RELIABILITY ANALYSIS OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF CLOSED-CIRCUIT TELEVISION SYSTEM USED AT A HIGHWAY TOLL COLLECTION POINT

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWA UKŁADU ZASILANIA SYSTEMU MONITORINGU WIZYJNEGO ZASTOSOWANEGO W AUTOSTRADOWYM PUNKCIE POBORU OPŁAT

Adam Rosiński

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

Abstract: The article presents issues concerning the power supply systems of closed-circuit television systems used at a highway toll collection point. The general diagram of the power supply system was presented, and then the reliability analysis was conducted. This enabled to develop a relationships graph, on the basis of which the Chapman–Kolmogorov system of equations describing it was created. On this basis, it was possible to set the relationships allowing to calculate the probability values of the system's staying (in symbolic terms) in the following functional states: of full ability S_{PZ} , of non-full ability S_{ZB1} and S_{ZB2} , and of unfitness S_B .

Keywords: Closed-circuit television, reliability, power supply

Streszczenie: W artykule zaprezentowano zagadnienia dotyczące układów zasilania systemów monitoringu wizyjnego zastosowanych w autostradowym punkcie poboru opłat. Przedstawiono ogólny schemat układu zasilania, zaś następnie przeprowadzono analizę niezawodnościową. Umożliwiło to opracowanie grafu relacji, na podstawie którego utworzono układ równań Kolmogorowa-Chapmana opisujący go. Na tej podstawie możliwe było wyznaczenie zależności pozwalających na obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania systemu (w ujęciu symbolicznym) w stanach funkcjonalnych: pełnej zdatności S_{PZ} , niepełnej zdatności S_{NZ1} i S_{NZ2} oraz niezdatności S_N .

Słowa kluczowe: systemy monitoringu wizyjnego, niezawodność, zasilanie

RELIABILITY ANALYSIS OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF CLOSED-CIRCUIT TELEVISION SYSTEM USED AT A HIGHWAY TOLL COLLECTION POINT

1. Introduction

Transport telematics is a field of knowledge and technical activity, which integrates information technology and telecommunication in a variety of applications for the needs of transport systems. This allows travellers, carriers, and entities providing transport services to design, implement, and then use the integrated measurement, telecommunication, information technology, information systems, as well as telematics applications.

One of more important functions of transport telematics systems are information handling that is acquiring, processing, distributing with transmission, and using data in decision-making processes in the field of transport [11,18,19]. The processes can be executed as previously determined (e.g. automatic control) or result from the occurrence of transport situations. Then, the decisions are made by the most authorised persons, e.g. disposers, dispatchers, independent users of the infrastructure.

The highway telematics systems are currently the subject of many scientific developments and considerations [12,13]. This is because, currently, the development of road transport (including, in particular, the highway one in Poland) is a priority (both at the national level as well as in the framework of the projects of the European Union). The traffic density on roads is so large [8] that, without intensive activities aimed at the highways construction and extension, there is a threat of traffic paralysis. Therefore, the highway transport issue is currently in the centre of attention for scientists, designers, and government institutions.

The highway, which is not equipped with telematics equipment adapted to the needs arising from the expected and existing traffic parameters, its territorial course, existing risks, and many other factors, will not meet the expectations of the users and operators, which will cause that using such a solution will be little cost-effective. Therefore, the developments within this area are extremely important.

In this paper, special attention was focused on closed-circuit television systems used in highway toll collection points. Previous considerations concerned various aspects of the different systems of transport telematics [4,14,17] (also with regard to electromagnetic compatibility [3,15]). In the operation of this kind of solutions, issues related to the proper design and operation of power supply systems in the legal aspect are very important [5,6]. The reliability analysis of the system was presented in the subsequent sections of this paper.

2. Highway telematics

The highway telematics systems consist of many subsystems. The tasks executed by individual subsystems make up all the functions of the transport telematics system. Thanks to this, it is possible to effectively monitor and control the traffic, to predict dangerous situations, to manage traffic incidents, as well as to maintain the roads and execute other activities (including public safety), necessary for the proper highway operation.

The highway telematics means the use of various ICT systems on highways in order to obtain benefits and synergy. These may include, among others, an increase in the travel and carriers' safety, reduction of environmental degradation, an increase in the transport processes efficiency, more rational use of road infrastructure, and achieving the improvement of economic indicators of highway operators.

