

## **Wybrane zagadnienia projektowania układów zasilania urządzeń sterowania ruchem kolejowym i ich ochrony przepięciowa**

**Ryszard Mielnik<sup>1</sup>**  
**Zofia Wróbel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Zespół Szkół Elektrycznych nr 2 w Krakowie ,  
Politechnika Krakowska, Instytut Elektromechanicznych Przemian Energii,  
<sup>1</sup>e-mail: rmiel@pk.edu.pl

<sup>2</sup> PKP PLK Zakład Linii Kolejowych w Rzeszowie  
<sup>2</sup>zwrobel@prz.edu.pl

### **1. Wstęp**

Rozwój transportu kolejowego wymaga stosowania coraz nowocześniejszych systemów sterowania ruchem kolejowym (srk). Obecnie projektowane i budowane systemy srk realizowane są w technologii informatyczno – komputerowej. Aby systemy te bezpiecznie i efektywnie zapewniały przebieg procesu transportowego na stacjach wymagają one zapewnienia im wysokiej jakości zasilania w energię elektryczną.

W pracy przedstawiono propozycję układu ochrony przepięciowej zintegrowanego systemu zasilania. Układy tego typu wymagane są przez obowiązujące przepisy na terenie PKP Polskich Linii Kolejowych. Dotyczy to w szczególności systemów zasilania komputerowych, stacyjnych urządzeń srk. W dalszej części pracy zaprezentowano możliwość wykorzystania zintegrowanego sterownika układu automatycznego załączenia rezerwy – AZR. Sterownik tego typu jest jednym z podstawowych elementów układu zasilania stacyjnych urządzeń srk. Został on zrealizowany na platformie sprzętowej rodziny sterowników CompactRIO oraz aplikacji programowej wykonanej w graficznym środowisku programowania LabView firmy National Instruments.

### **2. Narazenia i ochrona przepięciowa urządzeń elektrycznych**

Warunki pracy urządzeń elektrycznych określa się w sposób elektryczny i oceniając właściwości środowiska. Do oceny warunków pracy urządzeń elektrycznych, na rysunku 5 przedstawiono możliwe reakcje urządzeń elektrycznych na zaburzenia przepięciowe.

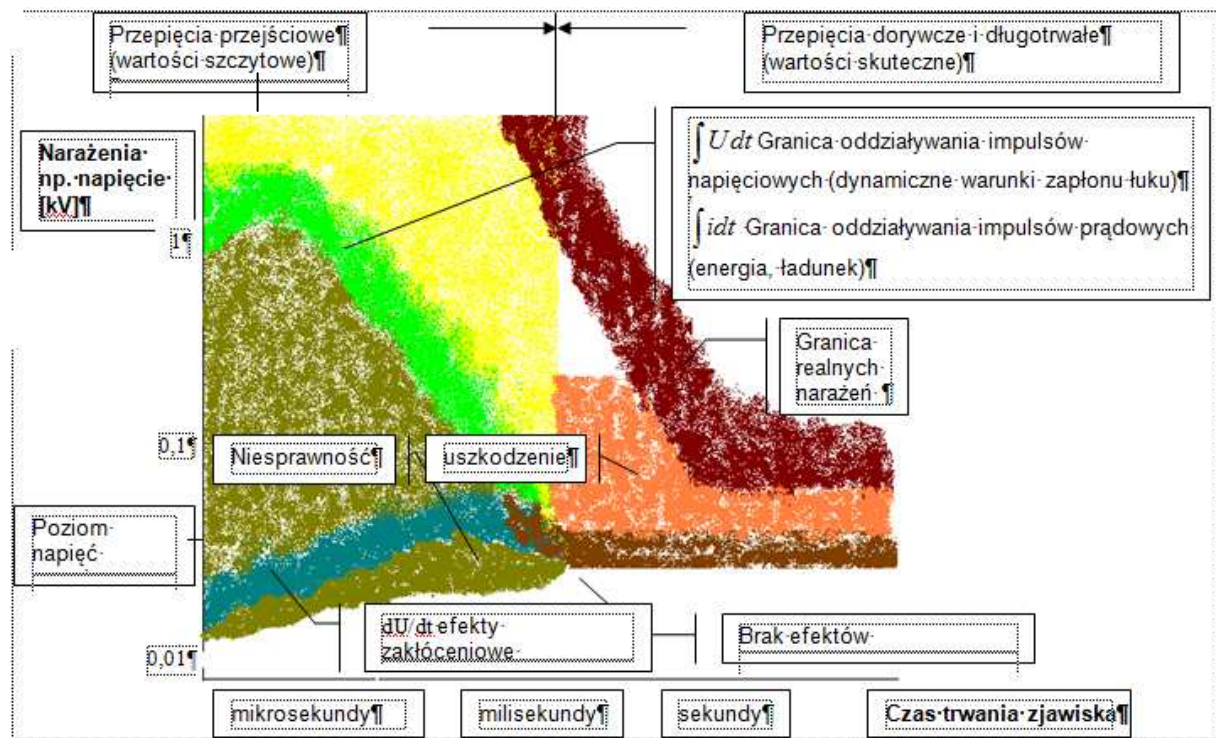
Przepięcie przejściowe można wyrazić w postaci współczynnika przepięć  $k_p$  i określić w jednostkach względnych, jako relację (1) wartości szczytowej przepięcia ( $U_{p\max}$ ) względem

