

## Zdatność zadaniowa systemu komunikacji w ujęciu potencjałowym

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono potencjałowe ujęcie procesu eksploatacji systemu komunikacji w komputerowej sieci przemysłowej. Sieć przemysłowa łączy stacje procesowe i operatorskie przemysłowego systemu sterowania. Pomiedzy stacjami systemu przesyłane są wartości zmiennych procesowych. Podano potencjałowe kryteria zdatności systemu. Pokazano wpływ wyboru modelu wymian komunikatów na wielkość rezerwy potencjałowej.

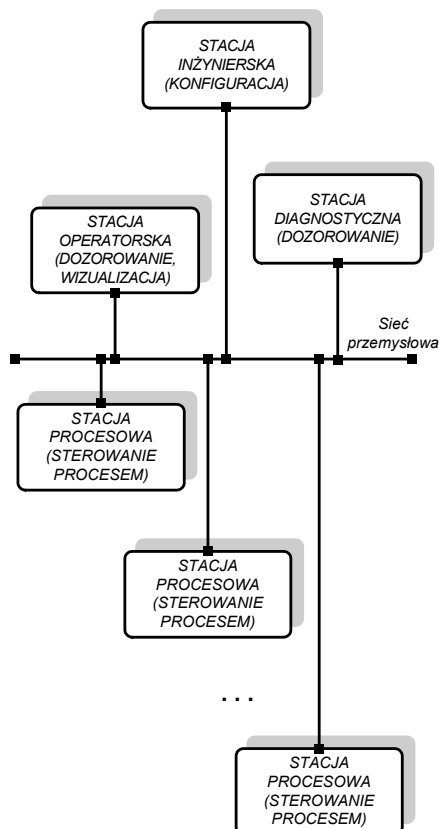
**Abstract.** The article presents potential approach to the process of operation of a communication system in a industrial computer network. Industrial network connects the stations of the industrial process control system: operator and process stations. Between the stations of the system process variables are transmitted. Potential system's fitness criteria are given. The impact of the selection model message exchanges to increasing potential reserve is shown. (**Eligibility of system of communication in potential context**).

**Słowa kluczowe:** potencjał użytkowy, komunikacja, diagnozowanie, sieć przemysłowa.

**Keywords:** usage potential, communication, diagnosing, industrial network.

### Wprowadzenie

W artykule rozważany jest układ komunikacji stanowiący logiczne połączenie urządzeń wymieniających dane poprzez przemysłową sieć komputerową. Urządzeniami tymi są elementy rozproszonego systemu sterowania, np. stacje procesowe (PS – ang. *Process Station*, sterowniki obiektowe) i/lub stacje operatorskie (OS – ang. *Operator Station*), inżynierskie (ES – ang. *Engineering Station*) oraz diagnostyczne (DS – ang. *Diagnostic Station*) [1].



Rys.1. Rozpatrywany system

Stacje systemu wymieniają pomiędzy sobą komunikaty zawierające wartości zmiennych procesowych (rys.1). Funkcja układu komunikacji sprowadza się głównie do

wykonania zadania globalnego, polegającego na przesłaniu wszystkich zadań cząstkowych, tj. na dostarczeniu wartości zmiennych procesowych niezbędnych w procesach przebiegających w każdej stacji a transportowanych w komunikatach cząstkowych.

Według potencjałowo-efektowego ujęcia eksploatacji układu komunikacji, wyróżnia się pojęcia efektywności i potencjalności – będące chwilowymi wielkościami oraz efektu i potencjału – będące wielkościami przedziałowymi [2]. Chwilową miarą skutku (wyniku) działania układu jest efektywność (wydajność, intensywność realizacji zadania), natomiast chwilową miarą możliwości układu – w kontekście realizowanego zadania – jest potencjalność. Oprócz wielkości wyrażających stan układu (systemu) w określonej chwili, wyróżnia się także wielkości opisujące przedziałowe miary skutków eksploatacyjnych i możliwości eksploatacyjnych układu komunikacji. Tymi wielkościami są odpowiednio efekt i potencjał. Ze względu na charakter obiektu diagnozowania – układ komunikacji realizujący zadanie globalne użytkowe składające się z komunikatów cząstkowych - wskazane jest użycie w dalszych rozważaniach właśnie wielkości przedziałowych tzn. potencjału i efektu.