The highway telematics consists of the management centre of transport, passenger traffic, vehicle traffic, drivers, goods transfer, as well as movable objects (cars, buses, etc.). The Intelligent Transport Telematics System as well as the road, vehicle, driver, and transport service management subsystem based on the real-time telecommunication constitute a logical sequence that allows to control the people, vehicles, and goods movement under variable environmental conditions. One of more important subsystems is the closed-circuit television system. It allows, among others, to assess the situation on the highway by visualizing events in management centres. This type of system is also used in highway toll collection points (fig. 1).

Fig. 1. Example of using a closed-circuit television system at a highway toll collection point [source: own development]

It fulfils, among others, a preventive role as events occurring at different positions of a toll collection plaza are usually recorded on hard drives of digital video recorders.

The reliable operation of the closed-circuit television systems is essential [1,9,10]. That is why it is important to not only analyse their operation [7] (also in terms of the effect of vibrations on the image received from the cameras [2]), but also to consider the reliability and operation scope [16], with particular emphasis on their power supply systems.

3. Reliability analysis of the closed-circuit television system

Figure 2 shows the general power supply diagram of the closed-circuit television system that can be applied in the highway toll collection point. The basic power supply is a power lines from a transformer station. In the absence of this power supply, it automatically switches to reserve power supply in the form of UPS.

Fig. 2. Example of power supply of the closed-circuit television systems from two sources [source: own development]

Figure 3 shows the reliability structure of the entire closed-circuit television system. In the power supply system, the structural excess (hot backup) is used.

Fig. 3. Reliability structure of the closed-circuit television system [source: own development]

Conducting the analysis of the system shown in figs. 2 and 3, it can be stated that the relationships taking place in it, in reliability terms, can be visualised as shown in fig. 4. It was assumed that the model with no renewal is considered because probabilities of the system's staying in the distinguished states are interesting at this stage of the analysis.

The state of full ability S_{PZ} is a state, in which the entire closed-circuit television system functions properly (including both power supplies). The state of non-full ability S_{NZ1} is a state in which the basic power supply is unfit. The state of non-full ability S_{NZ2} is a state in which the components of the closed-circuit television are unfit. The state of unfitness S_N is a state, in which both power supply sources are unfit.

Fig. 4. Relationships in the entire closed-circuit television system
[source: own development]

Markings in fig.: $R_O(t)$ – the function of probability of the system's staying in the state of full ability S_{PZ} , $Q_{NZ1}(t)$ – the function of probability of the system's staying in the state of non-full ability S_{NZ1} , $Q_{NZ2}(t)$ – the function of probability of the system's staying in the state of non-full ability S_{NZ2} , $Q_N(t)$ – the function of probability of the system's staying in the state of unfitness S_N , λ_{NZ1} – transition rate from the state of full ability S_{PZ} to the state of non-full ability S_{NZ1} , λ_{NZ2} – transition rate from the state of full ability S_{PZ} to the state of non-full ability S_{NZ2} , λ_{NZ3} – transition rate from the state of non-full ability S_{NZ1} to the state of non-full ability S_{NZ2} , λ_N – transition rate from the state of non-full ability S_{NZ1} to the state of unfitness S_N .

While being in the state of full ability S_{PZ} , in the event of damage to the basic power supply, the transition from the state of non-full ability of S_{NZ1} with rate λ_{NZ1} . While being in the state of non-full ability of S_{NZ1} , it is possible to transit from the state of unfitness S_N in case of damage to the reserve power supply (with rate λ_N). If the system is in the state of full ability S_{PZ} and the components of the closed-circuit television system are damaged, there will be transition from the state of non-full ability S_{NZ2} with rate λ_{NZ2} . The transition to this state is also possible if the system is in the state of non-full ability S_{NZ1} (with rate λ_{NZ3}).

The above analysis assumes that the operation time of all the components until their damage has exponential distribution.

