągnika:

- a) badanie zasadniczego układu hamulcowego (hamulca roboczego), w tym:
  - skuteczności działania hamulców zimnych – badanie typu 0;
  - skuteczności działania hamulców nagrzanym z wielokrotnym hamowaniem (test zaniku) – badanie typu I;
- b) badanie skuteczności hamulca awaryjnego;
- c) badanie skuteczności hamulca postojowego.

### 2.1. Układ hamulcowy zasadniczy

Jako miarę skuteczności działania hamulców zasadniczych ciągników kołowych (kategoria T) i gąsienicowych (kategoria C) przyjmuje się wartość drogi zatrzymania  $s$  lub w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania  $d_m$ .

W badaniach typu 0 prowadzonych dla hamulców zimnych powinien być spełniony warunek:

- dla maksymalnej prędkości konstrukcyjnej  $v_{\max} \leq 30$  km/h

$$s \leq 0,15v + \frac{v^2}{116} \text{ [m]} \quad (1)$$

- dla prędkości  $v_{\max} > 30$  km/h

$$s \leq 0,15v + \frac{v^2}{130} \text{ [m]} \quad d_m \geq 5 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (2)$$

przy czym prędkość początkowa  $v \geq 98\% v_{\max}$ , a siła sterująca na pedale hamulca  $\leq 600$  N; przy sterowaniu ręcznym  $\leq 400$  N.

W przypadku pojazdów kategorii T i C przeznaczonych do ciągnięcia pojazdów niehamowanych kategorii R (przyczepy) i S (wymienne holowane maszyny) maksymalna masa zespołu ciągnik-pojazd ciągnięty niehamowany nie powinna przewyższać maksymalnej masy dopuszczalnej obciążonego ciągnika, pomnożonej przez iloraz przypisanej drogi zatrzymania wartości maksymalnej określonej w przepisach) do drogi zatrzymania wyznaczonej w badaniach testu 0:

$$P_C \leq P_M \frac{s_p}{s_a} \quad (3)$$

gdzie:  $P_C$  – maksymalna masa zespołu ciągnik-pojazd niehamowany, deklarowana przez producenta ciągnika,  $P_M$  – maksymalna masa obciążonego ciągnika,  $s_p$  – przypisana droga zatrzymania,  $s_a$  – osiągnięta droga zatrzymania, zmierzona podczas testu typu 0 (traktor obciążony do swej masy maksymalnej  $P_M$ ). W każdym przypadku suma obciążenia wszystkich osi ciągniętego pojazdu niehamowanego nie powinna przekraczać 3,5 tony.

Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie ( $d_m$ ) należy obliczyć jako opóźnienie średnie odniesione do drogi w przedziale od  $v_b$  do  $v_e$ , zgodnie z następującą zależnością:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25.92(S_e - S_b)} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (4)$$

gdzie:  $v_b$  – prędkość pojazdu odpowiadająca  $0,8v$  [km/h],  $v_e$  – prędkość pojazdu odpowiadająca  $0,1v$  [km/h],  $S_b$  – droga przebyta między  $v$  i  $v_b$  [m],  $S_e$  – droga przebyta między  $v$  i  $v_e$  [m].

Prędkość i drogę należy określić używając przyrządów o dokładności  $\pm 1\%$  przepisanej dla badań prędkości. Wartość  $d_m$  może być określona innymi metodami, niż przez pomiar prędkości i drogi; w tym wypadku dokładność pomiaru  $d_m$  powinna mieścić się w granicach  $\pm 3\%$ .

W badaniach typu I (próba zaniku z nagrzanymi hamulcami) układ hamulców zasadniczych poddaje się nagrzewaniu przez 20-krotne zahamowanie od prędkości początkowej  $v_1=80\% v_{\max}$  do końcowej  $v_2=1/2 v_1$ . Czas trwania pojedynczego cyklu hamowania  $\Delta t$ , czyli czas upływający pomiędzy początkiem zahamowania i początkiem następnego wynosi 60 s. Jeżeli charakterystyki pojazdu czynią niemożliwym uzyskanie przypisanych czasów trwania cyklu  $\Delta t$ , czas ten można wydłużyć; jednak w każdym przypadku, oprócz czasu niezbędnego do hamowania i przyspieszania pojazdu, potrzebny jest czas 10 s do ustabilizowania się prędkości początkowej  $v_1$  w każdym cyklu hamowania. W badaniach tych siła użyta do sterowania powinna być tak dobrana, aby można było uzyskać przy pierwszym zahamowaniu średnią wartość w pełni rozwiniętego opóźnienia równą  $3\text{m/s}^2$ . Siła ta powinna być utrzymana we wszystkich następnych hamowaniach.