poziomu odniesienia ( $U_{n \max}$ ). Poziom ten przyjmuje się jako najwyższe napięcie robocze urządzeń. Stąd:

$$k_p = \frac{U_{p \max}}{U_{n \max}} = \frac{U_{p \max}}{\sqrt{2} \frac{U_N}{\sqrt{3}}} \quad (1)$$

gdzie:  $U_N$  - napięcie znamionowe sieci.

Przebiecia przejściowe osiągają zwykle wartości rzędu MV, a w sieciach przemysłowych – rzędu kV. Najczęściej są to przebiecia atmosferyczne pośrednie. W pewnych okolicznościach pojawiają się przebiecia manewrowe – tzw. wewnętrzne. Przykładowo, w obiektach budowlanych wprowadzono czterostrefowy system ochrony, przewidując skalę narażeń urządzeń.



Rys. 5. Strefy zagrożeń urządzeń elektrycznych a podstawowe parametry narażeń przebieciowych [15]

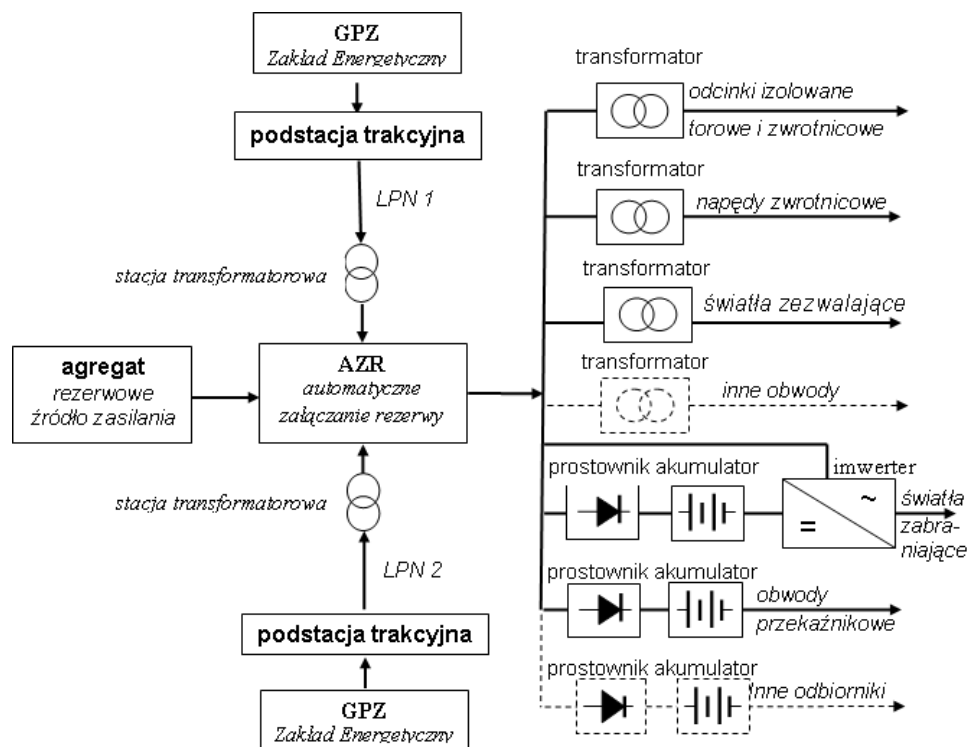
### 3. Zasilanie urządzeń sterowania ruchem kolejowym.

