

## HARDWARE AND SOFTWARE OF DIAGNOSTIC SYSTEM OF WHEELED TRACTORS

## HARDWER I SOFTWER SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO CIĄGNIKÓW KOŁOWYCH

Ryszard Arendt <sup>1</sup>, Ryszard Michalski <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, <sup>2</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

E-mail: [r.arendt@ely.pg.gda.pl](mailto:r.arendt@ely.pg.gda.pl); [ryszard.michalski@uwm.edu.pl](mailto:ryszard.michalski@uwm.edu.pl)

**Abstract:** *The design and construction of a diagnostic device requires the development of a system for the acquisition and processing of measurement data, numerous cable connections and an on-board computer. The key component of a diagnostic system was the Fujitsu FUTRO S100 on-board computer in shock and vibration-proof housing, with passive cooling and a 16 GB Compact Flash memory card. The computer was provided with a NVOX LCD 10" VGA/FVAT touch screen. The following software was used: Windows XP-2000, USB/DeviceNet interface module and a diagnostic program. The computer was connected to the I-7565USB/DeviceNet master device via the USB port. The CAN bus connected the interface module with three slave devices collecting data from sensors installed in various locations of a wheeled tractor.*

**Keywords:** *Diagnostic system, information technology, wheeled tractor*

**Streszczenie:** *Podstawowym elementem systemu diagnostycznego jest komputer pokładowy Fujitsu FUTRO S100 z chłodzeniem pasywnym w wykonaniu odpornym na drgania i wstrząsy, z pamięcią Compact Flash 16Gb. Do komputera dołączony jest monitor dotykowy NVOX LCD 10" VGA/FVAT. Oprogramowanie komputera obejmuje system operacyjny Windows XP-2000, driver konwertera USB/DeviceNet oraz opracowany program diagnostyczny. Komputer połączony jest łączem USB z konwerterem protokołu USB na DeviceNet, typu I-7565 pracującym jako „master”. Sieć CAN łączy konwerter z trzema urządzeniami akwizycji danych (urządzenia „slave”) czujników zainstalowanych w wybranych punktach ciągnika kołowego.*

**Słowa kluczowe:** *System diagnostyczny, technologie informatyczne, ciągnik kołowy*

## 1. Wstęp

W projekcie systemu diagnostycznego ciągnika kołowego zwrócono uwagę na monitorowanie, wykrywanie i lokalizowanie uszkodzeń podzielonych na klasy związane z następującymi skutkami [1, 2, 7]: funkcjonalnymi ( $u_f$ ), emisyjnymi ( $u_e$ ), zagrażającymi bezpieczeństwu ruchu ( $u_s$ ) oraz pogarszającymi dynamikę ( $u_d$ ) pracy ciągnika.

Budowa systemu diagnostycznego ciągnika kołowego wiąże się z opracowaniem systemu akwizycji i przetwarzania danych pomiarowych, a więc z dużą liczbą połączeń kablowych i zastosowaniem komputera pokładowego i z tego powodu wskazane jest zastosowanie aplikacji sieciowej.

W pojazdach samochodowych przyjęto standard przemysłowej sieci transmisyjnej CAN (ang. Controller Area Network) [5, 9]. Standard CAN zawiera szeregowy protokół komunikacyjny i ma następujące właściwości:

- możliwość tworzenia przemysłowych systemów rozproszonych, pracujących w czasie rzeczywistym – połączenia zasilania i komunikacji łączą węzły sieci;
- dużą odporność na błędy transmisji;
- transmisję danych sięgającą 1Mb/s (CANopen) i 0,5Mb/s (DeviceNet);
- otwartość struktury – łatwą możliwość wstawienia nowego węzła;
- komunikację rozgłoszeniową o strukturze Master – Slave.

W praktyce zastosowanie znalazły specjalizowane sieci oparte na protokole CAN, najważniejsze z nich to: CANopen oraz DeviceNet.

Wersja CANopen została zgłoszona do europejskiej organizacji standaryzującej jako EN50325-4. Sieci CANopen znalazły zastosowanie w systemach obsługi maszyn i urządzeń pracujących jako systemy wbudowane. Sieci CANopen są stosowane w pojazdach, zwłaszcza samochodach, na kolei, na statkach i samolotach, w układach sterowania i kontroli małych obiektów, choć obserwuje się coraz większe ich stosowanie w złożonych liniach produkcyjnych.

DeviceNet powstał na bazie CAN w 1989 r. w firmie Honeywell jako standard SDS (ang. Smart Distributed System). Specyfikacja protokołu DeviceNet jest wynikiem połączenia protokołu CAN z protokołem CIP (ang. Common Industrial Protocol) i opracowana została w 1994 roku przez firmę Allen-Bradley. SDS zdobył popularność w USA i jest wykorzystywany w automatyzacji linii produkcyjnych oraz sterowaniu i kontroli podzespołów pojazdów.

Rozważono budowę rozproszonego systemu diagnostyki ciągnika, ze względu na prostotę okablowania i możliwość łatwej komunikacji z istniejącymi systemami OBD (On – Board Diagnostics).

