IMPACT OF PROCEDURES AND TECHNICAL OBJECTS ON OPERATION OF SECURITY CONTROL AT THE AIRPORT

WPŁYW PROCEDURY I URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH NA FUNKCJONOWANIE SYSTEMU KONTROLI BEZPIECZEŃSTWA W PORCIE LOTNICZYM

Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel

Politechnika Wrocławska

artur.kierzkowski@pwr.edu.pl, tomasz.kisiel@pwr.edu.pl

Abstract: *The article presents an analysis of the functioning of the system of security control at the airport. Analysis was made to examine the possibility of disruption occurring in the system after the introduction of controls using additional devices to detect trace amounts of explosives ETD. The analysis has been subjected to the possibility of using different configuration of the technical system to perform ETD control. The analysis allows the assessment of the proposed system configuration based on functional availability indicator.*

Keywords: *security control, ETD, system approach*

Streszczenie: *W artykule przedstawiono analizę funkcjonowania systemu kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym. Przeprowadzono analizę możliwości wystąpienia zakłóceń funkcjonowania systemu poprzez wprowadzenie kontroli z wykorzystaniem dodatkowych urządzeń ETD do wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych. Analizie poddano możliwość zastosowania różnej konfiguracji systemu technicznego w celu realizacji kontroli bezpieczeństwa. Przeprowadzona analiza umożliwiła ocenę proponowanych konfiguracji systemu w oparciu o wskaźnik gotowości funkcjonalnej.*

Słowa kluczowe: *kontrola bezpieczeństwa, ETD, analiza systemowa*

IMPACT OF PROCEDURES AND TECHNICAL OBJECTS ON OPERATION OF SECURITY CONTROL AT THE AIRPORT

1. Introduction

Security control at an airport is aimed at preventing unauthorized access to the airside of the airport and mostly at identifying and neutralizing threats to security for aircraft operations. The airside area can be accessed by access control performed by the security control system. The security control is performed by the airport operator using the airport security services in accordance with [1-3].

The security control performs assumptions concerning security management systems which must be implemented by all entities providing services for civil aviation. According to [4], as a minimum, the security management system should:

- Identify actual and potential security hazards and assess the related risks,
- Take remedial actions to keep an acceptable security level,
- Monitor and assess the appropriateness and effectiveness of actions related to security management.

The notion of *security* was defined in [4] as: *a state in which risks related to various types of aviation activity related to or constituting direct support for aircraft operations are reduced to an acceptable level and are controlled.* The notion of security is closely related to the notion of *the safety performance indicator and the safety performance target*. In accordance with the definition of security, the safety performance indicator should meet certain assumptions. The value of the safety indicator should be kept at a level higher than the admissible one - acceptable level of safety performance (ALoSP). However, one should attempt to obtain values of the indicator at target level. Such assumptions are related to the necessity of continuous development of technology and continuous analysis of processes and their optimization. Changes are implemented to procedures and the types of technical devices used. This question also concerns the security control process. The aim of the article involves an analysis of the influence of change in procedures of the security control process on the Level of Service.

2. Current Status of Knowledge on Security Control Operation

The operation of the air transport system is the subject of research by numerous scientists from all over the world. Numerous disturbances in the performance of aircraft operations with dynamic development of the system makes it necessary to perform analyses on a continuous basis and to introduce solutions allowing optimization of air transport.

The modelling of the passenger flow at the passenger terminal was performed following aspects of multi-criteria analysis [5,6]. One of the most frequent aspects was analysing the quality of service in terms of minimization of the use of technical resources [7,8].

On the other hand, aspects directly related to safety are often brought up [9-12]. Also, the quality of passenger service was analysed, taking into account security aspects [13]. Article [14] presents an overview of the literature on the model of the comprehensive management of airport operation systems. In [15,16], the important issues of process implementation costs are discussed. Analysis of transport processes can be performed also in the aspects of controlling [17] and reliability [18-28] with different methods of evaluation [29].

The presented studies are often implementation-based [30-31]. As a result, analyses pertain to the dedicated system. Changes in procedures or implementation of new technologies are related to the uncertainty in the proper operation of the system. There are no comparative analyses of the literature indicating to what extent changes implemented to the system might influence the implementation of the process.

