

Mirosław SIERGIEJCZYK, Karolina KRZYKOWSKA, Adam ROSIŃSKI
Warsaw University of Technology (Politechnika Warszawska)

THE ASPECT OF POWER SUPPLY IN EXPLOITATION OF TRANSPORT TELEMATICS SYSTEMS

Aspekt zasilania w eksploatacji systemów telematyki transportu

Abstract: Transport telematics systems operate under various operational conditions. As elements, which are responsible, among others, for the transport process safety, they should maintain their usability. One of the key problems is to ensure the power supply continuity in the transport telematics systems. In order to provide it, relevant power supply systems are used. The state of unfitness of power supply constitutes a failure in the system operation, the result of which can be downtime in operation of the entire transport telematics system or its part. The article carried out a reliability and operation analysis of the power supply system, which consists of three independent energy sources. The relationships, which allow to specify the probabilities of the system's staying in the distinguished states, were determined.

Keywords: transport telematics systems, power supply, reliability

Streszczenie: Systemy telematyki transportu pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacji. Jako elementy odpowiedzialne m.in. za bezpieczeństwo procesu transportowego powinny zachować zdatność. Jednym z istotniejszych problemów jest zapewnienie ciągłości zasilania w systemach telematyki transportu. W tym celu stosuje się odpowiednie układy zasilania. Stan niezdatności zasilania stanowi uchybienie w pracy systemu, którego skutkiem może być przerwa w funkcjonowaniu całości lub części systemu telematyki transportu. W artykule dokonano analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej systemu zasilania, zawierającego trzy niezależne źródła energii. Wyznaczono zależności pozwalające określić prawdopodobieństwa przebywania systemu w wyróżnionych stanach.

Słowa kluczowe: systemy telematyki transport, zasilanie, niezawodność

1. Introduction

Transport is a functionally complex system that requires continuous traffic control while taking into account the current functional states of this system. The management of transport processes is carried out by the personnel with the use of specific technical measures. For this purpose, among others, transport telematics systems are applied. The telematics systems provide fast and reliable transmission and reception of a large amount of information necessary to ensure a high level of safety and efficiency in a regulated transport process [5].

The basic feature of telematics applications includes the possibility of transferring and processing a large collection of information adequate for a given application. They are adjusted to the needs of recipients – users of this information. The information operations can be implemented, either automatically or interactively, upon specific request of the user. An essential feature of the telematics applications is the capability to effectively associate the operation of various subsystems and their introduction into a coordinated mode of functioning.

The transport telematics system includes many component subsystems dedicated to executing specific functions. The tasks performed by individual subsystems make up the whole, which represents the appropriate system of traffic surveillance, traffic control, prediction of dangerous situations, traffic incident management, road maintenance and other activities useful in the proper operation of subsystems [13].

One of the most important questions associated with the issue of commuting is a road traffic safety level [3]. It concerns not only the travelers, but also the pedestrians and cyclists, using the transport infrastructure in a given area. The high accident rate over the recent years on national roads in Poland, as well as frequent collisions, are proof that it is still a current issue. Therefore, it is worth considering the implementation of intelligent transport services, including the telematics ones, to improve the travelling conditions. It is worth noticing that increasing the road traffic safety level comes with an increase in the capacity of particular road sections. Adequate traffic management and control, as well as a fast response to undesirable situations, significantly increase traffic efficiency. Consequently, the probability of a traffic jam at a given road section is minimized, traffic is relieved, and thus, the risk of an accident or a collision decreases. Therefore, the operation of individual services in the field of intelligent transport should be considered both in terms of safety and efficiency of road traffic [20].

Transport telematics is the use of various ICT systems to significantly increase travel and transport safety, at the same time, reducing environmental degradation. The efficiency of transport processes is improved through the traffic guidance

solutions; also the use of road infrastructure, as well as better economic results of operators, are obtained. The use of advanced electronic and ICT devices requires the consideration of their appropriate power supply [12].

Transport telematics systems operate under various operational conditions [10]. As elements which are responsible, among others, for the transport process safety, they should maintain their usability. One of the key problems is to ensure the power supply continuity in the transport telematics systems. So far, the authors have carried out the reliability and operation analysis of their structures. However, it is also vital to carry out the reliability and operation analysis, which includes the relationships occurring in the system with a particular focus on the issues related to the power supply. Such an approach was presented in this article.