W systemie można wykorzystywać do 64 węzłów akwizycji danych bądź sterowania dwustanowego lub analogowego. Można dołączać kolejne węzły „slave” sieci o specjalizowanym zastosowaniu, jak np.: moduły termopar, czujników przyspieszenia i inne.

Przy normalnej pracy sieci z protokołem DeviceNet przesyłane są dane o stanie wejść i wyjść urządzeń (I/O messages). Są to krótkie komunikaty, które



wymagają szybkiego i częstego przesyłania. W polu arbitrażu przesyłanej ramki stosuje się identyfikatory o wysokim priorytecie. Pole danych ramki jest ograniczone do 8 bajtów i w przypadku konieczności przesyłania większej ilości danych, protokół DeviceNet dokonuje ich fragmentację na 7 bajtowe komunikaty. Wtedy pierwszy bajt danych zawiera informację o długości komunikatu.

Drugi typ komunikatów EM (Explicite Messages) służy do przesyłania danych o charakterze ogólnym, statusowym i konfiguracyjnym. Często przesyłana informacja jest dzielona na kilka ramek, które mają identyfikatory o niskim priorytecie. Stosowane są również komunikaty z żądaniem odpowiedzi. Można również komunikatami EM przysyłać dane o stanie wejść i wyjść urządzeń.

Protokół DeviceNet przewiduje następujące sposoby wymiany danych:

- PM (Poll Messages) – cykliczne odpytywanie poszczególnych urządzeń,
- BSM (Bit Strobe Messages) – cykliczne odpytywanie skierowane do wszystkich urządzeń,
- COSM (Change of State Messages) – przesyłanie informacji przy zmianie stanu urządzenia,
- CM (Cyclic Messages) – cykliczne przesyłanie informacji przez wybrane urządzenie.

Komunikacja wykorzystująca mechanizm PM realizowana jest poprzez cykliczne łączenie się „mastera” z urządzeniami „slave” wskazywanymi adresami. Na żądanie „mastera” dane urządzenie „slave” przysyła ramkę danych.

Przy realizacji mechanizmu BSM „master” wysyła w sieć sygnał strobojący. Wysłane dane mogą być odebrane przez wszystkie urządzenia sieci. Urządzenia skonfigurowane do obsługi wiadomości BS, kolejno (zgodnie z adresem) przysyłają do „mastera” ramkę danych.

Mechanizm COSM wykorzystuje łącze jedynie wtedy, gdy stan urządzenia uległ zmianie. Typowa transmisja COSM odbywa się tylko w jedną stronę i ma charakter „jeden do wielu”. Odmianą mechanizmu COS jest cykliczna wymiana danych o zdefiniowanym okresie powtarzania danych CM.

W pracy przedstawiono strukturę hardwarową, zastosowane elementy, zbierane informacje o obiekcie i oprogramowanie opracowanego modelu urządzenia diagnostycznego ciągników kołowych.

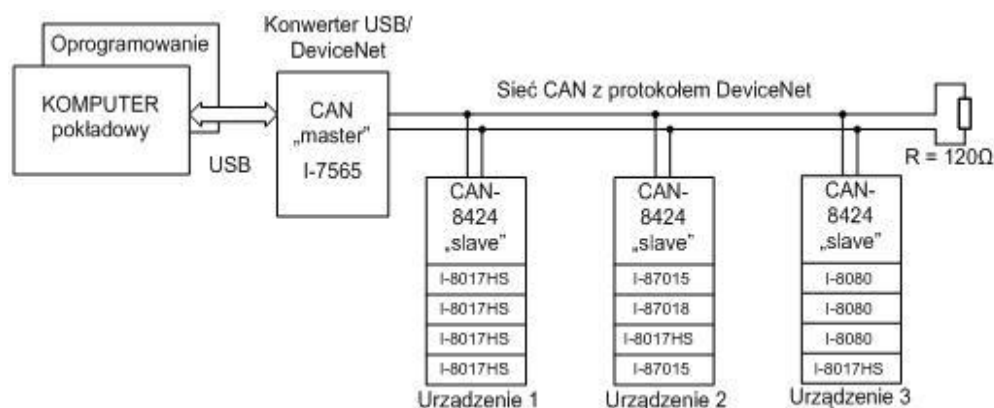
## 2. Struktura hardwarowa urządzenia diagnostycznego

Podstawowym elementem systemu diagnostycznego (rys. 2) jest komputer pokładowy Fujitsu FUTRO S100 z chłodzeniem pasywnym w wykonaniu odpornym na drgania i wstrząsy, z pamięcią Compact Flash 16Gb. Do komputera dołączony jest monitor dotykowy NVOX LCD 10” VGA/FVAT. Oprogramowanie komputera obejmuje system operacyjny Windows XP-2000, driver konwertera USB/DeviceNet oraz opracowany program diagnostyczny. Zainstalowana karta pamięci jest wystarczająca do pracy urządzenia diagnostycznego.

Komputer połączony jest łączem USB z konwerterem protokołu USB na DeviceNet, typu I-7565 pracującym jako „master”. Sieć CAN łączy konwerter

*Hardware and software of diagnostic system of wheeled tractors*  
*Hardwer i softwer systemu diagnostycznego ciągników kołowych*

z trzema urządzeniami akwizycji danych (urządzenia „slave”) czujników zainstalowanych w wybranych punktach ciągnika kołowego. Urządzenia spełniają funkcję koncentratorów danych. Każde z urządzeń rozróżniane jest przez adres ID i wyposażone jest w cztery karty pomiarowe wejść (wyjść), dobrane stosownie do zakresów i typów mierzonych sygnałów.



