

Marcin Jędrzycka, Jarosław Oleszko, Marcin Pikul

# Niskopodłogowe tramwaje z PESA Bydgoszcz

**PESA Bydgoszcz SA, dzięki kontraktowi zawartemu z gminą miastem Elbląg w 2005 r. na dostawę 6 tramwajów niskopodłogowych, wkroczyła na rynek wagonów tramwajowych. Do dzisiejszego dnia te trójczłonowe jednostki, (fot. 1), eksploatowane od grudnia 2006 r. przez Tramwaje Elbląskie Sp. z o.o., pokonały łącznie około 200 tys. km. Obecnie Pesa realizuje zamówienie na dostawę 15 niskopodłogowych, pięcioczłonowych tramwajów typu 120N (fot. 2) dla Tramwajów Warszawskich Sp. z o.o.**

Najnowsze konstrukcje Pesy zostały wyposażone w napęd przekształtnikowy z silnikami asynchronicznymi. W porównaniu z wcześniej stosowanymi w tramwajach napędami prądu stałego umożliwia on uzyskanie lepszych parametrów trakcyjnych oraz zwiększenie niezawodności przy jednoczesnym wydłużeniu okresów między przeglądami technicznymi. Zarówno projekt mechaniczny, jak i projekt elektryczny, oparty jest na strukturze modułowej. Dzięki temu możliwe było rozpoczęcie budowy rodziny tramwajów zarówno trój-, jak i pięcioczłonowych, o zabudowie zgodnej z oczekiwaniami nawet najbardziej wymagających użytkowników, spełniającej jednocześnie aktualne wymogi określone w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury. W tabelicy 1 przedstawiono podstawowe parametry obu typów pojazdów.

Niska podłoga, na poziomie 350 mm od główki szyny, znacznie ułatwia pasażerom wchodzenie do pojazdu. Zastosowanie elektrycznie wysuwanej rampy zapewnia swobodną obsługę osób niepełnosprawnych. Konstrukcja kabiny motorniczego tworzy tzw. klatkę bezpieczeństwa, maksymalnie chroniącą kierującego w przypadku kolizji. Zderzaki z elastomerem przepływowym niwelują skutki zderzeń przy prędkościach nawet do kilkunastu km/h. Dolne ostony wykonane są w postaci łatwo wymiennych elementów, co minimalizuje czas i koszty ewentualnych napraw powypadkowych. W celu zwiększenia komfortu pracy motorniczego kabinę wyposażono w wydajną klimatyzację. Na rysunku 2 pokazano widok tramwaju 121N. W konstrukcji tramwaju 120N (rys. 1) zastosowano dodatkowo dwa człony nadwozia i wózek toczny z zabudowanym hamulcem mechanicznym, aktywnym.

Podzespoły energoelektroniczne wchodzące w skład układu napędowego zostały zabudowane na dachu pojazdu. Uproszczony schemat układu elektrycznego tramwajów pokazano na rysunku 3. Napięcie 600 V prądu stałego z pantografu doprowadzane jest przez odłącznik/uziemiacz (Q1) oraz wyłącznik szybki (Q2) do rozdzielni wysokiego napięcia (RWN). Znajdujący się wewnątrz rozdzielni zespół zabezpieczeń i styczników steruje zasilaniem poszczególnych podzespołów pojazdu. Filtr wejściowy falownika trakcyjnego złożony z baterii kondensatorów i dławika jest zasilany z rozdzielni przez układ wstępnego ładowania, który ogranicza nadmierne udary prądowe, powstające przy uruchamianiu falownika. Zastosowane falowniki trakcyjne umożliwiają rekuperację energii podczas hamowania elektrodynamicznego. Energia zwraca-



