

Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna układów zasilania ITS z uwzględnieniem OZE

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.470

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Problematyka analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej układów zasilania stosowanych w inteligentnych systemach transportowych (ITS) jest niezwykle istotna z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa ruchu. Stosowanie w systemach ITS zaawansowanych urządzeń elektronicznych wymaga zasilania ich z odpowiednio zaprojektowanych układów zasilania. Aby zapewnić ciągłość działania urządzeń elektronicznych stosuje się najczęściej zasilanie podstawowe i rezerwowe. Powinny one cechować się określonymi wartościami wskaźników niezawodnościowych i eksploatacyjnych. Dlatego też został opracowany model niezawodnościowo-eksploatacyjny układu zasilania z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii (OZE), jaki jest m.in. stosowany w inteligentnych systemach transportowych. Pozwoliło to na uzyskanie zależności umożliwiających wyznaczenie wartości prawdopodobieństw przebywania układu zasilania zastosowanego w inteligentnym systemie transportowym w określonych stanach niezawodnościowo-eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: niezawodność, eksploatacja, inteligentny system transportowy, odnawialne źródła energii.

Wstęp

Inteligentne systemy transportowe ITS (ang. Intelligent Transportation Systems) uzyskano poprzez połączenie technologii telekomunikacyjnych i informacyjnych z infrastrukturą transportową i pojazdami w celu osiągnięcia wymiernych korzyści, takich jak m.in. zwiększenie poziomu bezpieczeństwa, efektywności procesów transportowych oraz ochrony środowiska naturalnego. Zastosowanie ITS wpływa korzystnie na warunki podróżowania zarówno w zakresie prywatnych, jak i publicznych środków transportu. Obecnie poprzez wdrażanie rozwiązań ITS uzyskuje się bardziej ekonomiczną poprawę warunków komunikacyjnych niż gdyby rozbudowywać infrastrukturę komunikacyjną w dotychczasowej formie [10,16].

Inteligentne systemy transportowe funkcjonują w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Obserwacje procesu ich użytkowania w środowisku transportowym, pozwalają stwierdzić, że ich prawidłowe działanie jest zależne nie tylko od niezawodności części składowych oraz efektywnego zarządzania procesem eksploatacji [9,14], ale także od prawidłowo zaprojektowanych źródeł zasilania. Zatem analiza zjawisk niezawodnościowo-eksploatacyjnych układów zasilania została w niniejszym artykule przedstawiona. Autorzy uwzględnili przy tym odnawialne źródła energii (OZE).

Podczas analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej ITS istotna jest również jakość informacji [17,19,20], jaką otrzymują urządzenia z czujników [5]. W niektórych opracowaniach naukowych proponuje się zastosowanie logiki rozmytej lub sztucznych sieci neuronowych [7,8]. Na funkcjonowanie ITS mają bardzo duży wpływ drgania [3,4], ale nie są one w niniejszym artykule uwzględnione. Podobnie w rozważaniach nie są uwzględnione zakłócenia elektromagnetyczne [12,13], które mogą negatywnie oddziaływać na ITS.

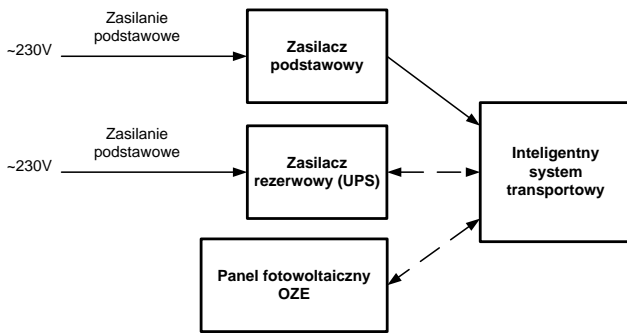
Inteligentne systemy transportowe są elementem systemów transportowych. Ich prawidłowe funkcjonowanie ma duży wpływ na bezpieczeństwo i sprawność procesu transportowego. Stan niezdatności ITS oraz błędy w działaniu operatorów mogą prowadzić do stanów zagrożenia bezpieczeństwa [15]. Teoria niezawodności zajmuje się m.in. analizą wpływu uszkodzeń na określone wskaźniki niezawodnościowe [1,2]. Obszarem zainteresowań teorii bezpieczeństwa są skutki uszkodzeń i błędów, które prowadzą do zagrożenia bezpieczeństwa (szczególnie istotnego z punktu widzenia procesu przemieszczania osób i ładunków). Bardzo istotna jest zatem kwestia prawidłowego określenia, który ze stanów systemu można uznać za dopuszczalny lub niedopuszczalny z punktu widzenia bezpieczeństwa (w szczególności wyróżnianie stanów częściowej zdatności).

