

Konstrukcja elektrycznej uniwersalnej jednosystemowej lokomotywy typu 113E-EU 11 dla Polskich Kolei Państwowych

W artykule przedstawiono opis konstrukcji jednosystemowej uniwersalnej lokomotywy elektrycznej typu 113E (EU 11), która została zaprojektowana wspólnie przez ADtranz Szwajcaria (Zurich), ADtranz Niemcy (Kassel) ADtranz Pafawag (Wrocław) oraz OBRPS -Tabor (Poznań). Zaprezentowano główne parametry techniczne lokomotywy, opisano poszczególne główne układy oraz zespoły mechaniczne i elektryczne. Lokomotywa ta o mocy 6 MW i prędkości eksploatacyjnej 200 km/h przeznaczona jest do prowadzenia pociągów pasażerskich i towarowych na liniach PKP. Pierwsze dostawy lokomotyw przewidzianą w 1999 roku.

1. Wstęp

Dążąc do podniesienia prędkości eksploatacyjnej krajowych pociągów, w końcu lat osiemdziesiątych zapoczątkowano w ramach Centralnych Planów Badawczo-Rozwojowych prace nad stworzeniem lokomotyw i wagonów przeznaczonych do ruchu z prędkością 200 km/h. Od 1992 roku prace nad opracowaniem uniwersalnych lokomotyw elektrycznych z napędem asynchronicznym o prędkości 200 km/h były kontynuowane w ramach projektu celowego, którego wykonawcą była Fabryka Wagonów „Pafawag” w Wrocławiu, a głównym realizatorem Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu. Od samego początku realizacji projektu zakładano współpracę z przodującymi w produkcji taboru kolejowego firmami zagranicznymi, zwłaszcza w zakresie prac projektowych układów i zespołów elektrycznych i elektronicznych oraz wdrożeń przy produkcji zespołów, a w początkowym okresie również montażu całej lokomotywy. Wiązało się to również z wejściem do Pafawagu inwestora strategicznego z „zastrzykiem” nowej technologii.

Wszystkie podjęte działania zaowocowały tym, że w 1994 roku została opracowana dokumentacja konstrukcyjna uniwersalnej lokomotywy elektrycznej typu 110E (EU 11), która była dziełem konstruktorów z Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Pojazdów Szynowych w Poznaniu oraz firmy ABB Henschel z Mannheim i Kassel [1,2]. Lokomotywa miała być produkowana przez Pafawag, a głównym dostawcą maszyn i urządzeń elektrycznych i elektronicznych oraz układów napędowych miał być niemiecki ABB. Przedłużające się rozmowy o wejście kapitału niemieckiego do Pafawagu spowodowały, że projekt lokomotywy został odłożony na okres około trzech lat. Dopiero w 1996 roku po kupieniu przez koncern ADtranz (fuzji ABB Deimler-Benz i AEG) Pafawagu a następnie otrzymaniu zamówienia na dostawę dla PKP 8 lokomotyw dwusystemowych i 42 lokomotyw jednosystemowych, prace projektowo-wdrożeniowe mogły

być kontynuowane. Jako pierwsza powstała lokomotywa dwusystemowa typu 112E (EU 43) w ramach współpracy dwóch firm zgrupowanych w koncernie ADtranz : ADtranz Italia - Włochy Vado Ligure i ADtranz Pafawag - Wrocław [4] i konstrukcja tej lokomotywy, przeznaczonej do ruchu na liniach zasilanych z sieci trakcyjnej 3 kV DC oraz 15 kV 16²/₃ Hz AC, została opisana w [3,4].

Następnie powstała jednosystemowa lokomotywa typu 113E (EU 11), z wykorzystaniem projektu lokomotywy 110E, który wymagał dopracowania konstrukcyjnego i ta lokomotywa jest przedstawiona w artykule. Prace projektowe nad lokomotywą 113E prowadzone były w czterech ośrodkach konstrukcyjnych, ściśle ze sobą współpracujących a mianowicie ADtranz Szwajcaria w Zurichu, ADtranz Niemcy w Kassel, ADtranz Pafawag we Wrocławiu oraz OBRPS „Tabor” w Poznaniu. Ostatecznie prace zostały zakończone na początku drugiego półrocza 1998 roku i obecnie trwa produkcja pierwszych lokomotyw. Zakończenie montażu pierwszej lokomotywy planowane jest na przełomie 1998/1999 roku a następnie prowadzone będą próby typu oraz próbna eksploatacja.

Elektryczna lokomotywa typu 113E (EU 11) jest najnowocześniejszym pojazdem trakcyjnym PKP. Mimo, że jest w niektórych zespołach i elementach zunifikowana z lokomotywą dwusystemową typu 112E (EU 43), będzie „konstrukcyjnie młodsza” od niej o około 3 lata. Pozwoliło to na wprowadzenie do lok.113E szeregu urządzeń nowszej generacji, zwłaszcza urządzeń energoelektronicznych i informatycznych.

Najważniejsze różnice lok.113E w stosunku do lokomotywy 112E to:

- nowe falowniki trakcyjne chłodzone wodą,
- sterowanie i diagnostyka oparta na najnowszych urządzeniach elektronicznych i informatycznych systemu Mitrac,
- przetwornica do zasilania obwodów pomocniczych zbudowana w oparciu o tranzystory IGBT.

Dodatkowo w obwodzie elektrycznym lok.113E wprowadzono w miejsce układu sterowania pojedynczą osią (EU 43) układ sterowania wózkiem powodujący, że lokomotywa będzie szczególnie ekonomiczna w produkcji i utrzymaniu. Ogółem przewidziano dostarczenie dla PKP 42 sztuk lokomotyw 113E z przeznaczeniem generalnie do prowadzenia pociągów ekspresowych i pociągów pospiesznych z prędkościami do 200 km/h.

2. Dane ogólne i charakterystyka techniczna

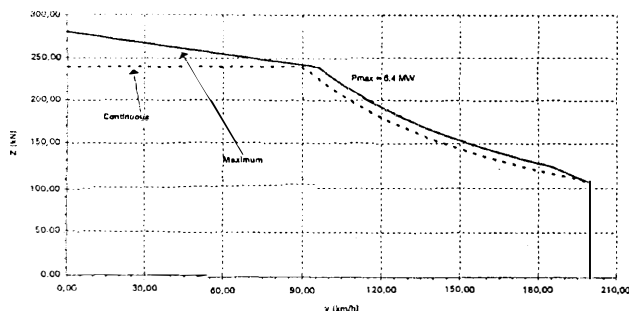
Uniwersalna lokomotywa 113E przeznaczona jest do prowadzenia następujących pociągów :

- ekspresowych o masie 600 t z prędkością 200 km/h,
- szybkich pasażerskich o masie 800 t z prędkością 160 km/h,
- szybkich towarowych o masie 1200 t z prędkością 140 km/h,
- towarowych o masie 2200 t z prędkością 100 km/h.

Podane prędkości pociągów będą utrzymane w sposób ciągły na wzniesieniach do 3‰, a nadwyżka siły trakcyjnej dla poszczególnych prędkości i mas pociągów na wzniesieniu 3‰ wynosić będzie :

- pociąg ekspresowy 600 t przy $v = 200$ km/h - 24,6 N/t,
- pociąg pasażerski 800 t przy $v = 160$ km/h - 52,8 N/t,
- szybki pociąg towarowy 1200 t przy $v = 140$ km/h - 50,3 N/t,
- pociąg towarowy 2200 t przy $v = 100$ km/h - 39,1 N/t.

