

Krzysztof SZCZECIAK

## ZASTOSOWANIE MAGISTRALI CAN W TRANSPORTERZE GĄSIENICOWYM

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zastosowanie magistrali CAN do sterowania pracą układu hydraulicznego transportera gąsienicowego. Aplikacja dotyczyła transportera, który został zbudowany w roku 2009 dla kopalni odkrywkowej. Transporter o masie 200 t służy do transportowania wysoko gabarytowego ładunku o masie do 400 ton z prędkością do 12 m/min. po nieutwardzonym terenie. Do sterowania funkcjami układu hydraulicznego transportera zastosowano 3 sterowniki typu RC wyposażone w interfejsy CAN, które realizowały algorytm sterujący. System uzupełniały sterowniki PLC oraz ECU Diesla. Ze względu na rozmiar pojazdu, potrzebę wymiany danych oraz w celu zapewnienia względów bezpieczeństwa pracy układu zastosowano rozległą magistralę CAN. Za pomocą magistrali CAN sterowany jest układ hydrauliczny transportera, prędkość obrotowa silnika Diesla oraz realizowana jest wymiana informacji procesowych pomiędzy sterownikami. W komunikacji wykorzystywane były protokoły komunikacyjne, takie jak J1939, CANopen oraz specjalnie opracowany do komunikacji wewnętrznej i wymiany danych z PLC.

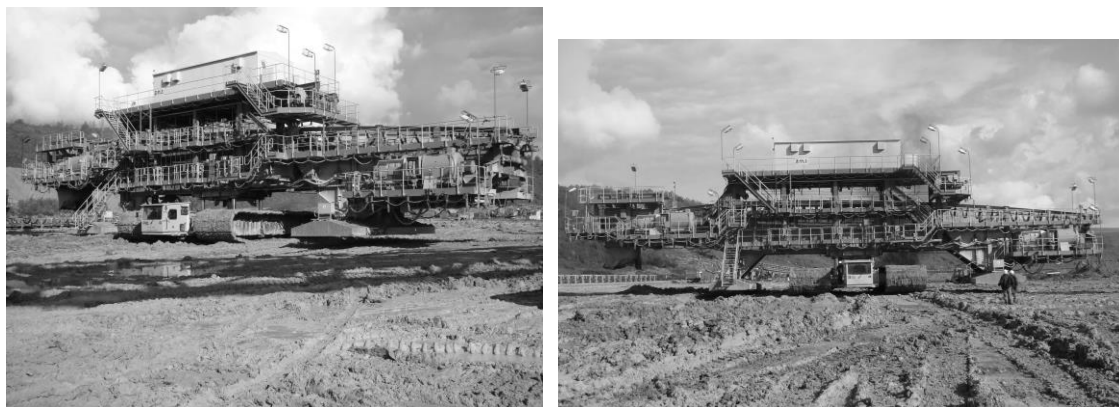
Projekt układu hydraulicznego, projekt sterowania, dostawa elementów i zespołów zostały zrealizowane przez firmę Bosch Rexroth Sp. z o.o.

**Słowa kluczowe:** transporter, transporter gąsienicowy, kopalnia odkrywkowa, sterowanie hydrauliką siłową, magistrala CAN.

### 1. OPIS FUNKCJONALNY APLIKACJI – URZĄDZENIA

Transportery gąsienicowe używane są w kopalniach odkrywkowych do przewożenia urządzeń nieposiadających konstrukcji samojezdnej, a które wymagają zmian lokalizacji w czasie eksploatacji kopalni. W tym przypadku są to stacje napędowe taśmociągów transportujących urobek. W miarę eksploatacji złoża rozmieszczenie taśmociągów, a więc i stacji napędowych ulega częstym modyfikacjom. Stacja taka ma duże gabaryty (rozmiar kilkupiętrowego bloku mieszkalnego) oraz masę rzędu kilkuset ton. Stoi ona na nieutwardzonym podłożu.