Skuteczność działania hamulców roboczych nagrzanym po badaniach typu I nie może być mniejsza niż 75% wymaganej skuteczności hamulców zimnych i nie mniejsza niż 60% skuteczności osiągniętej w badaniach typu 0.

Należy podkreślić, że pojazdy kategorii T i C przeznaczone do ciągnięcia przyczep kategorii R3 i R4 (masa całkowita powyżej 3500 kg) i maszyn kategorii S2 (masa całkowita powyżej 1500 kg), poruszające się z maksymalnymi prędkościami konstrukcyjnymi powyżej 30 km/h powinny spełniać również wymagania dotyczące kompatybilności wskaźników hamowania.

## 2.2. Układ hamulcowy awaryjny

Awaryjny układ hamulcowy powinien obniżać prędkość pojazdu do zatrzymania z opóźnieniem równym co najmniej  $1,5 \text{ m/s}^2$  kiedy  $v_{\max} \leq 30 \text{ km/h}$  i  $2,2 \text{ m/s}^2$  kiedy  $v_{\max} > 30 \text{ km/h}$ . Test efektywności hamulców awaryjnych (badanie typu 0) powinien być wykonany poprzez symulację niesprawności w układzie hamulców roboczych.

## 2.3. Układ hamulcowy postojowy

Układ hamulcowy postojowy, nawet jeżeli jest połączony z jednym z pozostałych układów hamulcowych, powinien umożliwiać utrzymanie pojazdu obciążonego na spadku i na wzniesieniu o nachyleniu 18% (dla pojazdów kategorii T4.3 o małym

prześwicie nawet 40%). To wymaganie powinno być spełnione nawet przy spadku temperatury hamulców do 10 °C powyżej temperatury otoczenia.

Hamulec postojowy ciągnika przeznaczony do ciągnięcia przyczep powinien utrzymać zespół pojazdów o dopuszczalnej maksymalnej masie, określonej przez producenta ciągnika, w spoczynku na spadku i na wzniesieniu o nachyleniu 12%. W przypadku zespołu pojazdów ciągnik-przyczepa niehamowana maksymalna masa całkowita  $P_c$  zespołu pojazdów powinna spełniać warunek (3). Dopuszcza się hamulec postojowy, który musi być uruchamiany kilkakrotnie zanim osiągnie przypisaną skuteczność.

### 3. Badania procesu hamowania

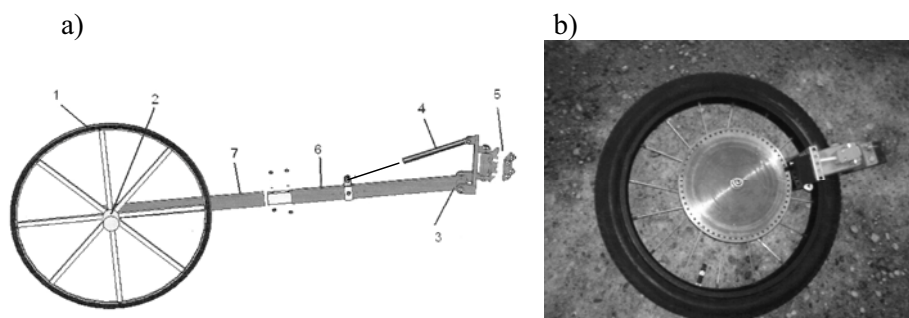
Do określania chwilowych opóźnień i prędkości oraz drogi przebytej podczas hamowania potrzebna jest specjalistyczna aparatura pomiarowa. Coraz częściej stosowane są urządzenia do bezstykowego pomiaru tych wielkości, w tym różnego rodzaju urządzenia typu Correvit, czy też szybkie i dokładne odbiorniki GPS. Są to jednak urządzenia stosunkowo drogie, dlatego w badaniach drogowych wciąż wykorzystuje się prostsze rozwiązania, takie jak „piąte koło” i frenotest.