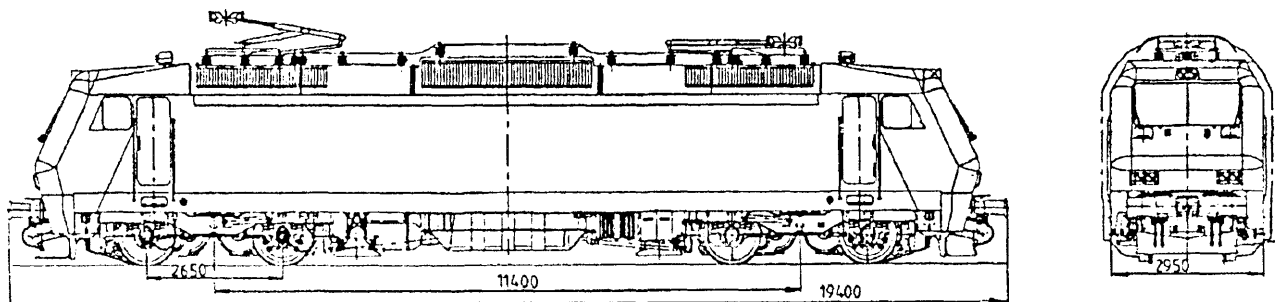
Charakterystykę trakcyjną lokomotywy przedstawiono na rys.1 natomiast widok ogólny lokomotywy na rys.2



Rys.1. Charakterystyka trakcyjna lokomotywy przy napięciu zasilania 2800 V dla mocy ciągłej 6,0 MW.

Podstawowe parametry techniczne lokomotywy przedstawiają się następująco :

- szerokość toru 1435 mm
- układ osi Bo Bo
- prędkość konstrukcyjna 220 km/h
- prędkość eksploatacyjna 200 km/h
- przełożenie przekładni zębatej 1/3,65
- napięcie zasilania 3 kV DC
- zmienność napięcia zasilania 2 ÷ 4 kV DC
- moc ciągła dla $v = 95 \div 200$ km/h 6 MW
- moc hamowania elektrycznego oporowego 3,0 MW
- moc hamowania elektrycznego rekuperacyjnego do 6 MW
- siła trakcyjna rozruchowa 280 kN
- siła trakcyjna przy $v = 95$ km/h 227 kN
- sprawność ogólna 0,86
- napięcie pokładowe 24 V
- napięcie zasilanie dla urządzeń pomocniczych 3 x 450 V, 60 Hz
- całkowita masa lokomotywy w stanie służbowym 82 Mg
- skrajnia kinematyczna wg UIC 505-1
- długość lokomotywy ze zderzakami 19,4 m
- baza lokomotywy 11,4 m
- szerokość pudła 2,95 m
- baza wózka 2,65 m
- średnica koła 1,1 m
- minimalny promień łuku 100 m
- promień łuku pokonywany bez ograniczenia prędkości ≥ 250 m
- minimalny promień górki rozrządowej 300 m
- zakres temperatur otoczenia $-30^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$
- maksymalna wilgotność względna powietrza -90% przy 20°C
- maksymalna wysokość nad poziomem morza 1200 m.



Rys.2. Widok i podstawowe wymiary lokomotywy.

3. Układy mechaniczne lokomotywy

3.1. Pudło i kabina maszynisty

Lokomotywa typu 113E skonstruowana została jako dwukabinowa, a przedział maszynowy posiada w środkowej części przejście o szerokości 600 mm. Rozmieszczenie urządzeń w lokomotywie przedstawiono na rys.3.

Wyposażenie przedziału maszynowego wykonane zostało w technice modułowej tzn. że wszystkie urządzenia zgrupowano pod względem funkcjonalnym w zintegrowanych szafach. Są one wkładane do lokomotywy od góry (po zdjęciu dachów) jako całkowicie gotowe, sprawdzone zespoły, a następnie mocowane i podłączone do odpowiednich instalacji. W przedziale maszynowym zabudowano:

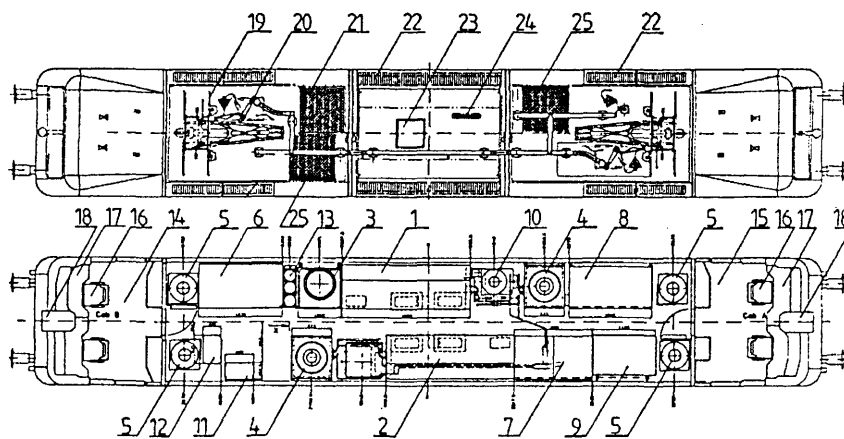
- dwie szafy z falownikami trakcyjnymi,
- dwa moduły chłodzące falowniki trakcyjne,
- dmuchawę dławika filtra wejściowego,
- cztery moduły chłodzące silniki trakcyjne,
- opornik hamowania elektrycznego z wentylatorem,
- szafę z przekształtnikami obwodów pomocniczych,
- moduł pneumatyczny,
- szafę z urządzeniami wysokiego napięcia i wyłącznikiem szybkim prądu stałego,
- szafę z urządzeniami średniego i niskiego napięcia,
- szafy z układami elektronicznymi,
- system przeciwpożarowy.

Na podwoziu lokomotywy zainstalowano:

- skrzynię z dławikami filtra wejściowego,
- urządzenie do ładowania akumulatorów,
- baterię akumulatorów,
- zbiornik sprężonego powietrza,

a na dachu dwa odbieraki prądu.

Pudło lokomotywy przedstawione na rys.4 stanowi samonośną konstrukcję spawaną i jest wykonane z blach stalowych,



Rys.3. Rozmieszczenie urządzeń w lokomotywie: 1,2 - przekształtniki trakcyjne, 3 - rezystor opornika hamowania, 4 - chłodnica przekształtnika i dławików, 5 - wentylatory silników trakcyjnych, 6 - moduł pneumatyczny, 7 - przetwornica obwodów pomocniczych, 8 - moduł z aparaturą WN, 9 - moduł z aparaturą NN, 10 - dmuchawa dławika filtra wejściowego, 11,12 - moduł z elektroniką i informatyką, 13 - automatyczny system gaśniczy, 14,15 - kabina sterownicza, 16 - fotel maszynisty i pomocnika, 17 - pulpit sterowniczy, 18 - klimatyzator, 19 - odbierak prądu, 20 - odłącznik pantografu, 21 - żaluzja wylotowa opornika hamowania, 22 - żaluzje wlotowe i wylotowe do chłodzenia silników trakcyjnych i urządzeń elektronicznych, 23 - właz na dach, 24 - antena, 25 - żaluzje wlotowe do chłodnic wodnych.

przenosząc bez odkształceń trwałych wszystkie obciążenia zgodnie z kartą UIC 566.