Poprzednio stosowanym rozwiązaniem było konstruowanie takich platform z układem samojezdnym, podobnym do instalowanych w koparkach czerpakowych. Z uwagi na to, że stacja taka przemieszcza się rzadko, tańszym rozwiązaniem jest zastosowanie specjalnego transportera gąsienicowego do wielu stacji w miejsce układów samobieżnych (rys. 1.).



**Rys.1. Transporter gąsienicowy w czasie przewozu stacji**

Ze względu na masę, gabaryty (w tym wysoko położony środek ciężkości) oraz teren nieutwardzony, konstrukcja, jak i układ sterowania są niestandardowe. Niestabilny grunt wymusza zastosowanie szerokich gąsienic, a waga – solidnej konstrukcji. Systemy sterowania, natomiast, muszą kontrolować procesy i stan maszyny, aby możliwy był sprawny i przede wszystkim bezpieczny transport. Rodzaj ładunku i konstrukcja maszyny sprawiły, że należało zastosować odpowiedni system sterowania oraz algorytmy.

Pracę maszyny można podzielić na dwa główne tryby: pracę podnoszenia-opuszczania oraz jazdę. Obydwa tryby pracy są rozłączne, tzn. w czasie trybu pracy podnoszenia-opuszczania niemożliwa jest jazda, a w czasie jazdy niemożliwe są operacje podnoszenia-opuszczania. Operator, siedząc w wyciszonej, klimatyzowanej kabinie ma do dyspozycji dwa manipulatory, jeden do kontroli pracy cylindrów podnoszenia, a drugi do jazdy. Informacje zwrotne przekazywane są poprzez wyświetlacz graficzny. Proporcjonalnie do wychylenia dźwigni manipulatorów sterowane są elementy hydrauliczne, dzięki czemu możliwa jest płynna zmiana zarówno prędkości, promienia skrętu, jak i szybkość podnoszenia-opadania siłowników nośnych. Oprócz podstawowych funkcji jazdy i podnoszenia-opuszczania, elektronika odpowiada za pracę pozostałych podzespołów hydraulicznych, takich jak: układ smarowania, obrót platformy, rygle hydrauliczne, napinanie gąsienic i monitorowanie stanu maszyny przy pomocy dziesiątek czujników. Uzupełniającym trybem pracy jest sterowanie bezprzewodowe, wtedy operator już nie siedząc w kabinie, ale będąc na zewnątrz ma możliwość, przy pomocy bezprzewodowego kompaktowego pulpitu, sterować prawie wszystkimi funkcjami, w tym podnoszeniem i jazdą prędkościami dużą precyzją. Tryb ten znacząco ułatwia pozycjonowanie pod stacją i eliminuje konieczność pomocy osób trzecich.

