

Kazimierz Lepiarczyk, Zbigniew Mantorski, Marek Nawara

Inteligentny system sterowania lokomotywą ET22

W firmie PWPT WASKO Sp. z o.o. z Gliwic, na podstawie własnej konstrukcji sterownika mikroprocesorowego, wykonano i wdrożono inteligentny, redundantny system sterowania i diagnostyki w ramach gruntownej modernizacji lokomotywy ET22. System ten zapewnia pełne zautomatyzowanie procesów obsługi lokomotywy, ich wizualizację i pełną diagnostykę, zwiększając niezawodność lokomotywy, bezpieczeństwo jej pracy i umożliwiając zmniejszenie zużycia przez nią energii.

W ZNLE Gliwice S.A. przeprowadzono na zamówienie PKP Cargo gruntowną modernizację lokomotywy ET22. Część dotycząca sterowania i diagnostyki została zaprojektowana i zrealizowana przez firmę PWPT WASKO Sp. z o.o. z Gliwic na podstawie własnej konstrukcji sterownika mikroprocesorowego.

Założenia

Opracowywanie mikroprocesorowego systemu sterowania i diagnostyki (SySiD) rozpoczęto od ustalenia założeń, z których najważniejsze to:

- układ sterowania będzie realizować kombinacje załączeń styczników odpowiadające wszystkim pozycjom roboczym dotychczasowego zadajnika jazdy; styczniki liniowe i grupowe umożliwiają połączenie silników trakcyjnych i oporów rozruchowych w trzy następujące układy:
 - 1) połączenie szeregowe – silniki trakcyjne są połączone szeregowo w jedną grupę;
 - 2) połączenie szeregowo-równoległe – silniki trakcyjne są połączone w dwie gałęzie równoległe, po trzy silniki szeregowo w każdej gałęzi;
 - 3) połączenie równoległe – silniki trakcyjne są połączone w trzy gałęzie równoległe, po dwa silniki w każdej gałęzi;
- będą możliwe następujące stany pracy lokomotywy w zależności od sprawności systemu:
 - jazda normalna – przy całkowitej sprawności SySiD oraz bloku głównego lokomotywy;
 - jazda awaryjna I lub II (z niepełnymi osiągam) – przy całkowitej sprawności SySiD, a przy uszkodzeniu uniemożliwiającym prowadzenie jazdy normalnej;
 - jazda uproszczona – przy częściowej niesprawności SySiD oraz przy całkowitej lub częściowej sprawności obwodu głównego lokomotywy (uszkodzeniu uległ jeden z poniższych podzespołów: sterownik główny, sterownik pomiarowy, przetworniki pomiarowe prądów i napięć, przetworniki prędkości, panel operatorski w kabinie aktywnej); sterowanie stycznikami obwodu głównego może przejść sterownik jazdy uproszczonej;
 - blokada możliwości jazdy – przy częściowej niesprawności SySiD oraz niektórych uszkodzeniach obwodu głównego lokomotywy (uszkodzeniu uległ jeden z podzespołów wy-

mienionych w przypadku jazdy uproszczonej oraz dodatkowo jeden z następujących podzespołów: sterownik jazdy uproszczonej, amperomierz w kabinie aktywnej, prędkościomierz w kabinie aktywnej lub zadajnik prędkości w kabinie aktywnej), albo negatywnym wyniku sprawdzenia warunków początkowych;

- układ nie będzie realizować jazdy wielokrotnej lokomotyw. Założono również, że system sterowania i diagnostyki lokomotywy będzie obsługiwać następujące podsystemy i układy lokomotywy:
 - system trakcyjny:
 - przygotowanie do jazdy (sprawdzenie warunków początkowych, wybór kierunku jazdy);
 - realizacja jazdy (sterowanie napędem – stycznikami, obliczenia trakcyjne);
 - pomiary i zabezpieczenia (napięcia i prądy silników trakcyjnych, niezależny pomiar prędkości dla każdej osi pojazdu);
 - układ przeciwoślizgowy (likwidacja poślizgu kół przy rozruchu, likwidacja poślizgu kół przy hamowaniu, obliczenie prędkości pojazdu);
 - system sprężonego powietrza:
 - układ wytwarzania sprężonego powietrza (sprężarka pomocnicza, sprężarki główne);
 - układ hamowania;
 - odbieraki prądu;
 - piasecznice;
 - smarowanie obrzeży kół;
 - napędy i układy pomocnicze:
 - układ wentylacji silników trakcyjnych (sterowanie stycznikami wentylatorów, kontrola wentylacji/zabezpieczenia);
 - układ wentylacji rezystorów rozruchowych (sterowanie stycznikami, kontrola wentylacji/zabezpieczenia);
 - system zasilania elektrycznego (wyłącznik szybki, przetwornice pomocnicze, monitorowanie napięć zasilających);
 - system przeciwpożarowy (w zakresie diagnostyki);
 - pomiar temperatury łożysk kół (w zakresie diagnostyki).

