

Mieczysław KORNASZEWSKI

ROZWÓJ BEZPIECZNYCH ROZWIĄZAŃ URZĄDZEŃ STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM NA PRZYKŁADZIE SAMOCZYNNEJ SYGNALIZACJI PRZEJAZDOWEJ TYPU BUES 2000

W artykule podjęto problematykę bezpiecznych rozwiązań systemów samoczynnej sygnalizacji przejazdowej. Urządzenia stosowane do zabezpieczenia ruchu na przejazdach kolejowych muszą być bezwzględnie sprawne i niezawodne. Nowoczesne systemy samoczynnej sygnalizacji przejazdowych są wykonane w technologii komputerowej, często wykorzystują nadmiar strukturalny, programowalne sterowniki logiczne oraz posiadają rozbudowane mechanizmy diagnostyki technicznej. Przykładem takiego systemu sterowania ruchem kolejowym jest rozwiązanie BUES 2000 firmy Scheidt & Bachmann.

WSTĘP

Potrzeba niezawodnych, nowoczesnych i bezpiecznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym wymusiła na producentach zastosowanie w ich strukturze mikroprocesorów i mikrokomputerów. Wychodząc naprzeciw tej tendencji firma Scheidt & Bachmann wyprodukowała w pełni mikroprocesorowy system samoczynnej sygnalizacji przejazdowej (ssp) typu BUES 2000, charakteryzujący się otwartą i modułową budową. Zastosowanie odpowiedniego oprogramowania procesorów modułowych powoduje wzrost bezpieczeństwa gwarantowanego przez system [7].

Stały rozwój przemysłu motoryzacyjnego i wzrastająca liczba pojazdów samochodowych oraz rozwój ruchu kolejowego wywierają ogromny wpływ na konieczność budowy i stosowania nowych rozwiązań na przejazdach kolejowo-drogowych. Z uwagi na wielkość charakteryzujące ruch pojazdów szynowych, takie jak: prędkość, ciężar, czy droga hamowania, mają one pierwszeństwo przejazdu na przejeździe kolejowo-drogowym (skrzyżowanie z drogą kołową w jednym poziomie) przed pojazdami poruszającymi się po drogach kołowych.

Systemy samoczynnych sygnalizacji przejazdowych eksploatowane obecnie na kolejach polskich zrealizowane są w różnych technologiach. Technologia, w jakiej jest wykonany system ssp, powinna umożliwiać w trakcie jego eksploatacji wprowadzanie nowych podzespołów w miejsce uszkodzonych lub wyeksploatowanych w taki sposób, aby nie naruszyć bezpieczeństwa systemu i jego funkcji. Ze względu na technikę realizacji funkcji sterujących systemy ssp można podzielić na trzy grupy: przekąźnikową, hybrydową (przekąźnikowo-komputerową) i komputerową (mikroprocesorową) [5].

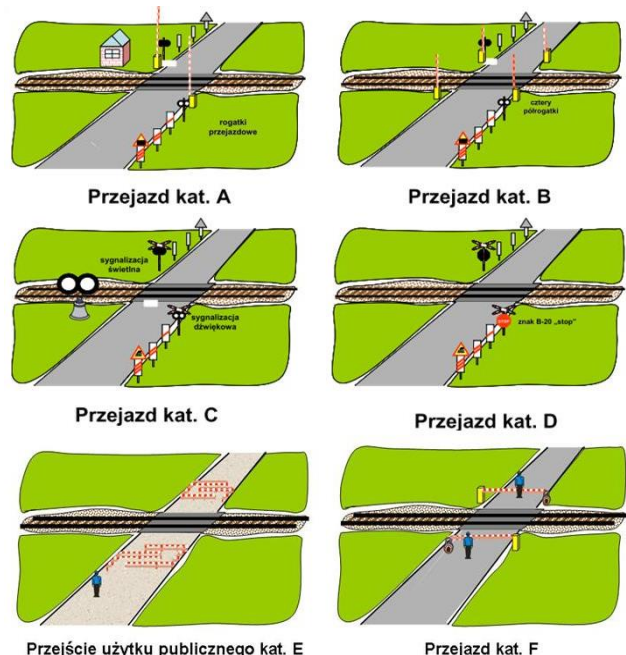
1. KATEGORIE PRZEJAZDÓW KOLEJOWYCH

Podstawowe akty prawne określające przepisy związane z przejazdami kolejowo-drogowymi i sposobem postępowania przy ich przekraczaniu to m.in.:

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015r. „w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic

kolejowych z drogami i ich usytuowanie” (Dz. U. z dnia 30 października 2015r. poz. 1744),

- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. „Prawo o ruchu drogowym” (Dz. U. Nr 98 poz. 602),
- Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych z dnia 31 lipca 2002 r. „W sprawie znaków i sygnałów drogowych” (Dz. U. Nr 170 poz. 1393).