#### 3.1. Piąte koło

W Katedrze Budowy i Eksploatacji Maszyn Politechniki Białostockiej do badań drogowych różnych pojazdów zaprojektowano i wykonano urządzenie typu „piąte koło” (rys. 1). Jego podstawowym elementem jest koło rowerowe (1), wyposażone w nadajnik impulsów mocowany w osi koła (2). Do czytania impulsów z tarczy wykorzystano czujnik optyczny TCST1103. Koło posiada zaczep (5) umożliwiający montowanie na haku badanego pojazdu. W celu eliminacji poślizgów oraz odrywania się koła od nawierzchni w trakcie toczenia zamontowano sprężynę (4).

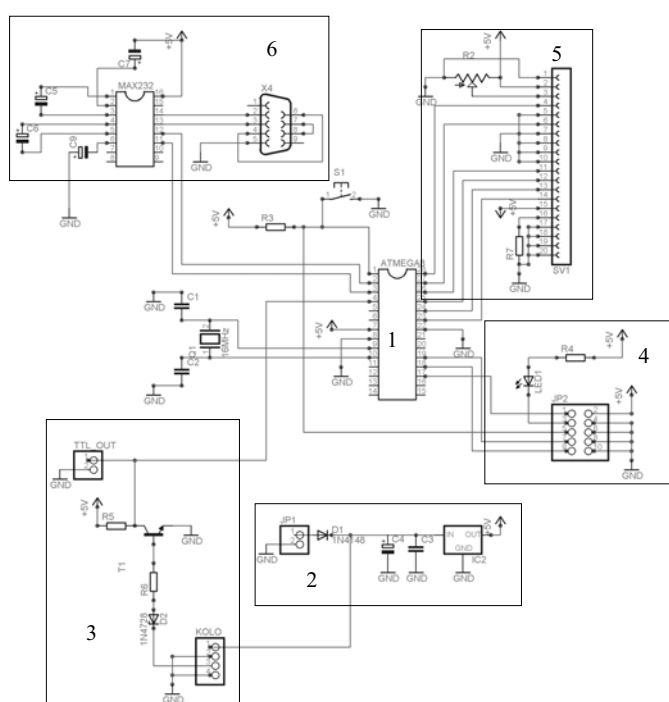
Ze względu na impulsowy charakter sygnału z czujnika optycznego zaprojektowano własny mikrokontroler przedstawiony na rysunku 2. Mikrokontroler został oparty na układzie ATMega8 i oprogramowany w języku Bascom. Mikrokontroler zlicza impulsy z czujnika obrotów i na tej podstawie określa drogę przejechaną przez pojazd, jego chwilową prędkość i przyspieszenie. Wartości te przedstawiane są na wyświetlaczu LCD. Układ został wyposażony w interfejs RS232 w celu kalibracji mikrokontrolera oraz transmisji mierzonych danych do komputera przenośnego. Kalibracja sprowadza się do zapisania w pamięci EEPROM mikrokontrolera wartości promienia tocznego koła oraz liczby impulsów tarczy.

Akwizycję oraz wizualizację mierzonych wartości umożliwia program komputerowy „5Kolo.exe” napisany w systemie Delphi. Przykładowe okna programu w trakcie prowadzonych badań przedstawiono na rysunku 3. Zaprezentowany system umożliwia odczyt danych z częstotliwością do 20Hz.