Rys. 1 Struktura modelu urządzenia diagnostycznego ciągników kołowych

Zastosowano urządzenia sieciowe i moduły akwizycji danych firmy ICP DAS o dużej odporności na zmiany temperatury ( $-25^{\circ} \div +75^{\circ}\text{C}$ ) i wstrząsy. W urządzeniu diagnostycznym przyjęto wykorzystanie 4 typów modułów akwizycji danych:

- I-8017HS – moduł wejść analogowych; umożliwia zbieranie danych 8 sygnałów analogowych o wartościach:  $\pm 10\text{V}$ ,  $\pm 5\text{V}$ ,  $\pm 2,5\text{V}$  oraz  $\pm 20\text{mA}$  lub 16 sygnałów analogowych bez uwzględnienia ujemnych wartości;
- I-87015 – moduł wejść analogowych czujników temperatury RTD; umożliwia zbieranie danych 7 sygnałów analogowych czujników rezystancyjnych różnych typów i o różnych zakresach temperaturowych; zastosowano czujniki Pt100 o zakresie  $0^{\circ} \div +200^{\circ}\text{C}$ ;
- I-87018 – moduł wejść analogowych; umożliwia zbieranie 8 sygnałów analogowych o różnych zakresach, w tym z zakresu napięć wyjściowych termopar; zastosowano termopary typu K o zakresie  $-270^{\circ} \div +1372^{\circ}\text{C}$ ;
- I-8080 – moduł wejść impulsowych; umożliwia zbieranie 4 (8) sygnałów dwustanowych, zliczanie impulsów w górę, w dół oraz pomiar częstotliwości, wykorzystany do pomiaru prędkości obrotowej wałów poprzez czujniki typu „pick up”.

Budowane urządzenie diagnostyczne ma charakter naukowo-badawczy i w dużym stopniu ma nadmiarowe możliwości akwizycji danych, w stosunku do potrzeb urządzenia diagnostycznego standardowego wyposażenia ciągnika. Maksymalna liczba dostępnych danych analogowych wynosi 144 czujniki. Prędkość przesyłania danych w sieci CAN z protokołem DeviceNet jest dość duża i osiąga 500kb/s.

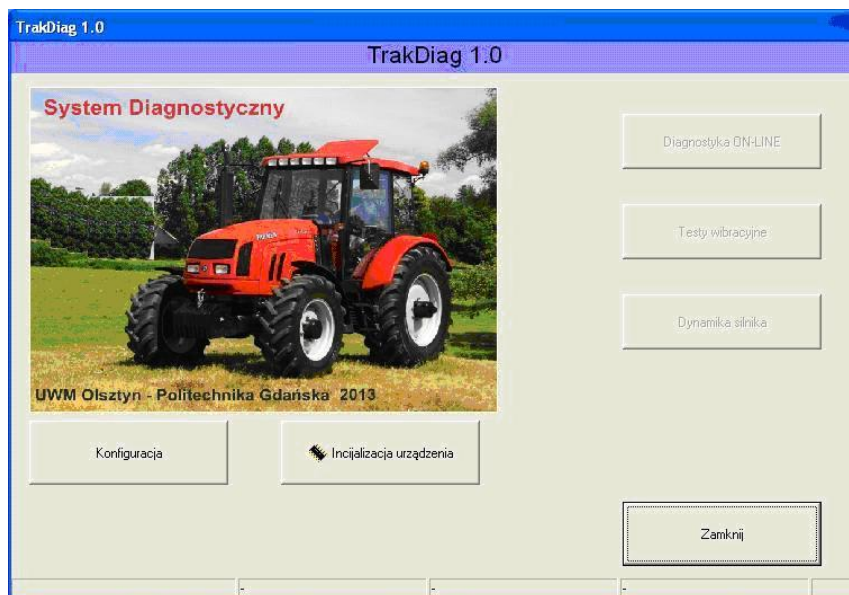
Duża koncentracja danych w trzech urządzeniach akwizycji danych spowodowała, że utracono wiele interesujących właściwości definiowania komunikacji protokołu DeviceNet opisanych ww wstępie. Mechanizmy komunikacji COS, BS i PO dla trzech urządzeń są w stanie przesłać 3 ramki po 8 bajtów, czyli dane tylko 12 czujników. Przy tworzeniu programu diagnostycznego należało zastosować mechanizmy komunikacji Explicite messages.

### 3. Struktura interfejsu programu diagnostowania ciągnika kołowego

Na obecnym etapie prac przewidziano wykorzystanie następujących procedur diagnostycznych:

- diagnostyka on-line – cykliczna praca programu akwizycji danych z odczytem danych z czujników co okres  $T = 1s$  (wartość domyślna), prowadzenie diagnostyki, generacja kodów ewentualnych błędów;
- testy wibracyjne – zebranie pliku danych z czujników przyspieszeń, wykorzystanie procedury szybkiej transformaty Fouriera i specjalizowanych procedur diagnostycznych;
- testy dynamiki silnika – zebranie pliku danych z czujników prędkości obrotowej wałów, obliczenie przebiegu prędkości i przyspieszenia w określonych warunkach pracy ciągnika – wykorzystanie wiedzy o dynamice silnika w diagnostyce.