Rys. 1. Ilustracje przedstawiające kategorie przejazdów kolejowo-drogowych w Polsce [7]

Przejazdy kolejowo-drogowe i przejścia w zależności od natężenia ruchu (iloczyn pojazdów drogowych i kolejowych przejeżdżających przez przejazd w ciągu 24 godzin), widoczności oraz warunków miejscowych zabezpiecza się następująco [2, 4, 5]:

- kategoria A** – przejazdy kolejowo-drogowe, na których ruch drogowy jest kierowany:
- a) przez uprawnionych pracowników zarządcy kolei lub przewoźnika kolejowego,

b) przy pomocy sygnałów ręcznych albo systemów lub urządzeń przejazdowych wyposażonych w rogatki zamykające całą szerokość jezdni;

kategoria B – przejazdy kolejowo-drogowe, na których ruch drogowy jest kierowany przy pomocy ssp, wyposażonych w sygnalizację świetlną i rogatki zamykające ruch drogowy;

kategoria C – przejazdy kolejowo-drogowe, na których ruch drogowy jest kierowany przy pomocy ssp wyposażonych tylko w sygnalizację świetlną;

kategoria D – przejazdy kolejowo-drogowe, które nie są wyposażone w systemy i urządzenia zabezpieczenia ruchu;

kategoria E – przejścia wyposażone w:

c) półsamoczynne systemy przejazdowe lub samoczynne systemy przejazdowe,

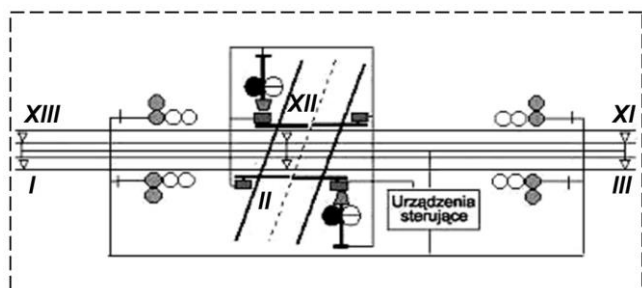
d) kołowrotki, barierki lub labirynty;

kategoria F – przejazdy kolejowo-drogowe lub przejścia zlokalizowane na drogach wewnętrznych (użytku niepublicznego).

2. ZASADA DZIAŁANIA SAMOCZYNNYCH SYGNALIZACJI PRZEJAZDOWYCH

Dla zobrazowania zagadnienia organizacji pracy urządzeń samoczynnej sygnalizacji przejazdowej może posłużyć rys. 2.

Włączenie ostrzegania następuje przy zbliżeniu się pociągu do przejazdu. W pewnej odległości od skrzyżowania umieszczone są urządzenia oddziaływania pociągu włączające I, XI lub III, XIII w przypadku jazdy po torze niewłaściwym. Zbliżanie się pociągu do przejazdu, zależnie od kierunku ruchu, jest rejestrowane przez jeden z tych układów.



Rys. 2. Rozmieszczenie urządzeń samoczynnej sygnalizacji przejazdowej na skrzyżowaniu kategorii B linii dwutorowej

Sygnal o zbliżeniu się pociągu do skrzyżowania, zarejestrowany przez czujniki włączające, zostaje przesłany do urządzeń sterujących, które powodują włączenie sygnału świetlnego i akustycznego oraz zamknięcie zapór drogowych. Na podstawie sygnałów wejściowych od tych czujników urządzenia sterujące rozpoznają kierunek ruchu pociągu nad czujnikiem.

Zwolnienie włączonej sygnalizacji i otwarcie zapór następuje z chwilą zakończenia oddziaływania jadącego pociągu na układ wyłączający II, XII znajdujący się w obrębie skrzyżowania. Pociąg oddalając się nie powinien powodować ostrzegania, oddziałując na ostatni układ wyłączający.

Nowoczesne rozwiązania systemów ssp mogą być dodatkowo wyposażone w tarcze ostrzegawcze przejazdowe (Top) dla maszynisty oraz urządzenia zdalnej kontroli do monitorowania i sprawdzania na bieżąco zachowania się poszczególnych podzespołów wchodzących w skład przejazdu [3].