In terms of general considerations, the reliability theory includes a literature base that has been established for years [4, 9]. Within the scope of operation of power supply systems, the following publications can be given [2, 14].

In elaborations [1, 16], the reliability analysis of power systems was carried out. It allowed to link the relationship of reliability and financial expenses intended for its increase. Furthermore, the power systems' reliability models, including the damage and repair intensity, were also presented. The probability distribution of reliability indices was also determined. They can be applied during the analysis with the use of a developed reliability graph which consists of the state of usability and unfitness, as well as a graph that additionally includes the state of the device's exclusion from the entire power system operation.

The subject matter of the optimization of power supply systems is a significant issue. Such an approach was described in the paper [15, 17, 18]. The theoretical foundations for the optimization were provided. It allowed to develop the optimization procedures of the analyzed systems taking into account the economic factors.

The application of backup power sources was presented in the publication [6, 19]. At the same time, special attention was paid to the emergency power supply systems, such as uninterruptible power supply (UPS), generators, and also environmentally friendly solutions in the form of solar panels or power generators propelled by the force of the wind. The conducted analysis of this type of solutions allows to explicitly state that their application makes it possible to increase the values of the reliability and operation indices.

2. Reliability and operation analysis of power supply systems of the transport telematics system

In order to operate reliably, the transport telematics systems require the provision of the correct power supply. The state of unfitness of power supply constitutes a failure in the system operation, the result of which can be downtime in operation of the entire transport telematics system or its part [8]. Therefore, in case of particularly important subsystems, there are usually three sources of power supply for devices. The first one includes the primary power supply. In the event of its breakdown, the system automatically switches to the backup power supply (UPS). In the case of its damage, it switches to power supply in the form of a power generator. A structural sketch of the power supply system, which comprises these three independent energy sources and is addressed at the transport telematics system, is shown in fig. 1.

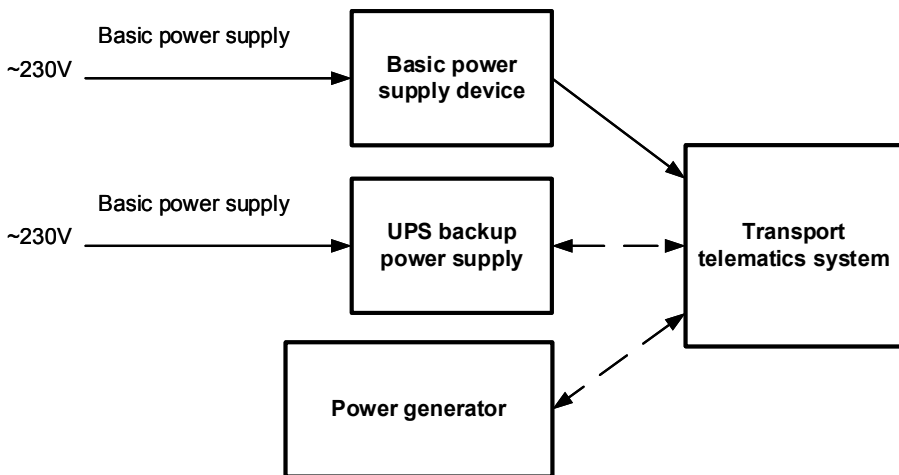


Fig. 1. Example of power supply to the transport telematics system from three power supply systems

By analyzing the power supply system shown in fig. 1, it can be stated that the relationships taking place in it, in reliability and operation terms, can be visualized as shown in fig. 2.