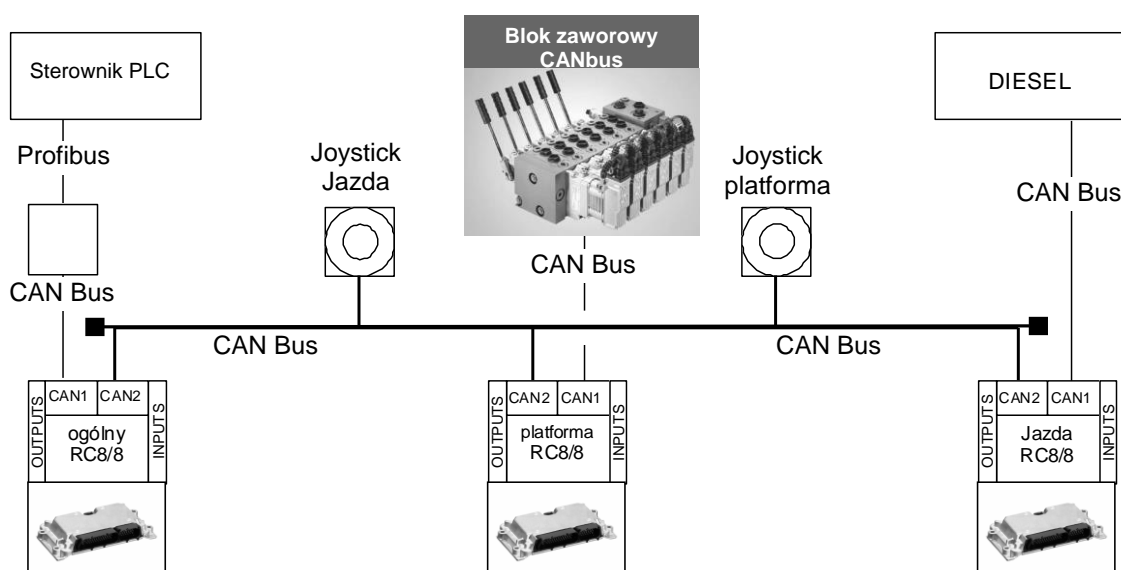
## **2. KOMPONENTY SYSTEMU – HYDRAULICZNE ORAZ ELEKTRONICZNE**

Charakterystyka przewożonego ładunku oraz otoczenie narzucają specjalne wymagania dotyczące pracy systemów. Sterowanie musi zapewniać bezpieczeństwo oraz płynną pracę i długotrwałą żywotność całej maszyny. Stąd też, sterowanie zostało zdecentralizowane. Na pokładzie maszyny funkcjonuje pięć niezależnych sterowników: sterownik PLC z wyświetlaczem dotykowym, trzy sterowniki Rexroth typu RC8-8 serii 22 sterujące wszystkimi funkcjami hydraulicznymi oraz sterownik silnika o zapłonie samoczynnym (oZS).

Nad pracą całej hydrauliki (i nie tylko) czuwają trzy sterowniki Rexroth typu RC8-8 serii 22, które zostały podzielone funkcjonalnie. Jeden sterownik odpowiada za pracę napędu transportera, sterując przy pomocy elektrozaworów dwa układy hydrostatyczne sterowane proporcjonalnie i kontrolując pracę silnika oZS, tj. zdawanie obrotów i monitorowania zmiennych procesowych, takich jak: temperatura, moment obrotowy i obciążenie. Dzięki tej wymianie danych możliwe jest zoptymalizowanie pracy silnika tak, aby nie przeciążać go regulując odbiór mocy hydrauliki. Drugi sterownik RC odpowiada za pracę siłowników opuszczania-podnoszenia oraz osprzętu hydraulicznego. Trzeci sterownik RC pełni funkcje monitorowania stanu hydrauliki oraz steruje pracą pozostałych komponentów niezwiązanych ani z jazdą, ani z podnoszeniem. Ponadto komunikuje się on ze sterownikiem PLC, realizując w ten sposób komunikację z operatorem. System dopełniają manipulatory z magistralą CAN oraz blok zaworowy sterowany przy użyciu protokołu CANOpen. Dodatkowo transporter jest wyposażony w sterownik PLC, który pełni funkcję monitorowania stanu platformy, tj. środka ciężkości, masy, pochylenia całego transportera oraz pełni funkcję komunikacyjną z operatorem przy pomocy wyświetlacza dotykowego.

Sterownik silnika oZS został skonfigurowany tak, aby można go było kontrolować przy pomocy komunikacji cyfrowej CAN przy użyciu protokołu J1939.

Wszystkie komponenty systemu sterowania zostały połączone przy pomocy magistral CAN podzielonych funkcjonalnie, dzięki którym wymieniane są niezbędne informacje (rys.2.).



Rys.2. Schemat ideowy systemu sterowania w oparciu o magistralę CAN

### 3. MODUŁOWOŚĆ MAGISTRALI CAN

W aplikacji zastosowano, zamiast jednego centralnego urządzenia np. PLC lub RC – szereg mniejszych, wyspecjalizowanych sterowników oraz możliwie wiele komponentów z własną elektroniką jak np. bloki zaworowe. Stało to się możliwe dzięki zastosowaniu magistrali komunikacyjnej, zwiększającej ilość i pewność przesyłanych informacji.