### Potencjałowe kryterium zdatności

Opierając się na potencjałowym ujęciu zagadnienia zdatności zadaniowej zamieszczonym w [2] można ogólnie zapisać warunek konieczny zdatności systemu:

$$(1) \quad F_{P\_dys} \geq F_{P\_wym}$$

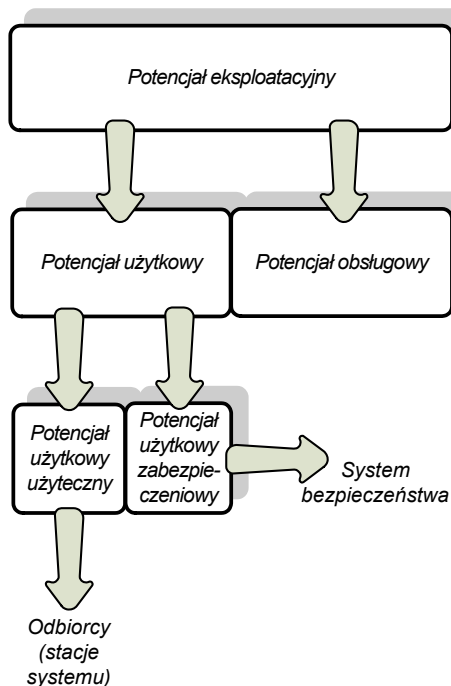
gdzie:  $F_{P\_dys}$  - dysponowany potencjał eksploatacyjny,  
 $F_{P\_wym}$  - wymagany potencjał eksploatacyjny.

Warunek (1) oznacza, że dysponowany potencjał eksploatacyjny powinien być nie mniejszy od potencjału wymaganego, aby można było system uznać za zdatny w sensie przedziałowym [3].

Potencjał eksploatacyjny układu komunikacji rozproszonego systemu sterowania można podzielić na:

- potencjał użytkowy, określający możliwości systemu zrealizowania zadania globalnego, jakim jest przesłanie zamówionej liczby wartości zmiennych;
  - potencjał obsługowy, określający możliwości systemu zrealizowania zadania obsługowego (przesył konfiguracji, uruchamianie systemu);
- Potencjał użytkowy systemu z kolei można podzielić na (rys.2):

- potencjał użytkowy użyteczny używany w celu wytworzenia zasadniczego efektu użytkowego [4], na który zamówienie złożył użytkownik systemu komunikacji (w tym przypadku decydent, operator systemu programujący scenariusz wymian komunikatów pomiędzy stacjami systemu) tj. ta część potencjału, która zużywana jest na cele transportu samych danych znaczących, tzn. wartości zmiennych procesowych bez uwzględnienia ewentualnych procesów destrukcyjnych;
- potencjał użytkowy zabezpieczeniowy (tu: jest to potencjał dodatkowy towarzyszący potencjałowi użytecznemu) używany w działaniach zabezpieczenia przesyłanych wartości zmiennych procesowych przed destrukcyjnymi czynnikami zewnętrznymi. Jest on wykorzystywany do prewencyjnego zabezpieczenia transmisji danych (ochrony i zabezpieczania danych [5], obliczenia sum kontrolnych [6-8], transmisji danych nadmiarowych itp.)



Rys.2. Potencjał eksploatacyjny systemu

Dla układu komunikacji, kryterium zadaniowej zdolności użytkowej (warunek konieczny zdolności) można zdefiniować jako (2):

$$(2) \quad F_{P_{u\check{z}}_{dys}} \geq F_{P_{u\check{z}}_{wym}}$$

gdzie:  $F_{P_{u\check{z}}_{dys}}$  – użytkowy dysponowany potencjał eksploatacyjny,  $F_{P_{u\check{z}}_{wym}}$  – użytkowy wymagany potencjał eksploatacyjny.