Włączenie ostrzegania powinno nastąpić najpóźniej na 30 sekund i nie powinno następować wcześniej niż 90 sekund przed przyjazdem pociągu. Niektóre systemy w przypadku zróżnicowanej

prędkości pociągów umożliwiają wyrównywanie czasu włączania w oparciu o detekcję prędkości przejazdu przez czujnik, co zapobiega przedwczesnemu włączaniu ostrzegania. Jeżeli przejazd wyposażony jest w półrogatki, ich opuszczanie rozpoczyna się z opóźnieniem kilku sekund względem włączenia ostrzegania [2, 4].

3. PODSTAWOWE GRUPY ZABEZPIECZENIA I STEROWANIA RUCHEM STOSOWANE W SAMOCZYNNYCH SYGNALIZACJACH PRZEJAZDOWYCH

W nowoczesnych systemach samoczynnej sygnalizacji przejazdowej można wyróżnić następujące grupy funkcjonalne urządzeń zabezpieczenia i sterowania ruchem [5]:

1. Czujniki torowe
 - czujniki pociągu rodziny EOC (Bombardier ZWUS),
 - czujniki koła ELS-95 (Bombardier ZWUS), CTI-3 (SPAI Katowice),
 - czujniki koła RSR-180 (Frauscher), AzE (Siemens),
 - pętle indukcyjne FSSB (Scheidt & Bachmann),
2. Urządzenia ostrzegawcze
 - sygnalizatory drogowy,
 - generatory sygnału akustycznego,
 - napędy rogatkowe,
 - tarcze ostrzegawcze przejazdowe,
3. Układy sterowania (pracujące najczęściej w oparciu o programowalne sterowniki logiczne PLC)
4. Układy zasilania
5. Układy monitorowania, rejestracji, zdalnej kontroli i diagnostyki
 - urządzenia zdalnej kontroli (UZK),
 - centrale diagnostyczne,
 - moduły i przenośne panele diagnostyczne.

Wszystkie systemy sygnalizacji przejazdowej posiadają dwukanałową architekturę, w której podwojone kanały sterowania i zasilania odseparowane elektrycznie, wykonują algorytm działania danej sygnalizacji niezależnie względem siebie. Wymagają oprogramowania aplikacyjnego, odpowiedniego do sytuacji ruchowej na przejeździe.

Głównymi podzespołami nowoczesnych systemów ssp są układy sterowania składające się najczęściej z dwóch identycznych pod względem sprzętowym kanałów sterowania wyposażonych m.in. w programowalne sterowniki logiczne PLC (*Programmable Logic Controllers*). Działanie sterownika PLC polega na monitorowaniu wejść analogowych i cyfrowych, podejmowaniu decyzji w oparciu o algorytm funkcjonowania systemu oraz odpowiednim sterowaniu wyjściami [4].



Rys. 3. Widok procesora modułowego stosowanego na poziomie zarządzania w sygnalizacji przejazdowej typu BUES 2000 [4]

Sterowniki programowalne PLC są komputerami przemysłowymi, które pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywiste go realizują w systemach przejazdowych m.in. następujące zadania:

- zbierają sygnały i pomiary za pośrednictwem modułów wejściowych z analogowych i dyskretnych czujników oraz urządzeń pomiarowych,
- wykonują programy aplikacyjne na podstawie przyjętych parametrów i uzyskanych danych o sterowanym procesie na kolei lub urządzeniu,
- generują sygnały sterujące zgodnie z wynikami obliczeń tych programów i przekazują je poprzez moduły wyjściowe do elementów i urządzeń wykonawczych,
- transmitują dane za pomocą modułów i łączy komunikacyjnych,
- realizują funkcje diagnostyki programowej i sprzętowej.

4. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA BEZPIECZNEGO SYSTEMU SAMOCZYNNYJ SYGNALIZACJI PRZEJAZDOWEJ NA PRZYKŁADZIE ROZWIĄZANIA BUES 2000 FIRMY SCHEIDT & BACHMANN

Samoczynna sygnalizacja przejazdowa BUES 2000 stanowi jedno z bardziej zaawansowanych technologicznie bezpiecznych rozwiązań komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym.