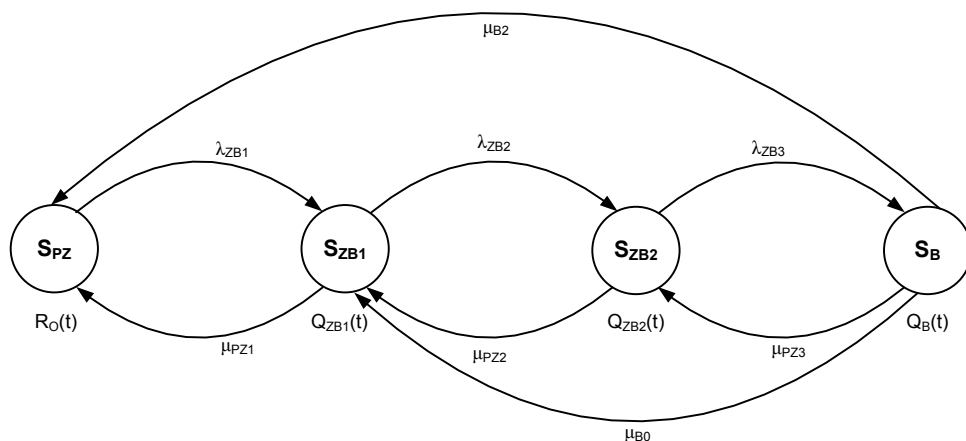


Fig. 2. Relationships in the power supply system of the transport telematics system

Markings in fig. 2:

- $R_O(t)$ – probability function in the system's staying in the state of complete usability S_{PZ} ,
- $Q_{ZB1}(t)$ – probability function in the system's staying in the state of impendency over safety S_{ZB1} ,
- $Q_{ZB2}(t)$ – probability function of the system's staying in the state of impendency over safety S_{ZB2} ,
- $Q_B(t)$ – probability function in the system's staying in the state of the unreliability of safety S_B ,
- λ_{ZB1} – intensity of transitions from the state of complete usability S_{PZ} to the state of impendency over safety S_{ZB1} ,
- λ_{ZB2} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_{ZB1} to the state of impendency over safety S_{ZB2} ,
- λ_{ZB3} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_{ZB2} to the state of the unreliability of safety S_B ,
- μ_{PZ1} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_{ZB1} to the state of complete usability S_{PZ} ,
- μ_{PZ2} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_{ZB2} to the state of impendency over safety S_{ZB1} ,
- μ_{PZ3} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_B to the state of impendency over safety S_{ZB2} ,
- μ_{B0} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_B to the state of impendency over safety S_{ZB1} ,
- μ_{B2} – intensity of transitions from the state of impendency over safety S_B to the state of complete usability S_{PZ} .

The state of complete usability S_{PZ} is a state, in which all the three power supply sources (both basic and two backup ones) function properly. The state of impendency over safety Q_{ZB1} is a state, in which the basic power supply of 230 V AC is unfit. The state of impendency over safety Q_{ZB2} is a state, in which both the basic power supply and the UPS backup power supply are unfit. The state of safety unreliability Q_B is a state, in which all the three power supply sources are unfit.

Staying in the state of complete usability S_{PZ} in case of damage to the basic power supply of 230 V AC, there is a transition to the state of impendency over safety S_{ZB1} with λ_{ZB1} intensity. Staying in the state of impendency over safety S_{ZB1} it is possible to transit into the state of complete usability S_{PZ} in case of undertaking the activities of restoring the state of usability in the basic power supply of 230 V AC.

Staying in the state of impendency over safety S_{ZB1} , in case of damage to the UPS backup power supply, there is a transition to the state of impendency over safety S_{ZB2} with λ_{ZB2} intensity. Staying in the state of impendency over safety S_{ZB2} , it is possible to transit to the state of impendency over safety S_{ZB1} in case of undertaking the activities of restoring the state of usability in the UPS backup power supply.

Staying in the state of impendency over safety S_{ZB2} , in case of damage to the power generator, there is a transition to the state of the unreliability of safety S_B with λ_{ZB3} intensity. Staying in the state of the unreliability of safety S_B , it is possible to transit to the state of impendency over safety S_{ZB2} in case of undertaking the activities of restoring the state of usability to the power generator.

Staying in the state of the unreliability of safety S_B , in the case of restoring the state of usability to all the sources, there is a transition to the state of complete usability S_{PZ} with μ_{B2} intensity.

Staying in the state of the unreliability of safety S_B , it is possible to transit to the state of impendency over safety S_{ZB1} in case of restoring the state of usability to two power supply sources, i.e. UPS backup power supply and the power generator.

