

RELIABILITY-EXPLOITATION ANALYSIS OF THE ALARM COLUMNS OF HIGHWAY EMERGENCY COMMUNICATION SYSTEM

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWO-EKSPLOATACYJNA KOLUMN ALARMOWYCH AUTOSTRADOWEGO SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI ALARMOWEJ

Mirosław Siergiejczyk, Karolina Krzykowska, Adam Rosiński

Warsaw University of Technology

e-mail: msi@wt.pw.edu.pl; kkrzykowska @wt.pw.edu.pl; adro@wt.pw.edu.pl

Abstract: The article presents issues concerning on the alarm columns of highway emergency communication system. The system is presented in general and then the reliability-exploitation analysis was done. This enabled preparing a development graph of the relationship, under which is created a set of Kolmogorov-Chapman equations describing the system. On this basis, it was possible to find the relation for calculating the probabilities of system staying (in symbolic terms) in the functional: states of full ability S_{PZ} , impendency over safety S_{ZB} and unreliability of safety S_B .

Keywords: reliability, exploitation, highway emergency communication system

Streszczenie: W artykule zaprezentowano zagadnienia dotyczące kolumn alarmowych autostradowego systemu łączności alarmowej. Przedstawiono ogólnie ten system, następnie przeprowadzono analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną. 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 funkcjonalnych: pełnej zdolności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B .

Słowa kluczowe: niezawodność, eksploatacja, autostradowy system łączności alarmowej

RELIABILITY-EXPLOITATION ANALYSIS OF THE ALARM COLUMNS OF HIGHWAY EMERGENCY COMMUNICATION SYSTEM

1. Introduction

Transport telematics is a field of knowledge and technical activities integrating information technology with telecommunication applied to various transport systems [9,25]. Therefore, it constitutes transport supported by the use of the integrated measurement and control [1], telecommunication [26,27], IT and information systems as well as telematic applications (services) [15,24]. The application of the mentioned systems allows travellers, carriers and entities providing transport services to design, implement, and use the integrated telematics systems [20,21].

Highway telematics systems are currently the subject of many developments and scientific considerations [5], which are published and presented at both national and international conferences. The reason for this is the fact that the road transport development (including, especially, the highway one) is currently a priority in the various European Union projects. The traffic density on roads is presently so large (and at the same time, its further increase is expected) 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 the centre of attention for scientists, designers, and government institutions (including the European ones).

The highway, which is not equipped with appropriate systems included in the telematics equipment composition, might not meet the expectations of the users and operators, as a result of which its use will be economically inefficient. Therefore, the developments within this area are extremely important. In this paper, the particular attention is paid to the highway emergency communication system. It is one of the systems that is required to be used on the highway. So far, the authors have considered various aspects of this system, but as a whole [16,17,22]. At present, highway alarm columns were subject to the reliability and exploitation analysis. Of course, in this type of considerations, it is necessary to use solutions in terms of proper design [23] and operation of power supply systems [6] (also with regard to the electromagnetic compatibility [19]).

2. Highway emergency communication system

The highway telematics systems may include numerous subsystems. The tasks performed by individual subsystems constitute all the functions, which are implemented and offered by the transport telematics system. It allows to effectively monitor and control the movement, to predict dangerous situation, to manage traffic incidents, as well as maintain the roads and other activities (including public safety), necessary for the proper highway exploitation.

By the use of various ICT systems, the highway telematics allows to obtain benefits and synergy. The advantages of such a solution include, among others, an increase of travel and carriers safety, reduction of environmental degradation [3,4,8], an increase of

the transport processes efficiency, more rational use of road infrastructure, and achieving the improvement of economic indicators of highway operators and carriers.

The highway emergency communication system is used for transmission of reports (e.g. on failures, collisions, etc.) from users being in a given section of the highway section surveillance station. It increases the road safety level on the road sections, where it is applied.

Alarm columns constitute a fundamental element of the highway emergency communication system. They make the communication (unidirectional or bi-directional) possible between a person calling for help and the surveillance centre. The unidirectional communication only allows to signal (by pressing a button to call for help in a column) the report of the need for help to the surveillance centre. In case of using the bi-directional communication (also by pressing a button to call for help in a column), the need for help is reported to the surveillance system, and at the same time a conversation between the surveillance centre operator and the person in need of help is possible. The system user, by pressing the emergency button in the highway alarm column, contributes to sending an identification address of this column to the surveillance centre. This information allows to precisely determine the position of the person in need of help, and the incident location area. Owing to this fact, the surveillance centre operator can take rational measures by sending the relevant emergency and/or technical services.

In Figure 1, a simplified overall communication network architecture was presented. The transmission between the surveillance centre and individual alarm columns takes place with the use of the transmission medium, which is a fibre optic cable. The application of this type of solution is characterised by the transmission high resistance to environmental electromagnetic interference and high bit rate.

The highway emergency communication system consists of the following subsystems:

- surveillance centre – it manages the users' reports received through the highway alarm columns and informs the relevant emergency and/or technical services about the need to take appropriate emergency procedures,
- optoelectronic interface devices – CAP (*Central Access Point*) enables the bidirectional transmission via the fibre optic cable,
- network of passive optic couplers – they are connected with the fibre optic cable designed for the fibre optic emergency communication system. They make it possible to connect all alarm columns on the same branch using one fibre for each branch.
- electro-optical interface – FOB (*Field Optical Box*), it is assigned to each pair of alarm columns and connected with the master alarm column. The connection between FOB and the master alarm column is made by using a short copper multi-couple cable in order to facilitate the maintenance intervention (restoration of the state of ability) in case of damage to the column by e.g. vehicle collision,
- alarm columns (master and slave) – they are located along the highway on both sides creating branches, which allow to send information to the surveillance centre. The master alarm columns consist of an electronic system (audio-frequency amplifier, link input, acoustic system with a microprocessor, modem and interface), microphone, loudspeaker, emergency button.

