

Łukasz Kamiński

# Nowoczesne technologie do przesyłu sygnałów w systemach trakcji elektrycznej

**W obecnych czasach wymagania stawiane obiektom z instalacjami elektrycznymi wzrosły. Podstacje trakcyjne przystosowywane są do pracy bez osób obsługujących je na miejscu [5], jednak nadal wymagana jest kontrola i sterowanie ich w sposób bezpieczny i niezawodny z centralnej dyspozytorni. Dlatego też konieczne staje się coraz częściej wprowadzanie kompletnego systemu sterującego, diagnozującego i archiwizującego (S.D.A.) dla uzyskania pełnej zdalnej kontroli nad obiektem [1, 6]. Podstawowym celem takiego systemu powinna być pełna diagnostyka każdego obiektu (podstacji trakcyjnej), tj. działania urządzeń zainstalowanych w nim.**

System taki powinien być dodatkowo wyposażony w możliwość sterowania elementami wykonawczymi, tak aby w określonych przypadkach można było włączyć, bądź wyłączyć podstację lub jej urządzenia. Archiwizacja zaistniałych zdarzeń w obiekcie takich jak zmiana stanu wyłączników, zabezpieczeń, to bardzo pożądana funkcja takiego systemu, gdyż zebrane informacje posłużą mogą do analizy zużycia elementów łączeniowych (np. wyłączników szybkich na podstawie liczby zadziałań), ustalenia grafiku kontroli, konserwacji i wymiany podzespołów czy wyrównania obciążenia podstacji [5]. Kontrola i archiwizacja wartości napięć i prądów posłużą może do obliczeń obciążenia podstacji, zużycia energii, a na tej podstawie do podjęcia decyzji o modernizacji lub budowie nowej podstacji. Informacje o wartościach napięć i prądów oraz poborze mocy mogą także posłużyć pośrednio do oceny stanu sieci trakcyjnej. Wzrastające spadki napięć mogą świadczyć o pogorszeniu się przewodności wywołanej zużyciem podzespołów podstacji.

Elementem nadrzędnym całego systemu jest centrala (dyspozytornia), odpowiedzialna za zbieranie danych z podstacji lokalnych oraz przesyłanie poleceń sterujących do podstacji, a podstacje wysyłają dane o statusie urządzeń i przyjmujące polecenia z centrali. W takim systemie bardzo ważnym podsystemem są urządzenia do komunikacji pomiędzy centrum zdalnego sterowania, a podstacjami. Wykorzystać w nim można dostępne środki transmisji sygnałów takie jak: klasyczne przewodowe połączenia telekomunikacyjne, światłowody, połączenia radiowe. Struktura połączeń dyspozytorni z podstacjami może być oparta na sieciach typu LAN i WAN.

## Możliwości wykorzystania struktur sieci LAN i WAN

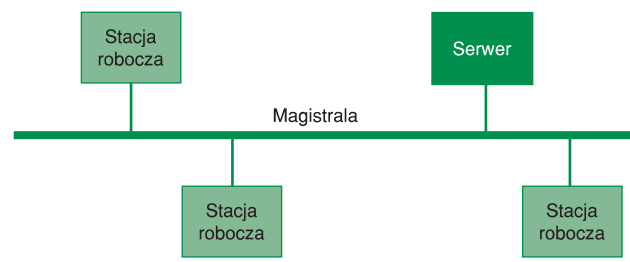
Sieci komputerowe są systemem komunikacyjnym łączącym systemy końcowe zwane stacjami sieciowymi lub stacjami (*host*). Terminem *host* określa się każdy komputer podłączony do sieci. W sieć lokalną, czyli sieć LAN (*Local Area Network*) [2,4], łączą

się komputery niezbyt od siebie odległe, najczęściej pozostające w obrębie jednego budynku (dopuszcza się jednak i większe odległości, rzędu kilku kilometrów). Sieci WAN (*Wide Area Network*) [4] służą do łączenia sieci LAN w większy system komunikacyjny. Tak więc sieci LAN zastosować możemy na podstacjach a sieci WAN między podstacjami.

Sieci te buduje się w oparciu o różne topologie [3].