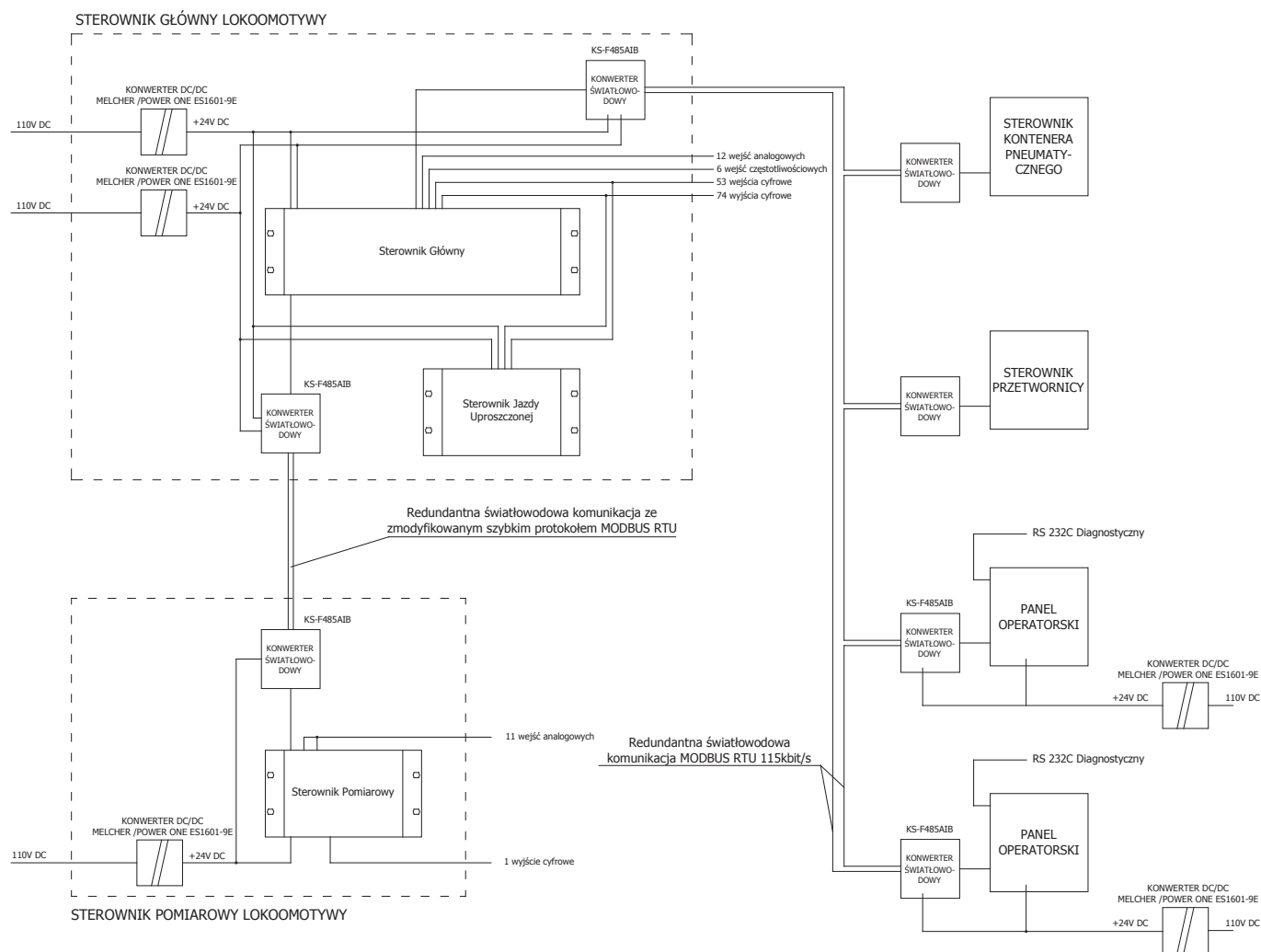
Układ sterowania i jego realizacja

Schemat funkcjonalny systemu

W SySiD (rys. 1) można wyodrębnić następujące główne elementy funkcjonalne systemu:

- sterownik główny,
- sterownik jazdy uproszczonej,
- sterownik pomiarowy,
- panele operatorskie.

Sterownik kontenera pneumatycznego oraz sterownik przetwornicy są elementami zewnętrznymi, a punktem styku jest sieć światłowodowa z protokołem Modbus RTU.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny systemu

Sterownik główny (fot. 1) i sterownik jazdy uproszczonej wraz z dwoma konwerterami światłowodowymi oraz dwoma zasilaczami DC/DC są umieszczone w szafie w przedziale NN lokomotywy i tworzą sterownik główny lokomotywy (SGL).

Sterownik pomiarowy wraz z konwerterem światłowodowym i zasilaczem DC/DC są umieszczone w szafie w przedziale WN lokomotywy, tworzą one sterownik pomiarowy lokomotywy (SPL).

Punktem styku między sterownikiem pomiarowym a sterownikiem głównym jest sieć światłowodowa, oparta o zmodyfikowany protokół transmisji MODBUS RTU.

Panele operatorskie wraz z zasilaczami DC-DC i konwerterami światłowodowymi są umieszczone w obu kabinach maszynistów.

System logiki pojazdu jest oparty na połączeniach przewodowych i redundantnej linii przesyłowej oraz na interfejsach z sygnałami logicznymi i cyfrowymi z elektrycznych pulpitu sterowania, urządzeń elektronicznych i elektromechanicznych oraz z przetworników sygnałów.

Sterownik główny

Sterownik główny jest sterownikiem nadrzędnym, nadzorującym współpracę pozostałych sterowników poprzez sieć światłowodową. Działanie sterownika głównego polega na:

- zbieraniu informacji na temat stanu pracy lokomotywy:
 - bezpośrednio – za pomocą kart wejść analogowych, cyfrowych, częstotliwościowych;

- pośrednio – za pomocą innych sterowników podłączonych do sieci światłowodowej (np. ze sterownika kontenera pneumatycznego);

- przetwarzaniu algorytmu sterowania lokomotywą;
- generowaniu sygnałów sterujących pracą lokomotywy:
 - bezpośrednio – za pomocą kart wyjść cyfrowych;
 - pośrednio – za pomocą innych sterowników podłączonych do sieci światłowodowej (np. do sterownika kontenera pneumatycznego);

- generowaniu informacji, które mają zostać wyświetlone na ekranie panelu operatorskiego.

Sterownik główny zawiera dwa niezależne sprzętowo kanały jednostki centralnej, których zadaniem jest realizacja tego samego algorytmu. Oprogramowanie każdego kanału jest tworzone przez niezależnego programistę. Taki sposób wykonania oprogramowania zapewnia:

- odporność na błędy programistyczne;
- weryfikuje prawidłowe wykonanie opracowanego i zaimplementowanego algorytmu sterowania.

W przypadku uszkodzenia któregoś z kanałów lub niezgodności danych sterownik główny przestaje przetwarzać algorytm sterowania lokomotywą. O zaistniałej sytuacji jest informowany maszynista lokomotywy, który powinien uruchomić sterownik jazdy uproszczonej.

Sterownik pomiarowy

Sterownik pomiarowy ma za zadanie zbieranie informacji na temat stanu czujników analogowych, których sygnały są prowadzone w przedziale WN (napięcie trakcyjne, napięcie baterii, prąd trakcyjny, prądy w gałęziach silników, prądy wentylatorów) oraz na generowaniu jednego sygnału cyfrowego sterującego wyłącznikiem szybkim. Stan czujników analogowych jest czytany przez sterownik główny za pomocą sieci światłowodowej.