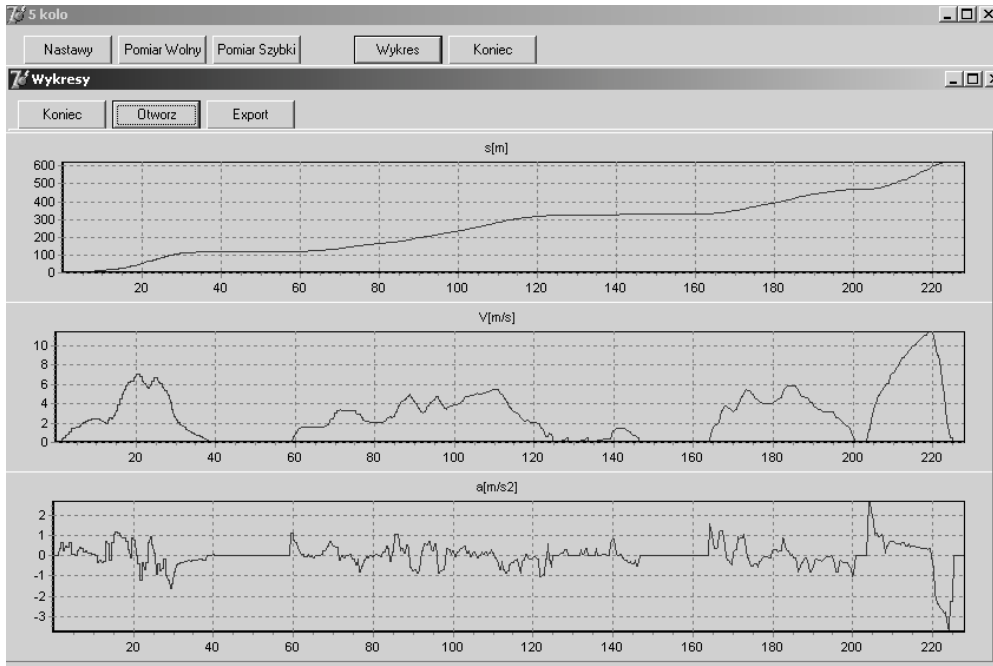
Rys. 1. Piąte koło: a) ogólna budowa: 1 - koło rowerowe, 2 - oś do mocowania tarczy impulsowej, 3 - przegub, 4 - sprężyna powietrzna, 5 - przegub i mocowanie do pojazdu, 6,7 – rama; b) widok tarczy impulsowej wraz z czujnikiem optycznym.

Fig. 1. Fifth wheel: a) Constructive scheme 1- bicycle wheel, 2 - axle with impulse disc and optical sensor, 3 - joint, 4 - air spring, 5 - joint and holder, 6,7 – frame; b) view of impulse disc and optical sensor.



Rys. 2. Schemat mikrokontrolera „piąte koło”: 1 - mikrokontroler ATmega8, 2 - obwód zasilania, 3 - obwód czujnika impulsów, 4 - złącze programatora, 5 - obwód wyświetlacza LCD, 6 - interfejs RS232.

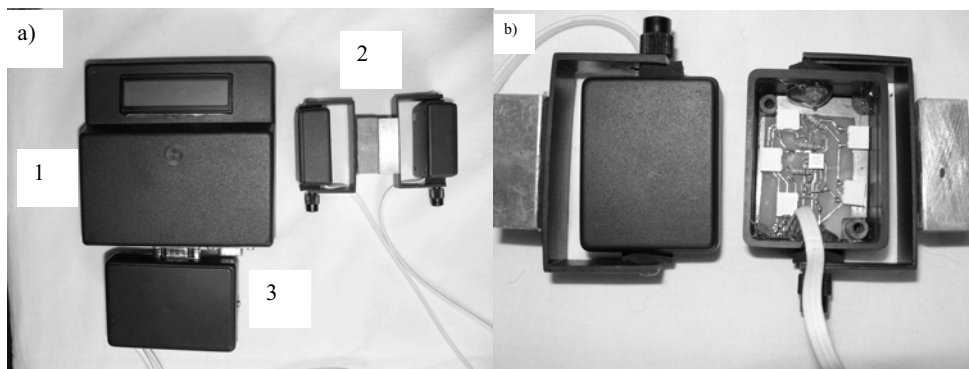
Fig. 2. Scheme of „5<sup>th</sup> wheel” controller, 1 - microcotroller ATmega8, 2 - loading circuit, 3 - circuit of impulse sensor, 4 - programmer connector, 5 - circuit of LCD monitor, 6 - interface RS232.



Rys. 3. Przykładowe okna programu „5Kolo.exe”.  
 Fig. 3. Exemplary windows of computer program „5Kolo.exe”.