## Topologia magistrali

Topologie magistrali wyróżnia to, że wszystkie węzły sieci połączone są ze sobą za pomocą pojedynczego, otwartego (umożliwiającego przyłączenie kolejnych urządzeń) kabla. Kabel ten obsługuje tylko jeden kanał i nosi on nazwę magistrali. Niektóre technologie oparte na magistrali korzystają z więcej niż jednego kabla, dzięki czemu obsługiwać mogą więcej niż jeden kanał, mimo że każdy z kabli obsługuje niezmiennie tylko jeden kanał transmisyjny

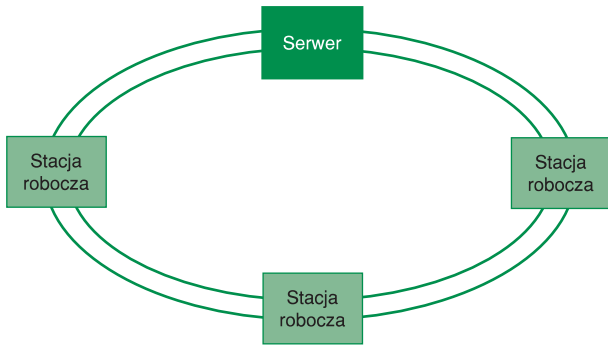


Rys. 1. Topologia magistrali

Typowa magistrala składa się z pojedynczego kabla łączącego wszystkie węzły w sposób charakterystyczny dla sieci równorzędnej. Kabel nie jest obsługiwany przez żadne urządzenia zewnętrzne. Zatem wszystkie przyłączone do sieci urządzenia słuchają transmisji przesyłanych magistralą i odbierają pakiety do nich zaadresowane. Brak jakichkolwiek urządzeń zewnętrznych, w tym wzmacniaczy, sprawia, że magistrale sieci lokalnych są proste i niedrogie. Jest to również przyczyna ograniczeń dotyczących odległości, funkcjonalności i skalowalności sieci.

## Topologia pierścienia

Pierwszą topologią pierścieniową była topologia prostej sieci równorzędnej. Każda przyłączona do sieci stacja robocza ma w ramach takiej topologii dwa połączenia, po jednym dla każdego ze swoich najbliższych sąsiadów. Połączenie takie musiało tworzyć fizyczną pętlę, czyli pierścień. Dane przesyłane były wokół pierścienia w jednym kierunku. Każda stacja robocza działała podobnie jak wzmacniacz, pobierając i odpowiadając na pakiety do nich zaadresowane, a także przesyłając dalej pozostałe pakiety do następnej stacji roboczej wchodzącej w skład sieci.

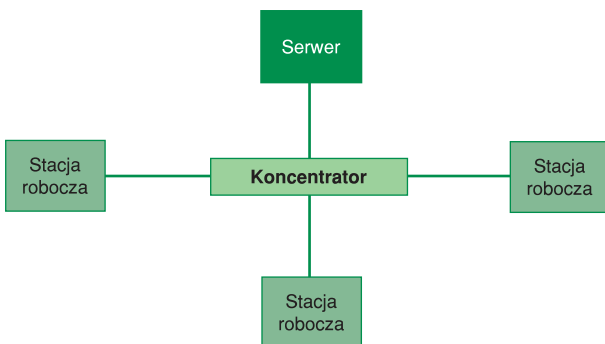


Rys. 2. Topologia pierścienia

Pierwotna pierścieniowa topologia sieci LAN umożliwia tworzenie połączeń równorzędnych między stacjami roboczymi. Połączenia te musiały być zamknięte; czyli musiały tworzyć pierścienie. Pierścienie te zostały wyparte przez sieci Token Ring, które korzystały z koncentratorów wzmacniających. Wyeliminowało to podatność sieci pierścieniowej na zawieszenia się przez wyeliminowanie konstrukcji „każdy-z-każdym” pierścienia.

### Topologia gwiazdy

Połączenie sieci LAN o topologii gwiazdy z przyłączonymi do niej urządzeniami rozchodzą się z jednego, wspólnego punktu, którym jest koncentrator. Każde urządzenie przyłączone do sieci w topologii gwiazdy może uzyskiwać bezpośredni i niezależny od innych urządzeń dostęp do nośnika. W tym celu urządzenia te muszą współdzielić dostępne szerokości pasma koncentratora.