The system shown in Fig. 4 can be described by the following Chapman–Kolmogorov equations:

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{NZ1} \cdot R_0(t) - \lambda_{NZ2} \cdot R_0(t) \\ Q_{NZ1}'(t) &= \lambda_{NZ1} \cdot R_0(t) - \lambda_N \cdot Q_{NZ1}(t) - \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}(t) \\ Q_{NZ2}'(t) &= \lambda_{NZ2} \cdot R_0(t) + \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}(t) \\ Q_N'(t) &= \lambda_N \cdot Q_{NZ1}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Assuming baseline condition:

$$\begin{aligned} R_0(0) &= 1 \\ Q_{NZ1}(0) &= Q_{NZ2}(0) = Q_N(0) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{NZ1} \cdot R_0^*(s) - \lambda_{NZ2} \cdot R_0^*(s) \\ s \cdot Q_{NZ1}^*(s) &= \lambda_{NZ1} \cdot R_0^*(s) - \lambda_N \cdot Q_{NZ1}^*(s) - \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}^*(s) \\ s \cdot Q_{NZ2}^*(s) &= \lambda_{NZ2} \cdot R_0^*(s) + \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}^*(s) \\ s \cdot Q_N^*(s) &= \lambda_N \cdot Q_{NZ1}^*(s) \end{aligned} \quad (3)$$

Probabilities of the system staying in the distinguished maintenance states from the symbolic (Laplace's) perspective are in the following form:

$$\begin{aligned} R_0^*(s) &= \frac{1}{s + \lambda_{NZ1} + \lambda_{NZ2}} \\ Q_{NZ1}^*(s) &= \frac{\lambda_{NZ1}}{s^2 + s \cdot \lambda_N + s \cdot \lambda_{NZ1} + s \cdot \lambda_{NZ2} + s \cdot \lambda_{NZ3} + \lambda_N \cdot \lambda_{NZ1} + \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}} \\ Q_{NZ2}^*(s) &= \frac{s \cdot \lambda_{NZ2} + \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}}{s^3 + s^2 \cdot \lambda_N + s^2 \cdot \lambda_{NZ1} + s^2 \cdot \lambda_{NZ2} + s^2 \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ1} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + s \cdot \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}} \\ Q_N^*(s) &= \frac{\lambda_N \cdot \lambda_{NZ1}}{s^3 + s^2 \cdot \lambda_N + s^2 \cdot \lambda_{NZ1} + s^2 \cdot \lambda_{NZ2} + s^2 \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ1} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + s \cdot \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}} \end{aligned} \quad (4)$$

In the above outcome, the symbols “*” and “s” near the probabilities of the system’s staying in the distinguished states R_O , Q_{NZ1} , Q_{NZ2} , Q_N were omitted in the markings.

By conducting further mathematical analysis, relationships allowing to determine the probability of the system’s staying in the following states are obtained: of full ability S_{PZ} , of non-full ability S_{NZ1} and S_{NZ2} , as well as of unfitness S_N .

By using computer aid, the values of the probabilities of the entire closed-circuit television system’s staying in the distinguished states can be determined. Such a procedure is shown in the following example.

Example

Assuming the following values describing the analysed system:

- duration of research – 1 year:

$$t = 8760 [h]$$

- transition rate from the state of full ability S_{PZ} to the state of non-full ability S_{NZ1} :

$$\lambda_{NZ1} = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- transition rate from the state of full ability S_{PZ} to the state of non-full ability S_{NZ2} :

$$\lambda_{NZ2} = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- transition rate from the state of non-full ability S_{NZ1} to the state of non-full ability S_{NZ2} :

$$\lambda_{NZ3} = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- transition rate from the state of non-full ability S_{NZ1} to the state of unfitness S_N :

$$\lambda_N = 0,0000001 \left[\frac{1}{h} \right]$$

The transition rate value $\lambda = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$ corresponds to the ability $R = 0,995$.

The transition rate value $\lambda = 0,0000001 \left[\frac{1}{h} \right]$ corresponds to the ability $R = 0,999$.

For the above input values using equations (4) and the inverse Laplace transform, we obtain:

$$R_0 = 0,989543058$$

$$Q_{NZ1} = 0,005212445$$

$$Q_{NZ2} = 0,005242207$$

$$Q_N = 0,000002289$$

4. Conclusion

The issues presented in the paper concerned the power supply systems of the closed-circuit television systems used at a highway toll collection point. The general power supply diagram was presented and the reliability analysis was conducted. This allowed to propose a relationships graph, on the basis of which the Chapman–Kolmogorov system of equations describing it was derived. On this basis, it was possible to set the relationships allowing to determine the probability of the system's staying (in symbolic terms) in the following states: of full ability S_{PZ} , of non-full ability S_{NZ1} and S_{NZ2} , as well as of unfitness S_N . In further scientific considerations, it is planned to develop a model of the system taking into account renewals and to conduct analyses (with graphical interpretation) allowing to determine the impact of various rates on the probability values of the system's staying in the distinguished states.