Fot. 1. Tramwaj niskopodłogowy typu 121N

Fot. PESA



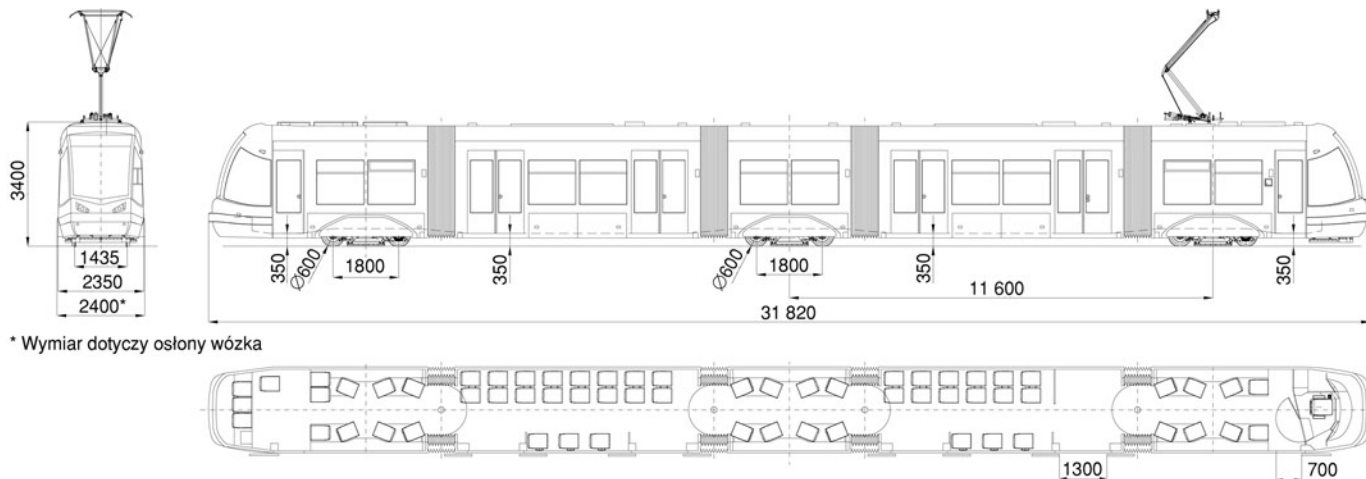
Fot. 2. Tramwaj niskopodłogowy typu 120N

Fot. PESA

Tabela 1

## Podstawowe dane techniczne tramwajów

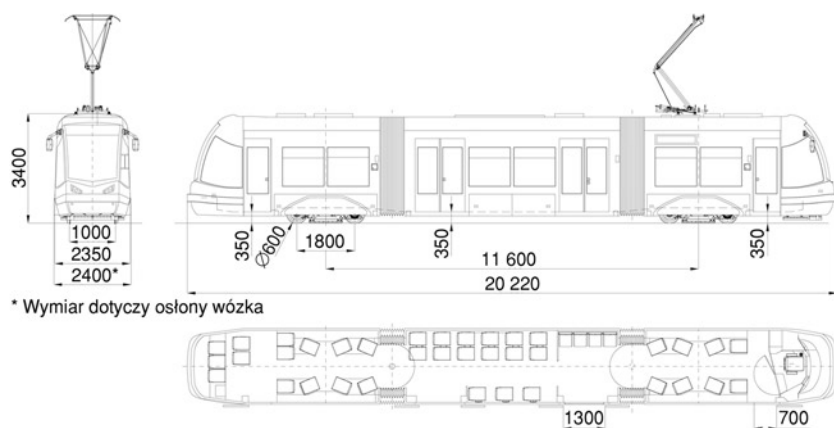
Rodzaj pojazdu		niskopodłogowy, wieloczłonowy, jednokierunkowy, jednoprzestrzenny
Liczba członów		3-członowy      5-członowy
Długość całkowita bez sprzęgów	[mm]	20220      31820
Szerokość	[mm]	2350
Wysokość	[mm]	3400
Wysokość podłogi od poziomu główki szyny	[mm]	350
Rozstaw osi na wózkach	[mm]	1800
Nacisk na oś przy maksymalnym obciążeniu	[kN]	100
Szerokość toru	[mm]	1435/1000
Rozstaw wózków	[mm]	11600
Układ osi		Bo 'Bo'      Bo '2' Bo'
Liczba miejsc (do siedzenia+stania)	[5 os/m <sup>2</sup> ]	122 (41+81)      211 (63+148)
Maksymalna prędkość eksploatacyjna	[km/h]	70
Moc (silniki trakcyjne asynchroniczne)	[kW]	4×105