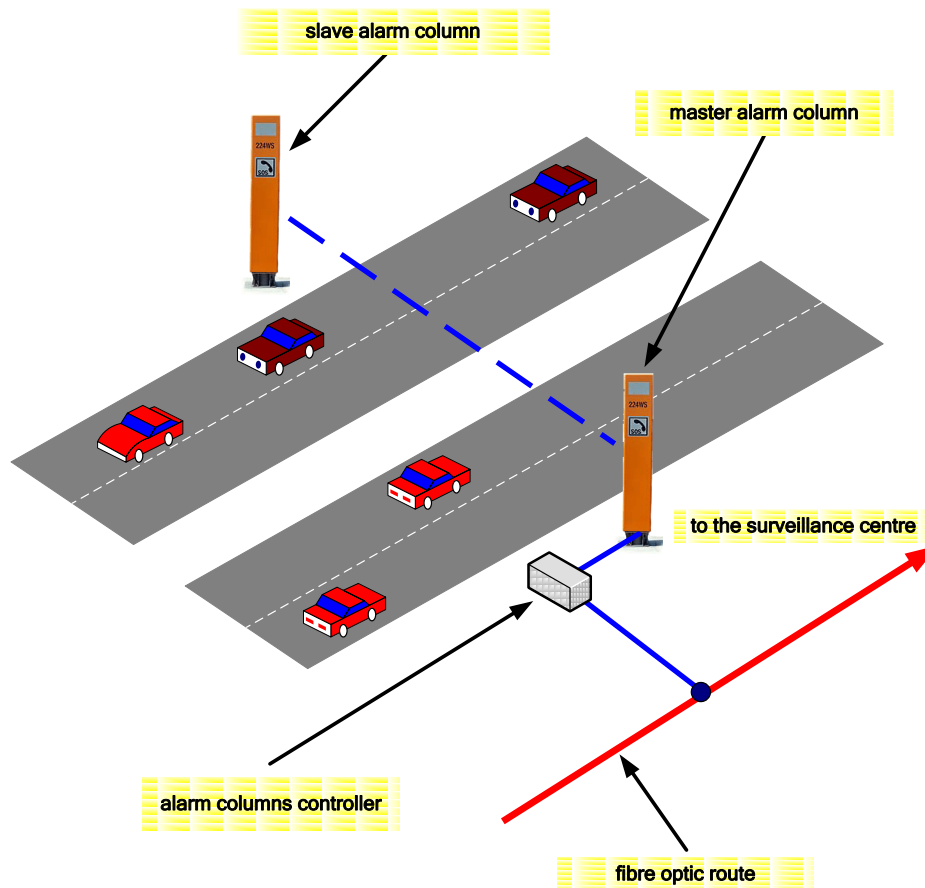


Fig. 1. Overall communication network architecture [source: own development]

Highway emergency communication systems operate in different exploitation conditions. As an element participating in the transport process, it should keep the state of ability [2,12,13,14]. Therefore, the developments in the scope of ensuring adequate reliability and exploitation parameters are so important [7,10,11,18].

3. Reliability and exploitation analysis of the alarm columns system

By conducting the operation analysis of alarm columns of the highway emergency communication system, it is possible to illustrate the relationships occurring in this system, in terms of reliability and exploitation, as it is presented in Fig. 2.

The state of full ability S_{PZ} is a state, in which two alarm columns operate correctly. The state of impendency over safety Q_{ZB} is a state, in which alarm columns are partially unfit (e.g. deterioration of acoustic communication parameters). The state of unreliability of safety Q_B is a state, in which alarm columns do not implement the functions, to which they were designed.

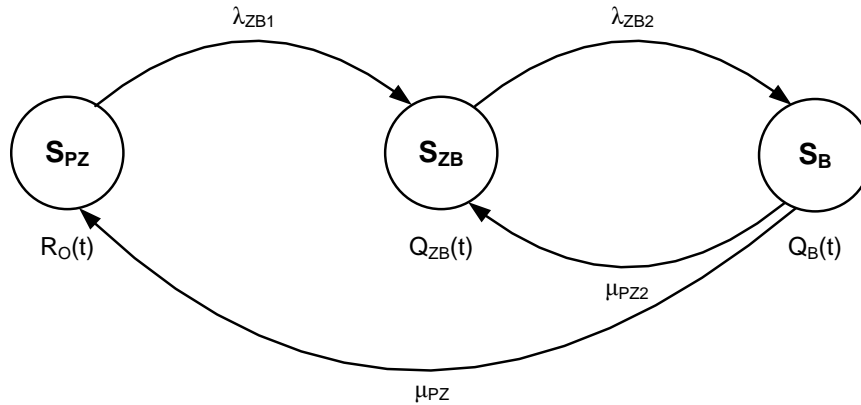


Fig. 2. Relationships in alarm columns of the highway emergency communication system [source: own development]

Markings in Fig.:

- $R_O(t)$ – the probability function of the system's staying in the state of full ability S_{PZ} ,
 $Q_{ZB}(t)$ – the probability function of the system's staying in the state of impendency over safety Q_{ZB} ,
 $Q_B(t)$ – the probability function of the system's staying in the state of unreliability of safety Q_B ,
 λ_{ZB1} – intensity of transitions from the state of full ability S_{PZ} to the state of impendency over safety Q_{ZB} ,
 λ_{ZB2} – intensity of transitions from the state of impendency over safety Q_{ZB} to the state of unreliability of safety Q_B ,
 μ_{PZ2} – intensity of transitions from the state of unreliability of safety Q_B to the state of impendency over safety Q_{ZB} ,
 μ_{PZ} – intensity of transitions from the state of unreliability of safety Q_B to the state of full ability S_{PZ} .

If the alarm columns system is in the state of full ability S_{PZ} and deterioration of the acoustic communication parameters occurs, then the system's transition to the state of impendency over safety S_{ZB} with the intensity λ_{ZB1} takes place.