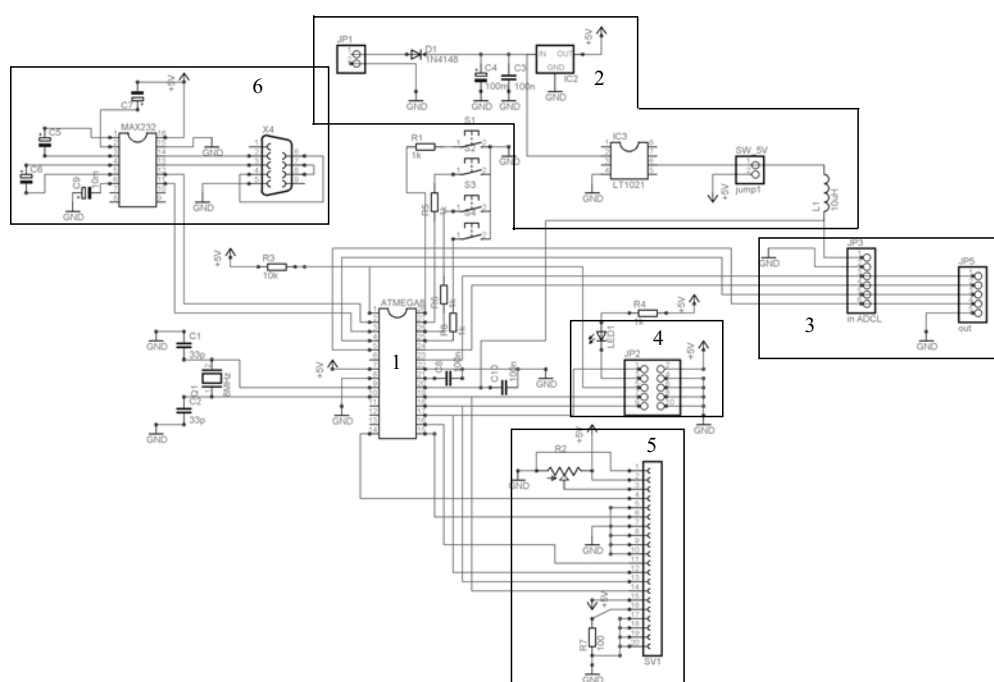
### 3.2. Frenotest

Jedną z pośrednich metod wyznaczania opóźnienia hamowania jest numeryczne różniczkowanie sygnału prędkości otrzymanego za pomocą np. "piątego koła". Ze względu na błędy różniczkowania sygnału, celowym wydaje się stosowanie w pomiarach akcelerometrów. Przykładami takich akcelerometrów są czujniki grupy MXDxxxx lub MXRxxxx firmy MEMSIC, których zaletą jest stosunkowo niska cena. Posiadają one wyjścia analogowe lub cyfrowe oraz dwie lub trzy osie pomiarowe, w których określone są przyspieszenia. Na bazie tych układów zbudowano własne czujniki przedstawione na rysunku 4b. Podłączone zostały one poprzez wzmacniacz sygnału do mikrokontrolera (rys. 4a). Mikrokontroler umożliwia pomiar i odczyt z wyświetlacza LCD bieżących wskazań opóźnień oraz wartości maksymalnych w próbie hamowania. Schemat elektryczny mikrokontrolera przedstawiono na rysunku 5. Mikrokontroler został wyposażony w interfejs RS232 do komunikacji z komputerem przenośnym oraz własny program „Frenotest.exe” do akwizycji i wizualizacji pomiarów.



Rys. 4. Elektroniczny frenostat: a) elementy składowe: 1 - mikrokontroler, 2 - czujniki pomiarowe, 3 - wzmacniacz sygnału; b) widok czujników pomiarowych.