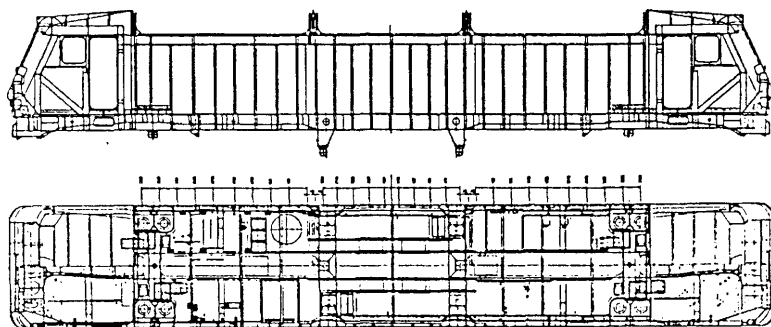
Podwozie jest wykonane z czterech podłużnych belek połączonych za pomocą poprzecznic: na końcach i w miejscach lokalizacji wózków.

Dach odejmowalny nad przedziałem maszynowym składa się z trzech segmentów. W ścianie czołowej, na poziomie pulpitu maszynisty wbudowana została belka przeciwwuderzeniowa (pochłaniania energii) zdolna przejąć obciążenie statyczne równe 500 kN. W ścianach bocznych kabiny (po obu stronach) zabudowano jednoskrzydłowe drzwi bez okien, a w ścianie tylnej jednoskrzydłowe drzwi otwierające się w kierunku przedziału maszynowego.

Ściany boczne i dach kabiny są wykonane z gładkiej blachy ze stali węglowej. Kabina posiada dwuczęściowe okna przednie i boczne typu odskokowo-przesuwne z mechanizmem blokującym. Szyby czołowe okien są konstrukcją warstwową z ogrzewaniem elektrycznym, zapewniając widoczność szlaku kolejowego oraz urządzeń sygnalizacyjnych, natomiast szyby okien bocznych są przyciemniane.

Na szybach przednich zainstalowane zostały elektryczne wycieraczki i spryskiwacze. Od wewnątrz zainstalowane są zasłony przeciwsłoneczne.

Podłoga w kabinie jest oparta na elementach elastycznych i pokryta wykładziną antypoślizgową. Kabina posiada skuteczną izolację termiczną i akustyczną zarówno od wpływów zewnętrznych jak również od wpływów z przedziału maszynowego. Stanowisko pracy maszynisty - pulpit sterowniczy znajduje się po prawej stronie, a pomocnika po lewej. Konstrukcja pulpitu posiada rozdzielone płas-



Rys.4. Szkielet pudła.

szczyzny: informacyjną i wykonawczą. Na pulpicie zabudowane są urządzenia sterujące i kontrolne. Fotele maszynisty i pomocnika firmy Grammer zapewniają komfort jazdy i szybką ewakuację w wypadkach awaryjnych.

Kabina maszynisty jest klimatyzowana agregatem klimatyzacyjnym, zabudowanym pod pulpitem. Dodatkowo w układ klimatyzacyjny wbudowany został układ wyrównania ciśnienia, utrzymujący stałe ciśnienie w kabinie, niezależnie od prędkości jazdy i warunków eksploatacyjnych.

Moc grzewcza agregatu wynosząca ok. 6 kW jest wystarczająca do utrzymania temperatury wewnętrznej $+18^{\circ}\text{C}$ przy temperaturze zewnętrznej do -30°C . Dodatkowo dla ogrzewania nóg maszynisty zainstalowane są płytki grzejne o mocy grzewczej 900 W.

Oświetlenie kabiny zostało zrealizowane za pośrednictwem jednej górnej oprawy świetlówkowej. Ponadto maszynista i pomocnik dysponować będą dwoma światłami punktowymi, włączanymi niezależnie oraz małym oświetleniem na ruchomej podstawie, służącym do odczytywania rozkładu jazdy. Oświetlenie czołowe zewnętrzne stanowią trzy małogabarytowe przeciwmgielne reflektory. Reflektor górny znajduje się w osi pojazdu nad szybą czołową. Lokomotywa wyposażona jest w dwutonowe elektropneumatyczne syreny oraz elektryczny sygnał dźwiękowy do celów ostrzegawczych przy manewrowaniu lokomotywą.

Urządzenia ciągnięto-zderzne lokomotywy stanowią sprzęg śrubowy i hak ciągowy z cięgłami o wytrzymałości 1150 kN, amortyzator sprzęgu śrubowego o zdolności przejmowania energii 20 kJ oraz zderzaki elastomerowe kategorii C o zdolności przejmowania energii 70 kJ. Dodatkowo czołownica ostoi jest przystosowana do zabudowy sprzęgu centralnego. Lokomotywa typu 113E wyposażona jest w automatyczny system gaszenia pożaru w przedziale maszynowym. Czynnikiem gaszącym jest gaz „Inergen”, nieszkodliwy dla personelu lokomotywy oraz urządzeń i instalacji.

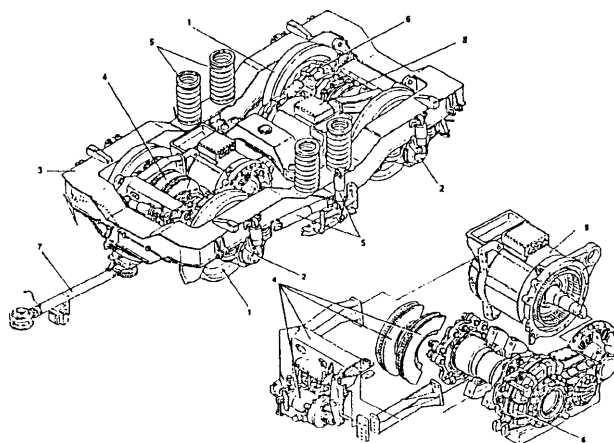
Nadwozie lokomotywy pokryte jest zestawem farb przyjaznych dla środowiska, a napisy i znaki wykonane są techniką malowania i kalkomanii.

3.2. Wózek i napęd

W lokomotywie 113E zastosowano wózki, dostosowane przez ADtranz do członów napędowych pociągów ICE. Wózek lokomotywy oraz elementy zainteresowanego zespołu napędowego przedstawiono na rys.5.

Zastosowane rozwiązania konstrukcyjne w wózku posiadają szereg znamiennych cech, takich jak:

- mały rozstaw zestawów kołowych 2650 mm, powodujący zmniejszenie masy wózka, łatwiejszą współpracę wózka z torem w łukach oraz możliwości efektywniejszego wykorzystania przestrzeni pod podwoziem lokomotywy,
- poprzeczne udsprężynowanie zestawu kołowego, obniżające siły dynamiczne,
- silnik trakcyjny i przekładnia napędowa stanowią jeden zintegrowany zespół napędowy, pozwalający na usytuowanie łożyska silnika od strony napędu na zewnątrz



Rys.5. Wózek: 1 - zestaw kołowy, 2 - maźnica z usprężynowaniem i tłumieniem pierwszego stopnia, 3 - rama wózka, 4 - układ mechaniczny hamulca, 5 - oparcie pudła na wózku, 6 - przekładnia trakcyjna, 7 - ciągiło przeniesienia sił wzdłużnych, 8 - silnik trakcyjny.

mniejszego koła zębatego, a w konsekwencji na obniżenie obciążenia wału momentem zginającym,

- zawieszenie zintegrowanego zespołu napędowego dwustronne elastyczne - z jednej strony do czołownicy wózka, z drugiej do nadwozia za pośrednictwem specjalnej belki, poprawiające walory dynamiczne lokomotywy,
- konstrukcja przekładni zębatej trójkółowa, połączona z silnikiem trakcyjnym za pośrednictwem kołnierza, zapewniająca dobrą szczelność,
- przeniesienie napędu realizowane poprzez wał drążony, połączony z kołem przekładni zębatej z jednej i drugiej strony za pośrednictwem elementów gumowo-metalowych. Wał drążony zaprojektowano tak, aby umożliwić zainstalowanie na nim dwóch tarcz hamulcowych,
- średnica toczna koła niezależna od przekładni i wymiarów gabarytowych silnika, stwarzająca możliwość zastosowania kół o średnicy 1100 mm w stanie nowym do 1010 mm w stanie zużytych.