3. Operation of the security control system

The security control system consists of technical devices with various applications. The following devices are used, amongst other things, for controlling passengers:

- Walk Through Metal Detectors (WTMD),
- Body scanners (BS),
- Devices for detecting trace amounts of explosives (ETD - Explosive Trace Detection)

Baggage control is performed by:

- X-Ray scanners,
- Devices for detecting trace amounts of explosives (ETD).

There are also other methods used in a complementary manner to the devices described above (hand search, control using hand-held metal detectors, etc.). Human resources are also necessary for the operation of the security control system. The work of security control operators involves controlling the stream and also, to a large extent, identification of the occurring hazards (the assessment of image from the x-ray device, hand search, collecting materials for ETD tests).

So far, the security control system for many regional ports was performed in accordance with Figure 1 a. A passenger reporting for security control performs actions related to the preparation for the control. Next, in two parallel sub-processes, passenger control takes place and the control of their object occurs separately, particularly in terms of hand baggage. In the passenger control stream, the basic control is conducted using a WTMD device. A positive result upon the first passage makes it possible to direct the passenger to the baggage claim area. Detector indications may be triggered by two factors. The first of them is detecting metal. In this case, the passenger is directed to subsequent preparation and goes through the WTMD control again. If the detector is triggered again, a hand search is performed. If the subsequent passage through the detector indicates a positive result, the specified percentage of passengers is additionally selected for a hand search. Another factor which influences direct indication by the WTMD is random selection of a given percentage of passengers for hand search.

*Fig. 1. Security control process at an airport
a) operation so far b) operation after introducing changes*

Baggage control is performed using x-ray devices. A positive outcome (the assessment of the process operator) results in moving the baggage to the baggage claim area. If the outcome is negative, the baggage is directed for hand search.

If forbidden objects are identified, they are neutralized. However, if there are grounds for suspecting that forbidden objects are an actual threat and could be used for purposes related to compromising safety of the aircraft operation, the passenger and the object may be excluded from the rest of the transport process.

Fig. 1b. presents changes in the security control process which have been introduced. The part of the process to which the changes apply is marked in red. In the passenger control stream, the manual control performed after random indication is replaced by control using ETD devices. In the object control stream, additional control using an ETD device has been introduced. A certain percentage of x-rayed objects are selected for ETD control in a random manner.

4. Analysis of the security control system at Wrocław Airport

The security control system at Wrocław Airport is based on parallel structure. The security control process is performed using 7 parallel points equipped with 7 x-ray devices and 4 WTMD devices. Due to the shared WTMD devices, the pairs of points 2 and 3, 4 and 5 as well as 6 and 7 form double points (Fig. 2.).

Fig. 2. Security control system at Wrocław Airport

The security control system belongs to mass service systems. It is possible to analyse such systems by using tools based on the Queuing Theory. However, due to the complexity of the security control process and the nature of the passenger stream, the applicability of the Queuing Theory is very limited in this scope [31]. An additional aspect is significant influence of the human factor on the process [32]. In view of the above, the authors used a computer simulation method. The analysis was performed using the FlexSim software which makes it possible to model discrete processes. The model of the system operation was developed by identifying passenger service times at individual stages of the control. The control process has been divided into several component stages:

- Passenger preliminary preparation time (1) – the passenger prepares objects for the control without any assistance from the process operator,
- Passenger final preparation time (2) – the process operator checks the precision of the performance of the preparation process and next directs the passenger to the control using WTMD. This stage also includes subsequent preparation after detecting metal objects by WTMD.
- Hand search time (3)
- Waiting time for baggage claim (4) – the baggage control time using an x-ray device and manual control of the baggage has been described in the form of the passenger's waiting time for objects. A simplified model was used here which contributed to a reduced number of calculations.
- Object collection time (5).

The results of the analysis are presented in Table 1.

Table 1. Estimation of input data of the model [32].