Rys. 3. Topologia gwiazdy

Topologie gwiazdy stały się dominującym we współczesnych sieciach LAN rodzajem topologii. Są one elastyczne, skalowalne i stosunkowo tanie w porównaniu z bardziej skomplikowanymi sieciami LAN o ściśle regulowanych metodach dostępu.

### Topologie złożone

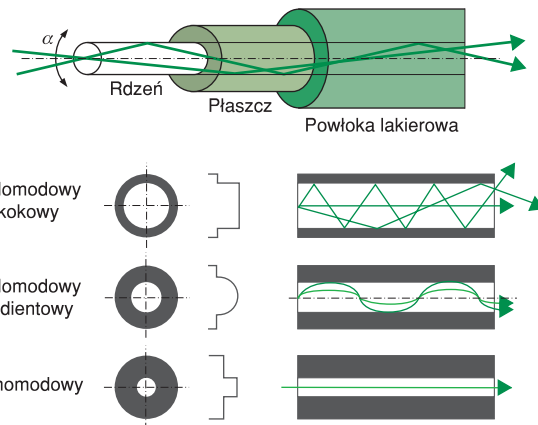
Topologie złożone są rozszerzeniami i/lub połączeniami podstawowych topologii fizycznych. Topologie podstawowe są odpowiednie jedynie do bardzo małych sieci LAN. Skalowalność topologii podstawowych jest bardzo ograniczona. Topologie złożone tworzone są z elementów składowych umożliwiających uzyskanie topologii skalowalnych odpowiadających konkretnym zastosowaniom.

W każdej z tych topologii możemy zastosować różne medium do przesyłania danych różniące się technologią i parametrami transmisji danych.

### Sposoby przesyłania danych w systemie S.D.A do podstacji trakcyjnych

W obecnych układach transmisji między podstacjami a centralną dyspozytornią wykorzystuje się najczęściej tradycyjne łącza telegrafii wielokrotnej. Są one najłatwiej dostępne lecz ich parametry transmisyjne nie są zadawalające. Szybkości transmisji osiągają wartości maksymalne rzędu kilku tysięcy bodów przy dużej usterkowości, podatności na zakłócenia i niewielkich jak na współczesne potrzeby zasięgach. Można byłoby zmodyfikować je i zastosować technologie DSL (Digital Subscriber Line), ADSL (i przysłać dane z prędkościami do 8Mb/s, lub też zastosować inne środki transmisji) [3].

Znacznie doskonalszym medium transmisyjnym są światłowody jedno i wielomodowe. Do transmisji danych, zamiast prądu elektrycznego, wykorzystywana jest odpowiednio modulowana wiązka światła. Dzięki temu możliwa jest transmisja danych do 3 Tb/s, przepływ danych jest zabezpieczony przed niepożądanym dostępem oraz jest odporny na zakłócenia elektromagnetyczne. Stopa błędów jest mniejsza niż 10–10 przy najwyższych przepływnościach binarnych. Mała tłumienność jednostkowa rzędu 0,20 dB/km sprzyja odległościom na jakie może być transmitowany sygnał (w jednomodowym światłowodzie bez potrzeby dodatkowego wzmacniania wynoszą one od 80 do 100 km) zaś żywotność kabla sięga 25 lat. Umożliwiają one stosowanie wielu protokołów jednocześnie, co zapewnia wysoce efektywny transfer danych.



Rys. 4. Typy światłowodów

Stosowanie światłowodów [3] jest rozwiązaniem kosztownym i nie zawsze możliwym do realizacji. W takich przypadkach korzysta się coraz częściej z komunikacji bezprzewodowej nie wymagającej prowadzenia przewodów.

Jednym z najczęściej stosowanych standardów w sieciach bezprzewodowych jest protokół 802.11 i jego odmiany 802.11 (a, b, g) oparte na protokole CSMA/CA (carrier sense multiple access, collision avoidance), wykorzystujący pasmo Wi-Fi (ang. Wireless Fidelity) [3] o częstotliwości 2,4 GHz. Pozwala on na transmisję danych z szybkością jednego lub dwóch megabitów na sekundę lub po zwiększeniu częstotliwości do 5 GHz i zastosowaniu modulacji tzw. ortogonalnej uzyskanie przepływności do 55 Mb/s.