Rama wózka jest konstrukcją skrzynkową, spawaną z blach ze stali węglowej o wysokiej wytrzymałości. Części nośne ramy stanowią dwie ostojnice i dwie czołownice, zbudowane z profili zamkniętych, eliminujących możliwość korozji wewnętrznej. Wytrzymałość ramy (nawet sprawdzona obliczeniowo metodą elementów skończonych), jest zgodna z zaleceniami karty UIC 615-4. Rama wózka spoczywa na sprężynach śrubowych, umieszczonych po obu stronach maźnicy, umożliwiających usprężynowanie pionowe oraz prowadzenie zestawu w kierunku poprzecznym. Prowadzenie zestawu kołowego w kierunku podłużnym oraz przenoszenie sił pociągowych i hamujących z zestawu kołowego na ramę wózka realizują poziome prowadniki, usytuowane pomiędzy maźnicami i ramą wózka. Prowadniki wyposażone są w kuliste elementy gumowe, umożliwiające przemieszczanie zestawu kołowego w kierunku pionowym i poziomym. Sztywność sprężyn śrubowych i elementów elastycznych została tak dobrana, aby uzyskać optymalne własności biegowe wózka.

Oparcie nadwozia na wózkach realizowane jest za pośrednictwem sprężyn wysokogabarytowych, umożliwiających wózkowi skręt i przesuw boczny. Wysokie położenie sprężyn drugiego stopnia wraz z zawieszeniem silników trakcyjnych częściowo na pudle lokomotywy obniża środek ciężkości pudła, co stworzyło możliwość uzyskania małego współczynnika przechylenia. Dla tłumienia drgań każdy z wózków wyposażony jest w dwanaście tłumików hydraulicznych:

- cztery tłumiki pionowe w pierwszym stopniu usprężynowania,
- sześć tłumików drugiego stopnia usprężynowania, po dwa w każdym kierunku,
- dwa tłumiki poprzeczne, tłumiące drgania między zintegrowanym zespołem napędowym i nadwoziem lokomotywy.

Dla przeniesienia sił pociągowych i hamujących zostało zastosowane jednostronne, nisko usytuowane ciągło rozciągająco-ściiskające z elementami elastycznymi. Ciągło to jest zamocowane przegubowo do ramy wózka na wewnętrznej stronie czołownicy i nachylone do poziomu w stosunku 1:10. Dzięki temu teoretyczny punkt zaczepienia siły pociągowej jest usytuowany 75 mm poniżej główek szyn, co daje nieznaczne odciążenia zestawu kołowego.

Hamulec mechaniczny na wózku jest typu tarczowego, a dzielone samoprzewietrzające się tarcze hamulcowe zabudowane są na wale drążonym. Uruchomienie hamulca następuje poprzecz cylindry hamulcowe, po jednym na każdy zestaw kołowy. Każdy cylinder hamulcowy posiada sprężynę tworzącą hamulec postojowy.

Dodatkowo na wózku zabudowane są na każdym zestawie kołowym szczotki uziemiające oraz układ olejowego smarowania obrzeży kół.

Napęd składa się z silnika trakcyjnego, przekładni oraz wału drążonego z elementami gumowo-metalowymi.

Silnik trakcyjny asynchroniczny o budowie bezkorpusowej jest ściśle zintegrowany z obudową przekładni zębatej. Osłona przekładni jest wykonana z żeliwa ciągliwego.

Przekładnia posiada trzy koła zębate z uzębieniem skośnym o kącie 4° i module 10. Łożyska kół oraz łożysko silnika od strony zębniaka osadzone są w osłonie przekładni. Smarowanie przekładni i łożysk odbywa się rozbryzgowo ulepszonym olejem silnikowym. Wszystkie uszczelnienia wirujące są typu labiryntowego.

3.3. Układ hamulca

Lokomotywa wyposażona jest w następujące rodzaje hamulca: zespolony, bezpośredni, bezpieczeństwa i postojowy.

Hamulec zespolony może działać jako elektrodynamiczny lub pneumatyczny, przy czym hamowanie elektrodynamiczne ma priorytet nad hamowaniem pneumatycznym.

Hamulec elektryczny może pracować jako odzyskowy z oddawaniem energii do sieci lub oporowy, zamieniając energię elektryczną w ciepło.

W przypadku rekuperacji, gdy silniki trakcyjne przechodzą na pracę prądnicową, hamowanie może się odbywać z pełną mocą tj. 6 MW. W przypadku hamowania oporowego, moc hamowania jest ograniczona i wynosi 3 MW. Maksymalna

siła hamowania wynosi 130 kN. Sterowanie hamowaniem osiągalne jest za pomocą cyfrowej jednostki sterowniczej, bezpośrednio połączonej z magistralą sterowniczą pojazdu z następującymi funkcjami:

- sterowanie ciśnieniem w głównym przewodzie hamulcowym, zgodnie z poleceniami maszynisty,
- koordynacja hamowania pneumatycznego i elektrycznego lokomotywy,
- przeprowadzenie hamowania typu R (dwa poziomy ciśnienia w cylindrach hamulcowych).

Maszynista steruje hamowaniem ciągłym pojazdu za pomocą wielostopniowej dźwigni, która może mieć pięć pozycji:

- napełnianie (podnoszenie ciśnienia w przewodzie głównym, aż do wartości nominalnej),
- luzowanie (stopniowy wzrost ciśnienia w przewodzie głównym),
- neutralna (pozycja stała),
- rozpoczęcie hamowania (stopniowa redukcja ciśnienia w przewodzie głównym),
- hamowanie bezpieczeństwa (rozładowanie ciśnienia w przewodzie głównym do zera).

Hamulec bezpośredni jest hamulcem czysto pneumatycznym i uruchamiany jest za pośrednictwem dźwigni z trzema pozycjami - hamowanie, położenie neutralne i luzowanie.

Układ mechaniczny hamulca dla każdego wózka składa się z czterech tarcz, po dwie na każdą oś, zamontowanych na wale drążonym, dwóch 10" cylindrów hamulcowych z hamulcem postojowym sprężynowym, czterech dźwigni szczękowych i cięgieł.

Tarcze hamulcowe są dzielone i zamocowane na wale drążonym za pośrednictwem kołnierza śrubowego. Szczęki hamulcowe wyposażone są w okładziny cierne ze spieków (Jurid 731).