The system presented in fig. 2 can be described by the following Chapman–Kolmogorov equations:

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

Assuming the baseline conditions:

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

and applying the Laplace transform, we obtain the following system of linear equations:

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

The probabilities of the system staying in the distinguished functional states from the symbolic (Laplace's) perspective have the following form:

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

where:

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

By conducting the further mathematical analysis, the relationships which allow to determine the probabilities of the power supply system staying in the states of complete usability S_{PZ} , impendency over safety S_{ZB1} and S_{ZB2} as well as unreliability of safety S_B , are obtained.

3. Conclusion

The intelligent transportation systems are built, taking into account numerous legal and organisational conditions and individual needs of the users. Therefore, they are not finished products, and their implementation requires a clear definition of functional and technical requirements and, ultimately, the description of the procurement subject used in connection with public procurement procedures. The primary objective of using telematics, in general, is to improve the efficiency of traffic and traffic safety (i.e. reducing the number of traffic accidents, reducing the severity of accidents in the form of the reduction of fatalities, the seriously injured and the injured, or the number of accidents involving unprotected traffic participants – motorcyclists, cyclists and pedestrians) [7]. It is also why the reliability of such systems is very important.

This article presented the issues related to the provision of the power supply continuity in the transport telematics systems. Without the properly designed power supply systems, taking into account the redundancy, it is not possible to provide the appropriate values of reliability and operation indices [11].

A three-path power supply system of the transport telematics system was analyzed in the reliability and operation aspect. By adopting four states (complete usability S_{PZ} , impendency over safety S_{ZB1} , impendency over safety S_{ZB2} and unreliability of safety S_B) and certain transitions between them, the relationships allowing for the determination of probabilities and the power supply system of the transport telematics system staying in the mentioned states were indicated. The obtained relationships allow to specify the impact of particular intensities of transitions on the values of the determined probabilities. In further research, it is

expected to carry out the analyses in the scope of rationalization of intensities of restoring the states of usability of individual power supply paths.

4. References

1. Billinton R., Allan R.N.: Reliability evaluation of power systems. Plenum Press, New York 1996.
2. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basis of the exploitation of transport electronic systems. Technical University of Radom, Radom 2011.
3. Janusova L., Cizmancova S.: Improving safety of transportation by using intelligent transportation systems. 9th International Scientific Conference Transbaltica 2015, Procedia Engineering 134, 2016.
4. Jodejko-Pietruczuk A, Werbińska-Wojciechowska S.: Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol. 16, No. 2, 2014.
5. Kasprzyk Z., Siergiejczyk M.: Some problems of functional analysis of electronic toll collection system (ViaToll). In: *Activities of transport telematics, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”*, Vol. 395, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2013.
6. Lobov B.N., Kolpakhch'yan P.G., Belokopytov S.A., Al Dzhurni Raghad Ali Madzhid: A choice of the structure of the photovoltaic system for power supply. *Russian Electrical Engineering*, 86(7), 2015.
7. Losurdo F., Dileo I., Siergiejczyk M., Krzykowska K., Krzykowski M.: Innovation in the ICT infrastructure as a key factor in enhancing road safety: a multi-sectoral approach. *Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng 2017*, Edited by: Henry Selvaraj, Grzegorz Chmaj and Dawid Zydek, IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), Las Vegas, Nevada, USA, 2017.
8. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol. 19, No. 3, 2017.
9. Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
10. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Grieco L.A.: Reliability and viewpoints of selected ITS system. *Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng 2017*, Edited by: Henry Selvaraj, Grzegorz Chmaj and Dawid Zydek, IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), Las Vegas, Nevada, USA, 2017.
11. 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*, Vol. 10, Iss. 9, 2016.

12. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Modeling of process of exploitation of transport telematics systems with regard to electromagnetic interferences. In: Tools of transport telematics, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531, Springer, 2015.
13. Siergiejczyk M., Rosiński A., Dziula P., Krzykowska K.: Reliability-exploitation analysis of highway transport telematics systems. Journal of KONBiN, Vol. 33, 2015. DOI10.1515/jok-2015-0015.
14. Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K.: Reliability-exploitation analysis of the alarm columns of highway emergency communication system. Journal of KONBiN Vol. 38, 2016. DOI 10.1515/jok-2016-0018.
15. Soliman S.A., Mantawy A.H.: Modern optimization techniques with applications in electric power systems. Springer Science+Business Media, 2012.
16. Sozański J.: Reliability of electric power supply. WNT, Warsaw 1990.
17. Sumper A., Baggini A.: Electrical energy efficiency: technologies and applications. John Wiley & Sons Ltd, 2012.
18. Wang L. (ed.): Modeling and control of sustainable power systems. Springer-Verlag, 2012.
19. Wiatr J., Miegoń M.: UPS power supplies and accumulator batteries in emergency power systems. Publishing House MEDIUM, Warsaw 2008.
20. Zhuhadar L., Thrasher E., Marklin S., Ordonez de Pablos P.: The next wave of innovation - Review of smart cities intelligent operation systems. Computers in Human Behavior, No. 66, 2017.

ASPEKT ZASILANIA W EKSPLOATACJI SYSTEMÓW TELEMATYKI TRANSPORTU

1. Wprowadzenie

Transport jest systemem funkcjonalnie złożonym, wymagającym ciągłych regulacji ruchu, z jednoczesnym uwzględnieniem aktualnych stanów funkcjonalnych tego systemu. Kierowanie procesami transportowymi jest realizowane przez personel z wykorzystaniem określonych środków technicznych. W tym celu wykorzystywane są m.in. systemy telematiki transportu. Systemy telematiki zapewniają szybkie i niezawodne przesyłanie i odbieranie dużej liczby informacji niezbędnych do zapewnienia wysokiego stopnia bezpieczeństwa i sprawności w regulowanym procesie transportowym [5].

Podstawową właściwością aplikacji telematycznych jest możliwość dostarczenia i przetwarzania dużego zbioru informacji adekwatnych dla danego zastosowania. Są one dostosowane do potrzeb odbiorców – użytkowników tych informacji. Operacje informacyjne mogą być realizowane bądź w sposób automatyczny, bądź interaktywnie, na konkretne żądanie użytkownika. Ważną cechą aplikacji telematycznych jest zdolność efektywnego kojarzenia działania różnych podsystemów i wprowadzania ich w skoordynowany tryb funkcjonowania.

System telematiki transportu obejmuje wiele podsystemów składowych. Zadania wykonywane przez poszczególne podsystemy składają się na całość reprezentującą właściwy system dozoru ruchu, sterowania ruchem, predykcji sytuacji niebezpiecznych, zarządzania zdarzeniami drogowymi, utrzymania dróg i realizujących inne czynności przydatne we właściwej eksploatacji podsystemów [13].

Jedną z najbardziej istotnych kwestii związanych z problematyką przemieszczania się jest poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego [3]. Dotyczy on nie tylko podróżnych, ale także pieszych oraz rowerzystów, korzystających z infrastruktury transportowej na danym obszarze. Wysoka wypadkowość występująca w ostatnich latach na drogach krajowych w Polsce, a także częste występowanie kolizji jest dowodem na to, iż problem jest wciąż aktualny. Z tego względu warto rozważyć wdrażanie usług inteligentnego transportu, w tym również telematycznych, w celu poprawy warunków podróżowania. Warto zauważyć, że ze zwiększeniem poziomu

bezpieczeństwa ruchu drogowego wiąże się również poprawa przepływności poszczególnych odcinków dróg. Odpowiednie zarządzanie i sterowanie ruchem oraz szybkie reagowanie na sytuacje niepożądane znacznie zwiększa efektywność ruchu. Co za tym idzie, prawdopodobieństwo wystąpienia zatoru na poszczególnym odcinku drogi jest minimalizowane, następuje odciążenie ruchu, a zatem ryzyko wystąpienia wypadku czy kolizji spada. Z tego względu działanie poszczególnych usług z zakresu inteligentnego transportu należy rozpatrywać zarówno pod kątem bezpieczeństwa, jak również efektywności ruchu drogowego [20].

