

Wojciech Ulatowski

Bezpieczeństwo urządzeń infrastruktury tramwajowej

W artykule przedstawiono obowiązujące normy dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego urządzeń i systemów instalowanych w sieci tramwajowej. Opisano sposoby implementacji wymaganych normami zabezpieczeń, podając konkretne rozwiązania dla pojedynczych urządzeń oraz rozbudowanych systemów. Przedstawiono również propozycje rozwiązań, dzięki którym istnieje możliwość uzyskania pożądanego poziomu bezpieczeństwa systemu bez konieczności znacznego zwiększania nakładów finansowych.

Obecnie w największych miastach Polski realizowanych jest wiele przedsięwzięć oraz projektów mających na celu zachęcenie mieszkańców do korzystania z komunikacji publicznej. Rezultatem podejmowanych działań ma być w przyszłości zmniejszenie natężenia ruchu, zwłaszcza podczas porannych i wieczornych godzin szczytu. Szczególny nacisk kładzie się na transport szynowy, a przede wszystkim tramwajowy.

Z przeprowadzanych badań wynika, że mieszkańcy chętniej korzystaliby z tramwajów, jeżeli tylko czuliby się w nich komfortowo i bezpiecznie, a dodatkowo dojechaliby nimi do celu w czasie krótszym niż jadąc samochodem prywatnym. Aby zaspokoić oczekiwania podróżnych sukcesywnie wymieniany jest tabor oraz prowadzone są inwestycje związane z infrastrukturą torową. Jednym z niewralgicznych jej elementów jest zwrotnica, na której najczęściej dochodzi do wykolejeń wagonów, ze względu na jej złe przełożenie. Jedynym rozwiązaniem tej sytuacji wydaje się być instalacja nowoczesnych urządzeń i systemów, które gwarantują poziom bezpieczeństwa zgodny z obowiązującymi przepisami i regulacjami prawnymi.

Aktualny stan prawny

Pierwszym szeroko stosowanym dokumentem, dotyczącym bezpieczeństwa w komunikacji tramwajowej, był niemiecki dokument BoStrab [10], który regulował wiele zagadnień z zakresu transportu tramwajowego, w tym sterowanie bez kierowcy. Do najważniejszych dokumentów dotyczących miejskiego transportu szynowego należały również: VDV 343 (*Switch Controls in the Driving-on-Sight Area*), VDV 331 (*Requirement Classes for Signalling and Train Safety Installations*) oraz VDE 0801.

Jednak dopiero pojawienie się normy IEC 61508 [6] uporządkowało zagadnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego, również urządzeń instalowanych w sieci tramwajowej. Norma ta daje wiele wskazówek odnośnie identyfikacji zagrożeń i ryzyka, określenia ich dopuszczalnych poziomów oraz praktycznej realizacji systemów zabezpieczających. Norma IEC 61508 jest normą europejską, której amerykańskim odpowiednikiem jest norma MIL-STD-882C. Oprócz ogólnej normy IEC 61508, stosowane są również normy branżowe dotyczące bezpieczeństwa, będące jej uzupeł-

nieniem. Dla transportu szynowego są to (publikowane przez CE-NELEC) [7–9]:

- PN-EN 50126:2002 (U) *Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa;*
- PN-EN 50128:2002 (U) *Zastosowania kolejowe – Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania – Programy dla kolejowych systemów sterowania i zabezpieczenia;*
- PN-EN 50129:2003 (U) *Zastosowania kolejowe – Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania – Elektroniczne systemy sygnalizacji wiążące się z bezpieczeństwem.*

Szczególnie istotna do analizy oraz oszacowania poziomu bezpieczeństwa jest norma EN 50126, która szczegółowo opisuje zagadnienia związane z bezpieczeństwem: niezawodność, dostępność, naprawialność i bezpieczeństwo (RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*).