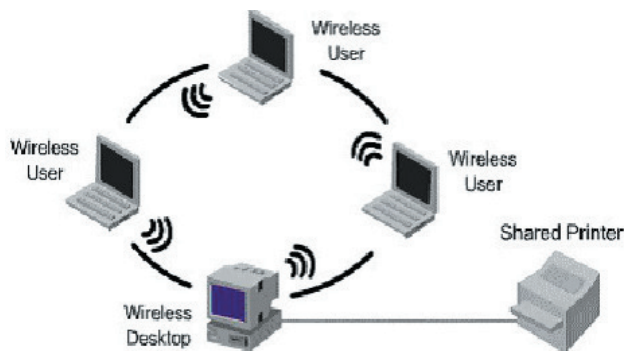
Technologia Wi-Fi [3] pozwala połączyć ze sobą komputery mogące współpracować przy niewielkiej odległości, ale bez użycia jakichkolwiek kabli (skrętka, koncentryk czy światłowód). Jako

medium transmisyjne wykorzystywane są tu fale radiowe korzystające najczęściej z pasma 2.4 GHz, które na całym świecie zarezerwowane jest dla urządzeń nie licencjonowanych. Ponieważ maksymalne uzyskiwane odległości mogą dochodzić do kilku kilometrów (dotyczy domowych zastosowań bez profesjonalnych anten) sieć taką możemy zaliczyć do sieci lokalnej LAN (*Local Area Network*). W związku z tym, że komunikacja odbywa się drogą radiową sieć taką oznaczono w skrócie jako WLAN (*Wireless Local Area Networks*). Aby rozszerzyć funkcjonalność i zasięg, punkty dostępowe mogą być połączone i pełnić funkcję centralnego węzła topologii gwiazdy, jednocześnie wykonując mostkowanie do sieci Ethernet. Pasma częstotliwości 5 GHz, 2,4 GHz. Maksymalna szybkość przesyłu 54 Mb/s, 11 Mb/s. W obecnej chwili produkowane anteny umożliwiają łączność na odległość do 40 km.

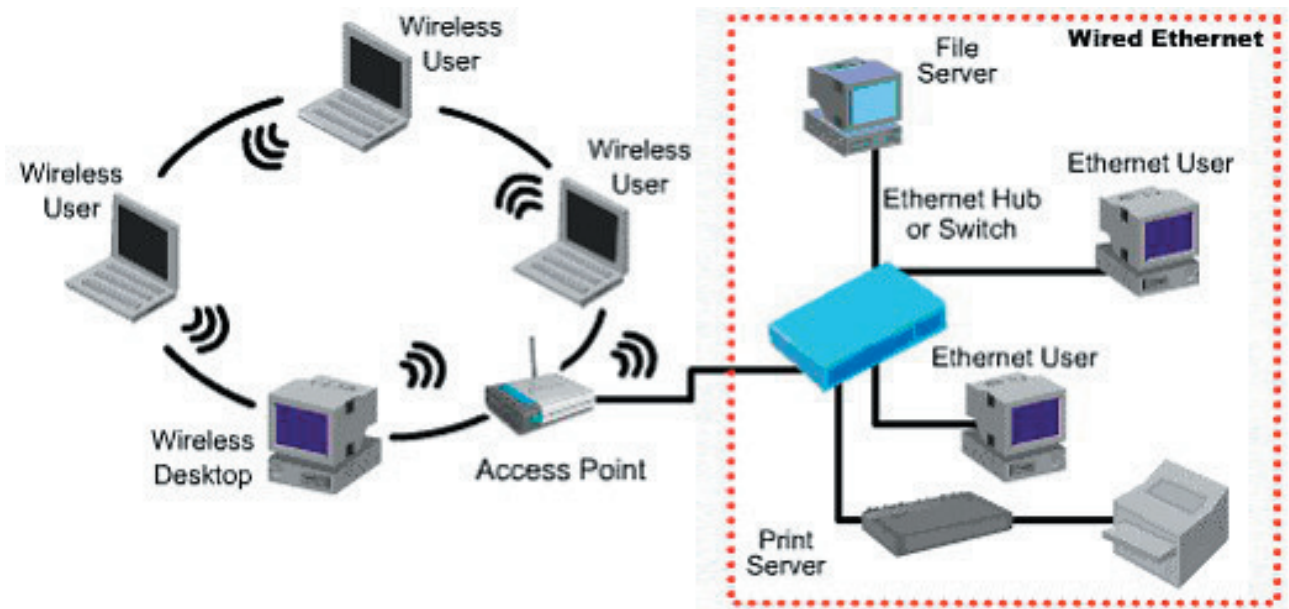
### Topologie wykorzystywane w technice bezprzewodowej