Telematyka transportu to zastosowanie różnych systemów teleinformatycznych w celu znaczącego zwiększenia bezpieczeństwa podróży i przewozów, przy zmniejszeniu degradacji środowiska. Zwiększa się sprawność procesów transportowych poprzez rozwiązania przewodnictwa drogowego oraz następuje lepsze wykorzystanie infrastruktury drogowej i uzyskuje się poprawę wyników ekonomicznych operatorów. Zastosowanie zaawansowanych urządzeń elektronicznych i teleinformatycznych wymaga uwzględnienia odpowiedniego ich zasilania [12].

Systemy telematyki transportu pracują w zróżnicowanych warunkach [10]. Jako elementy odpowiedzialne m.in. za bezpieczeństwo procesu transportowego powinny zachować zdatność. Jednym z istotniejszych problemów jest zapewnienie ciągłości zasilania. Dotychczas autorzy dokonali analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej ich struktur, jednakże bardzo ważne jest również przeprowadzenie analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej uwzględniającej relacje zachodzące w systemie ze szczególnym uwzględnieniem kwestii związanych z zasilaniem. Takie podejście zostało zaprezentowane w niniejszym opracowaniu.

Podstawy teorii niezawodności opisano w pracach [4, 9], natomiast na temat funkcjonowania systemów zasilania można znaleźć informacje w publikacjach [2, 14].

W opracowaniach [1, 16] dokonano analizy niezawodnościowej systemów energetycznych. Pozwoliło to na powiązanie zależnością niezawodności i nakładów finansowych przeznaczonych na jej zwiększenie. Zaprezentowano również modele niezawodnościowe systemów energetycznych z uwzględnieniem intensywności uszkodzeń i intensywności napraw. Podano także rozkłady prawdopodobieństw wskaźników niezawodnościowych. Mogą one być wykorzystane podczas analizy z użyciem opracowanego grafu niezawodnościowego zawierającego stan zdatności i niezdatności oraz grafu zawierającego dodatkowo stan wykluczenia urządzenia z pracy całego systemu energetycznego.

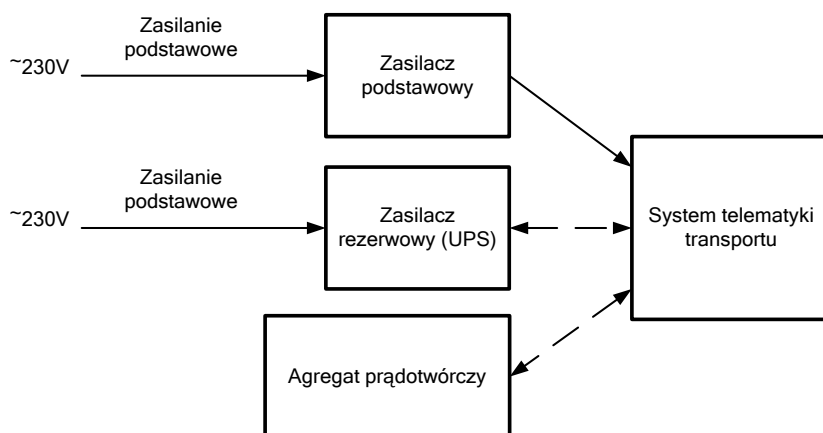
Bardzo istotną kwestią jest problematyka optymalizacji systemów zasilania. Takie podejście opisano w pracach [15, 17, 18], gdzie zamieszczono podstawy

teoretyczne optymalizacji. Umożliwiło to opracowanie procedur optymalizacyjnych analizowanych systemów z uwzględnieniem czynników ekonomicznych.

Zastosowanie rezerwowych źródeł zasilania przedstawiono w publikacjach [6, 19]. Zwrócono przy tym szczególną uwagę na systemy zasilania awaryjnego, jak: zasilacze bezprzerwowe UPS, zespoły prądotwórcze, a także ekologiczne rozwiązania w postaci paneli solarnych czy generatorów prądu napędzanych siłą wiatru. Przeprowadzona analiza tego typu rozwiązań pozwala jednoznacznie stwierdzić, iż zastosowanie ich pozwala na zwiększenie wartości wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych.