Linie zasilające urządzenia srk zwane liniami potrzeb nietrakcyjnych LPN są zaliczane do odbiorów nietrakcyjnych [1, 2]. Linie te dzieli się na odcinki o długości nie przekraczającej 30 km, prowadzi wzdłuż szlaków kolejowych i zasilają dwustronnie z podstacji trakcyjnych napięciem przemiennym 15 kV. W sporadycznych przypadkach stosuje się także napięcie 6 kV [3]. Linie LPN łączy się ze stacjami transformatorowymi (punktami obniżającymi napięcie) zasilającymi m. in. stacje kolejowe, posterunki odstępowe i

odgałęźne, kabiny sekcyjne, urządzenia samoczynnej blokady liniowej, oświetlenie itp. Linie LPN o napięciu 15 kV są budowane jako sieć z nieskutecznie uziemianym punktem neutralnym (z kompensacją za pomocą cewki Petersena). W wyniku wystąpienia zwarcia doziemnego może nastąpić  $2 \div 4,5$  krotny wzrost wartości napięcia fazowego. Podwyższenie napięcia zasilania do wartości około 400 V może spowodować uszkodzenie obwodów wejściowych urządzeń zasilających urządzenia komputerowe i elektroniczne. Stąd duże znaczenie ma stosowanie środków ochrony przepięciowej w obwodach:

1. zasilania i przesyłania informacji na wejściu do obiektu -przyłaczę kablowe,
2. zasilania i przesyłania informacji bezpośrednio na wejściach do poszczególnych urządzeń,
3. dodatkowe środki typu techniczno-konstrukcyjnego, jak: właściwe doprowadzenie kabli do obiektu, ekwipotencjalizacja i specjalne rozwiązanie uziemień czy sposób prowadzenia przewodów wewnątrz obiektu i rozmieszczenie urządzeń.

Dla dużych obiektów (np. nastawnie) stosuje się ochronę odgromową oraz rozbudowaną ochronę przepięciową, w skład której wchodzi ochrona pierwotna, podstawowa oraz zespół środków dodatkowych typu techniczno-konstrukcyjnego [4, 5]. Przeciwpzepięciowa ochrona srk urządzeń, dotyczy przepięć zaindukowanych powodowanych wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami łączeniowymi. Bezpośrednie wyładowania w linie kablowe są traktowane jako zjawisko losowe.



Rys.1. Schemat ogólny zasilania stacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym.