\* Wymiar dotyczy osłony wózka

Rys. 1. Schemat wagonu 120N

Rys. PESA



\* Wymiar dotyczy osłony wózka

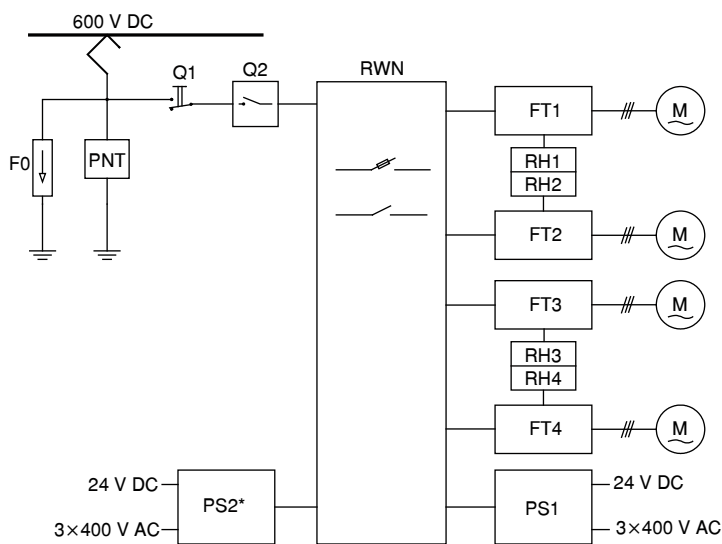
Rys. 2. Schemat wagonu 121N

Rys. PESA

cana do sieci musi jednakże zostać wykorzystana. Jej odbiorcą może być inny tramwaj będący w fazie rozruchu bądź podstacja wyposażona w odpowiedni zasobnik energii lub dwukierunkowy przekształtnik. W przypadku braku możliwości przetworzenia zwracanej energii wartość napięcia w sieci trakcyjnej podczas hamowania wzrośnie i po osiągnięciu poziomu 780 V do pracy zostanie włączony chopper hamowania, który wytraci odzyskiwaną energię w rezystorach hamowania (RH: 2,4 Ω, 250 kW).

Układ napędowy zapewnia również bezpieczne hamowanie elektrodynamiczne w przypadku wjazdu tramwaju na zwarty odcinek sieci trakcyjnej.

Tramwaje wyposażone są w dwa wózki napędowe. Każda z osi jest sprzęgnięta za pomocą przekładni z silnikiem i posiada hamulec tarczowy. Każdy z silników jest wyposażony w trzy czujniki temperatury oraz enkoder inkrementalny, z których przekształtnik czerpie informacje niezbędne do właściwej regulacji, wykrywania poślizgu podczas rozruchu jak i hamowania elektrodynamicznego. Podstawowe parametry silników trakcyjnych przedstawione są w tabelicy 2.



PS2\* – stosowana w wersji pięcioczołowej

Rys. 3. Schemat blokowy układu elektrycznego

F0 - odgromnik, RH1–4 - rezystory hamowania elektrodynamicznego, FT1–4 - falowniki trakcyjne, PS1 - przetwornica statyczna, Q1 - odłącznik/uziemiacz, Q2 - wyłącznik szybki, PNT - pomiar napięcia trakcyjnego

Tabela 2

### Dane silnika trakcyjnego

Punkt pracy	S1	S2-1h
Moc znamionowa [kW]	105	140
Moment znamionowy [Nm]	563,3	754,1
Prędkość znamionowa [obr/min]	1681	1772
Prędkość maksymalna [obr/min]		4569
Częstotliwość znamionowa [Hz]	60	60
Napięcie znamionowe [V]	430	430
Połączenie stojana		gwiazda
Prąd znamionowy [A]	190,0	238,2
cos φ	0,7948	0,8473
Sprawność [%]	93,33	93,15
Masa [kg]		400 ±5%
Stopień ochrony		IP55/IP65
Temperatura otoczenia [°C]		-30 do +40
Klasa izolacji		200
Sposób chłodzenia		samoprzewietrzalny, IC411

Zastosowany w pojazdach napęd przekształtnikowy prądu przemiennego składa się z czterech falowników. Każdy z nich współpracuje z jednym silnikiem trakcyjnym. Falownik trakcyjny, zasilany napięciem stałym 600 V prądu stałego, wytwarza za pomocą trójfazowego mostka tranzystorowego trzy napięcia o zmiennej amplitudzie i częstotliwości. Klucze tranzystorowe sterowane są modulatorem PWM. Sterowanie przekształtnikiem realizowane jest w technologii DSP (*Digital Signal Processor*). W celu umożliwienia niezależnej regulacji strumienia i momentu silnika zastosowano sterowanie wektorowe w układzie połowo zorientowanym FOC (*Field Oriented Control*). Bardzo istotnym atutem zastosowanego napędu jest możliwość przemieszczania pojazdu w warunkach awaryjnych przy wykorzystaniu energii zgromadzonej w baterii 24 V. Szczególnie przydatne staje się to w przypadku zatrzymania składu na odcinku izolatora sekcyjnego (brak napięcia 600 V) lub w sytuacji, gdy zachodzi potrzeba wjechania na torowisko nieposiadające trakcji (np. hala remontowa). Z zastosowaną baterią o pojemności 220 Ah możliwe jest pokonanie kilkudziesięciu metrów i ewentualne powrócenie do zasilania podstawowego 600 V. Podstawowe parametry falownika trakcyjnego typu FT105-600 podano w tablicy 3.