1. Charakterystyka układów zasilania ITS

Układy zasilania stosowane w inteligentnych systemach transportowych spełniają jedną z istotniejszych ról, jaką jest zagwarantowanie ciągłości zasilania. Przejście ich w stan niezdatności lub nawet w stan częściowej niezdatności stanowi istotną nieprawidłowość w funkcjonowaniu całego ITS. Jednoczesna awaria zarówno zasilania podstawowego, jak i rezerwowego powoduje całkowitą niezdatność systemu. Stan niezdatności jednego z nich stanowi także duże zagrożenie w pracy ITS. Dlatego też zdarzenia te powinny być sygnalizowane odpowiednim służbom, w celu podjęcia działań zmierzających do przywrócenia stanu zdatności.

Inteligentny system transportowy może funkcjonować prawidłowo tylko w przypadku, gdy zapotrzebowanie energetyczne wszystkich jego podsystemów będzie zrealizowane. Układem, który ma to zagwarantować jest zasilanie podstawowe. Gwarancja zasilania jest jednak zależna od ciągłości w dostawie energii elektrycznej przez sieć energetyczną 230V AC. Rozwiązania tego problemu należy szukać w agregatach prądotwórczych (które funkcjonują dzięki zasilaniu ich olejem napędowym lub gazem ziemnym) i w odnawialnych źródłach energii (np. ogniwa fotowoltaiczne lub generatory napędzane siłą wiatru). Odpowiednie połączenie paneli fotowoltaicznych i układów odpowiedzialnych za zasilanie ITS umożliwia zwiększenie czasu jego pracy na rezerwowym źródle zasilania, poprzez okresowe doładowywanie akumulatorów.

Podczas eksploatacji układów zasilania inteligentnego systemu transportowego (zastosowanego w stacjonarnym obiekcie transportowym) występują różnego rodzaju czynniki, które powodują, że każdy z nich po pewnym czasie od chwili uruchomienia może przejść ze stanu zdatności do stanu niezdatności [11,18]. W celu zwiększenia wartości prawdopodobieństwa przebywania w stanie zdatności stosuje się różnego rodzaju rozwiązania [6]. Jednym z nich jest zastosowanie dodatkowych źródeł zasilających. Zatem, jeśli oprócz zasilania podstawowego z sieci energetycznej i zasilania rezerwowego w postaci UPS, zastosuje się dodatkowo zasilanie w postaci paneli fotowoltaicznych (OZE), to zasilanie przyjmie postać jak przedstawiono to na rys. 1.



Rys. 1. Przykład zasilania inteligentnego systemu transportowego z trzech źródeł zasilania [źródło: opracowanie własne]

Panel fotowoltaiczny jest elementem półprzewodnikowym w którym to zachodzi konwersja energii pochodzącej od światła słonecznego w energię elektryczną. Podstawowe w tym procesie jest zjawisko fotowoltaiczne, w którym to wykorzystywane jest złącze półprzewodnikowe p-n. W złączu tym przemieszczają się elektrony do obszaru n oraz dziury do obszaru p, pod wpływem padających na to złącze fotonów. Zjawisko to skutkuje wystąpieniem napięcia elektrycznego. Do produkcji ogniw fotowoltaicznych stosuje się materiał półprzewodnikowy jakim jest krzem (Si). Łącząc szeregowo i/lub równolegle poszczególne pojedyncze ogniwa słoneczne uzyskuje się odpowiednio większe wartości napięć oraz wydajność prądową całego panelu fotowoltaicznego.

Podczas doboru panelu fotowoltaicznego, jako awaryjnego źródła zasilania ITS należy uwzględnić kilka istotnych kwestii mających znaczący wpływ na prawidłowe funkcjonowanie tego rozwiązania. Jednym z ważniejszych jest określenie teoretycznego potencjału energetycznego promieniowania słonecznego jaki występuje w

miejscu, w którym będzie zainstalowany panel fotowoltaiczny. Kolejną ważną kwestią jest miejsce docelowej instalacji i położenie w stosunku do słońca.