Z punktu widzenia operatora lub decydenta systemu zamawiającego odpowiedni efekt użytkowy, potencjał użytkowy zabezpieczeniowy, przeznaczony do odparowania celowych i losowych oddziaływań destrukcyjnych środowiska zewnętrznego na system komunikacji, jest „niezauważalny”. Jednak z punktu widzenia zdolności zadaniowej systemu komunikacji jest on kluczowym elementem zapewniającym realizację zadania użytkowego. Jego istnienie umożliwia przeciwdziałanie niszczeniu przesłanego efektu użytkowego użytecznego. Dlatego dekomponując efekt użytkowy na użyteczny i zabezpieczeniowy można zdefiniować warunki konieczne zdolności zadaniowej układu komunikacji (3) i (4). Warunki te powinny być spełnione łącznie:

$$(3) \quad F_{P_{u\check{z}}_{dys}_U} \geq F_{P_{u\check{z}}_{wym}_U}$$

gdzie:  $F_{P_{u\check{z}}_{dys}_U}$  – użytkowy dysponowany potencjał eksploatacyjny użyteczny (wyrażony liczbą możliwych do przesłania wartości zmiennych procesowych),  $F_{P_{u\check{z}}_{wym}_U}$  – użytkowy wymagany potencjał eksploatacyjny użyteczny (wyrażony liczbą zamówionych przez decydenta systemu wartości zmiennych procesowych).

$$(4) \quad F_{P_{u\check{z}}_{dys}_O} \geq F_{P_{nieb}}$$

gdzie:  $F_{P_{u\check{z}}_{dys}_O}$  – użytkowy dysponowany potencjał eksploatacyjny zabezpieczeniowy (inaczej: potencjał bezpieczeństwa wyrażony liczbą wartości zmiennych możliwych do „uratowania” przed zniszczeniem przez czynniki destrukcyjne);  $F_{P_{nieb}}$  – potencjał niebezpieczeństwa (wyrażający się liczbą potencjalnie narażonych na zniszczenie przesyłanych wartości zmiennych).

Wielkości potencjałów występujące w warunku (4) mogą też być wyrażone dla każdej z transmitowanych wartości zmiennych w postaci liczby potencjalnie możliwych do realizacji mechanizmów przeciwdstrukcyjnych [9] (poziomy bezpieczeństwa 1–4 – patrz dalej) lub też (odpowiednio) potencjalnie mogących wystąpić zagrożeń dla transmitowanych danych tj. mechanizmów zakłócających. Przykładowymi poziomami bezpieczeństwa mogą być:

- poziom 1 - obliczenie bitów parzystości;
- poziom 2 - obliczenie cyklicznych sum kontrolnych;
- poziom 3 - obliczenie wartości funkcji skrótu;
- poziom 4 - ochrona danych poprzez szyfrowanie.

Należy podkreślić, w tym przypadku, ważną rolę użytkowego potencjału zabezpieczeniowego, który odgrywa ważną rolę przeciwdstrukcyjną.

#### Rezerwa potencjałowa

Powracając do rozważań dotyczących warunku (2) można zauważyć, iż w przypadku systemu, który pracuje na granicy zdolności (5), wartości potencjału użytkowego dysponowanego i wymaganego są równe.

$$(5) \quad F_{P_{u\check{z}}_{dys}} = F_{P_{u\check{z}}_{wym}}$$

Każde pojawienie się oddziaływania niesprzyjającego, zakłócającego przebieg poprawnej, bezbłędnej transmisji powoduje przejście układu komunikacji do stanu niezdatności. Dlatego w celu zachowania zdolności zadaniowej systemu komunikacji wskazane jest zachowanie pewnej rezerwy potencjałowej, która umożliwi ewentualną reakcję na uaktywniające się czynniki destrukcyjne bez naruszania warunku (2). Ta rezerwa wyraża się zależnością (6):

$$(6) \quad F_{P_{u\check{z}}_{rez}} = F_{P_{u\check{z}}_{dys}} - F_{P_{u\check{z}}_{wym}}$$

gdzie:  $F_{P_{u\check{z}}_{rez}}$  – rezerwa (nadmiar/zapas) potencjału użytkowego, niezbędny do zapobieżenia niszczeniu (lub dla odtworzenia zniszczonego) efektu tj. komunikatów zawierających wartości transmitowanych zmiennych.

W celu zwiększenia rezerwy potencjałowej systemu możliwe są dwa scenariusze działania:

(I) Zwiększenie użytkowego potencjału dysponowanego. Można to osiągnąć poprzez np. zwiększenie szybkości przesyłu danych w magistrali komunikacyjnej.