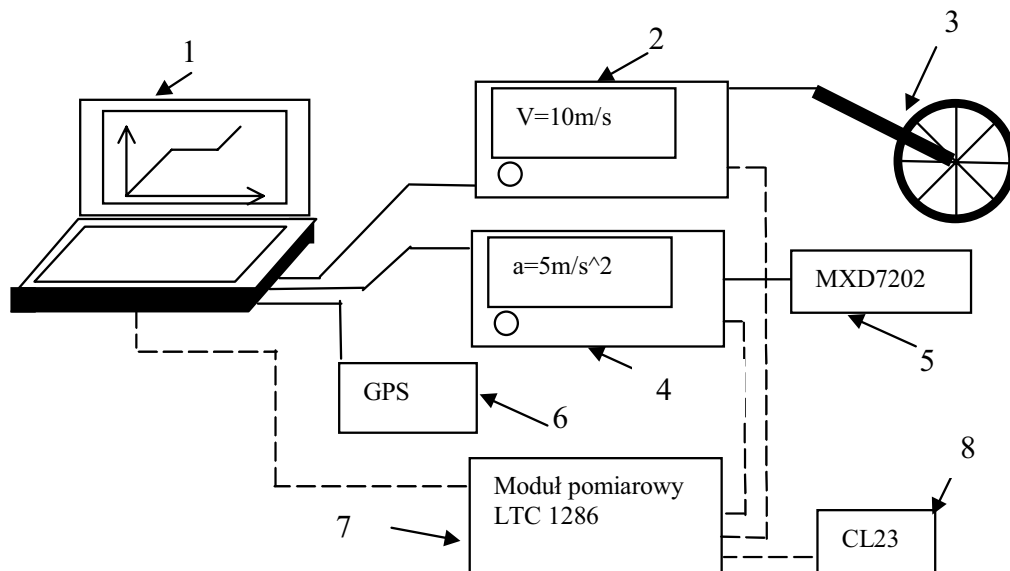
Fig. 4. Electronic Frenostat a) Elements: 1 - controller, 2 - sensors, 3 - amplifier; b) View of sensors.



Rys. 5. Schemat mikrokontrolera „frenostat”: 1 - mikrokontroler ATMEGA8, 2 - obwód zasilania, 3 - obwód akcelerometrów, 4 - złącze programatora, 5 - obwód wyświetlacza LCD, 6 - interfejs RS232.  
 Fig. 5. Scheme of „Frenostat” controller, 1 - microcotroller ATMEGA8, 2 - loading circuit, 3 - circuit of accelerometer sensor, 4 - programmer connector, 5 - circuit of LCD monitor, 6 - interface RS232.

### 3.3. Moduł pomiarowy LTC1286

Przedstawione urządzenia są urządzeniami autonomicznymi, które zintegrowano w jeden system pomiarowy przedstawiony na rysunku 6. Dodatkowo system wyposażono w odbiornik GPS (6) oraz czujnik nacisku na pedał hamulca (8). W celu zwiększenia częstotliwości pomiarów wyjścia analogowe zaprojektowanych mikrokontrolerów podłączono do własnej konstrukcji modułu pomiarowego (7). Uzyskano w ten sposób możliwość pomiarów z częstotliwością do 10kHz. Schemat elektryczny modułu pomiarowego LTC1286 przedstawiono na rysunku 7.

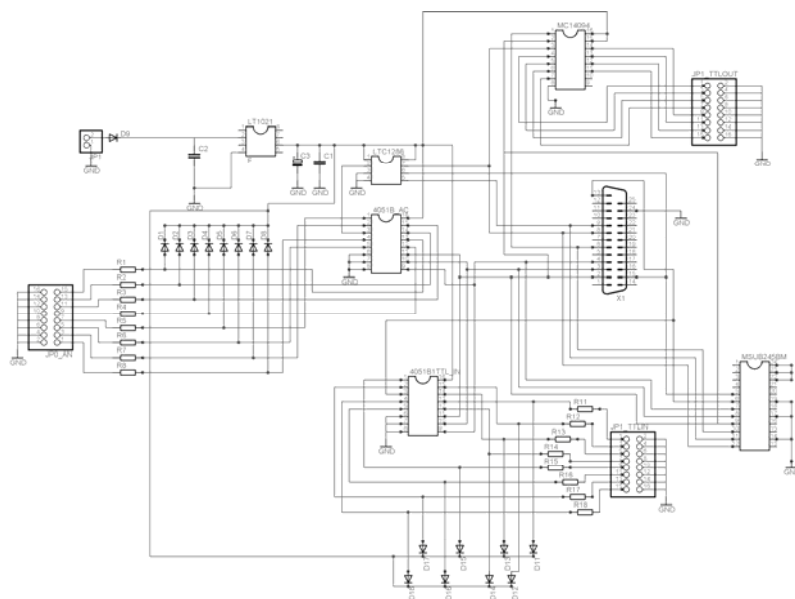


Rys. 6. Schemat systemu pomiarowego do badania procesu hamowania pojazdów: 1 - komputer przenośny, 2 - mikrokontroler „piąte koło”, 3 - „piąte koło”, 4 - frenotest elektroniczny, 5 - czujnik przyspieszeń MXD7202, 6 - odbiornik GPS Holux GPSlim 236, 7 - moduł pomiarowy LTC1286, 8 - czujnik nacisku na pedał hamulca CL23.