If there is a state of impendency over safety S_{ZB} , and additionally the damage, which makes it impossible to implement emergency calls (including proper data transmission) occurs, then the transition from the state of unreliability of safety Q_B with the intensity λ_{ZB2} takes place. Returnable transition to the state of impendency over safety S_{ZB} from the state of unreliability of safety Q_B is possible in case of undertaking actions, which provide restoration of the state of partial ability to alarm columns.

The transition from the state of unreliability of safety S_B to the state of full ability S_{PZ} is possible, but it requires undertaking actions of restoring the state of ability of alarm columns of the highway emergency communication system.

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

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ} \cdot Q_B(t) \\ Q_{ZB}'(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}(t) + \mu_{PZ2} \cdot Q_B(t) \\ Q_B'(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_B(t) - \mu_{PZ} \cdot Q_B(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Assuming baseline conditions:

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

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

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

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

$$\begin{aligned} R_0^*(s) &= \frac{s^2 + s \cdot \mu_{PZ} + s \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \mu_{PZ2} + \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}} \\ Q_{ZB1}^*(s) &= \frac{s \cdot \lambda_{ZB1} + \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}} \\ Q_B^*(s) &= \frac{\lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}} \end{aligned} \quad (4)$$

The solution of the above set of equations in the field of time is the next step of the analysis and is not discussed there.

4. Modelling the exploitation process of the alarm columns system

Simulation and computer methods and studies give an opportunity to determine influence of the reliability and exploitation parameters of particular elements on values of indexes describing the entire system relatively fast.

Using computer aid, probability values of the system's staying in the state of full ability R_O , impendency over safety Q_{ZB} and unreliability of safety Q_B 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:

$$t = 8760 \text{ [h]}$$

- partial durability of alarm columns:

$$R_{ZB1}(t) = 0,999$$

- durability of alarm columns:

$$R_{ZB2}(t) = 0,9999$$

- intensity of transitions from the state of impendency over safety to the state of full ability:

$$\mu_{PZ1} = 0,1 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- intensity of transitions from the state of unreliability of safety to the state of impendency over safety:

$$\mu_{PZ2} = 0,1 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- intensity of transitions from the state of unreliability of safety to the state of full ability:

$$\mu_{PZ} = 0,05 \left[\frac{1}{h} \right]$$

By knowing the value of durability $R_{ZB1}(t)$, it is possible to estimate the intensity of transitions from the state of full ability to the state of impendency over safety. Assuming the simplest, exponential model of distribution of usability time, we can use the following relationship:

$$R_{ZB1}(t) = e^{-\lambda_{ZB1}t} \text{ dla } t \geq 0$$

so

$$\lambda_{ZB1} = -\frac{\ln R_{ZB1}(t)}{t}$$

For $t = 8760 [h]$ and $R_{ZB1}(t) = 0,999$ we obtain:

$$\lambda_{ZB1} = -\frac{\ln R_{ZB1}(t)}{t} = -\frac{\ln 0,999}{8760} = 1,142124 \cdot 10^{-7} \left[\frac{1}{h} \right]$$

By knowing the value of durability $R_{ZB2}(t)$, it is possible to estimate the intensity of transitions from the state of full ability to the state of impendency over safety. Assuming the simplest, exponential model of distribution of usability time, we can use the following relationship:

$$R_{ZB2}(t) = e^{-\lambda_{ZB2}t} \text{ dla } t \geq 0$$

so

$$\lambda_{ZB2} = -\frac{\ln R_{ZB2}(t)}{t}$$

For $t = 8760[h]$ and $R_{ZB2}(t) = 0,9999$ we obtain:

$$\lambda_{ZB2} = -\frac{\ln R_{ZB2}(t)}{t} = -\frac{\ln 0,9999}{8760} = 1,141609 \cdot 10^{-8} \left[\frac{1}{h} \right]$$

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

$$R_0 = 0,999$$

$$Q_{ZB} = 0,000999998$$

$$Q_B = 7,6048 \cdot 10^{-11}$$

The intensity of transition from the state of the unreliability of safety to the state of full ability μ_{PZ} is – as it is known (in case of the exponential system) – the reciprocal of time t_{PZ} :

$$\mu_{PZ} = \frac{1}{t_{PZ}}$$

If we assume that time of restoration of full ability t_{PZ} may be in the range $t_{PZ} \in \langle 24; 168 \rangle [h]$ (i.e. after conversion into days $t_{PZ} \in \langle 1 ; 7 \rangle [doba]$), the probability of the analysed system's staying in the state of full ability is illustrated by the chart in Fig. 3.

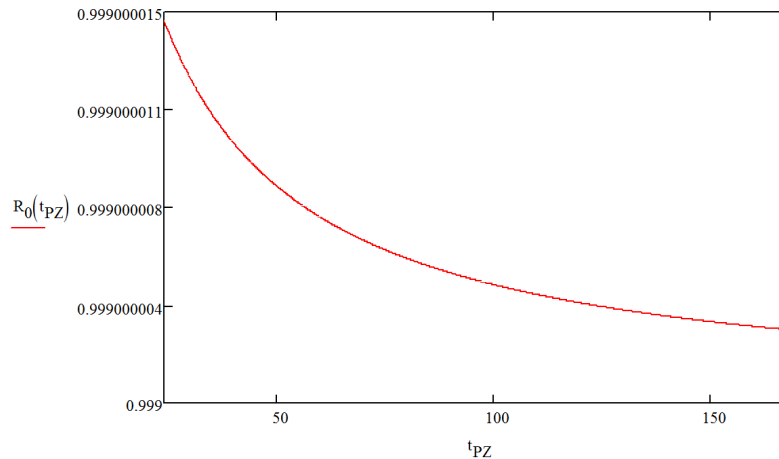


Fig. 3. The dependence of the probability of the system's staying in the state of full ability R_0 in a function of the time of restoring the state of full ability t_{PZ} [source: own development]

The practical application of the presented considerations allow to determine the impact of the intensity values of transition from the state of unreliability of safety to the state of full ability μ_{PZ} on the probability value of the system's staying in the state of full ability.