Sterownik jazdy uproszczonej

Sterownik jazdy uproszczonej umożliwia jazdę lokomotywą z pewnymi ograniczeniami. Chodzi tutaj o przypadki, gdy awarii ulegnie sterownik główny lub zaistnieją okoliczności uniemożliwiające wykonywanie przez sterownik główny obliczeń trakcyjnych (uszkodzeniu uległ jeden z poniższych podzespołów: sterownik główny, sterownik pomiarowy, przetworniki pomiarowe prądów i napięć, przetworniki prędkości, panel operatorski w kabinie aktywnej).

Sterownik jazdy uproszczonej jest urządzeniem wykonanym jednokanałowo, bez redundancji ma sprzętowo zaimplementowany, uproszczony algorytm sterowania lokomotywą zgodny z tym, jaki wykonują procesory w sterowniku głównym. Sprzętowe rozwiązanie zapewnia znikomą możliwość uszkodzenia algorytmu, a co za tym idzie minimalizuje prawdopodobieństwo unieruchomienia lokomotywy na szlaku.

Posiada możliwość zbierania i generowania informacji dotyczących pracy lokomotywy tylko w sposób bezpośredni (za pomocą kart I/O). Podczas pracy nie komunikuje się z żadnym z podzespołów podłączonych do obu sieci światłowodowych, z wyjątkiem aktywnego panelu operatorskiego.

Panele operatorskie

Zadanie paneli operatorskich polega na:

- wyświetlaniu informacji o parametrach pracy lokomotywy,
- informowaniu maszynisty o wszelkich nieprawidłowościach pracy lokomotywy i stanach awaryjnych,
- systematycznym kompletowaniu zestawień danych (np. rodzaje uszkodzeń przypadających na liczbę godzin pracy każdego wybranego aparatu),
- możliwości zadania kierunku i prędkości jazdy w przypadku uszkodzenia zadajnika kierunku i prędkości na pulpicie maszynisty.

Panele operatorskie są podłączone do sieci światłowodowej, opartej o protokół transmisji MODBUS RTU.

Sieć światłowodowa

Cała struktura SySiD jest powiązana za pomocą dwóch sieci światłowodowych (rys. 1). Pierwsza z sieci, która wiąże ze sobą następujące podzespoły:

- sterownik główny,
- sterownik kontenera pneumatycznego,
- sterownik przetwornicy,
- panele operatorskie,

jest oparta o protokół transmisji MODBUS RTU o prędkości transmisji 115 200 bit/s.

Druga sieć światłowodowa wiąże ze sobą sterownik główny ze sterownikiem pomiarowym. Protokół transmisji tej sieci jest zmodyfikowanym protokołem opartym o standard MODBUS RTU o prędkości transmisji 625 000 bit/s.



Fot. 1. Sterownik mikroprocesorowy zamontowany w lokomotywie Fot. M. Nawara

Właściwości systemu

SySiD jest oparty na technice mikroprocesorowej. Zawiera elementy redundantne: dwukanałową jednostkę centralną CPU i dwukanałową sieć komunikacyjną. Komunikacja między maszynistą a systemem następuje poprzez panele operatorskie (wyświetlacze TFT z klawiaturą) umieszczone po jednym na pulpitych maszynisty w każdej z kabin oraz zadajniki kierunku, prędkości i wyłącznik rozrządu.

SySiD umożliwia przeprowadzenie następujących operacji:

- wsparcie dla maszynisty przy uruchamianiu lokomotywy oraz w przypadku pojawienia się nieprawidłowości pracy lokomotywy (m.in. odpowiednie komunikaty wyświetlane na panelu operatorskim);
 - ustawienie aparatów zgodnie z wybranym kierunkiem jazdy;
 - sterownie siłą trakcyjną;
 - pomiar napięcia sieci i prądów trakcyjnych;
 - pomiar prędkości lokomotywy;
 - działania korygujące podejmowane w przypadku ingerencji zabezpieczeń systemu trakcyjnego;
 - likwidację poślizgu kół lokomotywy poprzez redukcję siły rozruchu lub siły hamowania lokomotywy;
 - sterowanie hamowaniem przez maszynistę;
 - nadzór nad zasilaniem pomocniczym;
 - interaktywne komunikowanie się maszynisty z SySiD za pomocą panelu operatorskiego w kabinie;
 - realizację jazdy uproszczonej (sterownik jazdy uproszczonej) przy niesprawności sterownika głównego lub współpracujących z nim podzespołów;
 - polecenie zamykania i otwierania wyłącznika głównego z pulpitu;
 - polecenie otwarcia wyłącznika głównego ze sterownika lub bezpośrednio z innych urządzeń;
 - zarządzanie logiką startu/stopu przetwornic pomocniczych;
 - selekcjonowanie zasilania średniego napięcia w przypadku usterki przetwornicy pomocniczej;
 - sterowanie wentylatorami chłodzącymi silniki trakcyjne.
- SySiD zawiera w swojej strukturze elementy diagnostyczne umożliwiające realizację następujących zadań:
- identyfikację awarii wyposażenia (podzespołów), łatwą lokalizację uszkodzeń oraz informowanie o zbliżeniu się do param-

trów granicznych diagnozowanych urządzeń (zwiększenie niezawodności pracy lokomotywy);

- pomoc operatorom przez dostarczenie dokładnych instrukcji zadań, które muszą być wykonywane podczas przygotowania lokomotywy i operacji naprawczych;
- systematyczne kompletowanie zestawień danych (np. typy uszkodzeń przypadających na liczbę godzin pracy każdego wybranego aparatu), umożliwiających opracowanie zbiorów statystycznych do planowania zarządzania obsługą;
- wydruk zarejestrowanych danych, charakteryzujących pracę diagnozowanych podzespołów.

Zakres diagnostyki obejmuje:

- obwód zasilania (monitorowanie stanu odbieraków prądu i wyłącznika szybkiego, liczby zadziałań operacyjnych i awaryjnych, rejestrację stanów wymienionych aparatów);
- obwód trakcyjny (monitorowanie zgodności stanów aparatów i mierzonych prądów z wartościami zadanymi przez maszynistę, monitorowanie stanów awaryjnych, rejestrację stanów wymienionych aparatów);
- hamulec (monitorowanie zgodności ciśnień przewodu głównego i cylindra z poziomami zadanymi hamowań, rejestrację zgodności stanu wyłączników ciśnieniowych z wybranym trybem, rodzajem i funkcją zadaną przez programistę);
- przetwornice pomocnicze (monitorowanie pracy – gotowość do pracy, stany przeciążenia, awarie);

- sprężarki główne (monitorowanie stanu pracy sprężarek głównych – gotowość do pracy, awarie, czas pracy);
- zasilacze 110 V/24 V i 110 V ± 15 V (napięcia zasilające);
- sterowniki mikroprocesorowe (autodiagnostyka, rejestracja uszkodzeń);
- łożyska (pomiar temperatury);
- układy wentylacji (monitorowanie otwarcia żaluzji przewietrzenia oporników rozruchowych, monitorowanie pracy wentylatorów silników trakcyjnych);
- urządzenie przeciwoślizgowe (sygnalizacja zadziałania);
- sygnalizacja pożaru ze wskazaniem jednej z trzech przestrzeni lokomotywy.

Wszelkie stany awaryjne diagnozowanych urządzeń i podzespołów są automatycznie wyświetlane na ekranie monitora.