Fig. 6. Scheme of measure system for braking process of vehicle: 1 - laptop, 2 - „5<sup>th</sup> wheel” controller, 3 - fifth wheel, 4 - „Frenotest” controller, 5 - accelerometer sensor MXD7202, 6 - GPS receiver Holux GPSlim 236, 7 - measure module LTC1286, 8 - pedal force sensor.

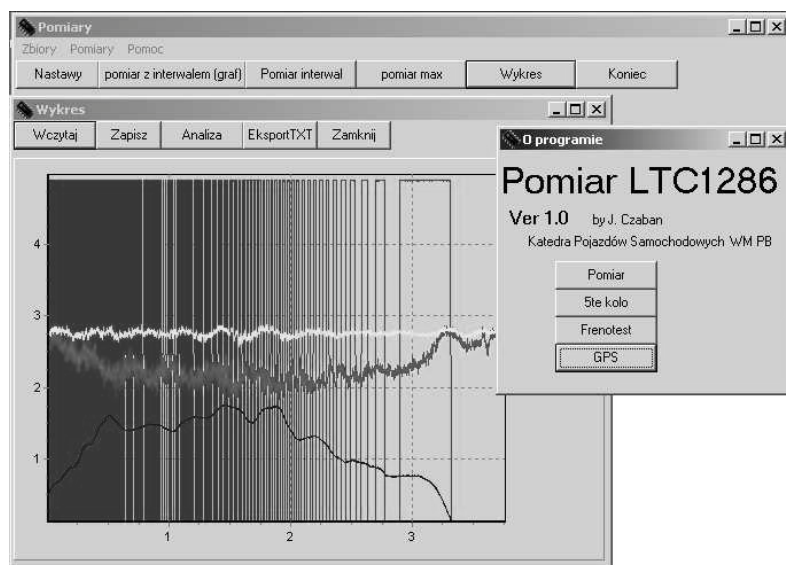
Do pomiarów analogowych wykorzystano 12-bitowy przetwornik A/C LTC1286 oraz 8-kanałowy multiplexer HCF4051. Dodatkowo moduł posiada 8 wyjść i 8 wejść cyfrowych opartych na układach HCF4051 i MC4094. Komunikacja z komputerem przenośnym odbywa się poprzez port LPT lub złącze USB wykorzystujące interfejs SPI synchronicznego przesyłania danych.





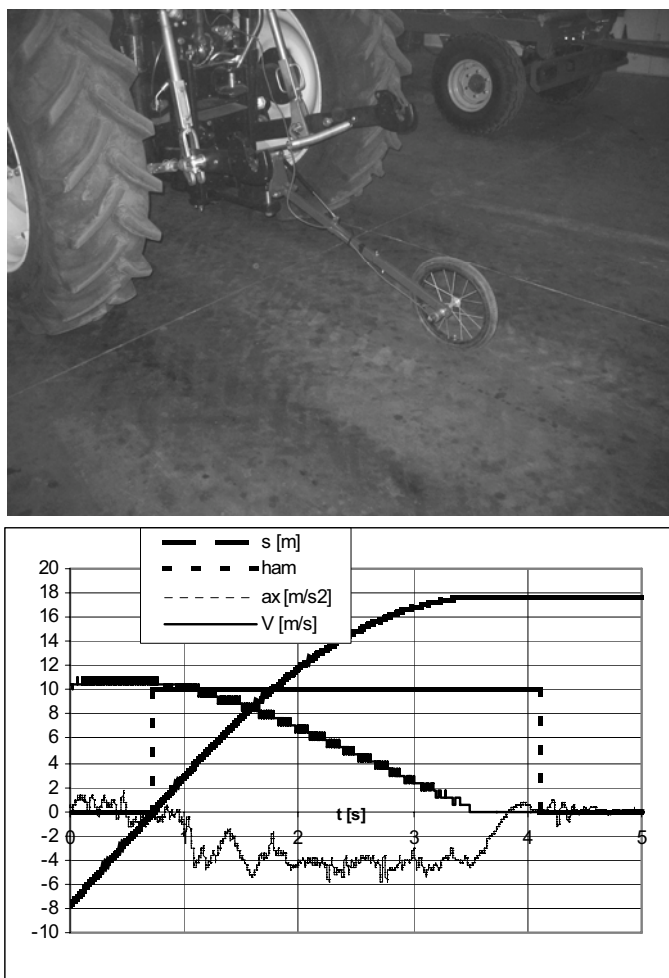
Rys. 7. Moduł pomiarowy LTC1286.  
Fig. 7. Measure module LTC1286.