5. Conclusion

The paper presented an analysis of the alarm columns system of the highway emergency communication system in terms of reliability and exploitation. By adopting three states (full ability R_0 , impendency over safety Q_{ZB} and unreliability of safety Q_B), and certain transitions between them, the relationships allowing for determination of probabilities of the system's staying in the above mentioned states were specified. Received relationships allow specifying the impact of particular intensities of transitions on the values of determined probabilities.

In further research, the authors plan to make the reliability and exploitation analysis of individual subsystems of the highway emergency communication system (including the surveillance centre). It will allow to compare various kinds of solutions, and to develop proposals of criteria for selecting the solution, which will be reasonable based on the assumed preliminary requirements.

6. References

- [1] Dąbrowski T., Bednarek M., Fokow K., Wiśnios M.: The method of threshold-comparative diagnosing insensitive on disturbances of diagnostic signals. *Przegląd Elektrotechniczny - Electrical Review*, vol. 88, issue: 11A, 2012. pp. 93-97.

- [2] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basis of the exploitation of transport electronic systems. Publisher Technical University of Radom, Radom 2011.
- [3] Jacyna M., Lewczuk K., Szczepański E., Gołębiowski P., Jachimowski R., Kłodawski M., Pyza D., Sivets O., Wasiak M., Zak J., Jacyna-Gołda I.: Effectiveness of national transport system according to costs of emission of pollutants. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczu.A. & Werbińska-Wojciechowska S..Publisher: CRC Press/Balkema, London 2015. pp. 559-567.
- [4] Jacyna M.: Cargo flow distribution on the transportation network of the national logistic system. International Journal of Logistics Systems and Management, Vol. 15, Issue 2-3, 2013.pp. 197-218.
- [5] Kasprzyk Z.: Delivering payment services through manual toll collection system. The monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. The publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012. pp. 60-68.
- [6] 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.
- [7] Laskowski D., Łubkowski P., Pawlak E., Stańczyk P.: Anthro-technical systems reliability. In the monograph „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. The publisher: CRC Press/Balkema, 2015. pp. 399–407.
- [8] Lewczuk K., Zak J., Pyza D., Jacyna-Gołda I.: Vehicle routing in an urban area: Environmental and technological determinants. WIT Transactions on the Built Environment, Vol.130, 2013. pp. 373-384.
- [9] Mikulski J.: Using telematics in transport. In the monograph „Transport Systems Telematics”, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, vol. 104. Springer, Heidelberg 2010, pp. 175-182.
- [10] Nowakowski T., Werbinska-Wojciechowska S.: Data gathering problem in decision support system for means of transport maintenance processes performance development. Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, pp. 899-907.
- [11] Nowakowski T.: Problems of reliability modelling of multiple-phased systems. Eksploatacja I Niezawodnosc-Maintenance And Reliability, Issue: 4, 2011, pp. 79-84.

-
- [12] Paś J.: Operation of electronic transportation systems. Publishing House University of Technology and Humanities in Radom, Radom 2015.
- [13] Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
- [14] Rosiński A.: Rationalisation of the maintenance process of transport telematics system comprising two types of periodic inspections. In: „Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Systems Engineering”, editors: Henry Selvaraj, Dawid Zydek, Grzegorz Chmaj, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 1089, Springer, 2015. pp. 663-668.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Train call recorder and electromagnetic interference. Diagnostyka, vol. 16, no. 1 (2015). pp. 19-22.
- [20] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Application of closed circuit television for highway telematics. Monograph „Telematics in the transport environment”, book series: Communications in Computer and Information Science, Volume: 329, 2012. pp. 159-165.
- [21] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Evaluation of safety of highway CCTV system's maintenance process. Monografia „Telematics – support for transport”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 471. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014. pp. 69-79.

- [22] Siergiejczyk M., Rosiński A., Dziula P., Krzykowska K.: Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna autostradowych systemów telematiki transportu. Journal Of KONBiN nr 1(33)2015, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warsaw 2015, str. 177–186.
- [23] Siergiejczyk M., Rosiński A.: Analysis of power supply maintenance in transport telematics system. „Solid State Phenomena” vol. 210 (2014). pp. 14-19.
- [24] Siergiejczyk M.: Assessing transport telematic systems in terms of data services quality. Monograph „Telematics in the transport environment”, book series: Communications in Computer and Information Science, Volume: 329, 2012.pp. 356-363.
- [25] Siergiejczyk M.: Efektywność eksploatacyjna systemów telematiki transportu. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, Nr 67, Warszawa 2009.
- [26] Stawowy M.: Model for information quality determination of teleinformation systems of transport. „Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S. The publisher: CRC Press/Balkema, 2015. pp. 1909–1914.
- [27] Sumila M.: Selected aspects of message transmission management in ITS systems. In: the monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012. pp. 141-147.



Prof. Miroslaw Siergiejczyk, PhD. Eng. - scientific fields of interest of the paper co-author concern among other issues of architecture and services provided by telecommunications networks and systems, especially from perspective of their applications in transport, reliability and operation of telecommunications networks and systems, modelling, designing and organising telecommunications systems for transport (Share 33,33%).



Karolina Krzykowska, MSc. Eng. – in research co-author of the article deals mainly with considerations on the reliability analysis of intelligent transport systems in the branch of road transport and aviation. She has several publications on this subject (Share 33,33%).



Adam Rosiński Ph.D. Eng. - scientific interests (reliability, exploitation, diagnostics, projecting) are problems connected with comprehended wide electronic systems of the safety both for stationary as well as for movable objects (Share 33,33%).

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWO-EKSPLOATACYJNA KOLUMN ALARMOWYCH AUTOSTRADOWEGO SYSTEMU ŁĄCZNOŚCI ALARMOWEJ

1. Wstęp

Telematyka transportu jest dziedziną wiedzy i działalności technicznej integrującą informatykę z telekomunikacją w zastosowaniu do różnych systemów transportowych [9,25]. Zatem jest to transport wsparty zastosowaniem zintegrowanych systemów pomiarowo-sterujących [1], telekomunikacyjnych [26,27], informatycznych, informacyjnych oraz aplikacjami telematycznymi (usługami) [15,24]. Zastosowanie wymienionych systemów, pozwala na projektowanie, wdrażanie, a następnie korzystanie z zintegrowanych systemów telematycznych, zarówno przez podróżnych i przewoźników jak i podmiotów zajmujących się świadczeniem usług dla potrzeb transportu [20,21].