Normy te reprezentują zupełnie odmienne podejście w stosunku do dotychczasowego i nie przedstawiają szczegółowych rozwiązań, a jedynie określają kryteria ich oceny i porównywania. Każde zidentyfikowane zagrożenie i ryzyko jakie potencjalnie niesie ze sobą proces sterowania oraz system sterujący muszą być zredukowane do poziomu akceptowalnego, poprzez przypisanie im funkcji bezpieczeństwa. Funkcje bezpieczeństwa, których zadaniem jest doprowadzenie systemu do zdefiniowanego stanu bezpiecznego, realizowane są przeważnie przez pętle blokad, złożone z sensorów, sterowników i elementów wykonawczych. Opisywane normy nie ograniczają się wyłącznie do określenia wytycznych dla układu zabezpieczającego (dotyczących jego części sprzętowej oraz programowej) lecz opisują również procedury postępowania z instalacją w całym cyklu jej życia – od opracowania koncepcji wstępnej, aż do zakończenia jej użytkowania [1].

Normy IEC 61508 oraz EN 50126 wprowadziły miarę jakości (efektywności) zastosowanych zabezpieczeń, dzięki której istnieje możliwość łatwego porównywania urządzeń oraz systemów z punktu widzenia bezpieczeństwa [3]. Miarą tą jest średnie prawdopodobieństwo niezadziałania zabezpieczenia, gdy zadziałanie to będzie wymagane – PFDavg (*Probability of Fail on Demand*), bądź też odwrotność tego prawdopodobieństwa zwana współczynnikiem redukcji ryzyka – RRF (*Risk Reduction Factor*). Na podstawie wartości tych parametrów określony zostaje dla urządzenia lub systemu *poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL* (*Safety Integrity Level*). Normy definiują 4 klasy SIL (tab. 1) [2].

Tabela 1

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa

Pewność zabezpieczenia SIL	Prawdopodobieństwo niezadziałania
4	$10^{-5} < PFD < 10^{-4}$
3	$10^{-4} < PFD < 10^{-3}$
2	$10^{-3} < PFD < 10^{-2}$
1	$10^{-2} < PFD < 10^{-1}$

Podstawowymi sposobami zwiększenia poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa systemu jest redundowanie elementów składowych oraz stosowanie zaawansowanej diagnostyki zarówno jednostki sterującej, jak i czujników oraz elementów wykonawczych. Oprócz środków technicznych, w celu osiągnięcia wymaganego poziomu bezpieczeństwa projektant może zastosować odpowiednie środki organizacyjne, takie jak częstotliwość testowania urządzeń, opis procedur testowania, itp. Projektant, który opracowuje układ zabezpieczeń musi przeprowadzić dowód wykazujący, że proponowany układ oraz zarządzanie nim spełniają wymagania konkretnej klasy zabezpieczeń.

Bezpieczeństwo w sieci tramwajowej

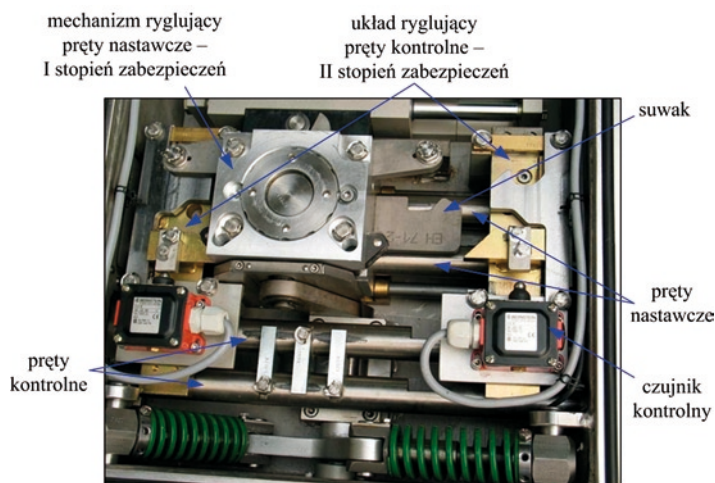
Wraz ze zwiększeniem natężenia ruchu tramwajowego oraz zwiększającą się prędkością jazdy pojazdów tramwajowych, znaczenie bezpieczeństwa w sieci tramwajowej jeszcze bardziej się zwiększyło. Analiza bezpieczeństwa urządzeń infrastruktury tramwajowej pozwala ocenić, czy zastosowane w nich rozwiązania są właściwe dla wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Jest to podstawowa zaleta w porównaniu z konstrukcjami starszymi, dla których takie analizy nie były przeprowadzane. Obecnie, ze względu na istotną rolę motorniczego, w pełni zadowalający dla komunikacji tramwajowej jest poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL-3, nawet na liniach szybkiego tramwaju. W miejscach, w których dopuszcza się jazdę tramwajów z niewielkimi prędkościami, można instalować urządzenia charakteryzujące się niższym poziomem zabezpieczeń.