Na rysunku 2 pokazano okno główne programu diagnostycznego.



Rys. 2 Widok okna głównego programu diagnostycznego

Po przejściu do okna diagnostyki lub testu możliwa jest konfiguracja systemu akwizycji danych, bądź rozpoczęcie procedur diagnostycznych i testowych.

### **Podprogram konfiguracyjny**

Podprogram konfiguracyjny jest pierwszym etapem konfiguracji systemu akwizycji danych opartego na urządzeniach sieciowych CAN-8424 i obejmuje zdefiniowanie parametrów sprzętu i organizacji przesyłanych danych pomiarowych. W tym celu wykorzystywany jest program SlaveUtility (ICP DAS). Użytkownik definiuje typy modułów zainstalowanych w kolejnych łączówkach urządzenia CAN oraz określa funkcje poszczególnych wejść, ewentualnie zakresy czułości poszczególnych wejść danego modułu. Wybór wejść używanych danych (podłączonych czujników) i kolejność ich odczytu jest definiowana w warstwie programowej sieci CAN „Assembly Object”. Jedna ramka danych może zawierać do 8 bajtów, istnieje możliwość opisu do 16 ramek. Dane zestawione przez użytkownika zapisywane są w pliku EDS (Electronic Data Sheet) używanych do konfiguracji modułu CAN-8424. Dodatkowo tworzony jest plik tekstowy dostępny dla użytkownika.

Czytane dane zawierają informacje pomiarowe – po dwa bajty na jeden pomiar. Zadaniem podstawowym podprogramu konfiguracyjnego jest przyporządkowanie pomiarom nazwy własnej elementu pomiarowego, procedury zamiany bajtów na wartość liczbową w przyjętych jednostkach MKSE oraz przypisanie obliczonej wartości zmiennej o nazwie elementu pomiarowego. Pole bez nazwy oznacza pominięcie danego pomiaru.

Na ekranie podprogramu konfiguracyjnego (rys. 3) użytkownik wprowadza dane:

- adres MAC ID urządzenia,
- konfigurowany moduł,
- nazwy własne urządzeń pomiarowych,
- jednostka pomiarowa w MKSE,
- współczynnik wzmocnienia sygnału,
- numer procedury zamiany bajtów na wartość liczbową.

Bajt 1-2	Bajt 3-4	Bajt 5-6	Bajt 7-8	Bajt 9-10	Bajt 11-12	Bajt 13-14	Bajt 15-16
Opis 1	Opis 2	Opis 3	Opis 4	Opis 5	Opis 6	Opis 7	Opis 8
Jednostka	Jednostka	Jednostka	Jednostka	Jednostka	Jednostka	Jednostka	Jednostka
Wsp 1	Wsp 2	Wsp 3	Wsp 4	Wsp 5	Wsp 6	Wsp 7	Wsp 8
Procedura	Procedura	Procedura	Procedura	Procedura	Procedura	Procedura	Procedura

Rys. 3 Widok ekranu podprogramu konfiguracji danych pomiarowych



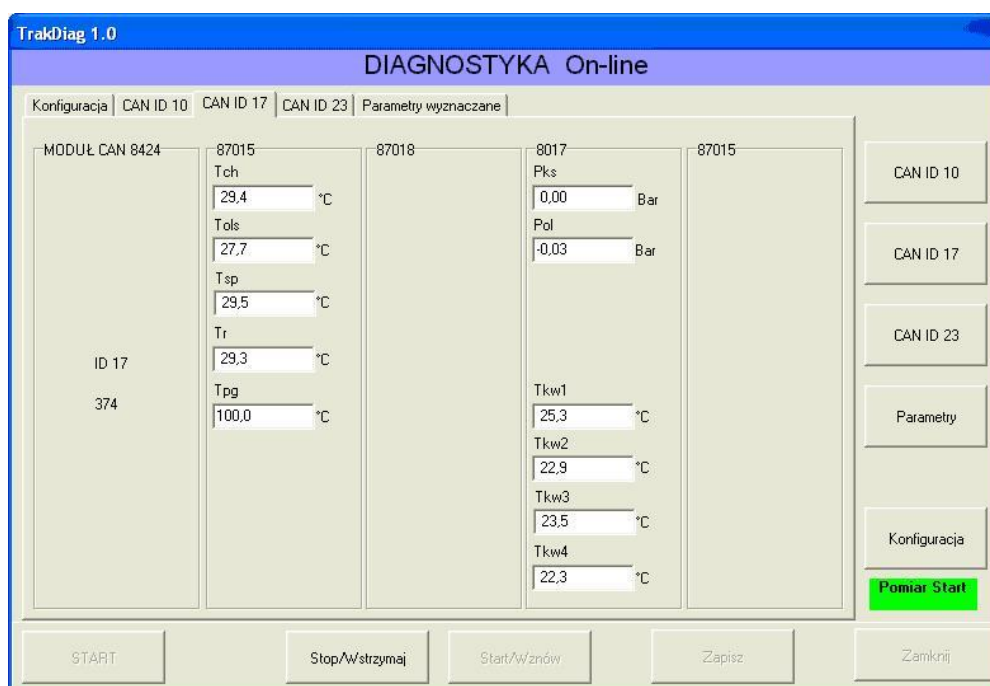
### Konwersja danych pomiarowych

Wykorzystywane moduły pomiarowe mają różnorodną reprezentację danych pomiarowych w bajtach. Przy konwersji danych pomiarowych należy wziąć pod uwagę:

- liczbę bajtów reprezentacji danych – używa się 2, 4 i 6 bajtów,
- liczbę bitów reprezentacji danych w dwóch bajtach – używa się zakresów 14 i 16 bitów,
- maksymalną wartość zakresu reprezentacji danych w dwóch bajtach, np.: 7FFFh, 1FFFh,
- minimalną wartość zakresu np.: 0000 h, dla zakresu ujemnego 2000 h,
- maksymalne i minimalne fizyczne zakresy pomiarowe czujnika odpowiadające wartościom zakresów w bajtach,
- użyteczny zakres pomiarowy  $4 \div 20$  mA, dla stosowanego zakresu  $\pm 20$  mA,
- przeliczanie jednostek fizycznych.

Do konwersji danych pomiarowych opracowano 11 procedur obliczeniowych. Wybór procedury wskazywany jest przez nazwę urządzenia pomiarowego.

Podczas diagnostyki „on-line” możliwy jest podgląd mierzonych parametrów ciągnika kołowego (rys. 4). Również można obejrzeć obliczane wartości parametrów, niedostępne w bezpośrednim pomiarze (inne okno).



Rys. 4 Okno pomiarów parametrów ciągnika kołowego

### **Wybrane algorytmy programu**

Przy diagnostyce „on-line” chwile dokonywania odczytów wyznacza wątek sterowania zegarem czasu rzeczywistego. Co okres czasu  $T$  wywoływana jest procedura odczytu danych. Zapisane w tablicy bajty przetwarzane są w procedurze konwersji danych na wartości fizyczne przypisane zmiennym o nazwie czujnika pomiarowego. Na bazie zarejestrowanych danych i pamiętanych parametrów obliczane są wartości fizyczne zmiennych ciągnika niedostępne w bezpośrednich pomiarach. Zarejestrowane i obliczone wartości wykorzystywane są w procedurze diagnostycznej i mogą być wyświetlane na ekranie. Zachodzące zależności przyczynowo-skutkowe pomiędzy stanami niezdatności określonych elementów ciągnika, a symptomami identyfikowane są jako uszkodzenia i sygnalizowane określonymi kodami błędów.

### **Wątek sterowania zegarem czasu rzeczywistego**

Pomiary czasu rzeczywistego z użyciem systemu Windows wiążą się z trudnością zachowania stabilnego czasu i częstotliwości próbkowania. Dostępne podstawowe instrumenty programistyczne dowolnych języków nie pozwalają na stabilne i dokładne odmierzenie czasu i w takich sytuacja jedyną możliwość rozwiązania problemu daje nam wykorzystanie biblioteki *WinApi*.

Dla zapewnienia dokładności odmierzenia czasu pomiędzy poszczególnymi pomiarami w aplikacji wydzielono niezależny wątek pomiarowy, o podwyższonym priorytecie (*tpHighest*) wykonywania. Zwiększenie dokładności odmierzenia czasu pomiędzy próbkami pomiarów otrzymano poprzez wykorzystanie funkcji służącej do zwiększania dokładności i rozdzielczości taktowania zegara systemu Windows (funkcję tą wykorzystuje się w obsłudze aplikacji czasu rzeczywistego oraz systemach multimedialnych) *timeBeginPeriod*. Parametrem funkcji jest wartość oczekiwanej stabilnej rozdzielczości odmierzenia czasu podanej w milisekundach. Funkcję wywołujemy bezpośrednio przed użyciem innych funkcji związanych z odmierzeniem czasu i pomiarami wymagającymi stabilnej pracy zegara czasu rzeczywistego.

Do dokładnego pomiaru czasu wykorzystuje się funkcję *QueryPerformanceCounter*, która zwraca jako parametr numer wykonywanego przez procesor cyklu zegara oraz funkcję *QueryPerformanceFrequency* podającą aktualną częstotliwość cykli zegarowych.

W celu kontroli odmierzenia czasu i określania momentu jego upływu wykorzystano tzw. *waitable timer object* czyli obiekt służący do synchronizacji zadań czasowych. Po utworzeniu „obiektu synchronizacji czasu”, mamy możliwość kontroli i wskazywania momentów upływu kolejnych nastawionych





interwałów czasowych. Interwały czasowe można ustawiać zgodnie z dokumentacją Windows ze skokiem minimalnym 100 ns.

### **Procedura odczytywania danych**

Informacje zestawione w podprogramie konfiguracji systemu akwizycji danych obejmują dla warstwy Assembly Object: numer adresu urządzenia MAC ID oraz liczbę wierszy (kolejne numerów adresów Instance ID począwszy od 0x64), co umożliwia cykliczne wczytywanie danych w pętli z wykorzystaniem komend Explicite Message.