Warto tu też wspomnieć, jakie są cechy wspólne i co różni sterowniki klasy PLC od sterowników typu RC Rexroth. Jedyną cechą wspólną jest sposób programowania. W obydwu

przypadkach odbywa się to przy użyciu podobnego języka programowania a nawet podobnego środowiska programistycznego. W RC używane jest środowisko CoDeSys znane również ze sterowników PLC. Reszta cech różni znacząco obydwie urządzenia. Sterowniki programowalne typu RC zostały zaprojektowane jako kompletne urządzenia do sterowania maszynami „mobilnymi”. Stąd, począwszy od kosztu RC, który został zminimalizowany, przez odporność na środowisko zewnętrzne (zmiennie warunki środowiskowe), po rodzaje wejść i wyjść – zostało zoptymalizowane do tego zastosowania. Jest to więc kompletne urządzenie sterujące bezpośrednio elektrozaworami, wyposażone standardowo w interfejsy CAN, odporne na zakłócenia, idealnie nadające się do tego typu zadań.

Rozproszenie funkcji sterowania maszyną daje wiele udogodnień. Po pierwsze – sterowniki o wyspecjalizowanym zadaniu mogą być bliżej elementów pomiarowych i wykonawczych (czujników i cewek), a komunikując się poprzez magistralę zapewniają zmniejszenie liczby połączeń elektrycznych, a co za tym idzie, mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzeń i zakłóceń. Stosowane elementy wyposażone we własną elektronikę, jak te na bazie magistrali CAN, posiadają własną diagnostykę oraz częściowo przetwarzają dane jak np. przetwarzanie charakterystyki zaworów. Te cechy sprawiają, że sterownik programowalny nie musi obsługiwać wielu wejść i wyjść fizycznie, co zmniejsza ilość czasu potrzebnego na ich programowanie, kalibrację i optymalizację. Inne korzyści to redundancja pomiaru (zwielokrotnienie czujników lub modułów pomiarowych), zwiększająca bezpieczeństwo. Ponadto, uszkodzenie jednego sterownika ogranicza funkcjonalność maszyny, ale jej całkowicie nie unieruchamia. Oczywiście cechy takie jak: pewność pomiaru mają istotne znaczenie przy przesyłaniu magistralą, np. sygnałów od manipulatorów odpowiadających za jazdę i podnoszenie-opuszczanie.

Podstawą budowy modułowej było to, że w przypadku pewnych modułów w postaci jednej elektroniki można użyć jej przy następnej maszynie, podobnej budową i funkcjonalnie, bez zmiany kodu. Przykładowo sterownik jazdy może być użyty do innego pojazdu gąsienicowego.

#### **4. RDZEŃ KOMUNIKACYJNY – MAGISTRALA CAN**

Każdy ze sterowników RC jest wyposażony w dwa interfejsy CAN, co daje możliwość zaprojektowania magistral komunikacyjnych w bezpieczny i efektywny sposób.

Jedna wyodrębniona magistrala służy do wymiany zmiennych procesowych pomiędzy sterownikami obsługującymi pracę hydrauliki (rys. 2.). Jednostki obliczeniowe rozmieszczone są w różnych miejscach maszyny, jak zostało opisane w rozdziale trzecim, aby zmniejszyć dystans do urządzeń zewnętrznych. Przykładowo sterownik „jazdy” znajduje się obok silnika oZS i elementów napędu hydrostatycznego jazdy.