5. References

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Basics of exploitation, vol. II Basic of operational reliability. Military University of Technology, Warsaw 2006.
- [2] Burdzik R., Konieczny Ł.: Research on structure, propagation and exposure to general vibration in passenger car for different damping parameters. Journal of Vibroengineering Vol. 15, Issue 4, 2013, pp. 1680-1688.
- [3] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basis of the exploitation of transport electronic systems. Publisher Technical University of Radom, Radom 2011.
- [4] Kierzkowski A., Kisiel T.: Airport security screeners reliability analysis. In: „Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2015”, Singapore 2015. pp. 1158-1163.
- [5] Krzykowski M.: Protection of vulnerable customers of electricity and gaseous fuels – legal conditions. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, vol. 17, no. 3, 2014. str. 257–268.
- [6] Krzykowski M.: Rozstrzyganie sporów pomiędzy deweloperem a przedsiębiorstwem energetycznym na tle umów przyłączeniowych. Praca zbiorowa „Działalność deweloperska w praktyce obrotu gospodarczego. Wybrane zagadnienia” pod redakcją Królikowska–Olczak M, Bieranowski A., Zięty J. Warszawa 2014. str. 331-344.

- [7] Laskowski D., Łubkowki P.: The end-to-end rate adaptation application for real-time video monitoring. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing AG, Switzerland, Volume 224, 2013. pp. 295-305.
- [8] Lewczuk K., Zak J., Pyza D., Jacyna-Golda I.: Vehicle routing in an urban area: Environmental and technological determinants. *WIT Transactions on the Built Environment*, Vol.130, 2013. pp. 373-384.
- [9] Paś J.: Operation of electronic transportation systems. Publishing House University of Technology and Humanities in Radom, Radom 2015.
- [10] Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
- [11] Rychlicki M., Kasprzyk Z.: Increasing performance of SMS based information systems. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014. pp. 373-382.
- [12] Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A.: Reliability analysis of highway emergency response systems. *Journal Of KONBiN* nr 4(24)2012, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warsaw 2012. str. 105–113.
- [13] Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A.: Reliability-maintenance analysis of highway emergency communication systems. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S., CRC Press/Balkema, London 2015. pp. 349-354.
- [14] Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A.: Reliability assessment of cooperation and replacement of surveillance systems in air traffic. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, editors: Zamojski W., Mazurkiewicz J., Sugier J., Walkowiak T., Kacprzyk J., given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014. pp. 403–411.
- [15] 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, 2016, pp. 587–593.
- [16] Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K.: Reliability assessment of supporting satellite system EGNOS. In: W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk (eds) *New results in dependability and computer systems*, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent and soft computing”, Vol. 224. Springer, 2013. pp. 353-364.

- [17] Skorupski J., Uchroński P.: A fuzzy reasoning system for evaluating the efficiency of cabin luggage screening at airports. *Transportation Research Part C - Emerging Technologies* 54, 2015. pp. 157-175.
- [18] 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: L. Podofillini, B. Sudret, B. Stojadinovic, E. Zio, W. Kröger. CRC Press/Balkema, 2015. pp. 2685-2691.
- [19] Sumiła M., Miskiewicz A.: Analysis of the problem of interference of the public network operators to GSM-R. In: the monograph „Tools of Transport Telematics”, editors: J. Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531, Springer, 2015, pp. 76-82.

***Dr hab. inż. Adam Rosiński** - research interests include the analysis of reliability-exploitation transport systems telematics and intelligent transport systems. The scientific output has dozens of scientific publications.*

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWA UKŁADU ZASILANIA SYSTEMU MONITORINGU WIZYJNEGO ZASTOSOWANEGO W AUTOSTRADOWYM PUNKCIE POBORU OPŁAT

1. Wstęp

Telematyka transportu jest dziedziną wiedzy i działalności technicznej, która integruje informatykę i telekomunikację w różnorodnych zastosowaniach dla potrzeb systemów transportowych. Umożliwia to projektowanie, wdrażanie, a następnie korzystanie z zintegrowanych systemów pomiarowych, telekomunikacyjnych, informatycznych, informacyjnych oraz aplikacji telematycznych, zarówno przez podróżnych i przewoźników jak i podmiotów zajmujących się świadczeniem usług dla potrzeb transportu.