Docisk okładzin do tarcz zapewniają cylindry i układ cięgieł mechanicznych. Jeden cylinder obsługuje dwie tarcze.

Hamulec bezpieczeństwa uruchamiany jest za pomocą przycisków grzybkowych, które spowodują bezpośrednie opróżnienie głównego przewodu hamulcowego. Zadziałanie hamulca bezpieczeństwa powoduje natychmiastowe włączenie hamulca głównego oraz opuszczenie odbieraków prądu.

Hamulec postojowy jest typu sprężonego i może zostać uruchomiony lub wyłączony poprzez przyciski umieszczone w kabinie maszynisty, sterujące zaworami elektropneumatycznymi, zapewniającymi dopływ lub odpływ sprężonego powietrza do cylindra. Ponadto istnieje możliwość uruchomienia bądź wyluzowania hamulca postojowego z zewnątrz lokomotywy za pomocą specjalnego klucza. Hamulec lokomotywy wyposażony jest w system przeciwoślizgowy. Wykrywanie poślizgu i czynności związane z jego wygaszaniem będą realizowane poprzez system sterowania pojazdem.

Przy hamowaniu pneumatycznym, układy sterujące procesem hamowania korygują wielkości ciśnienia w cylindrach hamulcowych, a przy hamowaniu elektrycznym redukują moment hamowania silnika trakcyjnego.

3.4. Układy wentylacji, chłodzenia i sprężonego powietrza

Układy wentylacyjno-chłodzące głównych zespołów lokomotywy składają się z żaluzji dyszowych i siatkowych, kanałów wentylacyjnych, wentylatorów oraz zespołów chłodnic wodnych.

Główne urządzenia lokomotywy, podlegające chłodzeniu wymuszonemu to: silniki trakcyjne, falowniki trakcyjne, dławiki filtra wejściowego, przetwornica zasilająca obwody pomocnicze, opornik hamowania elektrycznego oraz sprężarki główne. Chłodzenie odbywa się za pomocą powietrza zasysanego z zewnątrz przez żaluzje dachowe i wydmuchiwane pod podwozie, z wyjątkiem opornika hamowania, gdzie kierunek jest odwrotny. Każdy z czterech silników trakcyjnych wentylowany jest własnym wentylatorem o wydajności $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Główne chłodzenie falowników trakcyjnych i przetwornic zrealizowane jest jako kombinowany obieg chłodzenia wodnego, z wykorzystaniem wieży chłodniczej z chłodnicą zwrotną, pompą obiegową i naczyniem wyrównawczym cieczy chłodzącej. Oprócz chłodzenia wodnego falowniki i przetwornice pomocnicze wymagają również nieznacznego przewietrzania powietrzem dla usunięcia ewentualnych zastoju ciepłego powietrza w obudowach. Dla falowników pobierana w tym celu będzie część strumienia powietrza (ok. $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$) z sąsiadującego kanału chłodzenia dławika i włączana do wnętrza falowników poprzez wbudowany filtr cyklonowy.

Przetwornice pomocnicze będą przewietrzane strumieniem powietrza (ok. $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$) przez mały kanał powietrzny w dachu, z sąsiadującego wentylatora silnika trakcyjnego. Dla ułatwienia dopływu powietrza obudowa przetwornicy posiada u dołu szczeliny wentylacyjne.

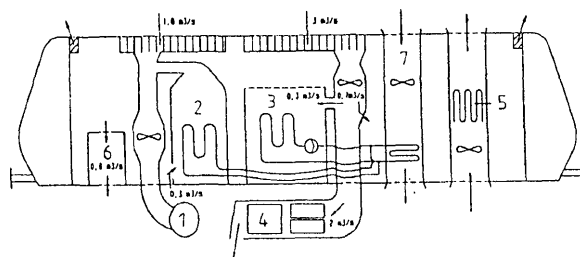
Dławiki wejściowe są wentylowane wentylatorem ustawionym w przedziale maszynowym oraz kanałami doprowadzonymi do ich obudowy na podwoziu. Wentylator pracuje na stałych obrotach, zabezpieczając strumień powietrza $2 \text{ m}^3/\text{s}$ dla dławika, $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ dla wentylowania przedziału maszynowego oraz $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ dla falownika. Również dławiki i transformatory przetwornic chłodzone będą w sposób wymuszony powietrzem tłoczonym przez wentylator chłodzenia dławika wejściowego.

Opornik hamowania umieszczony jest w osobnym kanale i chłodzony wentylatorem osiowym, napędzanym silnikiem pracującym podczas hamowania z maksymalnymi (stałymi) obrotami. Sprężarki główne posiadają własne chłodzenie z wentylatorem i chłodnicą zwrotną. Powietrze chłodzące pobierane jest z przedziału maszynowego i odprowadzone na zewnątrz osobnym kanałem. Zespoły elektroniczne, kable i inne różne źródła ciepła nie posiadające chłodzenia wymuszonego oddają ciepło poprzez konwekcję naturalną lub zintegrowane chłodzenie własne bezpośrednio do przestrzeni przedziału maszynowego.

Dla odprowadzenia ciepła odpadowego (nasłonecznienie), dla wyrównania ilości powietrza zasysanego przez sprężarki oraz zapobieżenia wnikaniu do przedziału maszynowego pyłu, śniegu i wody, przedział ten jest stale wentylowany po-

wietrzem o strumieniu $2 \text{ m}^3/\text{s}$ z upustu strumienia obu wentylatorów dławików oraz powietrzem przewietrzającym falowniki.

Schemat obwodów wentylacji oraz ilość niezbędnego do chłodzenia urządzeń powietrza przedstawiono na rys.6



Rys.6. Schemat układu chłodzenia i wentylacji: 1 - silnik trakcyjny, 2 - przekształtnik i przetwornice statyczne, 3 - dławik wejściowy, 4 - dławik i transformator przetwornic statycznych, 5 - opornik hamulca, 6 - sprężarki, 7 - chłodnica wodna.

Układy sprężonego powietrza lokomotywy stanowią: agregaty sprężarkowe główne, agregat sprężarkowy pomocniczy, zbiorniki powietrza, osuszacz powietrza oraz przewody zasilający i główny, przebiegające wzdłuż całej lokomotywy. Od przewodu zasilającego odchodzą odgałęzienia do zasilania tablicy pneumatycznej i urządzeń pomocniczych. Przewody zasilający i główny na obydwu końcach lokomotywy zakończone są sprzęgami końcowymi. Sprężone powietrze wytwarzane jest przez dwa agregaty sprężarkowe ze sprężarkami śrubowymi o wydajności $90 \text{ m}^3/\text{s}$ każda, o ciśnieniu 1 MPa . Osuszacz powietrza, wykorzystujący około 10% powietrza dla regeneracji układów absorbujących, ma za zadanie eliminację wody z układu sprężonego powietrza, a w związku z tym wydłużenie żywotności urządzeń. Sprężone powietrze wykorzystywane jest głównie do układu hamulcowego oraz do napędzania niektórych urządzeń elektrycznych takich jak: odbieraki prądu i styczniki oraz urządzeń pomocniczych np.: piasecznic, układu smarowania obrzeży kół, syren itp. Sprężarki i urządzenia hamulcowe zabudowane są na wspólnej ramie, a wszystkie przewody rurowe i łączniki wykonane są ze stali nierdzewnej.