Wizualizacja i komunikacja z maszynistą

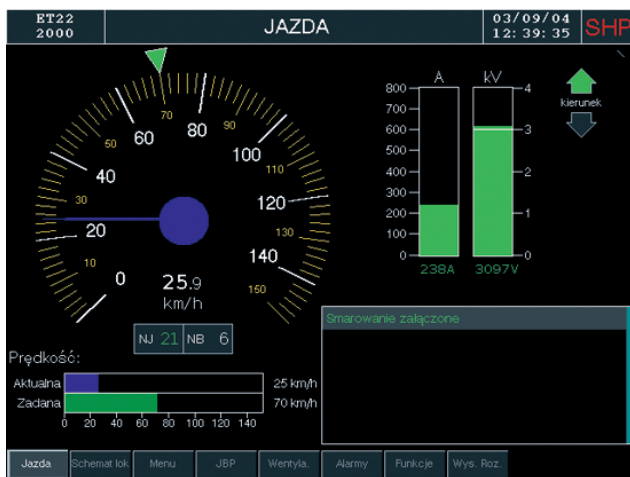
Komunikację między maszynistą i systemem zapewniają przede wszystkim panele operatorskie (monitory z klawiaturą) na pulpitych maszynisty (fot. 3) obu kabin. Dostęp do różnych informacji z monitora jest prowadzony poprzez strukturę drzewa i zorganizowany w formie menu. Podczas normalnego funkcjonowania lokomotywy monitor jest aktywny. Dla wywoływania informacji wykorzystywane są dostępne dla personelu przyciski panelu operatorskiego.

Po uruchomieniu lokomotywy wraz ze startem systemu sterowania zostają uruchomione panele operatorskie w obu kabinach. Kolejność pojawiania się ekranów oraz sposoby przejścia między nimi przedstawiono na rysunku 2 (drzewo ekranów panelu operatorskiego).

Foto 2 przedstawia przykładowy ekran – podstawowy ekran komunikacyjny JAZDA, na którym – w prawym dolnym rogu – pojawia się lista stanów alarmowych, jeśli takowe wystąpią.

Po wybraniu przycisku oznaczonego „Alarmy” przechodzimy do grupy ekranów, w których są zawarte dodatkowe informacje na temat aktualnie aktywnych alarmów oraz historii alarmów.

Ekran zawiera listę alarmów (wraz z czasem pojawienia i zakończenia danego alarmu) posortowaną względem czasu zaistnienia alarmów oraz po naciśnięciu odpowiedniego klawisza informującą o priorytecie i najprawdopodobniejszym źródle aktualnie wybranego alarmu.



Fot. 2. Podstawowy ekran komunikacyjny (JAZDA) z listą stanów alarmowych Fot. M. Nawara