Tablica 3

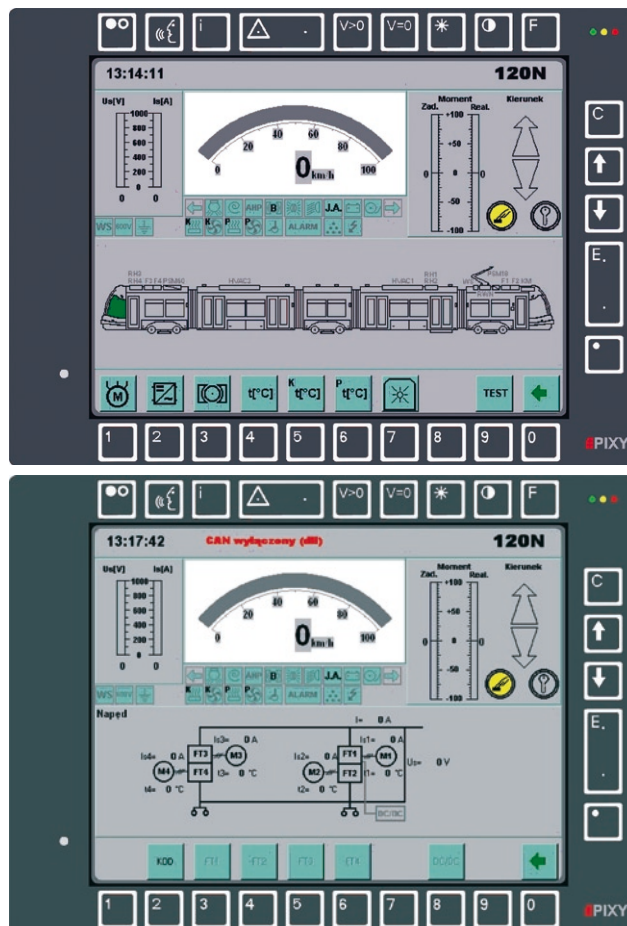
### Dane techniczne falownika trakcyjnego

Typ	FT105-600	
Znamionowe napięcie zasilania	[V]	600 +25% -30%
Napięcie pomocnicze	[V DC]	24 +10% -40%
Prąd znamionowy	[A]	300
Wartość skuteczna wyjściowego prądu fazowego	[A]	190
Moc znamionowa	[kW]	105
Częstotliwość	[Hz]	0-160
Częstotliwość PWM	[kHz]	3
Wytrzymałość izolacji	[kV]	4, 50 Hz przez 1min
Chłodzenie	wymuszone wewnętrzne	
Masa	[kg]	400
Wymiary (głębokość × wysokość × szerokość)	[mm]	1200 × 450 × 1300

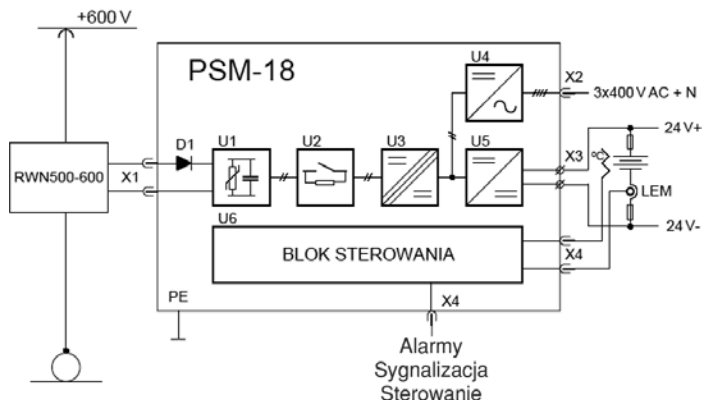
Układ sterowania falownika komunikuje się z sterownikiem nadrzędnym pojazdu (CPU) za pomocą sieci pokładowej CAN. Za jej pośrednictwem otrzymuje informacje między innymi o kierunku jazdy i zadanym momencie. Tą drogą przesyłane są też informacje zwrotne o realizowanych wartościach momentu, kierunku jazdy itp. Najważniejsze z tych parametrów wizualizowane są na panelu operatorskim motorniczego. Kierujący pojazdem, oprócz okna głównego, ma również do dyspozycji podokna poszczególnych systemów, takich jak układ napędowy, zasilania, ogrzewania itp. (rys. 4). Dzięki temu w przypadku zaistnienia usterki sygnalizowanej w oknie głównym istnieje możliwość uzyskania z podokna danego systemu bliższych informacji o występujących awariach i sposobach ich usunięcia.