Zbiorniki sprężonego powietrza, zabudowane wewnątrz lokomotywy, są wykonane ze stopu aluminium, a na zewnątrz pod ostoją ze stali nierdzewnej. Sumaryczna pojemność wszystkich zbiorników wynosi około 1 m^3 .

4. Układy elektryczne lokomotywy

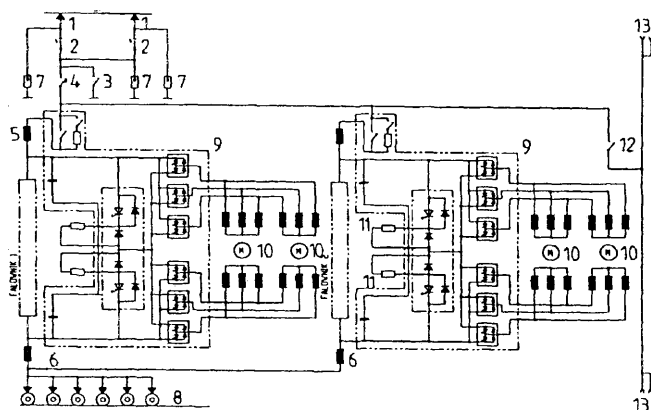
4.1. Obwód główny lokomotywy

Schemat ideowy obwodu głównego lokomotywy przedstawiono na rys.7.

Obwód główny składa się z odbieraków prądu, wyłącznika szybkiego, styczników, filtrów, choperów, falowników trakcyjnych, oporników hamowania i silników trakcyjnych.

Odbieraki prądu są konstrukcji jednoramiennej, ukształtowane w sposób ograniczający wpływ oporów aerodynamicznych na współpracę ślizgacz - przewód jezdny oraz posiadają elementy tłumiące ruch roboczy. Wyłącznik szybki typu UR 26 (Secheron) zapewnia pełne zabezpieczenie ob-

wodu głównego przed skutkami zwarć. W lokomotywie zastosowano dwa dławiki filtrujące, po jednym dla każdego obwodu trakcyjnego związanego z wózkiem, które umieszczone są w metalowych pojemnikach, mocowanych pod ostoją lokomotywy.



Rys.7. Schemat idealowy obwodu głównego: 1 - odbierak prądu, 2 - wyłącznik pantografu, 3 - wyłącznik uziemienia, 4 - wyłącznik główny, 5 - dławik filtra wejściowego, 6 - dławik przepięciowy, 7 - odprowadzacz przepięć, 8 - szczotki uziemiające, 9 - przekształtnik napędu, 10 - silnik trakcyjny, 11 - opornik hamulca, 12 - stycznik, 13 - puszki szyny zbiorczej.

Falownik trakcyjny, zawierający następujące części składowe:

- szyny obwodu pośredniego z zamontowanymi na nich zestawami zaworów prądowych dla falowników napędu i „choppera” hamowania,
- kondensatory obwodu pośredniego,
- styczniki wejściowe,
- urządzenia ładowania wstępnego,
- czujniki prądu i napięcia,
- jednostki bramek i zasilacz jednostek bramek,
- układ uziemiający,
- sterownik falownika,
- pompę wodną,
- urządzenia dejonizujące i naczynia wyrównawcze,
- elementy dodatkowe takie jak rezystory, czujniki, styczniki pomocnicze itp.

zbudowany jest w układzie podwójnej gwiazdy, zapewniając niskie napięcie na każdym zestawie zaworów, małe moce tracone a przez to wysoką niezawodność i sprawność.

Falownik trakcyjny zaprojektowany jest jako samosterujący się prostownik z napięciowym obwodem pośrednim, którego głównymi częściami składowymi są dwustronne zestawy zaworów prądowych, działające jako przełączniki. Każdy zestaw zaworów składa się z dwóch tyrystorów GTO i dwóch przeciwsobnych diod gaszących. Sieć zasilająca obwód pośredni bezpośrednio poprzez filtr wejściowy napięciem 3 kV DC. Obwód pośredni podzielony jest na dwa połączone szeregowo obwody częściowe, każdy na napięcie 1,5 kV DC. Każdy z „chopperów” hamowania częściowego obwodu pośredniego przemienia energię hamowania w ciepło, lub jeżeli będzie to możliwe, będzie oddawać ją do sieci. Możliwe będzie przy tym rozproszenie energii hamowania, wynoszącej do 1,35 MW na jeden przekształtnik. Ponadto „choppery” hamowania ograniczać będą ewentualne przepięcia w obwo-

dzie pośrednim. Oba połączone szeregowo falowniki trakcyjne generują na wyjściu po dwa trójfazowe napięcia o zmiennej częstotliwości i wartości oraz zasilają silniki z odrębnymi uzwojeniami w układzie podwójnej gwiazdy. Każdy falownik trakcyjny jest sterowany w zamkniętym obwodzie elektrycznym i zasilają obydwa połączone równolegle silniki asynchroniczne jednego wózka.

Falownik wraz ze sterownikiem umożliwia łagodne przejście z trybu jazdy na tryb hamowania i odwrotnie.

Zastosowano w lokomotywie cztery 3-fazowe silniki asynchroniczne 4 FIA 7065 o mocy ciągłej 1530 kW. Każdy z nich cechuje się następującymi głównymi parametrami:

- napięcie znamionowe 2x1130 V,
- prąd znamionowy pracy ciągłej 460 A,
- moment obrotowy ciągły 8,85 kNm,
- częstotliwość znamionowa 55,8 Hz,
- prędkość obrotowa znamionowa 1651 obr/min,
- sprawność 0,958,
- współczynnik mocy 0,9,
- masa własna 2300 kg,
- klasa izolacji C 200,
- napięcie probiercze 9 kV, 50 Hz, 1min,
- zapotrzebowanie na powietrze chłodzące 1,6 m³/s.

Uzwojenie klatkowe wirnika wykonane jest z prętów miedzianych, połączonych pierścieniami zwiernymi.

Każdy silnik trakcyjny wyposażony jest w czujniki prędkości i podwójny czujnik temperatury, czuwające nad utrzymaniem optymalnego punktu pracy silnika. Ponadto elektroniczny system sterowania dokonuje automatycznej redukcji mocy silnika w momencie, gdy temperatura silnika zbliżać się będzie do wartości krytycznej.

Obwody wejściowe wysokiego napięcia są wyposażone w instalację odgromową i przeciwprzepięciową, zapewniającą ochronę obwodów elektrycznych lokomotywy przed mogącymi się pojawić w sieci jezdnej udarami napięciowymi.

4.2. Obwody pomocnicze lokomotywy

Do zasilania urządzeń pomocniczych w lokomotywie 113E używany jest prąd trójfazowy o napięciu 450 V, wytwarzany przez przetwornicę dwumodułową, wykonaną w oparciu o tranzystory IGBT. Jeden z modułów wytwarza napięcie o zmiennej częstotliwości 42 lub 60 Hz, drugi natomiast o stałej częstotliwości równej 60 Hz.

Dodatkowo dostępny jest również prąd o napięciu stałym równym 24 V.

Z modułu przetwornicy o zmiennej częstotliwości zasilane są cztery silniki wentylatora silników trakcyjnych, wentylator opornika hamowania, dwa wentylatory chłodnic falowników oraz dmuchawa dławika wejściowego.