Napęd zwrotnicowy

Aby w napędach zwrotnicowych uzyskać poziom bezpieczeństwa SIL-3 należy wyposażyć je w wiele dodatkowych urządzeń oraz mechanizmów. Podstawowym elementem napędu zwrotnicowego, wpływającym na bezpieczeństwo jego działania jest mechanizm ryglujący pręty nastawcze, którego przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rysunku 1. W krajach europejskich wymagane jest stosowanie rozpruwalnych mechanizmów ryglujących, co wymusza sterowanie iglicami za pomocą dwóch niezależnych prętów nastawczych. Jako pierwsza przesuwana jest iglica otwarta, umożliwiając odblokowanie drugiej iglicy – zamkniętej. Podczas przestawiania obie iglice są prowadzone mechanicznie i blokowane w obu skrajnych położeniach.

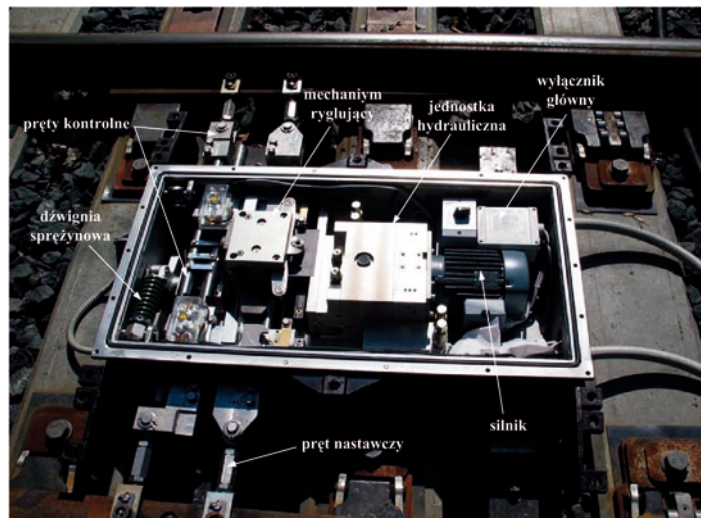
Aby zwiększyć poziom bezpieczeństwa urządzeń nastawczych wyposaża się je dodatkowo w pręty kontrolne, po jednym dla każdej z iglic. Dzięki temu, że są one przesuwane przez iglice, nie zaś przez mechanizm nastawczy, dostępna jest informacja o rzeczywistym położeniu obu iglic. System, na podstawie sygnałów z mechanizmu nastawczego informuje motorniczego oraz obsługę o błędnym przestawieniu iglicy lub niemożności jej przestawienia, na przykład w wyniku występowania przeszkody między iglicą i opornicą. Poza pierwszym stopniem blokady, jakim jest układ ryglujący obie iglice, napęd zwrotnicowy można wyposażyć w drugi stopień zabezpieczeń. Jest nim mechaniczny układ ryglujący pręty kontrolne wraz z monitorowaniem ich położenia.

W zależności od znaczenia linii tramwajowej oraz wartości dopuszczalnej prędkości, z jaką mogą się po niej poruszać pojazdy, napęd zwrotnicowy zostaje wyposażony w odpowiednie zabezpieczenia. Dzięki modułowej budowie napędu i możliwości zwiększenia poziomu bezpieczeństwa w dowolnym czasie (poprzez zainstalowanie dodatkowych zabezpieczeń), istnieje możli-



Rys. 1. Mechanizm ryglujący (za zgodą firmy CONTEC)

wość dopasowania się do aktualnie stawianych wymagań. Dla mechanizmu nastawczego CSV 24 firmy CONTEC [5], przedstawionego na rysunku 2 uzyskano poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL-3. Mechanizm nastawczy CSV 24 jest wyposażony w pręty kontrolne oraz dwa niezależne mechanizmy ryglujące pręty nastawcze i kontrolne. Dzięki temu napęd ten spełnia najostrejsze wymagania z zakresu bezpieczeństwa dla urządzeń sieci tramwajowej i może być stosowany na dowolnych liniach, w tym również na liniach szybkiego tramwaju.