Do zasilania pozostałych urządzeń elektrycznych pojazdu 121N została wykorzystana przetwornica statyczna typu PSM-18. Na rysunku 5 przedstawiono schemat blokowy przetwornicy.

Pełna klimatyzacja kabiny motorniczego i przedziału pasażerskiego w tramwaju 120N zmusiła projektantów do zainstalowania drugiej przetwornicy statycznej. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano redundancję systemu zasilania obwodów pomocniczych. W przypadku uszkodzenia przetwornicy podstawowej układ sterowania samoczynnie załączy drugą z nich, umożliwiając tym sposobem kontynuowanie jazdy przy wyłączonym bloku HVAC. Na-



Rys. 4. Panel operatorski motorniczego – okno główne i podokno układu napędowego



Rys. 5. Schemat blokowy przetwornicy statycznej

U1 - filtr wejściowy i ochronnik, przeciwprzepięciowy, U2 - układ soft-startu, U3 - przetwornica DC/DC z izolacją galwaniczną, U4 - falownik tranzystorowy, U5 - zasilacz 24 V, U6 - mikroprocesorowy blok sterowania i diagnostyki

pięcie tramwajowej sieci trakcyjnej 600 V prądu stałego przetwarzane jest na napięcie pokładowe 24 V prądu stałego oraz na napięcie pomocnicze 3 × 400 V/50 Hz, z możliwością zasilania odbiorników jednofazowych. Podstawowe parametry przetwornic statycznych zestawiono zostały w tablicy 4.

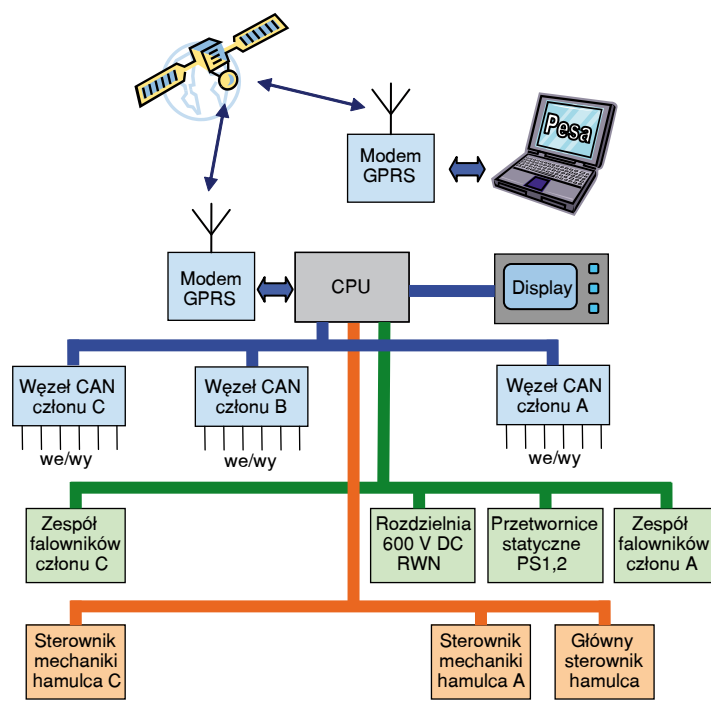
Na rysunku 6 przedstawiono strukturę blokową układu sterowania pojazdem. Działanie wszystkich zainstalowanych w pojeździe podukładów jest kontrolowane za pośrednictwem magistrali CAN przez znajdującą się w pierwszym członie jednostkę central-