(II) Zmniejszenie użytkowego potencjału wymaganego poprzez np. zmniejszenie zapotrzebowania na pewne wartości zmiennych, zmniejszenie częstości dokonywanych

sprawdzeń lub też przez odpowiednią modyfikację lub wybór modelu wymian komunikatów w sieci przemysłowej.

### Wpływ zmiany modelu wymiany danych na rezerwę potencjałową

Rozpatrzmy przykład wpływu modelu wymian komunikatów w systemie czterech stacji procesowych na wartość rezerwy potencjałowej. Jak wspomniano, utrzymanie rezerwy potencjałowej zwiększa szanse na utrzymanie zdatności zadaniowej systemu, mimo działających na układ komunikacji oddziaływań destrukcyjnych. Przykład ten daje odpowiedź na pytanie: jaką korzyść (jaki zysk w postaci rezerwy potencjałowej) uzyskuje się w wyniku zmiany modelu wymian komunikatów? Interesującym parametrem jest względny stosunek rezerwy potencjałowej porównywanych modeli wymian komunikatów.

Założmy, że:

- mini rozproszony system sterowania składa się z 4 stacji procesowych oraz stacji operatorskiej czyli komputera nadrzędnego;
- każda z 4 stacji procesowych potrzebuje do bezbłędnej pracy jedną wartość zmiennej procesowej, pochodzącą z dowolnego spośród pozostałych urządzeń;
- każda wartość przesyłana jest w jednym komunikacie;
- dla uproszczenia, zamiast posługiwać się wartościami potencjałów wymaganych zastąpmy je jednostkami umownymi czasu (w rzeczywistości proporcjonalnymi do wartości potencjałów);
- dla uproszczenia przyjmijmy, że czas przesyłu każdego komunikatu, niezależnie od przyjętego modelu wymian, jest identyczny;
- dla uproszczenia przyjmijmy także, że pozostałe wartości czasu (np. takie jak czas przygotowania danych) jest pomijalny;
- przyjmijmy, że czas przesyłu jednego komunikatu wynosi  $t_k$ .

#### Master-slave

W przypadku metody master-slave [10] cztery stacje procesowe nie mogą komunikować się bezpośrednio (rys.3). Obowiązuje zasada, że „master” pyta, a „slave” tylko odpowiada na pytania, nie inicjując samodzielnie wymian komunikatów. „Rządzi” tu komputer nadrzędny (stacja operatorska), który w celu uzyskania danych od 4 urządzeń podrzędnych, powinien do każdego z nich wysłać komunikat-zapytanie o czasie trwania  $t_k$ . Uzyskanie odpowiedzi od każdego z 4 urządzeń także wymaga zwrotnego przesyłu komunikatu z wartością (o czasie trwania  $t_k$ ). Na rysunku 3 zaznaczono znakami „?” komunikaty-pytania, natomiast znakami „!” komunikaty-odpowiedzi. Kolejne komunikaty ponumerowano.

Czas uzyskania danych ( $t_{ud,m-s}$ ) przez stację z czterech urządzeń wynosi (7):

$$(7) \quad t_{ud,m-s} = 4(t_k + t_k) = 8t_k$$

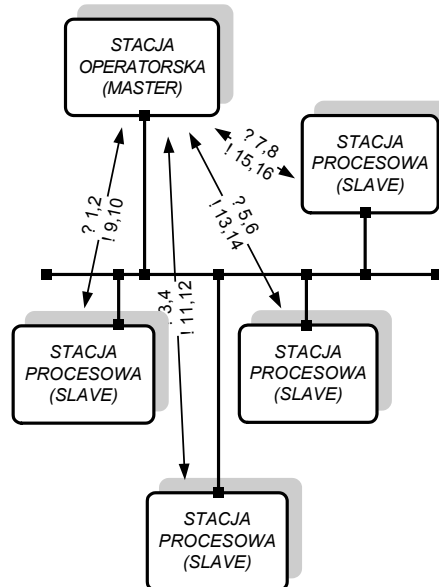
Pamiętając, że uaktualnienie (rozesłanie) wartości danej wymaga przesyłu komunikatu przez master i jego potwierdzenia przez slave, czas wysłania ( $t_{ad,m-s}$ ) wszystkich otrzymanych wartości (z trzech pozostałych stacji procesowych) do wszystkich pozostałych urządzeń podrzędnych po jednym komunikacie wynosi (8):