Activity	Probability density function	Statistical test
(1)	$f(t_{1stunl}) = \frac{t_{1stunl}^{3,42}}{13,744,42 \cdot \Gamma(4,42)} e^{-\frac{t_{1stunl}}{13,74}} \text{ [s]}$	0.4711
(2)	$f(t_{finunl}) = \frac{e^{-\frac{23,62}{t_{finunl}-0,94}}}{23,62 \cdot \Gamma(2,02) \cdot \left(\frac{t_{finunl}-0,94}{23,62}\right)^{3,02}} \text{ [s]}$	0.5786
(3)	$f(t_{mcont}) = \frac{(t_{mcont}-16,95)^6}{2,137 \cdot \Gamma(7)} \cdot e^{-\frac{t_{mcont}-16,95}{2,13}} \text{ [s]}$	0.4041
(4)	$f(t_{wfi}) = \frac{1}{B(0,67;2,56)} \cdot \frac{(t_{wfi}-2,93)^{-0,33} \cdot (139,10-t_{wfi})^{1,56}}{136,17^{2,23}} \text{ [s]}$	0.6551
(5)	$f(t_{load}) = \frac{2,01}{23,62} \cdot \left(\frac{t_{load}-0,94}{23,62}\right)^{1,01} e^{-\left(\frac{t_{load}-0,94}{23,62}\right)^{2,01}} \text{ [s]}$	0.5768

The consistence of empirical and theoretical distributions was verified using the λ -Kolmogorov consistency test at a significance level of $\alpha = 0.05$. All tests performed have shown that there were no grounds for rejecting the zero hypothesis (values lower than the limit value $\lambda_{0,05}=1.36$).

The input data for the security control system model also includes:

- Structure of the security control system (distribution of the security check system, characteristics of the check points, etc.),
- Procedure of the implementation of the security check process (consequences of the triggering of the WTMD gate, etc.),
- Flight schedule. On this basis, the stream of passenger reports to the security control system is determined.

Based on the introduced data, the security check process of the passenger safety is implemented. The algorithm of the operation of the model and its verification is presented in [33-35].

An analysis was performed for a selected day of the security control operation at times of system overload (the number of reporting passengers was higher than the efficiency of the system). The implementation of the process using strings 7,6,3,2,1 was assumed deterministically. The results of the intensity of reports and leaving the system in the analysed time interval are presented in Fig. 3. Characteristics of the time spent in the system by passengers who report for control at a given time are presented in Fig. 4.

Fig. 3. Characteristics of the passenger stream in the analysed time interval.

Fig. 4. Characteristics of the time spent by the passenger in the system.

5. The Influence of Procedures and Technical Devices on the Operation of the Security Control System

A change in the security control procedure made it necessary to extend the technical system so as to include additional devices for security control in detecting trace amounts of explosives. The assumptions concerning the security control using ETD devices can be met with various configurations of the technical system. Fig. 5 presents two examples of system configurations, which will be analysed in detail. The first scenario (Fig. 5a) assumes an even distribution of ETD devices, with one ETD device for streams controlled by one WTMD device. The division of each stream of object control was assumed after X-ray control according to probabilities:

- $P_1 = 0.95$ – does not require ETD control,
- $P_2 = 0.05$ – referred for ETD control.

The division of each stream of passenger control was assumed after X-ray control according to probabilities:

- $P_3 = 0.10$ – requires ETD control,
- $P_4 = 0.90$ – referred for ETD control.

In accordance with the assumptions presented in Chapter 3, it was also assumed that 2% of passengers undergoing WTMD control would be subjected to hand search.

Fig. 5. Diagram of ETD control for analysed scenarios
a) Scenario 1, b) Scenario 2

Scenario 2 (Fig. 5b) assumes designation of a separate zone for ETD control. Control at point 1 (a point designated for business class passengers) takes place in accordance with assumptions included in Scenario 1. The ETD control area for other streams includes double point 4-5. It was assumed that the main stream of passenger reports would be divided into:

- $P_6 = 0.10$ – referred for ETD control,
- $P_5 + P_7 = 0.90$ – does not require ETD control.

50% ($P_9=0.5$) of baggage belonging to passengers from the P_6 stream is referred for ETD control. In accordance with the assumptions presented in Chapter 3, it was also assumed that 2% of passengers undergoing WTMD control would be subjected to hand search.