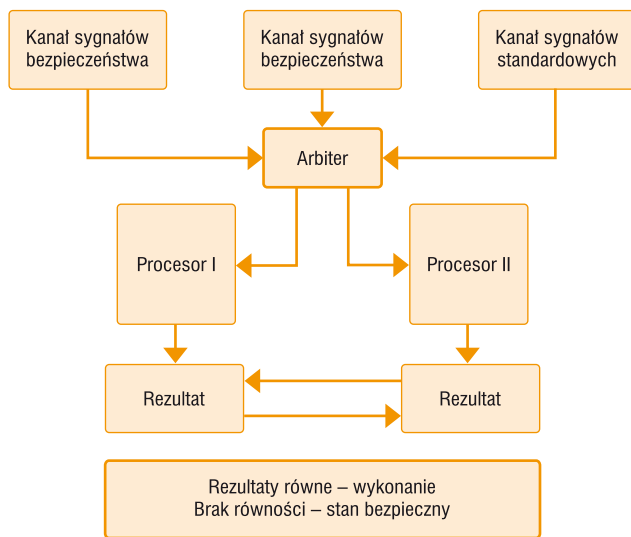
Rys. 2. Napęd zwrotnicowy CSV 24 firmy Contec (SIL-3)

System sterowania zwrotnicami

Oprócz mechanizmu nastawczego równie ważnym, z punktu widzenia bezpieczeństwa na rozjazdach tramwajowych, jest system sterowania pojedynczą zwrotnicą lub grupą połączonych zwrotnic. Najważniejszą częścią systemu sterowania jest jego jednostka centralna, w której te same sygnały wejściowe muszą być analizowane przez co najmniej dwa równoległe pracujące procesory. Niezależnie opracowane przez nie rezultaty działań są ze sobą porównywane i tylko w przypadku identycznego wyniku informacje są przekazywane dalej do zespołów wyjściowych. Przy różnych wynikach system przechodzi w stan awaryjny.

Na rysunku 3 przedstawiono zasadę działania jednostki centralnej TCS 300 firmy CONETC, wyposażonej w dwa mikroproce-

sory. Dla jednostki tej uzyskano poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL-3.



Rys. 3. Zasada działania jednostki sterującej TCS 300 (SIL-3)

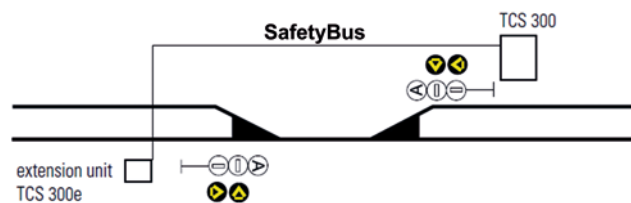
Dla bezpieczeństwa istotna jest nie tylko jednostka sterująca systemem, lecz również urządzenia, które dostarczają informacji o aktualnym stanie zwrotnicy. Do najważniejszych układów, montowanych w obrębie zwrotnicy tramwajowej, należy układ blokady zwrotnicy, którego przykładowe rozwiązanie pokazano na rysunku 4.

Funkcją tego układu jest zablokowanie, niezależnie od stanu innych urządzeń, możliwości przestawienia zwrotnicy w chwili przejazdu przez nią tramwaju. W celu zwiększenia bezpieczeństwa, wykorzystywane są dwa całkowicie niezależne zjawiska fizyczne – zwarcie osiowe szyn przez przejeżdżający pojazd oraz obecność dużej metalowej masy w obrębie zwrotnicy. Przejeżdżający pojazd zwiiera poprzez osie dwie szyny, co generuje sygnał zajętości zwrotnicy. Do utrzymania tego sygnału nie jest wymagane ciągłe zwarcie osiowe lecz wystarczy tłumienie układu rezonansowego spowodowane obecnością w strefie blokady metalowej masy. Aby uodpornić układ blokady na zmienne warunki

atmosferyczne (opady śniegu, mgła, itp.) mikroprocesor automatycznie zmienia tłumienie układu, dopasowując się do aktualnych warunków.