Jedną z ważniejszych funkcji systemów telematyki transportu jest operowanie informacją, czyli pozyskiwanie, przetwarzanie, dystrybucja z transmisją i wykorzystanie danych w procesach decyzyjnych z zakresu transportu [11,18,19]. Procesy mogą być realizowane w sposób wcześniej zdeterminowany (np. automatyczne sterowanie), lub też wynikać z zaistniałych sytuacji transportowych. Wówczas decyzje podejmują najczęściej osoby upoważnione, np. dysponenci, dyspozytorzy, niezależni użytkownicy infrastruktury.

Systemy telematyki autostradowej są obecnie przedmiotem wielu opracowań i rozważań naukowych [12,13]. Dzieje się tak, ponieważ obecnie rozwój transportu drogowego (w tym w szczególności w Polsce autostradowego) jest priorytetem (zarówno na szczeblu krajowym, jak też w ramach projektów Unii Europejskiej). Gęstość ruchu na drogach kołowych jest tak duża [8], że bez intensywnych działań w kierunku budowy i rozbudowy autostrad grozi paraliż komunikacyjny. Zatem problematyka transportu autostradowego jest w centrum zainteresowania naukowców, projektantów i instytucji rządowych.

Autostrada, która nie jest wyposażona w odpowiedni sprzęt telematyczny dostosowany do potrzeb wynikających ze spodziewanych i istniejących parametrów ruchu, jego przebiegu terytorialnego, istniejących zagrożeń i wielu innych czynników nie będzie spełniać oczekiwań użytkowników i eksploatorów powodując, że użytkowanie takiego rozwiązania będzie mało efektywne ekonomicznie. Dlatego tak istotne są opracowania z tego obszaru.

W niniejszym artykule szczególną uwagę skupiono na systemach monitoringu wizyjnego stosowanych w autostradowych punktach poboru opłat. Poprzednie rozważania dotyczyły różnorodnych aspektów różnych systemów telematyki transportu [4,14,17] (także z uwzględnieniem kompatybilności elektromagnetycznej [3,15]).

W funkcjonowaniu tego typu rozwiązań bardzo ważne są kwestie związane z prawidłowym zaprojektowaniem i funkcjonowaniem układów zasilania w aspekcie prawnym [5,6]. Analiza niezawodnościowa systemu została zaprezentowana w kolejnych rozdziałach niniejszego artykułu.

2. Telematyka autostradowa

Systemy telematyki autostradowej składają się z wielu podsystemów. Zadania wykonywane przez poszczególne podsystemy składają się na całość funkcji systemu telematyki transportu. Dzięki temu możliwe jest efektywne nadzorowanie i sterowania ruchem, predykcja sytuacji niebezpiecznych, zarządzanie zdarzeniami drogowymi, utrzymanie dróg i realizacja innych czynności (w tym z zakresu bezpieczeństwa publicznego), niezbędnych do właściwej eksploatacji autostrady.

Telematyka autostradowa to zastosowanie różnych systemów teleinformatycznych na autostradach w celu uzyskania korzyści i efektu synergii. Można do nich zaliczyć m.in. zwiększenie bezpieczeństwa podróży i przewoźników, zmniejszenie degradacji środowiska, zwiększenie sprawności procesów transportowych, bardziej racjonalne wykorzystanie infrastruktury drogowej, uzyskanie poprawy wskaźników ekonomicznych operatorów autostrad.

W skład telematyki autostradowej wchodzi zarówno centrum zarządzania transportem, ruchem pasażerów, pojazdów, kierowców, towarów, jak też obiekty ruchome (samochody, autokary, itd.). Inteligentny Telematyczny System Transportowy, podsystem zarządzania drogą, pojazdem, kierowcą, usługą transportową w oparciu o telekomunikację czasu rzeczywistego, tworzą logiczny ciąg umożliwiający kontrolę nad przemieszczaniem ludzi, pojazdów i towarów w zmiennych warunkach środowiska. Jednym z istotniejszych podsystemów jest system monitoringu wizyjnego. Umożliwia on m.in. ocenę sytuacji na autostradzie poprzez wizualizację zdarzeń w centrach zarządzania. Tego typu system jest też stosowany w autostradowych punktach poboru opłat (rys. 1). Pełni on m.in. rolę prewencyjną, ponieważ zdarzenia zaistniałe na poszczególnych stanowiskach placu poboru opłat są rejestrowane zazwyczaj na dyskach twardych cyfrowych rejestratorów wizyjnych.