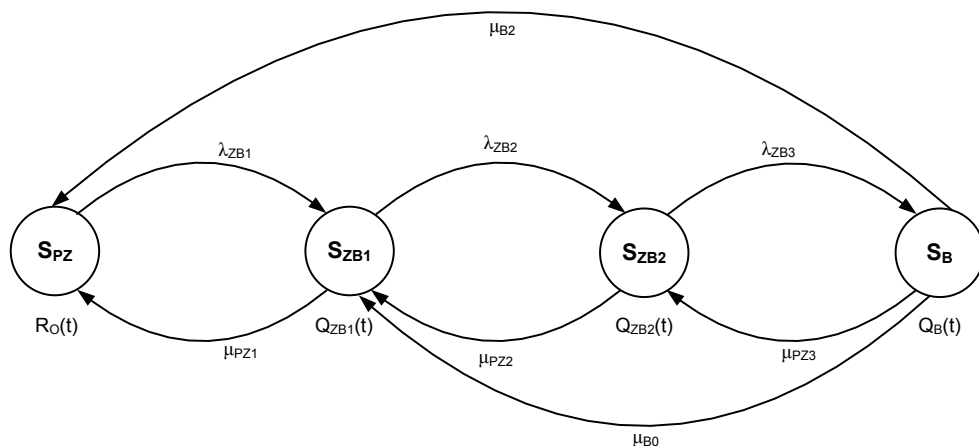
2. Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna układów zasilania systemu telematiki transportu

Systemy telematiki transportu, aby niezawodnie funkcjonować, wymagają zapewnienia im odpowiedniego zasilania. Stan niezdatności zasilania stanowi uchybienie w pracy systemu, którego skutkiem może być przerwa w funkcjonowaniu całości lub części systemu [8]. Dlatego też dla szczególnie ważnych podsystemów stosuje się zasilanie urządzeń z trzech źródeł. Pierwszym jest zasilanie podstawowe. W przypadku jego zaniku następuje automatyczne przełączenie na rezerwowe źródło zasilania (UPS). W przypadku jego uszkodzenia następuje przełączenie na zasilanie w postaci agregatu prądotwórczego. Strukturalny szkic systemu zasilania, zawierającego te trzy niezależne źródła energii, przeznaczonego dla systemu telematiki transportu przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Przykład zasilania systemu telematiki transportu z trzech źródeł zasilania

Analizując system zasilania przedstawiony na rys. 1, można stwierdzić, iż relacje w nim zachodzące w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym mogą być zobrazowane, jak ukazano to na rys. 2.



Rys. 2. Relacje w systemie zasilania systemu telematki transportu

Oznaczenia na rys. 2:

- $R_O(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdolności 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 zawadności bezpieczeństwa S_B ,
- λ_{ZB1} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdolności 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 zawadności bezpieczeństwa S_B ,
- μ_{PZ1} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu pełnej zdolności S_{PZ} ,
- μ_{PZ2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,

- μ_{PZ3} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,
- μ_{B0} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,
- μ_{B2} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu pełnej zdatności S_{PZ} .

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

Będąc w stanie pełnej zdatności S_{PZ} , w przypadku uszkodzenia zasilania podstawowego 230 V 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 230 V 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 zasilaczowi rezerwowemu UPS.

Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} , w przypadku uszkodzenia agregatu prądowórczego 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 zdatności agregatowi prądowórczemu.

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

Będąc w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B , możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} w przypadku przywrócenia stanu zdatności dwóm źródłom zasilania, tj. zasilaniu rezerwowemu UPS i agregatowi prądowórczemu.

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

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

Przyjmując warunki początkowe:

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

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

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

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

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

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

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

gdzie:

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

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

3. Podsumowanie

Inteligentne systemy transportowe są projektowane z uwzględnieniem licznych uwarunkowań prawnych i organizacyjnych oraz indywidualnych potrzeb użytkowników. W związku z tym nie są one systemami gotowymi, a ich wdrożenie wymaga jasnego zdefiniowania wymagań funkcjonalnych i technicznych, a także opisu przedmiotu zamówienia wykorzystywanego w związku z procedurami zamówień publicznych. Podstawowym celem stosowania rozwiązań telematycznych jest w ogólności poprawa wydajności i bezpieczeństwa ruchu (tj. zmniejszenie liczby wypadków drogowych, zmniejszenie ciężkości wypadków w postaci zmniejszenia liczby ofiar śmiertelnych, ciężko rannych i rannych lub liczby wypadków z udziałem niechronionych uczestników ruchu – motocyklistów,

rowerzystów i pieszych) [7]. Dlatego bardzo ważna jest również niezawodność takich systemów.