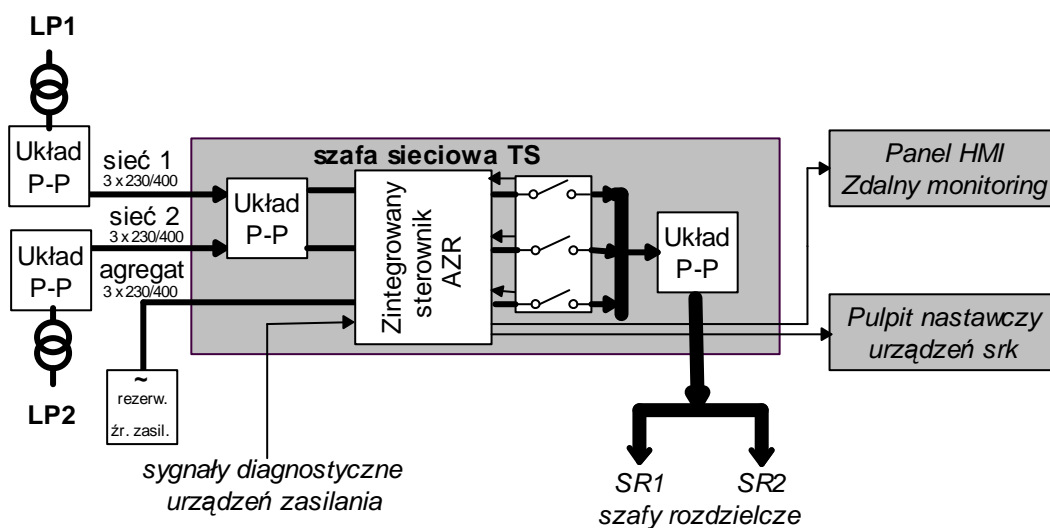
Ogólny schemat zasilania stacyjnych urządzeń srk przedstawiono na rysunku 1 [2, 6, 7]. Dla zapewnienia bezpiecznego zasilania urządzeń srk zgodnie z obowiązującymi przepisami [8, 9] obecnie w PKP obowiązują wskaźniki bezpieczeństwa zgodne z Dyrektywą 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 29 kwietnia 2004r [10, 11]. Są one przedmiotem corocznych sprawozdań ze strony władz bezpieczeństwa państw członkowskich czyli organów nadzorujących bezpieczeństwo w tych państwach (w Polsce Urząd Transportu Kolejowego). W zależności od zakresu ewentualnej awarii i czynnika

wpływającego na jej powstanie, mogą wystąpić sytuacje kształtujące “wskaźniki bezpieczeństwa” zgodne z Dyrektywą 2004/49/WE. Sytuacje te są poddawane analizie i przekazywane przez Spółkę organom państwowym odpowiedzialnym za bezpieczeństwo na kolei.

Szczególnie istotna do analizy oraz oszacowania poziomu bezpieczeństwa jest norma EN 50126 [8]. Opisuje ona zagadnienia związane z bezpieczeństwem: niezawodność, dostępność, naprawialność i bezpieczeństwo (RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*). Norma ta prezentuje zupełnie odmienne podejście w stosunku do dotychczasowego i nie przedstawia szczegółowych rozwiązań. Są to jedynie kryteria ich oceny i porównywania. Każde zidentyfikowane zagrożenie i ryzyko, jakie ingeruje w proces sterowania oraz system sterujący musi być zredukowane do poziomu akceptowalnego przez przypisanie funkcji bezpieczeństwa.

#### 4. Sterownik układu AZR.

Na podstawie analizy wymagań i rozwiązań technicznych obecnie wytwarzanych systemów zasilania stacyjnych urządzeń srk zaproponowano opracowanie zintegrowanego sterownika układu AZP. Sterownik ten integruje w swojej budowie takie elementy zasilania, jak układy pomiarowe, logikę układu AZR oraz układ diagnostyczny z interfejsami do przekazywania danych dla potrzeb podsystemów monitorowania. Miejsce tego sterownika w systemie zasilania przedstawia rys 2 [12, 13].