Rys. 1. Przykład zastosowania systemu monitoringu wizyjnego w autostradowym punkcie poboru opłat[źródło: opracowanie własne]

W systemach monitoringu wizyjnego istotne jest by niezawodnie funkcjonowały [1,9,10]. Dlatego też tak ważna jest nie tylko analiza ich funkcjonowania [7] (także w aspekcie wpływu drgań na otrzymany obraz z kamer [2]), ale także rozważania z zakresu niezawodnościowo-eksploatacyjnego [16], ze szczególnym uwzględnieniem ich układów zasilania.

3. Analiza niezawodnościowa systemu monitoringu wizyjnego

Na rys. 2 przedstawiono ogólny schemat układu zasilania systemu monitoringu wizyjnego, jaki może być zastosowany w autostradowym punkcie poboru opłat. Zasilaniem podstawowym jest linia energetyczna ze stacji transformatorowej. W przypadku braku tego zasilania, następuje automatyczne przełączenie na zasilanie rezerwowe w postaci zasilacza UPS.

Rys. 2. Przykład zasilania systemów monitoringu wizyjnego z dwóch źródeł
[źródło: opracowanie własne]

Struktura niezawodnościowa całego systemu monitoringu wizyjnego została przedstawiona na rys. 3. W układzie zasilania jest zastosowany nadmiar strukturalny (rezerwa gorąca).

Rys. 3. Struktura niezawodnościowa całego systemu monitoringu wizyjnego
[źródło: opracowanie własne]

Przeprowadzając analizę systemu przedstawionego na rys. 2 i 3, można stwierdzić iż relacje w nim zachodzące w aspekcie niezawodnościowym mogą być zobrazowane tak jak ukazano to na rys. 4. Założono, że rozpatrywany jest model bez odnowy, ponieważ na tym etapie analizy interesujące są prawdopodobieństwa przebywania systemu w wyróżnionych stanach.

Stan pełnej zdatności S_{PZ} jest stanem w którym prawidłowo funkcjonuje cały system monitoringu wizyjnego (w tym także oba źródła zasilania). Stan niepełnej zdatności S_{NZ1} jest stanem w którym zasilanie podstawowe jest niezdatne. Stan niepełnej zdatności S_{NZ2} jest stanem w którym niezdatne są elementy systemu monitoringu wizyjnego. Stan niezdatności S_N jest stanem w którym oba źródła zasilania są niezdatne.

Rys. 4. Relacje w całym systemie monitoringu wizyjnego
[źródło: opracowanie własne]

Oznaczenia na rys.: $R_O(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności S_{PZ} , $Q_{NZ1}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niepełnej zdatności S_{NZ1} , $Q_{NZ2}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niepełnej zdatności S_{NZ2} , $Q_N(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie niezdatności S_N , λ_{NZ1} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} , λ_{NZ2} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu niepełnej zdatności S_{NZ2} , λ_{NZ3} – intensywność przejść ze stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} do stanu niepełnej zdatności S_{NZ2} , λ_N – intensywność przejść ze stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} do stanu niezdatności S_N .

Będąc w stanie pełnej zdatności S_{PZ} w przypadku uszkodzenia zasilania podstawowego następuje przejście do stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} z intensywnością λ_{NZ1} . Będąc w stanie niepełnej zdatności S_{NZ1} możliwe jest przejście do stanu niezdatności S_N w przypadku uszkodzenia zasilania rezerwowego (z intensywnością λ_N).

Jeśli system znajduje się w stanie pełnej zdatności S_{PZ} i nastąpi uszkodzenie elementów systemu monitoringu wizyjnego to następuje przejście do stanu niepełnej zdatności S_{NZ2} z intensywnością λ_{NZ2} . Przejście do tego stanu możliwe jest też, jeśli system znajduje się w stanie niepełnej zdatności S_{NZ1} (z intensywnością λ_{NZ3}).

W powyższej analizie założono, że czas pracy wszystkich elementów do ich uszkodzenia ma rozkład wykładniczy.