An analysis similar to that performed for the existing system was conducted (Chapter 4) using the simulation model [30]. It was assumed that the ETD control time is 45 seconds for a passenger and the ETD control time for baggage is 60 seconds. The distributions obtained were compared for the existing system and for the analysed scenarios:

- Average time spent in the system for all passengers (Fig. 6),
- Average time spent in the system for passengers who do not require ETD control (Fig. 7),
- Average time spent in the system for passengers who do not require ETD control (Fig. 8).

The determined distributions make it possible to analyse the operation of presented systems using the functional readiness coefficient. On the basis of [36], it can be assumed that *the coefficient of functional readiness is the probability of an event for which a user who appears at a given time will be served within the assumed time limit with the assumption that the system is up-state.*

Fig. 6. Distributions for average time in the system (all passengers)

Fig. 7. Distributions for average time in the system (passengers without ETD control)

Fig. 8. Distributions for average time in the system (passengers with ETD control)

Assuming that the maximum time for which the passenger can stay in the system is $t_{max} = 8\text{min}$, the functional readiness for the existing system and the assumed input data is 0.44 with the functional readiness of 0.56 for scenario 1 and functional readiness equal to 0.46 for scenario 3. An increase in the system readiness is caused by the reduction in the percentage share of the hand search of passengers with simultaneous referral of the passengers and baggage selected for the ETD control to a separate queue. As a result, the intensity of the flow of passengers who are not subjected to the ETD control increases. The difference in the functional readiness index for passengers who are not subjected to the ETD control results from the division of the main stream of reports. Scenario 2 assumes referring 10% of passengers and, within that 10%, referring 50% to baggage control. Scenario 1 assumes ETD control for 10% of passengers and the control of 5% of random baggage from the entire stream of reports, reason for which 15% passengers may leave the baggage claim area. Also, the functional readiness with the assumed t_{max} for passengers and baggage subjected to ETD control is higher for scenario 1 by 0.11. As a result of the configuration of the system in accordance with scenario 1, however, the time of staying in the system by passengers as compared to Scenario 2 will increase up to 10% of passengers subjected to the ETD control and it will exceed 12.5 minutes. The configuration of the system

consistent with Scenario 2, however, reduces the throughput of the entire system. A double point is used for ETD control to which only 10% of the entire stream is referred, which, given the need of simultaneous opening of all points, will limit the throughput of the system by 23%.

6. Summary

The presented analysis allowed an assessment of the influence of the procedure and technical devices on the security control system at the airport. The analysis was performed using a computer simulation method. Distributions characterizing the time of the passenger's stay in the system depending on various configuration of the technical system using various technical devices for the control. The results obtained made it possible to determine the advantages and disadvantages of the analysed configurations of the technical system. As the main conclusion, it can be assumed that the introduction of the ETD control to security control, with an appropriate configuration of the system, makes it possible to increase the intensity of passenger flow through the system. One limitation is the fact that depending on the system configuration, the time of stay in the system for passengers who underwent the ETD control or for whom baggage underwent ETD control is considerably extended. Another limitation can be the fact that for some system configurations, despite an increase in the intensity of the passenger flow through the system for the pre-set conditions, the maximum throughput of the entire system is considerably reduced, as a result of which the number of aircraft operations at a given airport may make it necessary to extend the system.

The analysis performed did not take into account the reliability of technical devices or of the direct security assurance process. The development of a method for the assessment of the reliability of security assurance processes will be the subject of further research.