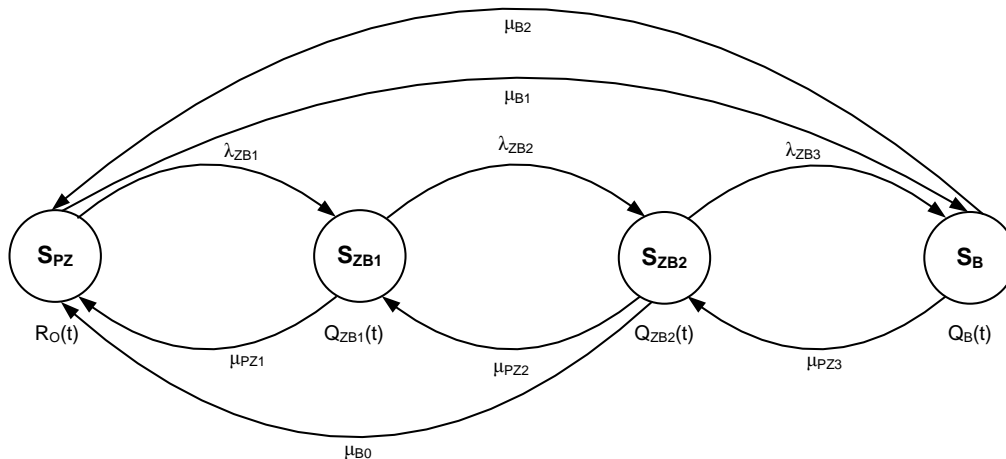
2. Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna układów zasilania ITS z uwzględnieniem odnawialnego źródła energii

Przeprowadzając analizę układu zasilania ITS przedstawionego na rys. 1, można stwierdzić iż relacje w nim zachodzące w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym mogą być zobrazowane tak jak ukazano to na rys. 2.

Stan pełnej zdatności S_{PZ} jest stanem w którym prawidłowo funkcjonują wszystkie trzy źródła zasilania (zarówno podstawowe jak i oba rezerwowe). Stan zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB1} jest stanem w którym zasilanie podstawowe 230V AC jest niezdatne. Stan zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB2} jest stanem w którym zarówno zasilanie podstawowe jak i zasilanie rezerwowe UPS są niezdatne. Stan zawodności bezpieczeństwa Q_B jest stanem w którym wszystkie trzy źródła zasilania są niezdatne.

Będąc w stanie pełnej zdatności S_{PZ} w przypadku uszkodzenia zasilania podstawowego 230V AC następuje przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} z intensywnością λ_{ZB1} . Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} możliwe jest przejście do stanu pełnej zdatności S_{PZ} w przypadku podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdatności zasilaniu podstawowemu 230V AC.

Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} w przypadku uszkodzenia zasilacza rezerwowego UPS następuje przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} z intensywnością λ_{ZB2} . Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} w przypadku podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdatności zasilania



Rys. 2. Relacje w układzie zasilania ITS [źródło: opracowanie własne]

Oznaczenia na rys.:

$R_O(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności S_{PZ} ,

$Q_{ZB1}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,

$Q_{ZB2}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,

$Q_B(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B ,

λ_{ZB1} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,

λ_{ZB2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,

λ_{ZB3} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B ,

μ_{ZB1} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu pełnej zdatności S_{PZ} ,

μ_{ZB2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,

μ_{ZB3} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,

μ_{B0} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu pełnej zdatności S_{PZ} ,

μ_{B1} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B ,

μ_{B2} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu pełnej zdatności S_{PZ} .

czowi rezerwowemu UPS.

Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} w przypadku uszkodzenia panelu fotowoltaicznego następuje przejście do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B z intensywnością λ_{ZB3} . Będąc w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} w przypadku podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności panelowi fotowoltaicznemu.

Będąc w stanie pełnej zdadności S_{PZ} , w przypadku jednoczesnego uszkodzenia wszystkich źródeł, następuje przejście do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B z intensywnością μ_{B1} .

Będąc w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B , w przypadku przywrócenia stanu zdadności wszystkim źródłom, następuje przejście do stanu pełnej zdadności S_{PZ} z intensywnością μ_{B2} .

Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} możliwe jest przejście do stanu pełnej zdadności S_{PZ} w przypadku przywrócenia stanu zdadności dwóm źródłom zasilania, tj. podstawowemu 230V AC i rezerwowemu UPS.