Systemy telematyki autostradowej są obecnie przedmiotem wielu opracowań i rozważań naukowych [5], które są publikowane i prezentowane zarówno na konferencjach krajowych jak i międzynarodowych. Powodem tego jest fakt, iż obecnie rozwój transportu drogowego (w tym w szczególności autostradowego) jest priorytetem w różnego rodzaju projektach Unii Europejskiej). Gęstość ruchu na drogach kołowych jest obecnie tak duża (a jednocześnie też przewiduje się dalszy jej wzrost), że bez intensywnych działań w kierunku budowy i rozbudowy autostrad grozi paraliż komunikacyjny. Zatem problematyka transportu autostradowego jest obecnie w centrum zainteresowania naukowców, projektantów i instytucji rządowych (w tym europejskich).

Autostrada, która nie jest wyposażona w odpowiednie systemy wchodzące w skład wyposażenia telematycznego, może nie spełniać oczekiwań użytkowników i eksploatorów powodując, że użytkowanie jej będzie mało efektywne ekonomicznie. Dlatego tak istotne są opracowania z tego obszaru. W niniejszym artykule szczególną uwagę skupiono na autostradowym systemie łączności alarmowej. Jest to jeden z systemów, który jest wymagany do zastosowania na autostradzie. Dotychczas autorzy prowadzili rozważania różnorodnych aspektów tego systemu, ale w ujęciu całościowym [16,17,22]. Obecnie analizie niezawodnościowo-eksploatacyjnej zostały poddane autostradowe kolumny alarmowe. Oczywiście w tego typu rozważaniach niezbędne jest też stosowanie rozwiązań z zakresu prawidłowego zaprojektowania [23] i funkcjonowania układów zasilania [6] (także z uwzględnieniem kompatybilności elektromagnetycznej [19]).

2. System autostradowej łączności alarmowej

W skład systemów telematyki autostradowej można zaliczyć wiele podsystemów. Zadania wykonywane przez poszczególne podsystemy tworzą całość funkcji, które realizuje i oferuje system telematyki transportu. Umożliwia to efektywne nadzorowanie i sterowania ruchem, predykcję sytuacji niebezpiecznych, zarządzanie zdarzeniami drogowymi, utrzymanie dróg i realizację innych czynności (w tym z zakresu bezpieczeństwa publicznego), niezbędnych do właściwej eksploatacji autostrady.

Telematyka autostradowa, poprzez wykorzystanie różnych systemów teleinformatycznych, umożliwia uzyskania korzyści i efektu synergii. Do zalet tego typu rozwiązania można zaliczyć m.in. zwiększenie bezpieczeństwa podróży i przewoźników, zmniejszenie degradacji środowiska [3,4,8], zwiększenie sprawności procesów transportowych, bardziej racjonalne wykorzystanie infrastruktury drogowej, uzyskanie poprawy wskaźników ekonomicznych operatorów autostrad i przewoźników.

System autostradowej łączności alarmowej służy do przekazywania zgłoszeń (np. o awariach, kolizjach, itp.) od użytkowników znajdujących się na danym odcinku autostrady do stacji nadzoru odcinka autostrady. Zwiększa on poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego na odcinkach dróg na których jest zastosowany.

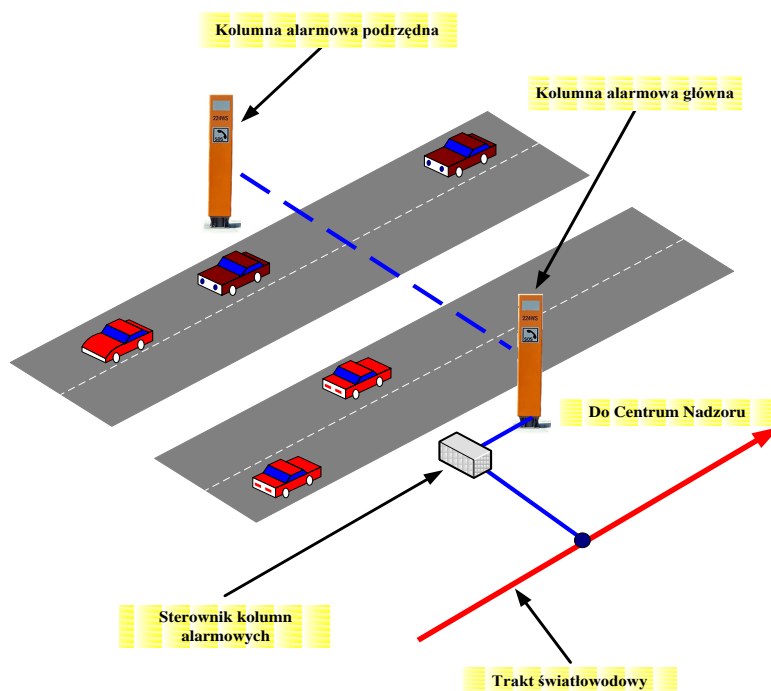
Podstawowym elementem systemu autostradowej łączności alarmowej są kolumny alarmowe. Umożliwiają one łączność (jedno lub dwukierunkową) pomiędzy osobą wzywającą pomoc a centrum nadzoru. Łączność jednokierunkowa pozwala jedynie na zasygnalizowanie (poprzez naciśnięcie przycisku wzywania pomocy w kolumnie) zgłoszenia potrzeby pomocy do centrum nadzoru. W przypadku zastosowania łączności dwukierunkowej (także poprzez naciśnięcie przycisku wzywania pomocy w kolumnie) następuje zgłoszenie potrzeby pomocy do centrum nadzoru a jednocześnie też możliwa jest rozmowa pomiędzy operatorem centrum nadzoru a osobą potrzebującą pomocy. Użytkownik systemu uruchamiając przycisk wzywania pomocy umieszczony na kolumnie alarmowej powoduje wysłanie do centrum nadzoru adresu identyfikującego tę kolumnę. Informacja ta umożliwia dokładne określenie położenia osoby potrzebującej pomocy oraz obszar miejsca zdarzenia. Dzięki temu operator w centrum nadzoru może podjąć racjonalne działania przez wysłanie odpowiednich służb ratowniczych i/lub technicznych.