Odmienne medium transmisyjne powoduje, iż topologie znane z sieci kablowych (magistrala, pierścień, itp.) nie mają już zastosowania. W standardzie 802.11 dostępne są dwie konfiguracje:

- 1) *ad-hoc* – sieć tymczasowa, w której nie występują punkty dostępowe;
- 2) *infrastructure* – sieć stacjonarna, w której występują punkty dostępowe i jest możliwe połączenie z siecią przewodową.



Rys. 5. Tryb „ad-hoc”



Rys. 6. Tryb „infrastructure”.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono strukturę trybu pracy *ad-hoc* oraz *infrastructure*.

Aby zwiększyć zasięg działania należy zastosować zewnętrzną antenę. W zależności od zastosowanej anteny zasięg wynosi 1500, 3000 a nawet 40 000 m, co w większości przypadków pozwoli na stworzenie komunikacji pomiędzy dyspozytornią a podstacjami trakcyjnymi na obszarze, który podlega danemu centrum dyspozytorskiemu (w trakcji tramwajowej najczęściej będzie to obszar miasta).

### Podsumowanie

Struktura komunikacyjna systemu S.D.A. może być oparta o dowolne medium transmisji. Wszystko zależy od możliwości technicznych wykorzystania takiego medium, ilości przesyłanych danych oraz kosztów związanych z inwestycją. Można oczywiście stosować różne technologie w jednym systemie co przedstawiono wcześniej. Podstacje znajdujące się blisko od dyspozytorni (do 40 km) połączyć można za pomocą techniki bezprzewodowej (np. WiFi), gdyż sprawia ona najmniejsze trudności techniczne w stworzeniu systemu komunikacyjnego. W centrum dyspozytorskim zakładamy tzw. Punkt Dostępu oparty o kilka anten kierunkowych tak aby z każdej strony mógł dotrzeć sygnał z podstacji trakcyjnych. Podstacje bardziej oddalone można połączyć za pomocą światłowódów lub łączy telekomunikacyjnych korzystających z technologii ADSL. Dzięki tym technologiom możemy pokryć zasięgiem obszar każdego miasta. Na takim systemie komunikacji możemy budować system sterowania, archiwizacji i diagnostyki. Musimy również pamiętać o zabezpieczeniu danych transmitowanych między podstacjami a dyspozytornią, gdyż technologia WiFi jest ogólnie dostępna, dlatego też musimy zabezpieczyć komunikację tak aby ktoś niepowołany nie mógł wpłynąć na sterowanie podstacjami. Poprzez właściwe skonfigurowanie sieci jaką stworzymy łącząc dyspozytornię i podstacje możemy wyeliminować przypadkowe podłączenie się osób niepowołanych posiadających dostęp do sieci bezprzewodowych (WiFi) i tym samym wyeliminować przypadkowe zakłócenia w sterowaniu podstacjami trakcyjnymi. Dodatkowo możemy zastosować

programowe kodowanie danych przesyłanych tak aby zwiększyć bezpieczeństwo komunikacji. W celu uniknięcia błędnych poleceń sterowania wynikłych wskutek działania zakłóceń transmisji danych, należy opracować bezpieczny algorytm przesyłu danych z wykorzystaniem kodów detekcyjnych i korekcyjnych.

Do zastosowań w metrze czy na kolei odpowiedniejszą technologią wydaje się technika światłowodowa lub łącza telekomunikacyjne wykorzystujące technologię ADSL. Tak stworzony system komunikacji jest bardzo elastyczny do konfigurowania i ma dużą przepustowość danych.