System przedstawiony na rys. 2 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) + \\ &+ \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}(t) - \mu_{B1} \cdot R_0(t) + \mu_{B2} \cdot Q_B(t) \\ Q_{ZB1}'(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) - \\ &- \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) \\ Q_{ZB2}'(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) - \\ &- \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) + \mu_{PZ3} \cdot Q_B(t) - \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}(t) \\ Q_B'(t) &= \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) - \mu_{PZ3} \cdot Q_B(t) + \\ &+ \mu_{B1} \cdot R_0(t) - \mu_{B2} \cdot Q_B(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$\begin{aligned} R_0(0) &= 1 \\ Q_{ZB1}(0) &= Q_{ZB2}(0) = Q_B(0) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

i stosując przekształcenie Laplace'a otrzymujemy następujący układ równań liniowych:

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) + \\ &+ \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \mu_{B1} \cdot R_0^*(s) + \mu_{B2} \cdot Q_B^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB1}^*(s) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \\ &- \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}^*(s) + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB2}^*(s) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \\ &- \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \mu_{PZ3} \cdot Q_B^*(s) - \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}^*(s) \\ s \cdot Q_B^*(s) &= \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \mu_{PZ3} \cdot Q_B^*(s) + \\ &+ \mu_{B1} \cdot R_0^*(s) - \mu_{B2} \cdot Q_B^*(s) \end{aligned} \quad (3)$$

Prawdopodobieństwa przebywania systemu w wyróżnionych stanach funkcjonalnych w ujęciu symbolicznym (Laplace'a) mają postać następującą:

$$\begin{aligned} R_0^*(s) &= \frac{b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} - b \cdot c \cdot d \cdot s + d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + b \cdot c \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} + \\ &+ b \cdot \mu_{B0} \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ3} - \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2} \cdot \mu_{PZ3} + \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \\ &- \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - \\ &- a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Q_{ZB1}^*(s) &= \frac{\mu_{B1} \cdot \mu_{PZ2} \cdot \mu_{PZ3} - \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + b \cdot c \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} + \\ &+ b \cdot \mu_{B0} \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ3} - \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2} \cdot \mu_{PZ3} + \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \\ &- \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - \\ &- a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ZB2}^*(s) &= \frac{b \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ3} + d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + b \cdot c \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} + \\ &+ b \cdot \mu_{B0} \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ3} - \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2} \cdot \mu_{PZ3} + \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \\ &- \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - \\ &- a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Q_B^*(s) &= \frac{b \cdot c \cdot \mu_{B1} - \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + b \cdot c \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} + \\ &+ b \cdot \mu_{B0} \cdot \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ3} - \mu_{B1} \cdot \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ \mu_{B1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2} \cdot \mu_{PZ3} + \mu_{B2} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \\ &- \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + \\ &+ c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - \\ &- a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s \end{aligned}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} a &= s + \lambda_{ZB1} + \mu_{B1} \\ b &= s + \mu_{PZ1} + \lambda_{ZB2} \\ c &= s + \mu_{PZ2} + \lambda_{ZB3} + \mu_{B0} \\ d &= s + \mu_{PZ3} + \mu_{B2} \end{aligned} \quad (5)$$

Przeprowadzając dalszą analizę matematyczną otrzymuje się zależności pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania układu zasilania w stanach: pełnej zdadności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B .

Podsumowanie

Problematyka przedstawiona w artykule dotyczyła układu zasilania inteligentnego systemu transportowego zastosowanego w stacjonarnym obiekcie transportowym. Zaprezentowano schematycznie układ zasilania złożony z trzech podsystemów, tj.: sieci energetycznej 230V AC, zasilacza rezerwowego UPS i panelu fotowoltaicznego. Przeprowadzona analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna tego układu umożliwiła wyznaczenie zależności pozwalających na obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania układu zasilania (w ujęciu symbolicznym) w stanach funkcjonalnych: pełnej zdadności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B . W dalszych rozważaniach naukowych planuje się przeprowadzenie dalszych analiz uwzględniających inne typy układów zasilania.