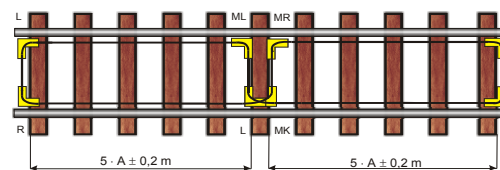
System ten przeznaczony do zabezpieczenia przejazdów kolejowych w poziomie szyn, w którym sterowanie pracą urządzeń zabezpieczających przejazd i kontrola poprawności pracy sygnalizacji odbywa się na trzech poziomach (rys. 4). Są to [7]:

- poziom diagnostyczny,
- poziom zarządzania (sterowania),
- poziom wykonawczy.

Sterowanie w wymienionych poziomach przebiega dwukanałowo. Zarówno system przesyłania informacji między poszczególnymi poziomami, jak i między kanałami w poziomie odbywa się z wykorzystaniem dwóch układów magistrali przesyłania danych [8].

Sygnalizacja BUES 2000 do wykrycia obecności pociągu w strefie oddziaływania przejazdu wykorzystuje pętle indukcyjne. Układ pętli włączających i wyłączających składa się z dwóch pętli o częstotliwościach pracy 60kHz i 80kHz, pozwalających rozróżnić kierunek jazdy pociągu nad pętlą. W układzie pętli włączających pętla 60kHz jest zawsze pierwszą w kierunku jazdy pociągu do

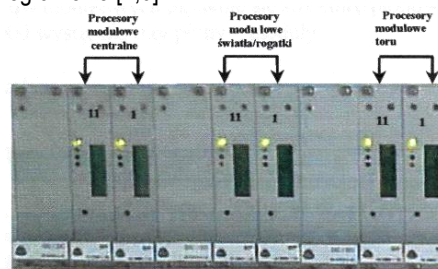
przejazdu, natomiast w układzie pętli wyłączających jest ona pierwszą dla właściwego kierunku jazdy po danym torze. Sygnał z pętli podawany jest do obu układów sterujących [5].



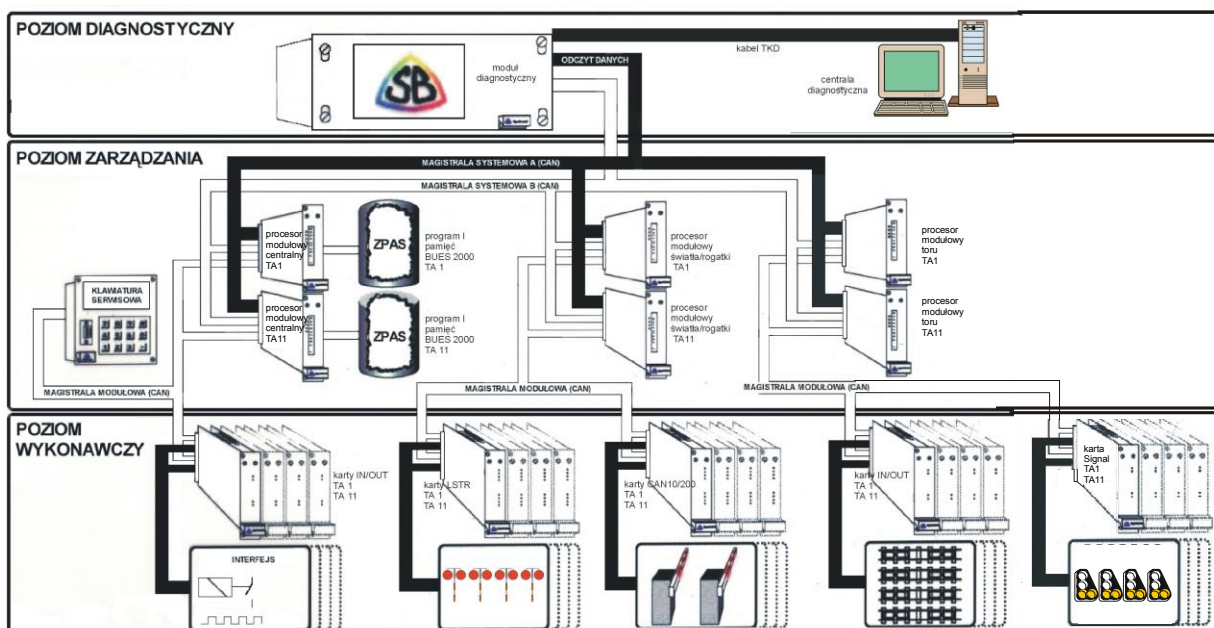
Rys. 5. Pętle indukcyjne wchodzące w skład kablowego czujnika szynowego FSSB [8]