System przedstawiony na rys. 4 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{NZ1} \cdot R_0(t) - \lambda_{NZ2} \cdot R_0(t) \\ Q_{NZ1}'(t) &= \lambda_{NZ1} \cdot R_0(t) - \lambda_N \cdot Q_{NZ1}(t) - \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}(t) \\ Q_{NZ2}'(t) &= \lambda_{NZ2} \cdot R_0(t) + \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}(t) \\ Q_N'(t) &= \lambda_N \cdot Q_{NZ1}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$\begin{aligned} R_0(0) &= 1 \\ Q_{NZ1}(0) &= Q_{NZ2}(0) = Q_N(0) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{NZ1} \cdot R_0^*(s) - \lambda_{NZ2} \cdot R_0^*(s) \\ s \cdot Q_{NZ1}^*(s) &= \lambda_{NZ1} \cdot R_0^*(s) - \lambda_N \cdot Q_{NZ1}^*(s) - \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}^*(s) \\ s \cdot Q_{NZ2}^*(s) &= \lambda_{NZ2} \cdot R_0^*(s) + \lambda_{NZ3} \cdot Q_{NZ1}^*(s) \\ s \cdot Q_N^*(s) &= \lambda_N \cdot Q_{NZ1}^*(s) \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$R_0^*(s) = \frac{1}{s + \lambda_{NZ1} + \lambda_{NZ2}}$$

$$Q_{NZ1}^*(s) = \frac{\lambda_{NZ1}}{s^2 + s \cdot \lambda_N + s \cdot \lambda_{NZ1} + s \cdot \lambda_{NZ2} + s \cdot \lambda_{NZ3} + \lambda_N \cdot \lambda_{NZ1} + \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}}$$

$$Q_{NZ2}^*(s) = \frac{s \cdot \lambda_{NZ2} + \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}}{s^3 + s^2 \cdot \lambda_N + s^2 \cdot \lambda_{NZ1} + s^2 \cdot \lambda_{NZ2} + s^2 \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ1} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + s \cdot \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}} \quad (4)$$

$$Q_N^*(s) = \frac{\lambda_N \cdot \lambda_{NZ1}}{s^3 + s^2 \cdot \lambda_N + s^2 \cdot \lambda_{NZ1} + s^2 \cdot \lambda_{NZ2} + s^2 \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ1} + s \cdot \lambda_N \cdot \lambda_{NZ2} + s \cdot \lambda_{NZ1} \cdot \lambda_{NZ3} + s \cdot \lambda_{NZ2} \cdot \lambda_{NZ3}}$$

W powyższym wyniku pominięto w oznaczeniach symbol „*” i „s” przy prawdopodobieństwach przebywania systemu w wyróżnionych stanach R_0 , Q_{NZ1} , Q_{NZ2} , Q_N .

Przeprowadzając dalszą analizę matematyczną otrzymuje się zależności pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania systemu w stanach: pełnej zdatności S_{PZ} , niepełnej zdatności S_{NZ1} i S_{NZ2} oraz niezdatności S_N .

Stosując wspomaganie komputerowe można wyznaczyć wartości prawdopodobieństw przebywania całego systemu monitoringu wizyjnego w wyróżnionych stanach. Postępowanie takie przedstawia poniższy przykład.

Przykład

Przyjmijmy następujące wartości opisujące analizowany układ:

- czas badań – 1 rok:

$$t = 8760 [h]$$

- intensywność przejść ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} :

$$\lambda_{NZ1} = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- intensywność przejść ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu niepełnej zdatności S_{NZ2} :

$$\lambda_{NZ2} = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$$

-
- intensywność przejść ze stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} do stanu niepełnej zdatności S_{NZ2} :

$$\lambda_{NZ3} = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- intensywność przejść ze stanu niepełnej zdatności S_{NZ1} do stanu niezdatności S_N :

$$\lambda_N = 0,0000001 \left[\frac{1}{h} \right]$$

Wartość intensywności przejść $\lambda = 0,0000006 \left[\frac{1}{h} \right]$ odpowiada niezawodności $R = 0,995$.

Wartość intensywności przejść $\lambda = 0,0000001 \left[\frac{1}{h} \right]$ odpowiada niezawodności $R = 0,999$.