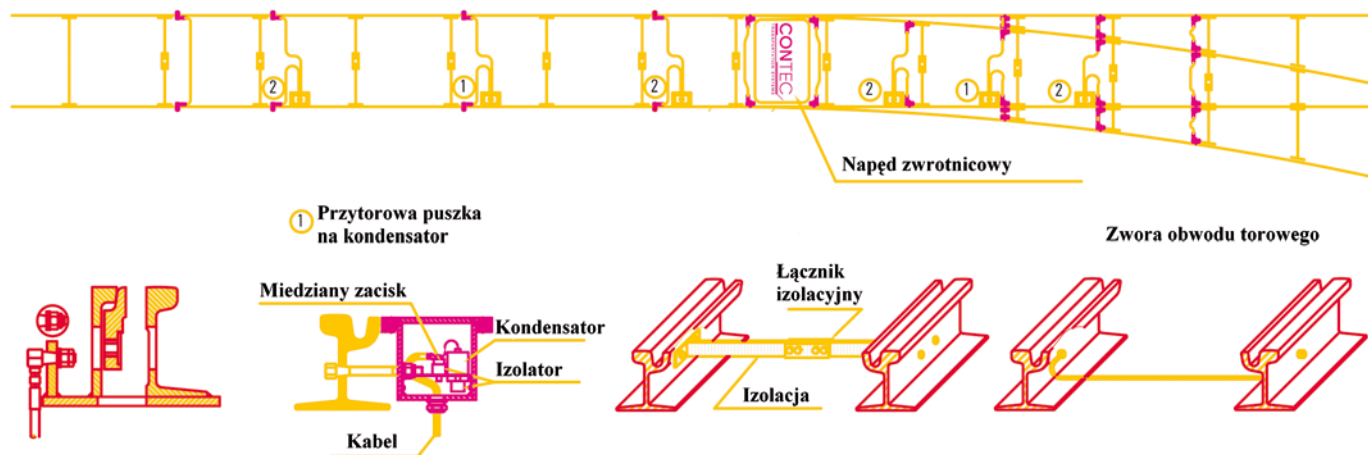
Sterowanie grupą zwrotnic

Obecnie coraz częściej stosowane są układy nie tylko do sterowania pojedynczą zwrotnicą lecz również grupą zwrotnic tramwajowych (np. zajezdnie). To wymaga nie tylko stosowania jednostek centralnych charakteryzujących się wymaganym poziomem bezpieczeństwa lecz również zwrócenia szczególnej uwagi na sposób wymiany danych między składowymi systemu. Jedną z możliwości jest rozwiązanie przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Sterowanie grupą zwrotnic tramwajowych

Jednostki sterujące, odpowiedzialne za bezpieczeństwo pojedynczej zwrotnicy, połączone są ze sobą za pomocą magistrali SafetyBus, dzięki czemu uzyskano poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL-3 dla całego układu. Jednostka sterująca TCS300e odpowiedzialna jest za bezpieczeństwo w obrębie pojedynczego rozjazdu, podczas gdy sygnały sterujące generowane są przez jednostkę nadrzędną TCS300. Dzięki takiemu rozwiązaniu znacznie zredukowano koszty, nie powodując jednak zmniejszenia poziomu bezpieczeństwa. Podobne rozwiązania budowane w oparciu o zaprezentowane systemy firm CONTEC [5] oraz TENS [4] są obecnie wykorzystywane w zarządzaniu ruchem w zajezdniach tramwajowych. Zajezdnia jest miejscem szczególnie narażonym na wystąpienie kolizji pojazdów ze względu na relatywnie duży ruch na niewielkim obszarze. Muszą więc być tam instalowane urządzenia charakteryzujące się poziomem niezawodności bezpieczeństwa SIL-3, gwarantujące bezpieczne sterowanie ruchem.