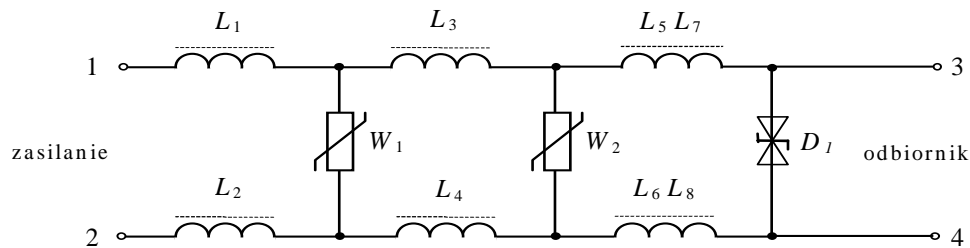
Rys.2. Struktura systemu zasilania urządzeń srk z sterownikiem układu AZR [12, 13].

Zasilanie to musi spełniać odpowiednie wymogi ochrony przepięciowej. Małe i krótkie połączenia, modułowość.

Przemysłowa sieć PKP wykazuje pewne odrębne właściwości narażeniowe urządzeń elektrycznych. Niebezpieczne, bo dłużej trwające są przepięcia dorywcze, zwykle o częstotliwości przemysłowej zależnej od typu sieci (TN, IT, TT), rodzaju zaburzenia je wywołującego (doziemienie, przerwa), procesu wyłączenia zaburzenia (np. wartość napięć zwiększa wielokrotny zapłon łuku w wyłączniku) – o wartościach  $1,5 U_N - \sqrt{3} U_N - 2U_N - 1400 \text{ V}$  i czasach trwania powyżej 5 s (przy prądach rzędu kA) [15].

Do ochrony zaproponowanego układu AZR może być stosowany przykładowo ochronnik, którego właściwości sprawdzono w pracy [17]. Jest to ochronnik trójstopniowy ©

(rys. 6), stosowany w drugim stopniu ochrony przeciwprzepięciowej jest przeznaczony do zabezpieczania obwodów zasilania (230 V, 50 Hz) wewnętrznych, uszynianych urządzeń srk, instalowanych w budynkach stacyjnych, nastawniach, kontenerach i kioskach [18, 19]. Może być również stosowany w układach zdalnego sterowania zasilaniem trakcji elektrycznej do ochrony obwodów zasilanych napięciami 230 V, 50 Hz z sieci TN lub 230 V DC w sieci IT. Układ ochronnika powinien zapewniać ochronę urządzenia przed przepięciami zredukowanymi do 4 kV, a napięcie obniżone nie powinno przekraczać 660 V [19, 20].



Rys. 6. Schemat ogólny przykładowego układu ochronnika stosowanego w obwodzie zasilania uszynianych wewnętrznych urządzeń srk [17].

Urządzenie chronione jest zasilane napięciem doprowadzonym do zacisków 1-2, a montowane jest do zacisków 3-4. Ochronnik zawiera: diodę  $D_1$ , dławiki  $L_1 \div L_8$ . W układzie zastosowano dwa warystory:  $W_1$  i  $W_2$ .

#### 4.1. Platforma sprzętowa sterownika AZR.

Platformę sprzętową sterownika AZR skonfigurowano wykorzystując elementy systemu CompactRIO firmy National Instruments [14]. Jest to platforma czasu rzeczywistego, o budowie modułowej. Spełnia ona ostre wymagania norm środowiskowych obowiązujących na PKP. W skład tego sterownika wchodzi:

- kasetę NI cDAQ-9135 z modułem procesora Atom 1.33 GHz, 32 GB RAM, 8-Slot, Linux RT, z interfejsem do panelu operatorskiego HMI,
- moduł zasilacza systemowego NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input,
- 4 szt. modułów wejść analogowych NI 9244, 400 Vrms L-N, 24-Bit, 50 kS/s/ch, 3-Ch, przeznaczonych do pomiaru napięć panujących na zasileniach układu AZR,
- 2 szt. Modułów wejść/wyjść cyfrowych NI 9375, 16-ch DI, 16-ch DO, DI/DO, przeznaczonych do czytania stanu styczników układu AZR, jego sterowaniu i wyjść dla informacji pulpitu nastawczego.