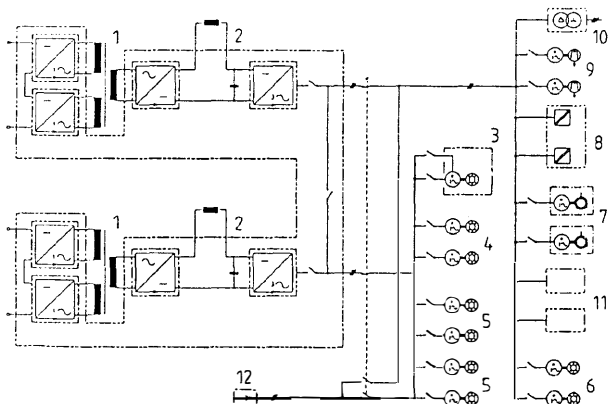
Z modułu przetwornicy o stałej częstotliwości zasilane są trzy silniki wentylatorów przetwornicy urządzeń pomocniczych, dwa silniki sprężarek głównych, dwa silniki pomp wodnych falowników, urządzenia klimatyzacyjne kabin maszynisty, podgrzewanie szyb napięciem 72 V 60 Hz poprzez transformator oraz zasilacze baterii akumulatorów.

Dodatkowo zainstalowane jest gniazdo zasilania zewnętrzne 380 V 50 Hz, a każdy z zastosowanych trójfazowych silników asynchronicznych zasilanych prądem zmiennym 3x450 V 60 Hz, jest dostosowany do specjalnych warunków pracy w lokomotywie.

Obwody rozrządu i sterowania lokomotywą (przełączniki, aparatura przełączeniowa, zawory elektropneumatyczne) są zasilane napięciem stałym 24 V z baterii pokładowej niklo-kadmowej, złożonej z 20 elementów o pojemności 330 Ah każdy. Bateria będzie ładowana na przemian za pośrednictwem dwóch równolegle pracujących zasilaczy. Napięciem 24 V zasilane są ponadto urządzenia bezpieczeństwa ruchu pociągu, radiotelefon, niektóre urządzenia elektroniczne, a także oświetlenie i sprężarka pomocnicza odbieraków prądu. Podstawowe parametry przetwornicy zasilającej obwody pomocnicze są następujące:

- znamionowe napięcie wejściowe 3 kV DC,
- zmienność napięcia wejściowego $1,2 \div 4,2$ kV DC,
- napięcie wyjściowe 3x450 V przebieg prostokątny,
- częstotliwość wyjściowa 42 Hz i 60 Hz,
- moc wyjściowa 220 kVA

Schemat obwodów pomocniczych przedstawiono na rys.8



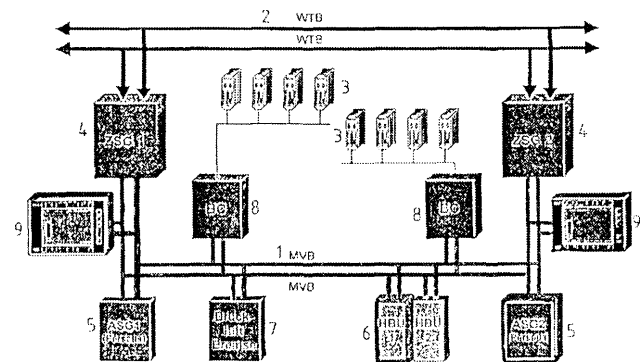
Rys.8. Schemat ideowy obwodów pomocniczych: 1- transformator, 2 - dławik, 3 - silnik wentylatora opornika hamowania, 4 - silnik wentylatora wieży chłodniczej przekształtników, 5 - silniki wentylatorów chłodzenia silników trakcyjnych, 6 - silniki wentylatorów skrzyni dławików w przedziale maszynowym, 7 - silniki pomp wodnych przekształtników, 8 - układ ładowania baterii akumulatorów, 9 - silniki agregatów sprężarkowych, 10 - transformator dla odbiorników 230 V, 11 - tablice w kabinach sterowniczych do zasilania klimatyzatorów i innych urządzeń, 12 - gniazdko zewnętrzne

4.3. Układ sterowania, diagnostyki i łączności

Sterowanie pracą poszczególnych układów napędowych i pomocniczych lokomotywy oraz diagnostyka pojazdu odbywa się za pośrednictwem systemu Mitrac, którego zasadniczym elementem jest szeregową magistrala pojazdu. Bezpośrednia transmisja danych pomiędzy poszczególnymi jednostkami układu odbywa się za pośrednictwem połączeń światłowodowych.

Do realizacji zadań sterowniczych w części napędowej zastosowany jest system Perseus, przy czym wejścia i wyjścia do pojazdu zrealizowane są przez wypróbowane w praktyce

moduły Phoenix. Cały układ sterowania, którego strukturę przedstawiono na rys.9, składa się z systemu wielokomputerowego dla funkcji poziomu sterowania pociągu i pojazdu oraz szybkich kontrolerów dla poziomu sterowania napędem.



Rys.9 Schemat strukturalny techniki sterowania: 1 - szeregową magistrala pojazdu, 2 - szyna zbiorcza pociągu, 3 - moduły Phoenix, 4 - centralny sterownik pociągu, 5 - sterownik napędu dla jednego wózka, 6 - przetwornice statyczne, 7 - układ hamulca pneumatycznego, 8 - urządzenia przełączające, 9 - monitor kabiny.

Wielokomputerowy system niezbędny do przetwarzania funkcji poziomu sterowania pociągu i pojazdu umieszczony jest w specjalnych kasetach, a funkcje sterowania napędów w bloku sterowania napędem zlokalizowane są w falowniku (ramach konstrukcji).

Do poziomu sterowania pociągu należy również rozrząd wielokrotny trakcji poprzez szynę pociągu, pozwalający na eksploatację pojazdów jednakowego rodzaju.

Poziom sterowania pojazdu z funkcjami sterowniczymi pojazdu i zintegrowaną diagnostyką zlokalizowany jest w dwóch modułach centralnego sterownika pociągu.

System sterowania napędem Perseus zawiera wszystkie elementy do sterowania falownikami i nastawnikami hamowania dla silników trakcyjnych jednego wózka.

Wymiana informacji pomiędzy elementami systemu w obrębie pojazdu odbywa się poprzez redundancyjną magistralę pojazdu.

Cały system sterowania trakcyjnego jest systemem modułowym w technice 19" o podwyższonej odporności mechanicznej i klimatycznej.

Sprzęt systemu Mitrac obejmuje następujące zasadnicze elementy:

- jednostki centralne dla zadań nadrzędnych,
- urządzenia peryferyjne sygnałów, w tym cyfrowe urządzenia wejściowe/wyjściowe, analogowe urządzenia wejściowe/wyjściowe, urządzenia do pomiaru temperatury i urządzenia do przetwarzania impulsów prędkości obrotowej.

Cały system diagnostyki podzielony został na trzy hierarchicznie usytuowane poziomy:

- diagnostyka pociągu,
- diagnostyka pojazdu,
- diagnostyka podsystemów.

Podsystemy generują wyniki diagnozy, które przekazywane są do nadrzędnego systemu diagnostycznego pojazdu

(system bezpiecznego wyłączania systemu w przypadku awarii), który je zapamiętuje na stałe. Wyniki te wyświetlane są na monitorze z podziałem na dwie grupy adresatów: maszynistę (diagnoza robocza) i personel serwisowy (diagnoza warsztatowa).