7. References

- [1] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 185/2010 z dnia 4 marca 2010 r. ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego.
- [2] Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 272/2009 z dnia 2 kwietnia 2009 r. uzupełniające wspólne podstawowe normy ochrony lotnictwa cywilnego określone w załączniku do rozporządzenia (WE) 300/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady.
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002
- [4] ICAO, Załącznik 19 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Zarządzanie Bezpieczeństwem, Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego, 2013

- [5] Eilon S., Mathewson S. A simulation study for the design of an air terminal building. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 3 (4), 1973, pp. 308–317.
- [6] Skorupski J., Stelmach A., Selected models of service processes at the airport. *Systems Science*, 34 (3), 2008, pp. 51-59.
- [7] Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Analysis of check-in procedure using simulation: a case study. In: *IEEE Int. Conf. Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2010, pp. 1621–1625
- [8] Manataki I.E., Zografos K.G., Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management* 16 (2), 2010, pp. 86–93.
- [9] Hofer F., Schwaninger A., Using threat image projection data for assessing individual screener performance *WIT Transactions on The Built Environment*, Vol 82, pp.417-426.
- [10] Schwaninger, A., Increasing effectiveness and efficiency in airport security screening, *WIT Transactions on the Built Environment*, Vol 82, pp.405-416.
- [11] Schwaninger, A., Training of airport security screeners. *AIRPORT*, 05, 2003, pp. 11-13,
- [12] Skorupski J., Uchroński P., A fuzzy reasoning system for evaluating the efficiency of cabin baggage screening at airports, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 54, 2015, pp. 157-175
- [13] Gkritza K., Niemeier D., Mannering F., Airport Security Screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment, *Journal of Air Transport Management*, 12(5), 2006, pp. 213-219.
- [14] Wu, P.P.Y., Mengersen, K., A review of models and model usage scenarios for an airport complex system *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 47, 2013, pp. 124-140.
- [15] Oum T.H., Fu X., Air transport security user charge pricing: an investigation of flat per-passenger charge vs. Ad Valorem user charge schemes. *Transport. Res. Part E: Logistics Transport. Rev.* 43, 2007, pp. 283–293.
- [16] Zając P.: “Evaluation method of energy consumption in logistic warehouse systems”, Springer, 2015, ISBN 978-3-319-22043-7
- [17] Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Safety measure issues in passenger transportation system performance : case study W: Safety, reliability and risk analysis: beyond the horizon : proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2013, Amsterdam, The Netherlands, 29 September-2 October 2013 / eds. R.D.J.M. Steenbergen [i in.]. Leiden : CRC Press/Balkema, cop. 2014. s. 1309-1316
- [18] Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Inventory management of operational materials in road passenger transportation company - case study. *CLC 2013. Carpathian Logistics Congress - Congress Proceedings*. pp: 65-70
- [19] Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Reliability assessment of integrated airport surface surveillance system, „*Proceedings of the Tenth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX*”. *Advances in intelligent systems and computing*, Vol. 365, Springer, 2015, pp. 435-443, DOI: 10.1007/978-3-319-19216-1, ISBN: 978-3-319-19215-4.