Do obsługi modułu napisano w środowisku Delphi program „LTC1286.exe”, którego przykładowe okna w trakcie badań procesu hamowania przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Przykładowe okna programu „LTC1286.exe”.  
Fig. 8. Exemplary windows of computer program „LTC1286.exe”.

Na rysunku 9 zaprezentowano przykładowe wyniki badań procesu hamowania ciągnika rolniczego, zrealizowane za pomocą przedstawionego systemu pomiarowego. W pomiarach wykorzystano „piąte koło”, czujnik nacisku na pedał hamulca CL23 oraz frenotest wraz z akcelerometrem opartym na czujniku MXD7202.



Rys. 9. Przykład zastosowania systemu w pomiarach procesu hamowania ciągnika rolniczego.

Fig. 9. The example results of the road tests of tractor braking process.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione wymagania i warunki badań opracowano wg najnowszych propozycji norm i przepisów w zakresie hamowania ciągników rolniczych. Zaproponowana metodyka badań skuteczności hamulców może być wykorzystana w całości lub częściowo do opracowania programu badań kwalifikacyjnych i kontroli zgodności produkcji z warunkami homologacji.

Zaproponowany system pomiarowy może być szeroko wykorzystany w badaniach właściwości ruchowych pojazdów, w tym rozpędzania i hamowania, czy też jazdy według określonych cykli. System pomiarowy charakteryzuje się prostotą i niezawodnością, zapewniając żądaną dokładność pomiarów. Jego podstawową zaletą jest przede wszystkim bardzo mały koszt komponentów, zależny od jakości podłączonych przetworników. System pomiarowy wykorzystywany jest głównie w procesie nauczania na specjalności pojazdy samochodowe na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej oraz w pracach badawczych autorów.

### Literatura

- [1] Dyrektywa 2003/73/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 26 maja 2003 r. w sprawie homologacji typu ciągników rolniczych i leśnych, ich przyczep i wymiennych holowanych maszyn, łącznie z ich układami, częściami i oddzielnymi zespołami technicznymi oraz uchylająca dyrektywę 74/150/EWG.
- [2] Polska norma PN-90/R-36123. Ciągniki. Przyczepy i przyczepiane maszyny rolnicze. Powietrzny jednoprzewodowy układ przenoszący hamulców. Wymagania i badania.
- [3] Polska norma PN-76/S-47000. Pojazdy samochodowe i przyczepy. Skuteczność działania układów hamulcowych. Wymagania i badania.
- [4] Regulamin 13 ECE. Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 30 grudnia 2003 r. w sprawie homologacji ciągników rolniczych. Rozdz. 6. Układy hamulcowe. Dz.U.04.5.31 z dnia 15 stycznia 2004.
- [6] Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of [...] on the braking systems of agricultural or forestry tractors, their trailers and interchangeable towed machinery, amending Directive 2003/37/EC of the European Parliament and of the Council and Council Directive 89/173/EEC and repealing Council Directive 76/432/EEC (z dn. 17.11.2008)
- [7] KAMIŃSKI Z., CZABAN J.: *Propozycja programu badań układów hamulcowych ciągników rolniczych*. Motorol 2006, s. 92-100.
- [8] BIL L., KIERACIŃSKA A., OKNIŃSKI M.: *Propozycja zmiany w nadzorowaniu instalacji sprężonego powietrza ciągników rolniczych dla poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce*. VIII Konferencja Hamulcowa'2007, Hamulce pojazdów drogowych, Łódź, 8-9.11.2007.
- [9] ORZEŁOWSKI S.: *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*. WNT, Warszawa 1995.

### Performance testing of agriculture tractor braking systems

#### S u m m a r y

Requirements of braking performance of agriculture tractors according to the WGAT (Working Group on Agricultural Tractors) proposition were described in this paper. The research method and measure system consist of pedal force sensor, fifth wheel and electronic frenotest were developed. The example results of the road tests were regarded.