$$(8) \quad t_{ad,m-s} = 4(t_k + t_k) = 8t_k$$

Tak więc łączny czas transmisji ( $t_{m-s}$ ) uaktualnienia danych procesowych we wszystkich czterech stacjach procesowych systemu wg modelu master-slave wynosi (9):

$$(9) \quad t_{m-s} = t_{ud,m-s} + t_{ad,m-s} = 8t_k + 8t_k = 16t_k$$

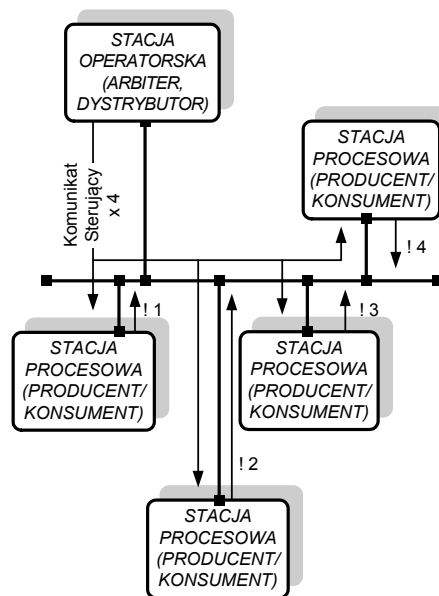
Łączny czas uaktualnienia danych w całym systemie wg wymienionego modelu wynosi zatem szesnastokrotność czasu pojedynczego komunikatu.



Rys.3. Przykład komunikacji master-slave

#### Producent-dystrybutor-konsument (PDK)

W modelu PDK [11], także przyjmijmy dla uproszczenia, że każdy transmitowany komunikat trwa  $t_k$ . Stacja operatorska jest arbitrem, decydującym, która wartość spośród wszystkich produkowanych przez stacje procesowe (po przesłaniu komunikatu sterującego przez arbitra-dystrybutora) zostanie wystawiona przez stację-producenta na magistralę systemową (rys.4). Na rysunku zaznaczono strzałkami komunikat sterujący (wystawiony czterokrotnie, każdorazowo poprzedzający komunikat-odpowieź) oraz komunikaty-odpowiedzi producentów (oznaczone znakiem „!” i numerem kolejnym).



Rys.4. Przykład komunikacji PDK

Dla czterech zmiennych czas  $t_{ster,PDK}$  przeznaczony na komunikaty sterujące arbitra wynosi (10):

$$(10) \quad t_{ster, PDK} = 4t_k$$

Stacja procesowa  $n$  staje się producentem danej, jeśli arbiter wystawi komunikat informujący, że za chwilę na magistrali ma „pojawić się” wartość zmiennej z urządzenia  $n$ . Dla czterech urządzeń wystawienie na magistralę komunikatu z wartością żądaną zmiennej, czyli wysłanie danych, trwać będzie  $t_{ud, PDK}$  (11):

$$(11) \quad t_{ud, PDK} = 4t_k$$

Wysyłaną przez urządzenie  $k$  wartość zmiennej mogą odebrać (i odbierają) pozostałe stacje procesowe (konsumenty). Transmitowana wartość odbierana jest jednocześnie przez wszystkich odbiorców-konsumentów. Czyli niezależnie od liczby odbiorców czas uaktualnienia danych ( $t_{ad, PDK}$ ) u wszystkich konsumentów nie będzie wpływał na łączny czas wymiany, ponieważ:

$$(12) \quad t_{ad, PDK} = 0$$

Czas wymiany wartości zmiennych procesowych ( $t_{PDK}$ ) pomiędzy wszystkimi czterema stacjami procesowymi w systemie pracującym wg wymienionego schematu (zgrubnie) wynosi (13, 14):

$$(13) \quad t_{PDK} = t_{ster, PDK} + t_{ud, PDK} + t_{ad, PDK}$$

$$(14) \quad t_{PDK} = 4t_k + 4t_k = 8t_k$$

Wynik ilorazu (15) wskaźników (14) i (9) można interpretować jako zysk względny ( $z$ ) osiągnięty w efekcie zmiany zastosowanego modelu wymian komunikatów w sieci przemysłowej.