Fot. 3. Pulpit maszynisty z ekranem panelu operatorskiego Fot. M. Nawara

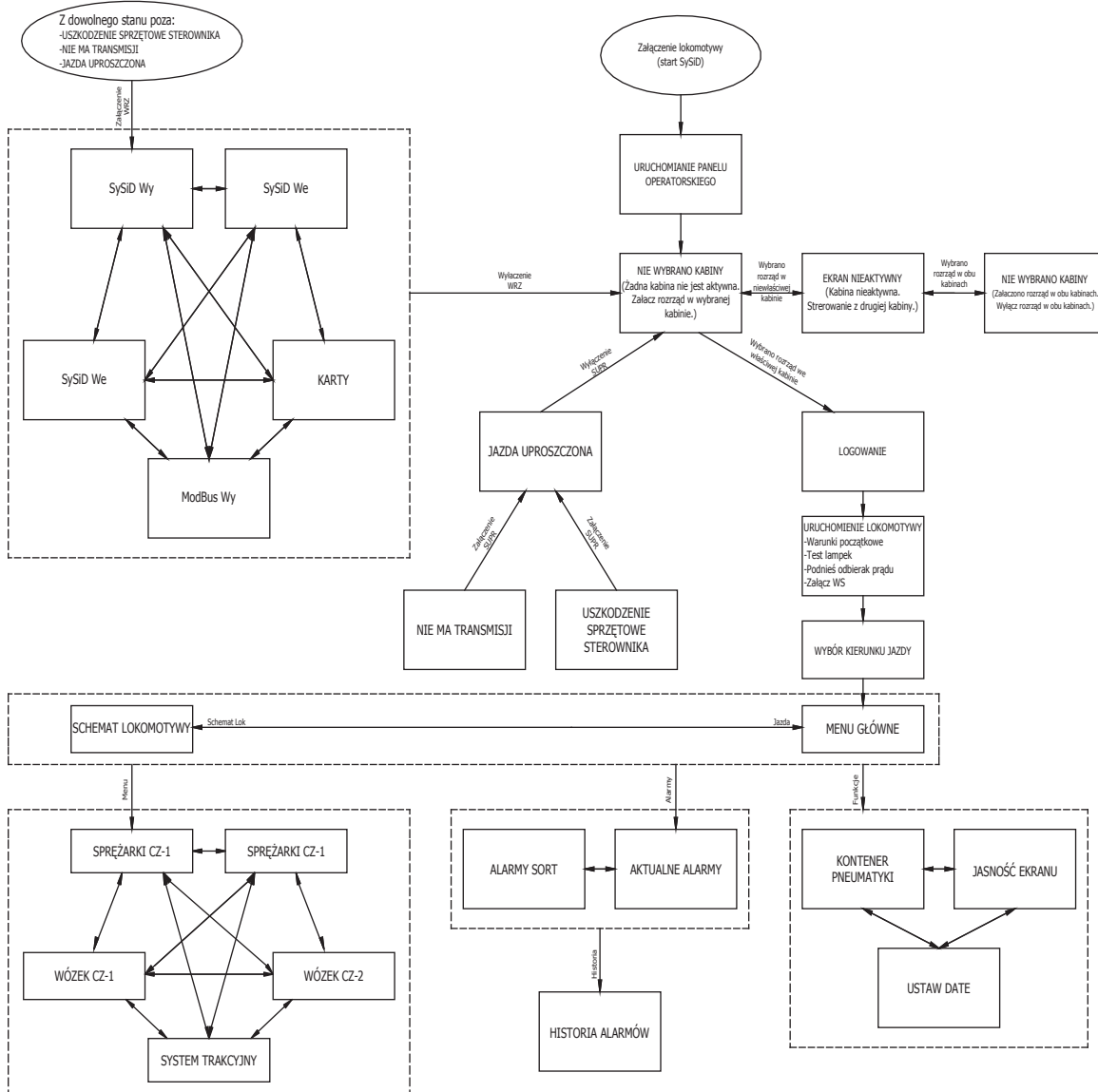
Badania ruchowe systemu

Wszystkie wytyczne badań technicznych zostały ustalone na podstawie normy PN-EN 50155. System przeszedł wszystkie wymagane próby typu i wyrobu.

Lokomotywa, wraz z opisanym w artykule systemem sterowania i diagnostyki, została odebrana przez komisarzy, dopuszczona do ruchu i aktualnie przechodzi pótroczną eksploatację obserwowaną, w wyniku której zostaną ustalone ostateczne właściwości niezawodnościowe systemu.

Podsumowanie

Opisany inteligentny system sterowania lokomotywą spełnia wszystkie postawione mu zadania, w zasadniczy sposób poprawia bezpieczeństwo pracy lokomotywy, zwiększa jej niezawodność, głównie dzięki swojej redundandności, poprawia łatwość obsługi oraz dzięki rozbudowanemu systemowi diagnostycznemu ułatwia znalezienie awarii i przyspiesza jej usunięcie. Stwarza również możliwość optymalnego sterowania lokomotywą, co wpływa na



Rys. 2. Drzewo ekranów panelu operatorskiego

zmniejszenie przez nią zużycia energii. System może być w przyszłości rozbudowywany i w przypadku dalszej modernizacji układu napędowego może być zastosowany w układach ze sterowaniem czopierowym.



WASKO jest jedną z najszybciej rozwijających się firm w Polsce. Zatrudnia ponad 300 osób, głównie z wyższym wykształceniem, specjalistów w różnych branżach, w tym informatyków, elektroników, metrologów, mechaników i fizyków, którzy tworzą głównie złożone systemy informatyczne oraz układy automatyki i sterowania. Największymi odbiorcami naszych produktów są Telekomunikacja Polska, PKP, PGNiG. Łączny obrót firmy w 2003 r. wyniósł 50 mln euro i stale się zwiększa.



PWPT WASKO Sp. z o.o.
 44-100 Gliwice, ul. Berbeckiego 6
 tel. +48 32 332 56 00, fax +48 32 332 55 05
 e-mail: zeit@wasko.pl

Autorzy
 mgr inż. Kazimierz Lepiarczyk
 dr inż. Zbigniew Mantorski
 mgr inż. Marek Nawara
 PWPT WASKO Sp. z o.o.
 e-mail: zeit@wasko.pl