Procedura odczytywania danych wywoływana jest cyklicznie co czas  $T$  podany w podprogramie konfiguracyjnym. Dwa bajty danych łączone są w słowa typu Word i wpisywane są kolejno do tablicy. Identyczne wskaźniki ma tablica z wprowadzonymi nazwami czujników pomiarowych w podprogramie konfiguracyjnym.

### **Procedura konwersji danych pomiarowych**

Kolejno przeglądana jest tablica z nazwami czujników pomiarowych. Przy braku nazwy element tablicy jest pomijany. Wystąpienie danej nazwy powoduje wywołanie przypisanej do nazwy procedury. Indeks tablicy z nazwami wskazuje również skąd pobrać dane pomiarowe, które zostają przesłane do procedury. Obliczona wartość fizyczna pomiaru zostaje przypisana zmiennej z nazwą czujnika.

### **Procedura obliczania wartości fizycznych niedostępnych w bezpośrednim pomiarze**

Nie wszystkie wielkości fizyczne są mierzone w bezpośredni sposób i w razie potrzeby należy je wyznaczyć poprzez wykonanie obliczeń. Najważniejsze z nich to:  $N_e$  – moc efektywna silnika i  $M_e$  – moment efektywny. Do obliczeń wykorzystano metodę mechaniczną, zależności (1) ÷ (5):

$$V = \frac{\Pi n_k r_d}{30} \text{ [m/s]}, \quad (1)$$

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ [m/s}^2\text{]}, \quad (2)$$

$$F = ma \text{ [N]}, \quad (3)$$

$$N_e = FV \text{ [kW]}, \quad (4)$$

$$M_e = \frac{Fr_d}{i\eta_c} \text{ [Nm]}, \quad (5)$$

gdzie:

- $V$  – prędkość pojazdu wg odbiornika GPS,
- $n_k$  – uśredniona prędkość kół napędowych,
- $a$  – przyspieszenie ciągnika,
- $F$  – siła bezwładności,
- $\eta_c$  – sprawność całkowita układu napędowego,
- $i = \frac{\Pi r_d n_s}{30V}$ ,
- $m$  – masa ciągnika,
- $r_d$  – promień dynamiczny,
- $n_s$  – prędkość obrotowa wału silnika,
- $i$  – przełożenie całkowite.

Obliczanie względnego poślizgu kół osi tylnej  $S_{ot}$  w procentach:

$$S_{ot} = \left( \frac{n_{kl} + n_{kp}}{n_{zl} + n_{zp}} - 1 \right) 100\% . \quad (6)$$

Wyznaczanie poślizgu na podstawie pomiarów z odbiornika GPS:

$$s = \frac{V - \omega R}{V} , \quad (7)$$

gdzie:

- $\omega = 2\Pi n_k/60$  – prędkość kątowna kół napędowych,
- $\omega R$  – prędkość obwodowa opony koła napędowego.

### Procedura diagnostyczna

Dla wybranych stanów pracy silnika sprawdzane są wartości parametrów. Przy poprawnej pracy ciągnika mierzone wartości powinny być zawarte w określonych przedziałach. Wystąpienie uszkodzenia powoduje zmianę wartości mierzonych parametrów ciągnika – dając „symptom diagnostyczny” [3, 4].

Przy tworzeniu systemu diagnostycznego przyjęto definicję, że uszkodzenie jako każde zdarzenie destrukcyjne wpływa na pogorszenie jakości i efektywności funkcjonowania ciągnika i powinno być wykrywane w procesie diagnozowania [6, 7]. Stan niezdatności  $S_N$  ciągnika jest wynikiem wystąpienia jednego z czterech klas uszkodzeń  $\{u_f, u_e, u_s, u_d\}$ , co można wyrazić zależnością (8):

$$S_N \Rightarrow \{u_f \cup u_e \cup u_s \cup u_d\} \neq 0. \quad (8)$$

Diagnozowanie sprowadza się do określenia relacji  $R$  między „uszkodzeniem” (stanem niezdatności), a „symptodem diagnostycznym” o określonych własnościach. Dla zdefiniowanych zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy stanami niezdatności  $f_i \in F$  określonych elementów ciągnika, a symptomami  $s_j$  reprezentowanymi przez zbiór  $S$ , na podstawie zachodzącej relacji (9) lub (10):

$$R: \{s_j\} \Rightarrow f_i, \quad (9)$$

$$R: \{s_j\} \Rightarrow \{f_i\}_{jk}, \quad (10)$$

można zidentyfikować konkretne uszkodzenie (9) lub wskazać możliwy zbiór uszkodzeń (10) – relacja wieloznaczna.

Zbiory uszkodzeń są reprezentowane przez kody błędów, które wyświetlane są na monitorze urządzenia diagnostycznego ciągnika.