Widok czoła sterownika przedstawiono na rys. 5.

NI cDAQ-9135 Real

Time

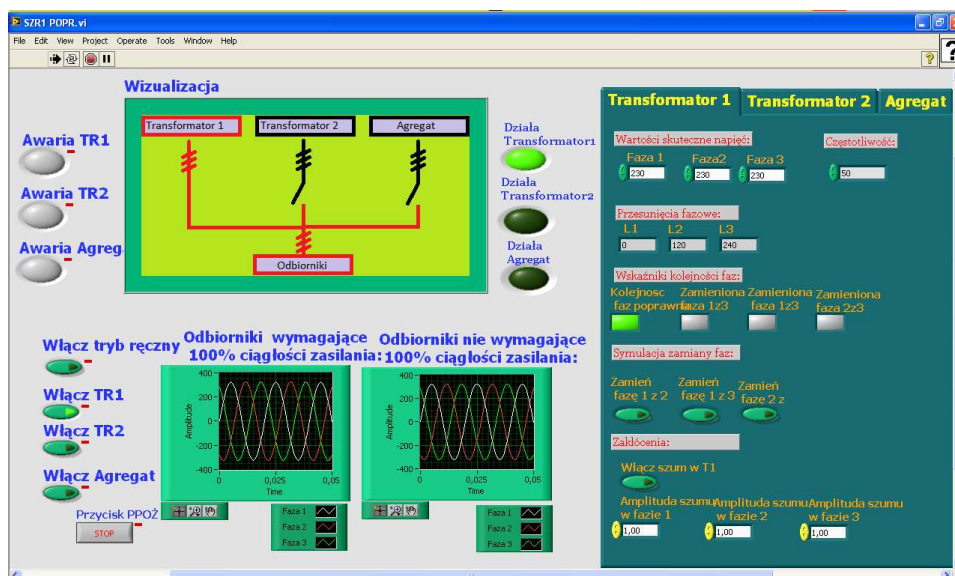


Rys. 3. Widok czoła sterownika układu AZR [14].

## 4.2. Oprogramowanie sterownika AZR

Do wykonania oprogramowania sterownika AZR wykorzystano graficzne środowisko programowe LabView Firmy National Instruments [14]. Środowisko to posiada wiele narzędzi pozwalających na szybkie tworzenie oprogramowania. Podstawową zaletą tego środowiska jest to, że wykonywanie programu bazuje na przepływie danych między węzłami programu. Węzły te to proste funkcje, funkcje złożone (VI Express) oraz podprogramy wykonane przez użytkownika. Środowisko to zawiera również gotowe wzorce struktur programowych. Do jednej z nich należy struktura producent – konsument. Przekazuje ona dane z producenta do konsumenta przez bufor tak, by żadne dane nie zostały zagubione. Do analizy sygnałów pomiarowych wykorzystano narzędzie Electric Power, w którym zaimplementowane są bloki funkcjonalne przeznaczone do analizy jakości zasilania energii elektrycznej. Do akwizycji sygnałów pomiarowych wykorzystano także gotowe bloki funkcjonalne z drivera DAQmx. Oprogramowanie w środowisku LabView tworzy się w dwóch oknach. Pierwsze z nich, Front Panel, odpowiada za komunikację pomiędzy operatorem, a systemem, w drugim oknie, Blok Diagramie, umieszcza się kod programu.

Na rys. 4 przedstawiono widok panelu zdalnego monitoringu sterownika AZR. Zobrazowanie wykonanej aplikacji umożliwia użytkownikowi na bieżące monitorowanie stanu systemu zasilania.



Rys. 4. Widok panelu zdalnego monitoringu układu AZR [14].