Na rys. 1 przedstawiono uproszczoną ogólną architekturę sieci łączności alarmowej. Transmisja pomiędzy centrum nadzoru a poszczególnymi kolumnami alarmowymi odbywa się z zastosowaniem medium transmisyjnego jakim jest kabel światłowodowy. Zastosowanie tego typu rozwiązania cechuje się dużą odpornością transmisji na środowiskowe zakłócenia elektromagnetyczne oraz dużą przepływnością bitową.

System autostradowej łączności alarmowej składa się z następujących podsystemów:

- centrum nadzoru – zarządza ono zgłoszeniami użytkowników otrzymanymi za pośrednictwem autostradowych kolumn alarmowych oraz informuje odpowiednie służby ratownicze i/lub techniczne o konieczności podjęcia odpowiednich procedur ratowniczych,
- urządzenia interfejsu optoelektrycznego – punkt centralnego dostępu CAP (*Central Access Point*) umożliwia transmisję dwukierunkową po kablu światłowodowym,

- sieć biernych sprzęgaczy optycznych – są one dołączone do kabla światłowodowego przeznaczonego dla obsługi światłowodowego systemu łączności alarmowej. Dzięki nim możliwe jest połączenie kolumn alarmowych na tym samym odgałęzieniu z wykorzystaniem jednego włókna na odgałęzienie,
- interfejs elektrooptyczny – optyczna skrzynka terenowa FOB (*Field Optical Box*), jest przyporządkowana każdej parze kolumn alarmowych i jest dołączona do kolumny głównej. Połączenia między FOB i główną kolumną alarmową dokonuje się za pomocą krótkiego kabla miedzianego wieloparowego, aby ułatwić interwencję utrzymaniową (przywrócenie stanu zdadności) w przypadku uszkodzenia kolumny przez np. uderzenie pojazdu,
- kolumny alarmowe (główna i podrzędna) – znajdują się one wzdłuż autostrady po obu stronach tworząc odgałęzienia, które umożliwiają przesłanie informacji do centrum nadzoru. Kolumny alarmowe główne składają się z układu elektronicznego (wzmacniacz częstotliwości akustycznej, wejście łącza, układ akustyczny z mikroprocesorem, modem i interfejs), mikrofonu, głośnika, przycisku alarmowego.

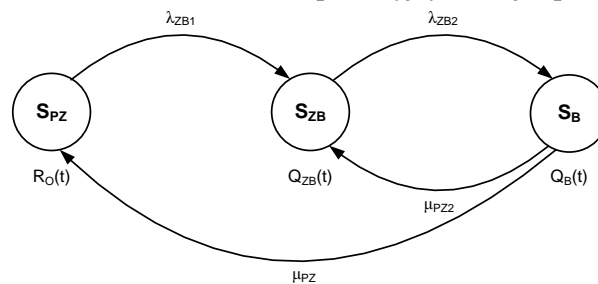


Rys. 1. Ogólna architektura sieci łączności alarmowej
[źródło: opracowanie własne]

Systemy autostradowej łączności alarmowej pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Jako element biorący udział w procesie transportowym powinien zachować stan zdadności [2,12,13,14]. Dlatego też tak ważne są opracowania z zakresu zapewnienia odpowiednich wartości wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych [7,10,11,18].

3. Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna układu kolumn alarmowych

Przeprowadzając analizę funkcjonowania układu kolumn alarmowych systemu autostradowej łączności alarmowej, można zilustrować relacje zachodzące w tej strukturze, w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym, tak jak przedstawia to rys. 2.



Rys. 2. Relacje w układzie kolumn alarmowych systemu autostradowej łączności alarmowej [źródło: opracowanie własne]

Oznaczenia na rys.:

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

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

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

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

λ_{ZB2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} do stanu zawadności bezpieczeństwa Q_B ,

μ_{PZ2} – intensywność przejść ze stanu zawadności bezpieczeństwa Q_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} ,

μ_{PZ} – intensywność przejść ze stanu zawadności bezpieczeństwa Q_B do stanu pełnej zdolności S_{PZ} .

Stan pełnej zdolności S_{PZ} jest stanem, w którym prawidłowo funkcjonują obie kolumny alarmowe. Stan zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} jest stanem, w którym kolumny alarmowe są częściowo niezdatne (np. pogorszenie parametrów łączności akustycznej). Stan zawadności bezpieczeństwa Q_B jest stanem, w którym kolumny alarmowe nie realizują funkcji, do których to zostały zaprojektowane. Jeśli układ kolumn alarmowych jest w stanie pełnej zdolności S_{PZ} i pojawia się pogorszenie parametrów łączności akustycznej to następuje przejście systemu do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} z intensywnością λ_{ZB1} . Gdy istnieje stan zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} a dodatkowo pojawiają się uszkodzenia, które uniemożliwiają realizację połączeń alarmowych (w tym poprawność transmisji danych) to następuje przejście do stanu zawadności bezpieczeństwa Q_B z intensywnością λ_{ZB2} . Zwrotne przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} ze stanu zawadności bezpieczeństwa Q_B jest możliwe pod warunkiem podjęcia działań polegających na przywróceniu częściowego stanu zdolności kolumnom alarmowym.