## Literatura

- [1] Kamiński Ł.: *Projekt mikroprocesorowego układu do archiwizacji wybranych sygnałów w tramwajowych podstacjach trakcyjnych*. Praca magisterska. Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Kraków 2003 r.
- [3] Internetowe strony producentów podzespołów – WiFi, Światłowody, DSL, ADSL ([www.adsl.com](http://www.adsl.com); [www.benchmark.pl/artykuly/LAN/2004;www.idg.pl/news](http://www.benchmark.pl/artykuly/LAN/2004;www.idg.pl/news)).
- [4] Internetowe strony o tematyce elektronicznej – Evatronix, Elmark, Edw, Ftdchip, Riiccibitti ([www.edw.com.pl](http://www.edw.com.pl); [www.ftdchip.com](http://www.ftdchip.com); [www.evatronix.com](http://www.evatronix.com)).
- [5] Dokumentacja techniczno ruchowa podstacji trakcyjnych.
- [6] Materiały z konferencji naukowej „Semtrak Kraków-Zakomane 2004”.

## ➤ Dokończenie ze s. 44

- [3] Biała Księga: *Europejska polityka transportowa do 2010 roku: czas na decyzję* COM (2001) 370.
- [4] *Wyniki programów badawczych w transporcie*. Komisja Europejska, listopad 2001.
- [5] *Communication from the Commission A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development*. Brussels 15.5.2001, COM(2001)264.
- [6] *Communication from the Commission to the council and the European Parliament The 2005 Review of the EU Sustainable Development Strategy: Initial Stocktaking and Future Orientations*. Brussels 9.2.2005, COM(2005) 37.
- [7] Decyzja nr 1600/2002/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 22 lipca 2002 r. ustanawiająca Szósty Wspólnotowy Program Działań w zakresie środowiska naturalnego.
- [8] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku.
- [9] Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich

odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG.

- [10] Dyrektywa 2004/26/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 21 kwietnia 2004 r., zmieniająca dyrektywę 97/68/WE w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do środków dotyczących ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojedźnych nieporuszających się po drogach.
- [11] Dyrektywa 1999/62: Of the European Parliament and of the council of 17 June 1999 on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures.
- [12] IWW/INFRAS: External costs of transport. Update study, 2004.
- [13] Praca zbiorowa: *Unia Europejska*, Instytut Koniunktur i Cen Handlu Zagranicznego, Warszawa 2004.
- [14] Projekt zmian do Dyrektywy 1999/62 (COM 2003/48).
- [15] Raczyński J.: *Przewodnik po unijnym prawie i polityce transportowej*. Technika Transportu Szynowego 5/2004.
- [16] Studium Raport końcowy o oszacowaniu kosztów transportu. High Level Group on Transport Infrastructure Charging (1999).

## ➤ Dokończenie ze s. 53

- [16] Medwid M.: *Pojazdy szynowo-drogowe polskiej konstrukcji*. Przegląd Mechaniczny 5-6/1993.
- [17] Medwid M.: *Pojazdy do prac manewrowych*. Przegląd Handlowy 21 (176)/1994.
- [18] Medwid M.: *Pojazd szynowo-drogowy do czyszczenia torów*. Przegląd Handlowy 10/1996.
- [19] Medwid M.: *Pojazdy szynowo-drogowe do czyszczenia torowisk kolejowych, tramwajowych oraz tuneli metra*. Przegląd Handlowy – wydanie targowe, czerwiec 1998.
- [20] Medwid M., Marciniak Z.: *Pojazd szynowo-drogowy do przetaczania składu wagonów*. XIV Konferencja naukowa – Pojazdy Szynowe 2000. Kraków, Arłamów 9–13 październik 2000.
- [21] Medwid M., Pohl K.: *Pojazd szynowo drogowy UNISTAR dla ratownictwa technicznego przystosowany do jazdy po torach tramwajowych*. Pojazdy Szynowe 2/1998.

- [22] Medwid M.: *Przykład zastosowania pojazdu szynowo-drogowego w służbach budowy i utrzymania infrastruktury kolejowej PKP*. Pojazdy Szynowe 4/2002.
- [23] Medwid M., Sienicki A.: *Pojazd szynowo-drogowy z bębnowym napędem ciernym szynowego układu jezdnego*. Pojazdy Szynowe 1/2003.
- [24] Medwid M., Przepióra K.: *Pojazd szynowo-drogowy do oczyszczania infrastruktury tramwajowej*. Pojazdy Szynowe 4/2003.
- [25] Medwid M., Przepióra K.: *Pojazdy szynowo drogowy o różnych przeznaczeniach*. Konferencja NOT – Innowacje dla przedsiębiorstw. Poznań, listopad 2004.

**Autor**  
 doc. dr inż. Marian Medwid  
 Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”