Komunikacja pomiędzy sterownikami ma zasadnicze znaczenie dla funkcjonowania maszyny jako całości. Wymieniają one niezbędne bity sterujące, zmiennie procesowe i komunikaty zakłóceń, dzięki którym możliwe jest efektywne i bezpieczne współdziałanie poszczególnych komponentów. Do tej magistrali zostały podłączone również manipulatory „jazdy” i „platformy” (opuszczanie-podnoszenie) wykorzystujące protokół CANopen. Do komunikacji pomiędzy sterownikami został opracowany własny protokół komunikacyjny, zoptymalizowany do tego zastosowania. Istotne znaczenie ma opisany w poprzednim rozdziale odpowiedni podział funkcjonalny poszczególnych modułów. Im lepiej funkcje zostały podzielone, tym mniej informacji trzeba przesyłać przez magistralę komunikacyjną.

Przykładowo, jeżeli do kontroli procesów potrzebny jest określony sygnał, a nie został on doprowadzony do odpowiedzialnego urządzenia, konieczne jest przesłanie tej informacji poprzez magistralę, powodując niepotrzebny ruch, zwłokę czasową oraz obsługę tych sygnałów. Nie zawsze jest to możliwe ze względu na np. odległości.

Do komunikacji wewnętrznej używany jest jeden interfejs komunikacyjny w każdym sterowniku, kiedy drugi używany jest do komunikacji z dedykowanym komponentem, związanym z daną funkcją. Do sterownika jazdy został podłączony kontroler silnika oZS. Dzięki odpowiedniej konfiguracji silnika, sterownik RC steruje prędkością obrotową silnika, monitorując jego parametry, dzięki czemu można dopasować zadania hydrauliki tak, aby warunki pracy silnika były optymalne, np. nie dopuszczając do nadmiernego przeciążenia, kontrolując prędkość obrotową, obciążenie oraz temperaturę. Do drugiego sterownika, RC odpowiadającego za opuszczanie-podnoszenie, podłączono blok zaworowy wyposażony w piloty z interfejsem CAN bus skonfigurowanym zgodnie z protokołem CANopen 408<sup>[3]</sup>. Blok ten odpowiada za wszystkie ruchy związane z tą częścią maszyny. Ostatni sterownik RC, nazwany roboczo „ogólnym”. W komunikacji pełnił funkcję bramy CAN. Poprzez przejściówkę CAN-Profibus komunikował się ze sterownikiem PLC, który jako nadrzędny w strukturze komunikował się przy pomocy panelu dotykowego z operatorem i zezwalał na pracę poszczególnych funkcji monitorując niehydrauliczną część maszyny i stan przełożonego ładunku (m.in. położenie środka ciężkości). Stąd też, trzeci sterownik „ogólny” zajmuje się przetwarzaniem informacji (pomiędzy systemem hydraulicznym a sterownikiem PLC), takich jak zmienne sterujące i komunikaty.

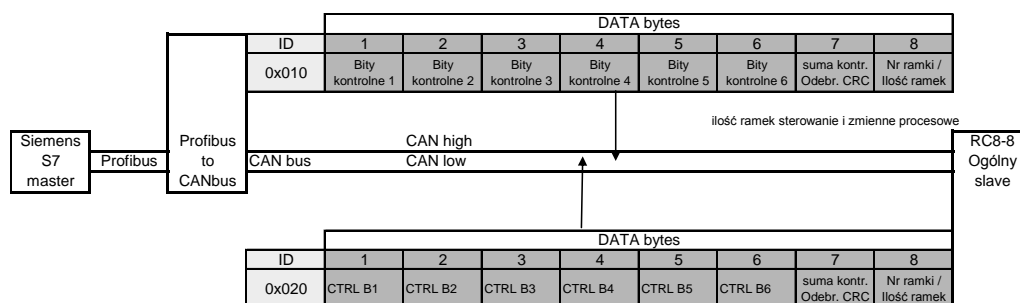
Dzięki odseparowaniu różnych magistral komunikacyjnych, zyskujemy większe bezpieczeństwo, przejrzystość i niezawodność. Zakłócenie w jednej sieci nie będzie wpływało na inną.