## 6. Wnioski

Po dokonanej integracji platformy sprzętowej i oprogramowania oraz uruchomieniu kontrolera ARS, przeprowadzono laboratoryjne testy funkcjonalne kontrolera. Badania te zostały wykonane na podstawie wcześniej przygotowanego programu badań. Po niewielkich modyfikacjach aplikacji programowej kontrolera, stwierdzono, że sterownik działa poprawnie. Tego rodzaju sterownik może być stosowany w urządzeniach srk po przeprowadzeniu testów w układzie rzeczywistym i dopuszczeniu do stosowania w urządzeniach srk przez Urząd Transportu Kolejowego, do czego wymagane jest stosowanie normy PN-EN 50126 oraz Rozporządzeń [10, 11].

*Przedstawione w niniejszym artykule wyniki badań zostały uzyskane w ramach prac realizowanych w ramach tematu badawczego E-2/581/2016 / DS, który był finansowany z dotacji naukowej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## Literatura

- [1]. Dąbrowa – Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [2]. *Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowanie ruchem kolejowym Ie4 (WTB-E10)*, Warszawa 2017 r.
- [3]. Wróbel Z., Ziemia R.: *Symulacja przepięć atmosferycznych w układach linii potrzeb nietrakcyjnych zasilających urządzenia sterowania ruchem kolejowym*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1-E/2009, ZESZYT 15, ROK 106, 199-210
- [4]. PN-62305-1:2012 - wersja angielska. *Ochrona odgromowa - Część 1: Wymagania ogólne*.
- [5]. PN-EN 62305-4: 2011 - wersja angielska. *Ochrona odgromowa - Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach*.
- [6]. PN-EN 50125-2:2003: *Zastosowania kolejowe – Warunki środowiskowe stawiane urządzeniom – Część 2: Elektryczne urządzenia stacjonarne*.
- [7]. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (tekst jednolity Dz.U. z 2006 r., Nr 156, poz. 1118 z późniejszymi zmianami).
- [8]. PN-EN 50126 *Railway applications -The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*
- [9]. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 1998 r. Nr 151, poz. 987).
- [10]. *Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) nr 402/2013 z dnia 30 kwietnia 2013r w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka i uchylające rozporządzenie WE nr 353/2009*.
- [11]. *Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) nr 2015/1136 z dnia 13 lipca 2015r Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) nr 402/2013 z dnia 30 kwietnia 2013r w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka (Tekst mający znaczenie dla EOG)*.
- [12]. Mielnik R.: Synteza sterownika układu AZR urządzeń zasilania ruchem kolejowym z wykorzystaniem sieci Petriego oraz środowiska LabVIEW. Materiały XVII

- Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Trakcji Elektrycznej: SEMTRAK 2016, Zakopane 2016.
- [13]. Mielnik R., Wróbel Z.: *Integrated power supply system for station equipment of rail traffic control*. 13<sup>th</sup> International Conference Modern Electrified Transport MET'2017, Warszawa, Poland, October 5-7, 2017.
  - [14]. [www.ni.com](http://www.ni.com)
  - [15]. Jaworski J. M.: *Niepewność pomiaru*. Pomiary Automatyka Robotyka 7-8/1999.
  - [16]. Łoboda M., Flisowski Z.: *Bezpieczeństwo przepięciowe urządzeń elektrycznych i informatycznych połączonych z urządzeniami zewnętrznymi*. 4 Międzynarodowa Konferencja *Bezpieczne Instalacje Elektryczne, Stan Obecny – Tendencje*. Łódź, 17, 18, maja 2001.
  - [17]. Wróbel Z.: *Analiza układów ochrony przeciwprzepięciowej urządzeń sterowania ruchem kolejowym*". Rozprawa Doktorska, AGH Kraków, 2002.
  - [18]. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa; *Ochronnik przeciwprzepięciowy OP*. ELESTER-PKP Sp. Z o.o, 1997 ©.
  - [19]. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa; *Ochronnik przeciwprzepięciowy*. OP 1/98, PPHU ELESTER-PKP Sp. Z o.o. Łódź ©.
  - [20]. PN-EN 61643-11:2013: *Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia – Wymagania i metody badań*.