Sterownik napędu wykonany kompletnie w technice mikroprocesorowej Phoenix, dzięki obszernym i szczegółowym diagnozom, zapewnia personelowi serwisowemu szereg ważnych informacji, pozwalając na sprawne i ekonomiczne wykonywanie ich zadań.

Informacje te będą uzupełniane analizą wyników diagnozy bezpośrednio na monitorze w kabinie maszynisty, a wydajne oprogramowanie diagnostyczne dla komputerów PC pozwala na analizowanie wyników diagnoz poza lokomotywą w warsztacie lub w biurze.

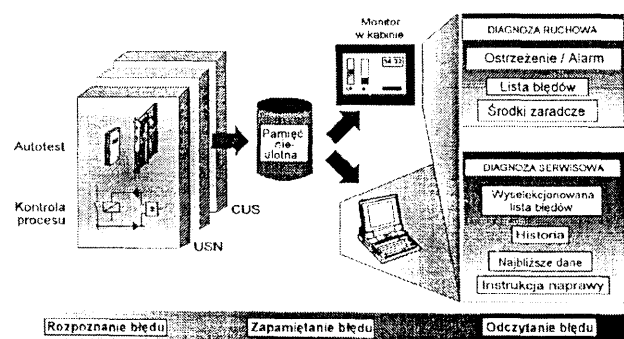
W programie analizy wyników diagnoz będzie można umieszczać wskazówki konserwacyjne, które użytkownik może uzupełniać i aktualizować, tworząc w ten sposób pierwszy stopień systemu fachowej oceny stanu zespołów.

System diagnostyczny stanowi część składową centralnego sterownika pociągu i obejmuje monitor z klawiaturą w każdej kabinie maszynisty. Wszystkie wyniki diagnoz dla pojazdu są przez system diagnostyczny zbierane, przetwarzane i zapamiętywane w pamięci trwałej. Układ centralnego sterowania pociągu posiada interfejs serwisowy, poprzez który można odczytać zawartość tej pamięci przy pomocy komputera PC, a przy pomocy dodatkowych programów odczytywać i zapisywać dane na bieżąco podczas pracy pojazdu.

System diagnostyczny obejmuje cały pojazd lub cały pociąg albo zestaw pociągów. Przebieg sygnałów można opisywać za pomocą następujących kategorii:

- wykrywanie uszkodzeń/błędów,
- zapamiętywanie uszkodzeń/błędów,
- informowanie o uszkodzeniach/błędach.

Schemat strukturalny diagnostyki przedstawiono na rys.10. Lokomotywa jest przygotowana do realizacji całej grupy zadań w zakresie łączności pociągowej za pośrednictwem interfejsu, podłączonego do szeregowej magistrali pociągu.



Rys.10 Struktura diagnostyki

Dzięki temu jest możliwa transmisja i odbiór informacji kierowanych do poszczególnych układów logicznych lokomotywy. Łączność radiową zapewnia układ radiotelefonu, składający się z dwóch manipulatorów z mikrofono-głośnikiem, po jed-

nym w każdej kabinie, dwóch gniazd przyłączeniowych - jedno na pulpicie, drugie w przedziale maszynowym, zestawu nadawczo-odbiorczego, zasilacza, tablicy rozdzielczej i anteny na dachu. Dla zapewnienia bezpieczeństwa ruchu lokomotywa jest wyposażona w czuwak aktywny i system SHP oraz docelowo w układ urządzeń Radio-Stop.

5. Schemat utrzymania lokomotywy w eksploatacji

Zużywanie się urządzeń, zespołów i elementów lokomotywy w eksploatacji jest zagadnieniem złożonym, zależnym nie tylko od pojazdu, ale przede wszystkim od wielu czynników zewnętrznych, do których zaliczyć należy :

- stan linii kolejowych i eksploatowanych wagonów,
- wyposażenie lokomotywowni,
- poziom techniczny i umiejętności maszynistów oraz personelu zaplecza warsztatowego,
- warunki, w jakich eksploatowane są lokomotywy (warunki klimatyczne, zanieczyszczenia atmosferyczne itp.)
- staranność wykonywanych czynności obsługowych.

Przewiduje się, że lokomotywa będzie miała przebieg około 800 km na dobę, przy średnim czasie dziennej eksploatacji wynoszącym 12 godz. Wyniesie to około 240 000 km przebiegu rocznego.

Lokomotywa typu 113E będzie pojazdem nowoczesnym, którego żywotność szacowana jest na :

- 40 lat dla części mechanicznej,
- 20 lat dla części elektrycznej i elektronicznej.

Po upływie okresu żywotności utrzymanie tych części w przypadku uszkodzenia będzie nieekonomiczne, ponieważ zostaną rozwinięte nowe, bardziej ekonomiczne technologie, a w związku z tym dostępność do części zamiennych będzie utrudniona.

Opierając się na doświadczeniach innych zarządów kolejowych, eksploatujących tej klasy nowoczesne pojazdy trakcyjne, zakłada się dla lokomotyw 113E następujące cykle obsługowe :

- przegląd 1 po przebiegu 12 500 km,
- przegląd 2 po przebiegu 125 000 km,
- przegląd 3 po przebiegu 250 000 km,
- przegląd 4 po przebiegu 500 000 km.

Przeglądy prowadzone będą przez macierzyste lokomotywownie, wyposażone w odpowiedni zestaw narzędzi, urządzeń diagnostycznych oraz kanał i pomosty.

W zakresie napraw przewiduje się :

- naprawę wózków co 1 mln km przebiegu,
- przegląd nadwozia i wyposażenia wewnętrznego co 1,5 mln km przebiegu,
- naprawę główną co 5 mln km przebiegu.

Naprawy i przeglądy będą się odbywać w wyspecjalizowanym serwisie. Rozpatrywane jest świadczenie tej usługi przez producenta lokomotyw tzn. AD tranz Pafawag-Wrocław.

6. Podsumowanie

Zaprezentowano opis konstrukcji jednosystemowej lokomotywy elektrycznej typu 113E (EU 11), która wraz z lokomotywami dwusystemowymi typu 112E (EU 43) stanowić będzie obecnie najnowocześniejszy park pojazdów trakcyjnych PKP do ruchu z prędkościami rzędu 200 km/h. Lokomotywy te zapoczątkują nową generację pojazdów trakcyjnych i mogą stać się pierwowzorem do modernizacji przestarzałego parku lokomotywowego, a zwłaszcza lokomotyw typu 104E (EP 09) oraz 201E (ET 22). Niewątpliwie lokomotywy 113E i 112E pozwolą na obniżenie kosztów eksploatacyjnych, poprawę warunków pracy maszynistów i personelu obsługowo-naprawczego oraz pozwolą na podniesienie usług świadczonych przez PKP.

Literatura:

- [1] Durzyński Zb., Marciniak Z. : *Konstrukcja elektrycznej lokomotywy uniwersalnej 3kV, 6 MW. Materiały X Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe”*. Wrocław 1994.
- [2] Durzyński Zb., Marciniak Z. : *Lokomotywa elektryczna i elektryczny zespół trakcyjny dla PKP. Technika Transportu Szynowego, nr 4/1994*.
- [3] Nowak St. : *Dwusystemowa lokomotywa uniwersalna typu 112E dla PKP. Przegląd Kolejowy nr 12/1996*.
- [4] Nowak St. : *Lokomotywa dwusystemowa typu 112E - EU43 dla PKP. Technika Transportu Szynowego nr 12/1997*