Przejście ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu pełnej zdadności S_{PZ} jest możliwe lecz wymaga podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności kolumnom alarmowym systemu autostradowej łączności alarmowej. System przedstawiony na rys. 2 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ} \cdot Q_B(t) \\ Q_{ZB}'(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}(t) + \mu_{PZ2} \cdot Q_B(t) \\ Q_B'(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_B(t) - \mu_{PZ} \cdot Q_B(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Przyjmując warunki początkowe:

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

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

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

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

$$\begin{aligned} R_0^*(s) &= \frac{s^2 + s \cdot \mu_{PZ} + s \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \mu_{PZ2} + \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}} \\ Q_{ZB1}^*(s) &= \frac{s \cdot \lambda_{ZB1} + \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}} \\ Q_B^*(s) &= \frac{\lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}} \end{aligned} \quad (4)$$

Rozwiązanie powyższego zestawu równań w dziedzinie czasu jest kolejnym etapem analizy i nie jest tu omawiane.

4. Modelowanie procesu eksploatacyjnego układu kolumn alarmowych

Metody i badania symulacyjno-komputerowe dają możliwość stosunkowo szybkiego określenia wpływu zmian wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych poszczególnych elementów na wartości wskaźników opisujących cały system.

Stosując wspomaganie komputerowe można wyznaczyć wartości prawdopodobieństw przebywania systemu w stanach pełnej zdadności R_O , zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} i zawodności bezpieczeństwa Q_B . Postępowanie takie przedstawia poniższy przykład.

Przykład

Przyjmijmy następujące wartości opisujące analizowany układ:

- czas badań – 1 rok:

$$t = 8760 [h]$$

- nieuszkodzalność częściowa kolumn alarmowych:

$$R_{ZB1}(t) = 0,999$$

- nieuszkodzalność kolumn alarmowych:

$$R_{ZB2}(t) = 0,9999$$

- intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdadności:

$$\mu_{PZ1} = 0,1 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu zagrożenia bezpieczeństwa:

$$\mu_{PZ2} = 0,1 \left[\frac{1}{h} \right]$$

- intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu pełnej zdadności:

$$\mu_{PZ} = 0,05 \left[\frac{1}{h} \right]$$

Znając wartość nieuszkodzalności $R_{ZB1}(t)$, można oszacować intensywność przejść ze stanu pełnej zdadności do stanu zagrożenia bezpieczeństwa. Zakładając

najprostszy, wykładniczy model rozkładu czasu zdatności, możemy wykorzystać następującą zależność:

$$R_{ZB1}(t) = e^{-\lambda_{ZB1}t} \text{ dla } t \geq 0$$

więc

$$\lambda_{ZB1} = -\frac{\ln R_{ZB1}(t)}{t}$$

Dla $t = 8760$ [h] i $R_{ZB1}(t) = 0,999$ otrzymujemy:

$$\lambda_{ZB1} = -\frac{\ln R_{ZB1}(t)}{t} = -\frac{\ln 0,999}{8760} = 1,142124 \cdot 10^{-7} \left[\frac{1}{h} \right]$$

Znając wartość nieuszkodzalności $R_{ZB2}(t)$, można oszacować intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu zawodności bezpieczeństwa. Dla rozkładu wykładniczego mamy następującą zależność:

$$R_{ZB2}(t) = e^{-\lambda_{ZB2}t} \text{ dla } t \geq 0$$

więc

$$\lambda_{ZB2} = -\frac{\ln R_{ZB2}(t)}{t}$$

Dla $t = 8760$ [h] i $R_{ZB2}(t) = 0,9999$ otrzymujemy:

$$\lambda_{ZB2} = -\frac{\ln R_{ZB2}(t)}{t} = -\frac{\ln 0,9999}{8760} = 1,141609 \cdot 10^{-8} \left[\frac{1}{h} \right]$$

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

$$R_0 = 0,999$$

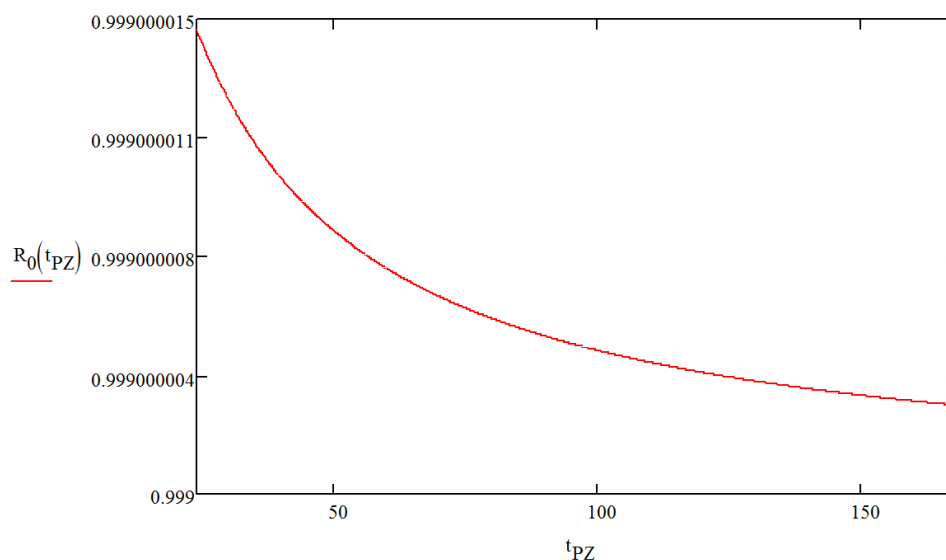
$$Q_{ZB} = 0,00099998$$

$$Q_B = 7,6048 \cdot 10^{-11}$$

Intensywność przejścia ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu pełnej zdatności μ_{PZ} jest – jak wiadomo (w przypadku wykładniczego rozkładu) – odwrotnością czasu t_{PZ} :

$$\mu_{PZ} = \frac{1}{t_{PZ}}$$

Jeśli przyjmiemy, że czas przywrócenia stanu pełnej zdatności t_{PZ} może zawierać się w przedziale $t_{PZ} \in \langle 24; 168 \rangle$ [h] (czyli po przeliczeniu na dni $t_{PZ} \in \langle 1 ; 7 \rangle$ [doba]), to prawdopodobieństwa przebywania analizowanego systemu w stanie pełnej zdatności ilustruje wykres przedstawiony na rys. 3.