Dla powyższych wartości wejściowych z wykorzystaniem równań (4) oraz odwrotnych transformat Laplace'a otrzymujemy:

$$R_0 = 0,989543058$$

$$Q_{NZ1} = 0,005212445$$

$$Q_{NZ2} = 0,005242207$$

$$Q_N = 0,000002289$$

4. Podsumowanie

Problematyka przedstawiona w artykule dotyczyła układów zasilania systemów monitoringu wizyjnego zastosowanych w autostradowym punkcie poboru opłat. Przedstawiono ogólny schemat układu zasilania, zaś następnie przeprowadzono analizę niezawodnościową. Umożliwiło to opracowanie grafu relacji, na podstawie którego utworzono układ równań Kołmogorowa-Chapmana opisujący go. Na tej podstawie możliwe było wyznaczenie zależności pozwalających na obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania systemu (w ujęciu symbolicznym) w stanach: pełnej zdatności S_{PZ} , niepełnej zdatności S_{NZ1} i S_{NZ2} oraz niezdatności S_N . W dalszych rozważaniach naukowych planuje się opracowanie modelu systemu przy uwzględnieniu odnów oraz przeprowadzenie analiz (z interpretacją graficzną) umożliwiających określenie wpływu wartości poszczególnych intensywności na wartości prawdopodobieństw przebywania systemu w wyróżnionych stanach.

5. Literatura

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
- [2] Burdzik R., Konieczny Ł.: Research on structure, propagation and exposure to general vibration in passenger car for different damping parameters. *Journal of Vibroengineering* Vol. 15, Issue 4, 2013, pp. 1680-1688.
- [3] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [4] Kierzkowski A., Kisiel T.: Airport security screeners reliability analysis. In: „Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2015”, Singapore 2015. pp. 1158-1163.
- [5] Krzykowski M.: Ochrona odbiorców wrażliwych energii elektrycznej i paliw gazowych – uwarunkowania prawne. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, tom 17, zeszyt 3, 2014. str. 257–268.
- [6] Krzykowski M.: Rozstrzyganie sporów pomiędzy deweloperem a przedsiębiorstwem energetycznym na tle umów przyłączeniowych. Praca zbiorowa „Działalność deweloperska w praktyce obrotu gospodarczego. Wybrane zagadnienia” pod redakcją Królikowska-Olczak M, Bieranowski A., Zięty J. Warszawa 2014. str. 331-344.
- [7] Laskowski D., Łubkowi P.: The end-to-end rate adaptation application for real-time video monitoring. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing AG, Switzerland, Volume 224, 2013. pp. 295-305.
- [8] Lewczuk K., Zak J., Pyza D., Jacyna-Golda I.: Vehicle routing in an urban area: Environmental and technological determinants. *WIT Transactions on the Built Environment*, Vol.130, 2013. pp. 373-384.
- [9] Paś J.: Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
- [10] Rosiński A.: Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematki transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- [11] Rychlicki M., Kasprzyk Z.: Increasing performance of SMS based information systems. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014. pp. 373-382.
- [12] Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A.: Reliability analysis of highway emergency response systems. *Journal Of KONBiN* nr 4(24)2012, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warsaw 2012. str. 105–113.

- [13] Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A.: Reliability-maintenance analysis of highway emergency communication systems. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S., CRC Press/Balkema, London 2015. pp. 349-354.
- [14] Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A.: Reliability assessment of cooperation and replacement of surveillance systems in air traffic. In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, editors: Zamojski W., Mazurkiewicz J., Sugier J., Walkowiak T., Kacprzyk J., given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014. pp. 403–411.
- [15] 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, 2016, pp. 587–593.
- [16] Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K.: Reliability assessment of supporting satellite system EGNOS. In: W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk (eds) New results in dependability and computer systems, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent and soft computing”, Vol. 224. Springer, 2013. pp. 353-364.
- [17] Skorupski J., Uchroński P.: A fuzzy reasoning system for evaluating the efficiency of cabin luggage screening at airports. Transportation Research Part C - Emerging Technologies 54, 2015. pp. 157-175.
- [18] 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: L. Podofillini, B. Sudret, B. Stojadinovic, E. Zio, W. Kröger. CRC Press/Balkema, 2015. pp. 2685-2691.
- [19] Sumiła M., Miszkiewicz A.: Analysis of the problem of interference of the public network operators to GSM-R. In: the monograph „Tools of Transport Telematics”, editors: J. Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 531, Springer, 2015, pp. 76-82.

Dr hab. inż. Adam Rosiński - zainteresowania naukowe obejmują analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną systemów telematiki transportu oraz inteligentnych systemów transportowych. W dorobku naukowym posiada kilkadziesiąt publikacji naukowych.

Reliability analysis of the power supply system of closed-circuit television system...
Analiza niezawodnościowa układu zasilania systemu monitoringu wizyjnego...