Tablica 4

## Dane techniczne przetwornic pomocniczych

	PSM-18	PSM-60
Napięcie wejściowe	40–900 V	
Zakres funkcjonalności	360–1000 V	
Moc całkowita	22 kVA	60 kVA
Wyjście DC 24V	$I_n = 390$ A; termiczna kompensacja napięcia; elektroniczne zabezpieczenie (przeciążenie, zwarcie)	
Stabilność napięcia DC	<1%	
Tętnienia napięcia DC	<1 Vpp (przy obciążeniu znamionowym)	
Wyjście AC	3 × 400 V/12 kVA	3 × 400 V/50 kVA
Stabilizacja napięcia AC	≤ ±5%	
Maksymalny prąd przewodu neutralnego	15 A	38 A
Sprawność ogólna	>92%	
Temp. otoczenia	–30°C do +40°C	
Stopień ochrony obudowy	IP30	
Wymiary (wys. × szer. × gł.)	450 × 1300 × 620	450 × 1300 × 1200



Rys. 6. Schemat blokowy układu sterowania

ną. Zespół modułów wejść/wyjść tworzy w każdym z członów węzeł CAN, obsługujący obwody funkcjonujące w obrębie danego członu. Tak stworzona architektura sterowania rozproszonego znacznie upraszcza instalację elektryczną i ułatwia diagnostykę całego pojazdu. W obecnie produkowanych jednostkach wykorzystanie możliwości sieci GSM pozwoliło na realizację diagnostyki *on-line*. Zdalny dostęp do aktualnych parametrów układu sterowania usprawnia lokalizację ewentualnych uszkodzeń oraz pozwala na szybkie podjęcie działań serwisowych.

Wyprodukowane pojazdy mają nowoczesne pulpity motorniczego (fot. 3), zaprojektowane zgodnie z zasadami ergonomii i funkcjonalności. Umożliwiają one obsługę wszystkich systemów pomocniczych wymaganych przez klienta.

Przedział pasażerski (fot. 4) cechuje przestronność, a brak jakichkolwiek stopni na całej powierzchni podłogi i elektrycznie wysuwana rampa czyni tramwaj przyjaznym dla osób poruszających się na wózkach inwalidzkich.



Fot. 3. Pulpit motorniczego tramwaju typu 120N (fot. PESA)



Fot. 4. Widok wnętrza pojazdu typu 120N (fot. PESA)

Oferowane pojazdy mogą być wyposażone w pełny monitoring z rejestracją umożliwiającą odtworzenie obrazów minimum 24 godzin wstecz, jak to jest w przypadku 121N, lub też monitoring dający wyłącznie podgląd motorniczemu. Kontrola całości wnętrza zmniejsza ryzyko aktów wandalizmu czy też kradzieży. Ułatwia również ustalenie sprawców. Rejestracja obrazu drogi przed pojazdem połączona z odczytem zapisu rejestratora zdarzeń pozwala na określenie przyczyn kolizji drogowych.

Kolejnym etapem w rozwoju rodziny nowoczesnych niskopodłogowych pojazdów jest realizacja projektu pięcioczonowego tramwaju typu 122N dla MPK Łódź Sp. z o. o. Dziesięć tramwajów tego typu zobaczymy na torach w Łodzi już w 2008 roku. Podobne pojazdy pojawią się również w przyszłym roku na ulicach Bydgoszczy.

### Autorzy

mgr inż. Marcin Jędrzycka

marcin.jedryczka@pesa.pl

mgr inż. Jarosław Oleszko

jaroslaw.oleszko@pesa.pl

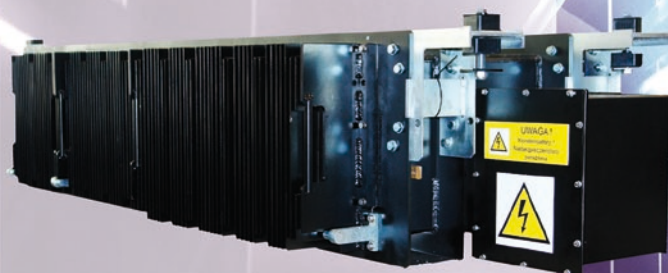
mgr inż. Marcin Pikul

marcin.pikul@pesa.pl

Pojazdy Szynowe PESA Bydgoszcz SA



**TRAKO 2007: Stoisko 3.04 Gdańsk 10-12 października**



**MEDCOM** 19 lat na rynku

- Przetwornice statyczne zgodne z zaleceniami UIC
- Napędy trakcyjne AC i DC
- Energetyczne filtry aktywne SN do prostowników trakcyjnych
- Systemy zasilania rezerwowego AC i DC do automatyki zabezpieczeniowej
- Systemy zasilania rezerwowego układów SBL

ISO 9001