4.1. Procesory modułowe SCHEIDT & BACHMANN GmbH

Sterowanie samoczynną sygnalizacją przejazdową BUES 2000 odbywa się na poziomie zarządzania. Poziom ten przejmuje nadzór nad wszystkimi procesami związanymi z funkcją zabezpieczenia przejazdu kolejowego. Poziom zarządzania składa się z trzech zdublowanych procesorów modułowych Scheidt & Bachmann GmbH (procesora centralnego, procesora światła/rogatki, procesora toru), centralnej pamięci programu i klawiatury serwisowej. Każdy procesor modułowy posiada zdublowany procesor (rys. 6), który w czasie rzeczywistym przetwarza niezależne fragmenty programu danego modułu. Zastosowanie odpowiedniego oprogramowania procesorów modułowych zapewnia zachowanie wymaganego stopnia bezpieczeństwa gwarantowanego przez system. Wszystkie procesory modułowe są uniwersalne, tzn. każdy z nich może pełnić w systemie funkcję modułu centralnego, toru lub światła/rogatki. Rodzaj pełnionej funkcji zależy od umiejscowienia w systemie i jest ustalany programowo [1,6].



Rys. 6. Zdublowane procesory modułowe poziomu zarządzania sygnalizacji BUES 2000 [4]



Rys. 4. Struktura 3-poziomowa samoczynnej sygnalizacji przejazdowej systemu BUES 2000 [1]

Zasadniczym elementem procesora modułowego jest sterownik mikroprocesorowy (mikrokontroler INTEL CPU 80188EB), który podczas przesyłania danych współpracuje z sześcioma sterownikami CAN (*Control Area Network*).

Moduł centralny realizuje ogólne funkcje kontrolne urządzeń oraz nadzoruje wszystkie scentralizowane zadania procesu zabezpieczenia przejazdu kolejowego. Moduł światła/rogatki realizuje proces sterowania pracą drogowych sygnalizatorów świetlnych i napędów rogatek oraz kontroluje prawidłowość ich pracy. Moduł torowy odpowiada za opracowanie informacji otrzymywanych z czujników torowych oraz za kontrolę poprawności ich pracy.

W skład poziomu diagnostycznego sygnalizacji BUES 2000 wchodzi moduł diagnostyczny (kontener) oraz centrala diagnostyczna (nastawnia).



Rys. 7. Widok kontenera z komputerem diagnostycznym oraz procesorami modułowymi i klawiaturą serwisową w sygnalizacji BUES 2000 [1]

Moduł diagnostyczny umożliwia służbie utrzymania szybki dostęp do informacji o nieprawidłowościach w pracy sygnalizacji przejazdowej, natomiast poziom wykonawczy przejmuje właściwe sterowanie procesami bezpośrednio w urządzeniach zabezpieczenia przejazdu kolejowego.

Urządzenie zdalnej kontroli stanowi centrala diagnostyczna umieszczona w nastawni, do której można przyłączyć kilkadziesiąt przejazdów umieszczonych w odległości do kilkunastu kilometrów od posterunku ruchu, na którym się znajduje. Centrala diagnostyczna reaguje na meldunki wysłane przez sygnalizację przejazdową. Oprogramowanie centrali pozwala na odczyt komunikatów błędnej pracy urządzeń przejazdowych poprzez modem telefoniczny. Wszystkie stany usterkowe są rejestrowane i powodują stan alarmu z chwilą ich wykrycia.

Zastosowany w sygnalizacji BUES 2000 napęd rogatek typu HSM 10E posiada nowoczesną budowę modułową, wykorzystuje m.in. specjalizowany mikrokontroler do zastosowań silnikowych. Poruszanie drągami rogatek w układzie hydrauliki jest zapewnione przez pompę, która napędzana jest silnikiem asynchronicznym, sterowanym przemiennikiem częstotliwości z modułu elektroniki. Sterowanie silnika generowane jest przez mikrokontroler i realizowane przez sterowniki mocy [1].

PODSUMOWANIE

Przeznaczeniem urządzeń zabezpieczających ruch na przejeździe kolejowo-drogowym jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa. Niezależnie od typu i wykonania systemu samoczynnej sygnalizacji przejazdowej, producenta, czy też technologii, oraz czasu jego eksploatacji, bezpieczeństwo musi być na poziomie

SIL-4 (*Safety Integrity Levels*), a trwałość tych urządzeń powinna być nie mniejsza niż 20 lat.