$$(15) \quad z = 1 - \frac{t_{PDK}}{t_{m-s}} = 0,5$$

Przy ww. zmianie modelu wymian komunikatów w sieci przemysłowej otrzymuje się zmniejszenie czasu przeznaczonego na pełną aktualizację wartości danych w czterech stacjach procesowych (15) o połowę. Czas transmisji komunikatów jest proporcjonalny do wartości użytkowego potencjału wymaganego. Zatem można także mówić o dwukrotnym zwiększeniu wartości rezerwy potencjałowej

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono propozycję potencjałowego ujęcia procesu transmisji komunikatów w układzie łączącym stacje rozproszonego systemu sterowania. Artykuł jest próbą rozwinięcia potencjałowo-efektowego podejścia do procesu eksploatacji systemów przedstawionego w [2] i [4]. Podano ogólne potencjałowe kryterium zdatności zadaniowej systemu komunikacji tj. warunek konieczny utrzymania zdatności przedziałowej. Przytoczone przykłady ilustrują możliwości zwiększenia rezerwy potencjałowej systemu komunikacji w zależności od przyjętego modelu wymian komunikatów. Należy zwrócić uwagę na wątek

rozwojowy związany z istniejącym w systemie potencjałem niebezpieczeństwa i z warunkiem (4). Potencjał zabezpieczeniowy, z punktu widzenia operatora systemu, jest wykorzystywany do neutralizowania pojawiających się procesów destrukcyjnych w układzie transmisji danych.

**Autorzy:** dr inż. Marcin Bednarek, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Informatyki i Automatyki, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, E-mail: [bednarek@prz.rzeszow.pl](mailto:bednarek@prz.rzeszow.pl); dr hab. inż. Tadeusz Dąbrowski, prof. WAT, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa; E-mail: [tadeusz.dabrowski@wat.edu.pl](mailto:tadeusz.dabrowski@wat.edu.pl),

### LITERATURA

- [1] Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T., Wieloprotocowe ujęcie eksploatacji układu komunikacji, *Diagnostyka*, 34/2005, 31-36.
- [2] Dąbrowski T., Diagnostowanie systemów antropotechnicznych w ujęciu potencjałowo-efektowym. Rozpr. hab. WAT, Warszawa 2001
- [3] Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T., Układ komunikacji jako obiekt wielozadaniowy typu sieć – w ujęciu potencjałowym, *Materiały Szkoły Niezawodności PAN*, Szczyrk, 01.2006, 31-40
- [4] Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji. Część 1. Podstawy diagnostyki technicznej, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2000
- [5] Anderson Ross J., Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems, 2nd Edition, Wiley, Hoboken 2008
- [6] Stigge M., Plötz H., Müller W., Redlich J., Reversing CRC – Theory and Practice, HU Berlin Public Report SAR-PR-2006-05, Humboldt University Berlin, May 2006
- [7] Bednarek M., Dąbrowski T., Wawer T., Selected aspects of the security of the process data transmission in the distributed control system, *Journal of KONBIN*, 1(37)/2016, 231-252
- [8] Bednarek M., Dąbrowski T., Zdatość systemu komunikacji w aspekcie integralności i poufności przesyłanych danych, *XLV Zimowa Szkoła Niezawodności*, Szczyrk, 8-14.01.2017, 21
- [9] Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T., Wpływ tolerowalności na niezawodność systemu antropotechnicznego, *Materiały Szkoły Niezawodności PAN*, Sekcja Podstaw Eksploatacji KBM PAN, 01.2009, 27-35
- [10] Y. Ai, B. Pan, G. Niu, Y. Fu and S. Wang, Master-slave control technology of isomeric surgical robot for minimally invasive surgery, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Qingdao, China, 2016, 2134-2139
- [11] Mahalik N. P., Fieldbus Technology. Industrial Network Standards for Real Time Distributed Control, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2003
- [12] Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T., Diagnostowanie bezpieczeństwa systemu antropotechnicznego w ujęciu potencjałowym. *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 2009, nr 11, s. 87-92
- [13] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A., Modeling of process of exploitation of transport telematics systems with regard to electromagnetic interferences. The monograph „Tools of transport telematics”, editors: Mikulski J., „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531. Springer, 2015. pp. 99-107.