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z zapewnieniem ciągłości zasilania w systemach telematyki transportu. Bez odpowiednio zaprojektowanych układów zasilania z uwzględnieniem nadmiarowości nie jest możliwe zapewnienie odpowiednich wartości wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych [11].

Przeanalizowano trójtorowy układ zasilania systemu telematyki transportu w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym. Przyjmując cztery stany (pełnej zdadności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} i zawodności bezpieczeństwa S_B) oraz określone przejścia pomiędzy nimi, wyznaczono zależności pozwalające na obliczenie prawdopodobieństw przebywania układu zasilania systemu telematyki transportu w wymienionych stanach. Otrzymane zależności umożliwiają określenie wpływu poszczególnych intensywności przejść na wartości wyznaczonych prawdopodobieństw. W dalszych badaniach przewiduje się przeprowadzenie analiz z zakresu racjonalizacji intensywności przywracania stanów zdadności poszczególnych torów zasilania.

4. Literatura

1. Billinton R., Allan R.N.: Reliability evaluation of power systems. Plenum Press, New York 1996.
2. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basis of the exploitation of transport electronic systems. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
3. Janusova L., Cicomancova S.: Improving safety of transportation by using intelligent transportation systems. 9th International Scientific Conference Transbaltica 2015, Procedia Engineering 134, 2016.
4. Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S.: Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol. 16, No. 2, 2014.
5. Kasprzyk Z., Siergieżyk M.: Some problems of functional analysis of electronic toll collection system (ViaToll). W: Activities of transport telematics, w serii „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 395, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2013.
6. Lobov B.N., Kolpakhch'yan P.G., Belokopytov S.A., Al Dzurni Raghad Ali Madzhid: A choice of the structure of the photovoltaic system for power supply. Russian Electrical Engineering, 86(7), 2015.
7. Losurdo F., Dileo I., Siergieżyk M., Krzykowska K., Krzykowski M.: Innovation in the ICT infrastructure as a key factor in enhancing road safety: a multi-sectoral approach. Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng

- 2017, red.: Henry Selvaraj, Grzegorz Chmaj and Dawid Zydek, IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), Las Vegas, Nevada, USA, 2017.
8. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol. 19, No. 3, 2017.
 9. Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
 10. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Grieco L.A.: Reliability and viewpoints of selected ITS system. Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng 2017, red.: Henry Selvaraj, Grzegorz Chmaj and Dawid Zydek, IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), Las Vegas, Nevada, USA, 2017.
 11. 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*, Vol. 10, Iss. 9, 2016.
 12. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Modeling of process of exploitation of transport telematics systems with regard to electromagnetic interferences. W: *Tools of transport telematics*, w serii – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531, Springer, 2015.
 13. Siergiejczyk M., Rosiński A., Dziula P., Krzykowska K.: Reliability-exploitation analysis of highway transport telematics systems. *Journal of KONBiN*, Vol. 33, 2015. DOI10.1515/jok-2015-0015.
 14. Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K.: Reliability-exploitation analysis of the alarm columns of highway emergency communication system. *Journal of KONBiN* Vol. 38, 2016. DOI 10.1515/jok-2016-0018.
 15. Soliman S.A., Mantawy A.H.: Modern optimization techniques with applications in electric power systems. Springer Science+Business Media, 2012.
 16. Sozański J.: Reliability of electric power supply. WNT, Warszawa 1990.
 17. Sumper A., Baggini A.: Electrical energy efficiency: technologies and applications. John Wiley & Sons Ltd, 2012.
 18. Wang L. (ed.): Modeling and control of sustainable power systems. Springer-Verlag, 2012.
 19. Wiatr J., Miegoń M.: Zasilacze UPS oraz baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego. Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2008.
 20. Zhuhadar L., Thrasher E., Marklin S., Ordenez de Pablos P.: The next wave of innovation - Review of smart cities intelligent operation systems. *Computers in Human Behavior*, No. 66, 2017.