*Rys. 3. Zależność prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności R_0 w funkcji czasu przywrócenia stanu pełnej zdatności t_{PZ}
[źródło: opracowanie własne]*

Praktyczne zastosowanie zaprezentowanych rozważań pozwala na określenie wpływu wartości intensywności przejścia ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu pełnej zdatności μ_{PZ} na wartość prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano analizę układu kolumn alarmowych autostradowego systemu łączności alarmowej w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym. Przyjmując trzy stany (pełnej zdatności R_0 , zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} i zawodności bezpieczeństwa Q_B) oraz określone przejścia pomiędzy nimi, wyznaczono zależności pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania systemu w wymienionych stanach. Otrzymane zależności

umożliwiają określenie wpływu poszczególnych intensywności przejść na wartości wyznaczonych prawdopodobieństw.

W dalszych badaniach autorzy planują dokonać analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej poszczególnych podsystemów systemu autostradowej łączności alarmowej (m.in. centrum nadzoru). Umożliwi to porównanie różnego rodzaju rozwiązań i opracowanie propozycji kryteriów wyboru rozwiązania, które będzie racjonalne przy założonych wymaganiach wstępnych.

6. Literatura

- [1] Dąbrowski T., Bednarek M., Fokow K., Wiśnios M.: The method of threshold-comparative diagnosing insensitive on disturbances of diagnostic signals. *Przegląd Elektrotechniczny - Electrical Review*, vol. 88, issue: 11A, 2012. pp. 93-97.
- [2] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basis of the exploitation of transport electronic systems. Publisher Technical University of Radom, Radom 2011.
- [3] Jacyna M., Lewczuk K., Szczepański E., Gołębiowski P., Jachimowski R., Kłodawski M., Pyza D., Sivets O., Wasiak M., Zak J., Jacyna-Golda I.: Effectiveness of national transport system according to costs of emission of pollutants. In: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczu.A. & Werbińska-Wojciechowska S..Publisher: CRC Press/Balkema, London 2015. pp. 559-567.
- [4] Jacyna M.: Cargo flow distribution on the transportation network of the national logistic system. *International Journal of Logistics Systems and Management*, Vol. 15, Issue 2-3, 2013.pp. 197-218.
- [5] Kasprzyk Z.: Delivering payment services through manual toll collection system. The monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. The publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012. pp. 60-68.
- [6] 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.
- [7] Laskowski D., Łubkowski P., Pawlak E., Stańczyk P.: Anthro-technical systems reliability. In the monograph „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. The publisher: CRC Press/Balkema, 2015. pp. 399–407.
- [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] Mikulski J.: Using telematics in transport. In the monograph „Transport Systems Telematics”, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, vol. 104. Springer, Heidelberg 2010, pp. 175-182.
- [10] Nowakowski T., Werbinska-Wojciechowska S.: Data gathering problem in decision support system for means of transport maintenance processes performance development. Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, pp. 899-907.
- [11] Nowakowski T.: Problems of reliability modelling of multiple-phased systems. Eksploatacja I Niezawodnosc-Maintenance And Reliability, Issue: 4, 2011, pp. 79-84.
- [12] Paś J.: Operation of electronic transportation systems. Publishing House University of Technology and Humanities in Radom, Radom 2015.
- [13] Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
- [14] Rosiński A.: Rationalisation of the maintenance process of transport telematics system comprising two types of periodic inspections. In: „Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Systems Engineering”, editors: Henry Selvaraj, Dawid Zydek, Grzegorz Chmaj, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 1089, Springer, 2015. pp. 663-668.
- [15] 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.
- [16] 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.

-
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Train call recorder and electromagnetic interference. *Diagnostyka*, vol. 16, no. 1 (2015). pp. 19-22.
- [20] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Application of closed circuit television for highway telematics. Monograph „Telematics in the transport environment”, book series: Communications in Computer and Information Science, Volume: 329, 2012. pp. 159-165.
- [21] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Evaluation of safety of highway CCTV system's maintenance process. Monografia „Telematics – support for transport”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 471. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014. pp. 69-79.
- [22] Siergiejczyk M., Rosiński A., Dziula P., Krzykowska K.: Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna autostradowych systemów telematyki transportu. *Journal Of KONBiN* nr 1(33)2015, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warsaw 2015, str. 177–186.
- [23] Siergiejczyk M., Rosiński A.: Analysis of power supply maintenance in transport telematics system. „Solid State Phenomena” vol. 210 (2014). pp. 14-19.
- [24] Siergiejczyk M.: Assessing transport telematic systems in terms of data services quality. Monograph „Telematics in the transport environment”, book series: Communications in Computer and Information Science, Volume: 329, 2012. pp. 356-363.
- [25] Siergiejczyk M.: Efektywność eksploatacyjna systemów telematyki transportu. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport*, Nr 67, Warszawa 2009.

- [26] Stawowy M.: Model for information quality determination of teleinformation systems of transport. „Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A. & Werbińska-Wojciechowska S. The publisher: CRC Press/Balkema, 2015. pp. 1909–1914.
- [27] Sumila M.: Selected aspects of message transmission management in ITS systems. In: the monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012. pp. 141-147.



Prof. nadzw. dr hab. inż. Mirosław Siergieżyk - zainteresowania naukowe współautora referatu obejmują między innymi problemy architektury i usług systemów i sieci telekomunikacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem możliwości ich wykorzystania w transporcie, niezawodności i eksploatacji systemów i sieci teleinformatycznych, modelowanie, projektowanie i organizacja sieci i systemów teleinformatycznych w transporcie.



Mgr inż. Karolina Krzykowska – w pracy naukowej współautorka artykułu zajmuje się głównie rozważaniami nad analizą niezawodnościowo – eksploatacyjną inteligentnych systemów transportowych w gałęzi transportu drogowego oraz lotniczego. Posiada kilkanaście publikacji z tej tematyki.



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