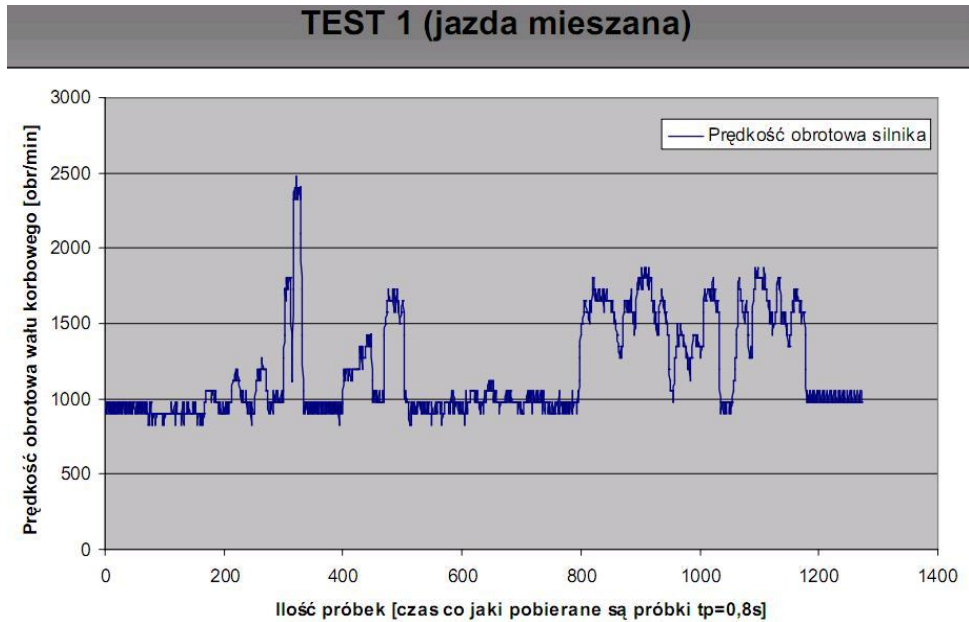
Aktualnie prowadzone prace dotyczą prowadzenia testów diagnostycznych ciągnika i identyfikacji zachodzących zależności przyczynowo-skutkowych między uszkodzeniem (stanem niezdatności) a symptomem (wartościami wybranego zbioru mierzonych fizycznych wartości ciągnika).

#### 4. Wybrane pomiary ciągnika kołowego

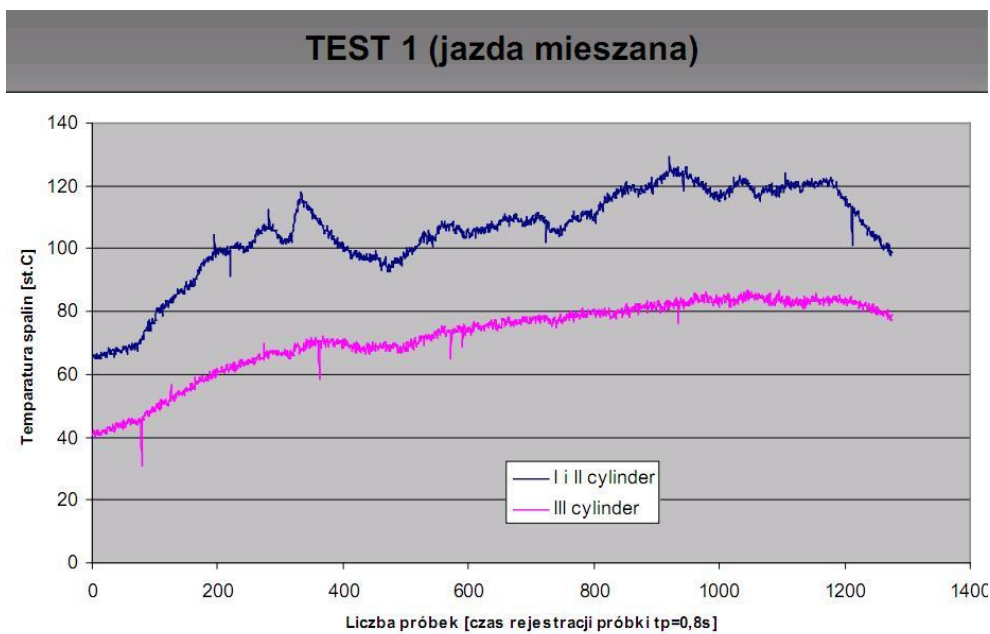
Urządzenie diagnostyczne zostało zainstalowane na ciągniku kołowym i połączone z czujnikami. Przedstawione wyniki testów dotyczą jazdy ciągnika ze zmienną prędkością i zmiennym obciążeniem mocy silnika. Przyjęto okres próbkowania sygnałów  $T = 0,8s$ . Na rysunku 5 pokazano prędkości obrotowe wału korbowego silnika w obr/min. Na podstawie osiągniętych przyrostów prędkości obrotowej w czasie można wyznaczyć przyspieszenia kątowe wału silnika.

Kolejnymi pomiarami testowymi były pomiary temperatury gazów wylotowych z cylindrów silnika (rys. 6). Jak widać temperatury gazów wylotowych z cylindrów 1 i 2 różnią się od temperatury gazów wylotowych z cylindra 3, co może wskazywać na występowanie usterki wpływającej na proces spalania w cylindrze 3.