Rys. 4. Układ blokady zwrotnicy

Podsumowanie

Miasta mogą przekonać mieszkańców do korzystania ze środków komunikacji miejskiej poprzez instalację urządzeń gwarantujących najwyższy poziom bezpieczeństwa w sieci tramwajowej. Wydaje się, że stan prawny, dotyczący bezpieczeństwa funkcjonalnego urządzeń i systemów, ustabilizował się i aktualnie producenci jednoznacznie są w stanie określić wymagania, jakie muszą spełniać ich produkty. Już dzisiaj oferowane są rozwiązania bezpieczne, niezawodne oraz charakteryzujące się niskimi kosztami użytkowania, których cena jest do zaakceptowania. Znaczenie bezpieczeństwa w komunikacji tramwajowej będzie w najbliższych latach stale się zwiększało. Dlatego też podczas realizacji przyszłych inwestycji należy instalować urządzenia najwyższej klasy, cechujące się wysokim poziomem stosowanych zabezpieczeń. Urządzenia te muszą służyć mieszkańcom przez wiele lat. □

- [4] *Materiały informacyjne firmy Tens Sp. z o.o.* www.tens.pl.
- [5] *Materiały firmy Contec Transportation Systems.* www.contec-ts.com.
- [6] PN-EN 61508. *Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/programowalnych systemów związanych z bezpieczeństwem.* Części 1–7.
- [7] PN-EN 50126:2002 (U). *Zastosowania kolejowe – Specyfikacja niezawodności dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa.*
- [8] PN-EN 50128:2002 (U). *Zastosowania kolejowe – Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania – Programy dla kolejowych systemów sterowania i zabezpieczenia.*
- [9] PN-EN 50129:2003 (U). *Zastosowania kolejowe – Łączność, sygnalizacja i systemy sterowania – Elektroniczne systemy sygnalizacji wiążące się z bezpieczeństwem.*
- [10] *Regulation on the building and enterprise of the streetcars (building of streetcars and factory regulations - BOStrab).* 11 December 1987 (BGBl. I, S. 2648), www.raylisistem.com/files/BostraB.pdf.

Literatura

- [1] Borysiewicz M.: *Podstawy bezpieczeństwa instalacji przemysłowych.* Prezentacja CD „MANHAZ”.
- [2] Głodek W.: *Automatyka Zabezpieczeniowa – Nowe Podejście.* IV Ogólnokrajowe Sympozjum Urządzenia Techniczne, Ustroń, 2002.
- [3] Kosmowski K.: *Bezpieczeństwo funkcjonalne. Podstawy bezpieczeństwa funkcjonalnego według IEC 61508.* Magazyn Ex I/wiosna 2006, s. 41–47.

Autor

dr inż. Wojciech Ulatowski
TENS Sp. z o.o.
wojciech.ulatowski@tens.pl

VII Międzynarodowa Konferencja

Telematyka Systemów Transportowych

Katowice-Ustroń, 17–19 października 2007 r.

Tematyka

Systemy zarządzania w transporcie ■ Inteligentne systemy transportowe (ITS) i ich architektura ■ Usługi telematyki dla podróżnych ■ Wyposażenie pojazdów w środki telematyki ■ Sterowanie w systemach transportowych ■ Urządzenia teletransmisji i telenawigacji ■ Systemy monitorowania ruchu ■ Bezpieczeństwo w zarządzaniu i sterowaniu systemami transportowymi ■ Strategie wprowadzania rozwiązań telematyki transportu ■ Symulacja systemów i procesów transportowych ■ Telematyka w usługach logistycznych ■ Ekonomia i polityka transportowa

Organizatorzy

Zespół Automatyki w Transporcie, Katedra Transportu Szynowego, Wydział Transportu, Politechnika Śląska
Polska Akademia Nauk, Komitet Transportu
WASKO S.A.- Lider projektu „Śląski Klaster - Inteligentny system zarządzania transportem publicznym”
Polskie Stowarzyszenie Telematyki Transportu

Kontakt

Sekretariat: Renata Skowrońska
Adres: Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Zespół Automatyki w Transporcie
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8
e-mail: sekretariat@tst-conference.org
tel./fax 032 603 43 65
www.tst-conference.org