## **5. ZADANIA MAGISTRALI KOMUNIKACYJNEJ CAN I WARSTWY KOMUNIKACYJNE**

Standardowe protokoły, CANopen i J1939, zostały zastosowane tylko do podzespołów peryferyjnych (manipulatory, zawory, silnik), natomiast do komunikacji pomiędzy sterownikami został zastosowany specjalny protokół. Było to podyktowane rodzajem i sposobem przesyłanych danych.

Zaimplementowane zostały cztery warstwy komunikacyjne dla różnych typów danych, które były przesyłane innym protokołem wymiany danych, co wynikało z ich charakteru. Rozróżniono następujące warstwy:

- Warstwa zmiennych sterujących – przesyłanymi danymi były bity sterujące oraz zmienne procesowe maszyną o istotnym znaczeniu dla funkcjonowania i bezpieczeństwa maszyny (przykładowo: zezwolenia, stany alarmowe). Warstwa ta charakteryzuje się szybką, cykliczną wymianą danych o wysokim priorytecie z wbudowanymi wieloma funkcjami zapewniającymi bezpieczeństwo przesyłanych danych.



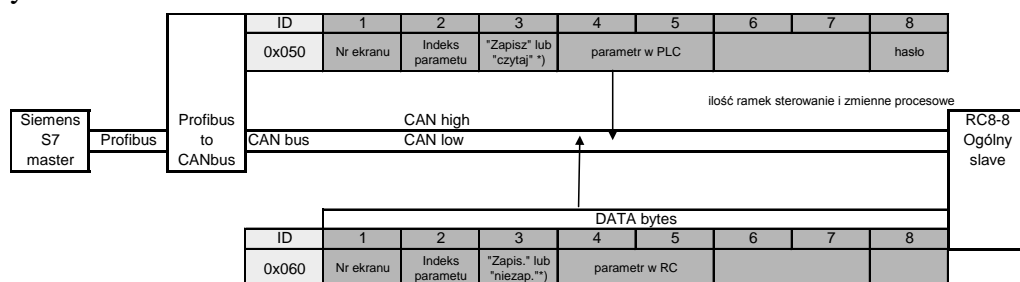
Rys. 3. Wymiana danych w warstwie zmiennych sterujących

- Warstwa zmiennych procesowych – przesyłanymi danymi są zmienne procesowe o charakterze nie krytycznym, informacyjnym, służącym do wyświetlania, np. temperatury, prędkość pracy silnika, prędkość w ruchu postępowym itd. Charakteryzuje się ona pracą cykliczną, informacje są stronicowane, o niskim priorytecie i braku dodatkowych zabezpieczeń.



Rys. 4. Wymiana danych w warstwie zmiennych procesowych

- Warstwa edycji parametrów – umożliwia edycję zdefiniowanych parametrów dla dowolnego sterownika poprzez magistralę CAN. Umożliwia to zmianę parametrów przez operatora przy pomocy panelu dotykowego. Charakteryzuje się średnim priorytetem, komunikacją acykliczną oraz zabezpieczeniem przesyłanych danych.



Rys. 5. Wymiana danych w warstwie edycji parametrów

- Warstwa błędów – przesyłane są tą warstwą kody zakłóceń, jak i ich charakterystyka, np. czas trwania, częstotliwość. Komunikacja realizowana jest acyklicznie, tj. w chwili wystąpienia zakłócenia lub na żądanie o niskim priorytecie i zabezpieczeniach transmisji (fakt wystąpienia zakłócenia przesyłana jest w warstwie zmiennych sterujących).

Ten sam protokół został zastosowany do wymiany informacji zarówno pomiędzy sterownikami, jak i w komunikacji z PLC.

Dzięki takiej konstrukcji można było zoptymalizować komunikację, przesyłając dużą liczbę informacji o różnych stopniach ufności, nie przeciążając nadmierną ich ilością.

## 6. WYMIANA INFORMACJI MIĘDZY PROFIBUS – CAN

Do wymiany informacji pomiędzy sterownikiem PLC, który posiadał tylko magistralę komunikacyjną Profibus, zastosowano „interfejs” CAN-Profibus. Przed zamontowaniem na maszynie sprawdzono jakość przesyłanych danych, ponieważ jest to urządzenie, które pełni kluczową rolę w poprawnym funkcjonowaniu całej maszyny.