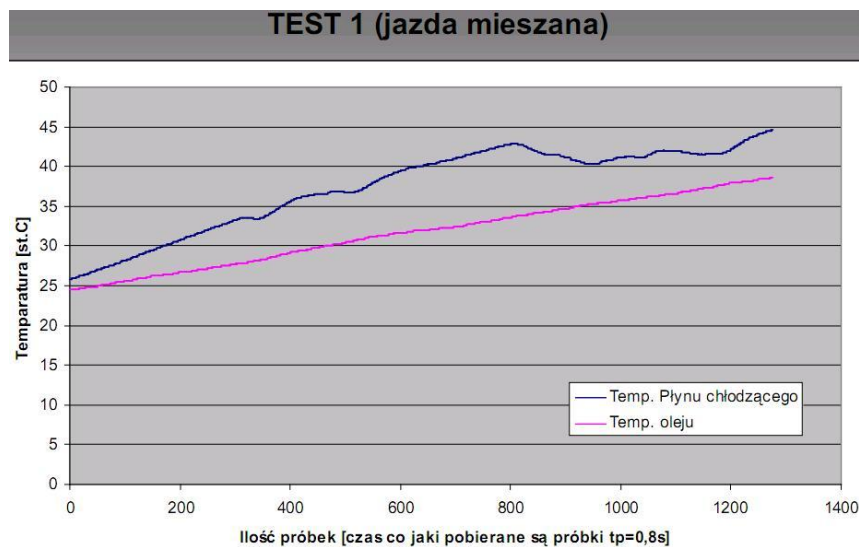
Jednym z parametrów diagnostycznych silnika ciągnika kołowego są temperatury płynu chłodzącego i oleju smarowego (rys. 7). Na rysunku można zauważyć korelację czasu jazdy i prędkości obrotowej wału silnika z tempem wzrostu płynu chłodzącego i oleju.



Rys. 5 Pomiary prędkości obrotowej wału silnika ciągnika kołowego podczas jazdy testowej



Rys. 6 Pomiary temperatury gazów wylotowych z cylindrów silnika ciągnika kołowego podczas jazdy testowej



Rys. 7 Pomiary temperatury płynu chłodzącego i oleju silnika ciągnika kołowego podczas jazdy testowej

## 5. Podsumowanie

Do budowy urządzenia diagnostycznego ciągnika kołowego wykorzystano najnowsze dostępne technologie tj. układ informacyjny CAN pracujący z protokołem DeviceNet opracowany w latach 2008 ÷ 2010. Budowa urządzenia diagnostycznego napotyka duże trudności: dokumentacja ICP DAS jest niekompletna, nie objaśnia napotkanych problemów.

Zbudowany system przechodzi aktualnie testy na ciągniku, które mają na celu określenie związków przyczynowo-skutkowych między symptomami, a występującymi uszkodzeniami, z wyróżnieniem czterech klas uszkodzeń. Dla diagnostyki wibracyjnej prowadzone prace mają ustalić użyteczne pasmo rejestrowanych częstotliwości – czas trwania testu ma wpływ na ocenę najniższych częstotliwości, a okres próbkowania ma wpływ na najwyższe analizowane częstotliwości drgań.

**Acknowledgment:** Praca jest realizowana w ramach projektu badawczego Nr N N504 513740 Narodowego Centrum Nauki w Krakowie .

## 6. Literatura

- [1] Arendt R., Michalski R.: Struktura systemu diagnostycznego ciągnika kołowego. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 2012, nr 3 (89).s.5-12,
- [2] Arendt R., Michalski R.: Functional structure of diagnostics system for wheeled tractors. Pomiary Automatyka Robotyka, 2012, nr 12, s. 117-120,.

- [3] Kościelny J. M.: Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych. Wyd. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT; Warszawa 2000
- [4] Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów, modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania. WNT, Warszawa 2002
- [5] Merkisz J., Mazurek S.: Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa 2000
- [6] Michalski R.: Diagnostyka maszyn roboczych. Wyd. ITE Radom – Olsztyn, 2004
- [7] Michalski R., Gonera J., Janulin M., Arendt R.: Structural analysis of wheeled tractor oriented towards damage diagnostics. Monografie, studia, rozprawy “Selected problems of mechanical engineering and maintenance” M29, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2012 s. 16-30,
- [8] Natke H. G., Cempel C. Model-Aided Diagnosis of Mechanical Systems: Fundamentals, Detection, Localization, Assessment. Berlin. Springer-Verlag 1997
- [9] Zimmermann W., Schmidgall R.: Magistrala danych w pojazdach. Protokoły i standardy, WKi 2008.



**Dr hab. inż. Ryszard Arendt** jest profesorem nadzwyczajnym na Wydziale Elektrotechniki I Automatyki Politechniki Gdańskiej, G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska. Obecnie interesuje się zagadnieniami: zastosowania elementów sztucznej inteligencji przy projektowaniu automatyki systemów statków, mechatronicznymi systemami oraz diagnostyką elementów i układów sterowania.



**Prof. dr hab. inż. Ryszard Michalski** jest profesorem zwyczajnym na Wydziale Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn, Polska. Obecnie interesuje się: diagnostyką techniczną, niezawodnością, budową i eksploatacją pojazdów, maszyn samojezdnych i urządzeń roboczych.