Bezpieczeństwo nowoczesnych komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym, w tym nowych rozwiązań ssp, wynika głównie z zastosowania sterowników programowalnych, bazuje na dwukanałowości, zróżnicowaniu programów w dwóch kanałach, możliwości natychmiastowego wykrycia usterek urządzeń, jak również na możliwości prowadzenia monitorowania pracy systemu i rejestracji wszystkich zdarzeń i awarii. Pozwala to na zwiększenie funkcji sterujących i kontrolnych. Ważną cechą jest rejestracja zdarzeń i historii pracy sygnalizacji przejazdowej. W rozwiązaniach mikroprocesorowych z punktu widzenia sterowania istotne są również zagadnienia bezpiecznej transmisji, autotestowania pod względem możliwości wystąpienia błędu oraz wzajemnego testowania się układów sterujących.

Charakterystyczne dla samoczynnej sygnalizacji przejazdowej BUES 2000 stworzonej przez firmę Scheidt & Bachmann jest zastosowanie pętli indukcyjnych (o częstotliwościach pracy 60 kHz i 80 kHz) do wykrycia obecności i rozróżniania kierunku jazdy pociągu w strefie oddziaływania przejazdu.

System BUES 2000 wykazuje pewną elastyczność, tzn. toleruje błędy nie wpływające na realizację podstawowych jego funkcji. W przeciwnym przypadku przechodzi do stanu zdefiniowanego jako bezpieczny. Sterowanie urządzeniami ostrzegawczymi sygnalizacji BUES 2000 odbywa się z wykorzystaniem zasady bezpieczeństwa „2 z 2”, co oznacza, że do zmiany stanu urządzeń ze stanu oczekiwana do stanu ostrzegania (zamykanie) wymagane jest, aby w obu kanałach sterowania wypracowane były zgodne rozkazy i to w tym samym czasie. Ta sama zasada wykorzystana jest do przejścia urządzeń sygnalizacji ze stanu ostrzegania do stanu oczekiwania (otwieranie).

Na liniach kolejowych o dużym natężeniu ruchu dąży się obecnie do budowy skrzyżowań bezkolizyjnych, tzw. skrzyżowań dwupoziomowych (wiadukty). Podobnie wygląda sytuacja w przypadku kolei dużych prędkości.

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych, nr umowy PBS3/A6/29/2015.

BIBLIOGRAFIA

1. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa: *Urządzenia zabezpieczenia przejazdów kolejowych BUES 2000*, Scheidt & Bachmann, 2007.
2. Dyduch J., Kornaszewski M.: *Systemy sterowania ruchem kolejowym*. Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego, Radom 2013.
3. Kornaszewski M., Łukasik Z.: *Technological evolution of automatic of the level crossing in conditions of polish railway*. Międzynarodowa Konferencja "The Present and Future of Modern Transport", Praga – Czechy 2008.
4. Kornaszewski M.: Applied on polish railways the comparative analysis of modern systems of automatic of the level crossing. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej TRANSPORT Z.59. Gliwice 2005.
5. Kornaszewski M.: Postęp technologiczny samoczynnych sygnalizacji przejazdowych stosowanych w kolejnictwie polskim. Infrastruktura transportu 1/2013. Wydawnictwo ELAMED, Katowice 2013.
6. Kornaszewski M., Chrzan M., Wojciechowski J.: *Intelligent transportation systems example of modern eco-transport solutions in Europe*. Międzynarodna vedecká konferencia "GLOBAL-

IZÁCIA A JEJ SOCIÁLNO-EKONOMICKÉ DÔSLEDKY '10",
Žilinská Univerzita v Žiline, Rajecké Teplice, Slovak Republic
2010,

7. <http://www.bezpieczny-przejazd.pl/>

8. <http://www.scheidt-bachmann.pl/>

The development of safe solutions of railway traffic control devices for example of automatic signaling of the level crossing type BUES 200

The article deals with the issue of safe systems of the automatic crossing signalization. Devices used to secure traffic at level crossings must be absolutely reliable and efficient. Modern systems of the automatic level crossing are made in

computer technology. They use structural excess, programmable logic controllers and have developed mechanisms of technical diagnostics. An example of such railway traffic control system is BUES 2000 produced by Scheidt & Bachmann.

Autor:

dr hab. inż. **Mieczysław Kornaszewski**, prof. nadzw. – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki, Zakład Systemów Sterowania w Transporcie, 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-88; Fax: + 48 48 361-77-42; m.kornaszewski@uthrad.pl