Bibliografia:

1. Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
2. Billinton R., Allan R.N., Reliability evaluation of power systems, Plenum Press, New York 1996.
3. Burdzik R., Konieczny Ł., Figlus T., Concept of on-board comfort vibration monitoring system for vehicles, in the monograph "Activities of Transport Telematics", editors: Mikulski J., TST 2013, CCIS 395, Springer, Heidelberg 2013, pp. 418-425.
4. Burdzik R., Konieczny Ł., Research on structure, propagation and exposure to general vibration in passenger car for different

- damping parameters, "Journal of Vibroengineering", 2013, vol. 15, issue 4, pp. 1680-1688.
5. Dabrowski T., Bednarek M., Fokow K., Wisnios M., The method of threshold-comparative diagnosing insensitive on disturbances of diagnostic signals, "Przegląd Elektrotechniczny - Electrical Review", 88(11A), 2012, pp. 93-97.
 6. Dąbrowski T., Paś J., Olchowik W., Rosiński A., Wiśnios M., Podstawy eksploatacji systemów. Laboratorium, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2014.
 7. Duer S., Zajkowski K., Duer R., Paś J., Designing of an effective structure of system for the maintenance of a technical object with the using information from an artificial neural network, "Neural Computing & Applications", 2012; 23(3), pp. 913-925. DOI: 10.1007/s00521-012-1016-0.
 8. Duer S., Zajkowski K., Płochka I., Duer R., Training of an artificial neural network in the diagnostic system of a technical object, "Neural Computing & Applications", 2013, vol. 22, no. 7, pp. 1581-1590.
 9. Dyduch J., Paś J., Rosiński A., Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
 10. Kalupova B., Hlavon I., Intelligent transport systems in the management of road transportation, "Open Engineering", 2016, vol. 6, issue: 1, pp. 492-497, DOI: 10.1515/eng-2016-0062.
 11. Paś J., Rosiński A., Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, "Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability", 2017, 19(3), pp. 375-381, DOI: 10.17531/ein.2017.3.8.
 12. Paś J., Shock a disposable time in electronic security systems, "Journal of KONBiN", 2016, nr 2(38).
 13. Paś J., Siergiejczyk M., Interference impact on the electronic safety system with a parallel structure, "Diagnostyka", 2016, vol. 17, no. 1.
 14. Paś J., Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych, Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
 15. Rosiński A., Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
 16. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Grieco L.A., Reliability and viewpoints of selected ITS system, in: "Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng 2017", editors: Selvaraj H., Chmaj G., Zydek D., IEEE, Conference Publishing Services (CPS), 2017, pp. 141-146, DOI: 10.1109/ICSEng.2017.68.
 17. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Evaluation of the influence of atmospheric conditions on the quality of satellite signal, in monograph "Marine Navigation", editor: Weintrit A., CRC Press/Balkema, London 2017, pp. 121-128.
 18. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A., Issue of reliability-exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference, "IET Intelligent Transport Systems", 2016, vol. 10, issue 9, pp. 587-593.
 19. Stawowy M., Dziula P., Comparison of uncertainty multilayer models of impact of teleinformation devices reliability on information quality, in "Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2015", editors: Podofilini L., Sudret B., Stojadinovic B., Zio E., Kröger W., CRC Press/Balkema, 2015, pp. 2685-2691.
 20. Stawowy M., Kasprzyk Z., Identifying and simulation of status of an ICT system using rough sets, in: "Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX", editors: W.Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk, given as the monographic publishing series – "Advances in intelligent systems and computing", vol. 365. Springer, 2015, pp. 477-484.

Reliability and exploitation analysis of ITS power systems including RES

The problem of reliability and exploitation analysis of power systems used in intelligent transport systems (ITS) is extremely important from the point of view of ensuring the traffic safety. The use of advanced electronic devices in ITS systems requires their power supply from properly designed power systems. To ensure the continuity of operation of electronic devices, the basic and backup power supply are most often used. They should have specific values of reliability and performance indicators. Therefore, a reliability and exploitation model of the power system has been developed, taking into account renewable energy sources (RES), such as used in intelligent transport systems. This allowed to obtain dependencies enabling to determine the probability of staying of the power system used in the intelligent transport system in the specified reliability and exploitation states.

Keywords: reliability, exploitation, intelligent transport system, renewable energy sources.

Autorzy:

dr hab. inż. **Mirosław Siergiejczyk**, prof. PW – Politechnika Warszawska Wydział Transportu Zakład Telekomunikacji w Transporcie, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, msi@wt.pw.edu.pl

dr hab. inż. **Adam Rosiński**, prof. PW – Politechnika Warszawska Wydział Transportu Zakład Telekomunikacji w Transporcie, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, adro@wt.pw.edu.pl

dr inż. **Jerzy Chmiel** – Politechnika Warszawska Wydział Transportu Zakład Telekomunikacji w Transporcie, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, jhc@wt.pw.edu.pl