## 7. WNIOSKI

W opisywanym transporterze magistrala CAN jest kluczową częścią sterowania. Pełni zadania związane z wymianą informacji sterujących i procesowych, za ich pomocą sterowana jest bezpośrednio hydraulika, kontrolowane zachowanie silnika oZS, pośrednio - komunikacja z operatorem.

Zastosowanie magistrali CAN bezpośrednio przekłada się na praktyczne korzyści, takie jak mniejsza awaryjność poprzez mniejszą ilość połączeń kablowych, diagnostykę a więc i automatyczną reakcję na zakłócenia. Możliwości wymiany danych pozwalają na modułowość – rozproszenie i decentralizację sterowania, co ma niebanalny wpływ na czas tworzenia nowych aplikacji, jak i modyfikacji istniejących – dostosowanie pozwala na dublowanie sterowników - redundancję. Mniejsza liczba połączeń to także krótszy czas uruchomienia, a w połączeniu z autodiagnostyką komponentów – szybsza diagnostyka. Zwiększają się też możliwości zdalnej diagnostyki, poprzez moduły GSM/GPS.

W ostatnich latach coraz więcej komponentów i podzespołów pojawia się w wykonaniu CAN, ułatwiając i umożliwiając konstruowanie zaawansowanych systemów sterowania przy użyciu magistrali CAN bus. W takim przypadku, wystarczające byłoby, aby jednostki obliczeniowe (sterowniki) były wyposażone jedynie w magistralę CAN zamiast kosztownego zestawu wejść i wyjść, powierzając tę funkcję członom wykonawczym lub pomiarowym z magistralą CAN, przenosząc jednocześnie część funkcji obliczeniowych do tychże elementów.

System napędu hydraulicznego transportera oraz układ sterowania oparty na elementach firmy Bosch Rexroth Sp. z o.o. dzięki doświadczeniu i wiedzy inżynierów sprawdził się w praktyce. Firma Bosch Rexroth od wielu lat miała współudział w tworzeniu takich transporterów. W użytkowaniu są one w wielu miejscach na świecie (m.in. Serbii, Grecji, Indiach, Polsce). Ostatni transporter jest użytkowany od ponad roku w Polsce i ta koncepcja będzie powielana w kolejnych projektach.

## 8. LITERATURA

- [1] Bussysteme in der Fahrzeugtechnik: Protokole und Standards, 3. Auflage, Stuttgart 2008.
- [2] Katalogi i materiały niepublikowane firmy Bosch Rexroth, lata 2005 – 2010.
- [3] Specyfikacje organizacji CAN in Automation (CiA) dotyczące protokołów komunikacyjnych, publikacja: *CiA 408 V1.5.2: CANopen device profile for fluid power technology proportional valves and hydrostatic transmissions*.

## USE OF CAN BUS IN CATERPILLAR TRANSPORTER

**Abstract:** This document treats about how the CAN bus interface can be used for controlling the processes powered by hydraulics in example of caterpillar transporter. The application was designed for the open mining transporters for heavy loads up to 400 tons with own weight around 200 tons. The load is not only heavy but also large dimensions with the height of a 5-6 store building and it's transported with a top speed of 12 meters per minutes on the raw, soft terrain. Three independent controllers with two CAN bus interfaces each, were used for hydraulic functions control utilizing control algorithms. PLC and Diesel engine controller were supplementing the communication network. The vehicle this size need for data exchange and safety requirements determined the utilization of CAN bus network. CAN bus participate in setting up hydraulic values, controlling diesel revolutions and exchanging process data between controllers. Described communication system used several of protocols such as: CANopen, J1939, and own-developed for this machines e.g. communication layer with PLC.

Recenzent: dr hab. inż. Gabriel KOST – Politechnika Śląska, Gliwice