-
- [20] Krzykowska K., Siergiejczyk M., Rosiński A., The concept of the SWIM system in air traffic management, A. Weintrit (red.), Activities in Navigation, Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, CRC Press 2015 Taylor & Francis Group, London UK, p.255 - 259, Gdynia, TransNav 2015, 17 – 19 June 2015, ISBN: 978-1-138-02858-6.
- [21] Stańczyk, P., Stelmach, A. Selected aspects of modeling the movement of aircraft in the vicinity of the airport with regard to emergency situations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, 365, pp. 465-475.
- [22] Zajac, M., Swieboda, J.. An Unloading Work Model at an Intermodal Terminal. (2015) In *Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability 2015*, pp. 573-582
- [23] Kwasniowski, S., Zajac, M., & Zajac, P., Telematic problems of unmanned vehicles positioning at container terminals and warehouses. In *Transport Systems Telematics*, 2010 pp. 391-399
- [24] Restel F.J.: Reliability and safety models of transportation systems - A literature review. (2014) *PSAM 2014 - Probabilistic Safety Assessment and Management*
- [25] Vališ, D., Zák, L., Pokora, O. Contribution to system failure occurrence prediction and to system remaining useful life estimation based on oil field data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229 (1), 2015, pp. 36-45.
- [26] Koucky, M., Valis, D., Vintr, Z. Mission profile and its effect onto system reliability. *Reliability, Risk and Safety: Back to the Future*, 2010, pp. 1100-1106.
- [27] Kowalski M., Magott J., Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S. Exact and approximation methods for dependability assessment of tram systems with time window. *European Journal of Operational Research*, 2014, vol. 235, Issue: 3, pp. 671-686,
- [28] Magott, J.; Nowakowski, T.; Skrobaneck, P. Werbińska S. Analysis of possibilities of timing dependencies modeling-Example of logistic support system. *Safety, reliability and risk analysis: theory, methods and applications*, vols 1-4, Martorell, S; Soares, CG; Barnett, J (eds). *Proc. of European Safety and Reliability Conference (ESREL)/17th Annual Meeting of the Society-for-Risk-Analysis-Europe (SRA-Europe)* Valencia, SPAIN, SEP 22-25, 2009, pp. 1055-1063,
- [29] Giel R, Plewa M. The evaluation method of the process of municipal waste collection, *CLC 2015: Carpathian Logistics Congress - Congress Proceedings*. [in. prep.]
- [30] Bezerra G.C.L., Gomes C.F., The effects of service quality dimensions and passenger characteristics on passenger's overall satisfaction with an airport, *Journal of Air Transport Management*, V. 44–45, 2015, pp. 77-81
- [31] Correia A.R., Wirasinghe S.C., de Barros A.G., A global index for level of service evaluation at airport passenger terminals. *Transport. Res. Part E: Logistics Transport. Rev.* 44, 2008, pp. 607–620.
- [32] Manataki I.E., Zografos K.G., Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management* 16 (2), 2010, pp. 86–93.
- [33] Kierzkowski, A., Kisiel, T. An impact of the operators and passengers behavior on the airport's security screening reliability. *Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference*, 2015 pp. 2345-2354.
-

- [34] Kierzkowski, A., Kisiel, T., Modelling the passenger flow at an airport terminal to increase the safety level. ICMT 2015 - International Conference on Military Technologies 2015, 2015, DOI: 10.1109/MILTECHS.2015.7153693
- [35] Kierzkowski, A., Kisiel, T., A simulation model of safety control system functioning: a case study of the Wrocław airport terminal, International Forum on Shipping, Ports and Airports proceedings, 2015, [in. prep.]
- [36] Walkowiak T., Symulacyjna ocena gotowości usług systemów internetowych z realistycznym modelem czasu odnowy. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability., 2014; Vol.16, (2): 341-346.

Acknowledgements

The project is co-financed by the National Research and Development Centre under the Applied Research Program. This publication presents the results of research conducted in the project: “Model of logistical support for the functioning of the Wrocław Airport” realized by the Wrocław University of Technology and Wrocław Airport consortium.

Artur Kierzkowski, PhD Eng. Wrocław University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of the Operation of Logistics, Transport and Hydraulic Systems. Research includes problems related to the modelling of complex transport systems, with specific focus on the modelling of an air transport system in relation to the terminal infrastructure. (Share: 50%)

Tomasz Kisiel, MSc Eng. Wrocław University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of the Operation of Logistics, Transport and Hydraulic Systems. Current interests are related to questions of the modelling of transport systems with a focus on the air transport process. (Share: 50%)

WPLYW PROCEDURY I URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH NA FUNKCJONOWANIE SYSTEMU KONTROLI BEZPIECZEŃSTWA W PORCIE LOTNICZYM

1. Wstęp

Kontrola bezpieczeństwa w porcie lotniczym ma za zadanie uniemożliwić dostęp osobom nieupoważnionych do części zastrzeżonej portu lotniczego a przede wszystkim zidentyfikować oraz zneutralizować zagrożenia bezpieczeństwa dla wykonywanych operacji lotniczych. Dostęp do strefy zastrzeżonej odbywa się przez kontrolę dostępu realizowaną przez system kontroli bezpieczeństwa. Kontrolę bezpieczeństwa wykonuje zarządzający portem lotniczym przy pomocy służby ochrony lotniska, zgodnie z [1-3].

Kontrola bezpieczeństwa realizuje założenia dotyczące systemów zarządzania bezpieczeństwem, których wdrożenie jest obligatoryjne dla wszystkich podmiotów świadczących usługi na rzecz lotnictwa cywilnego. Zgodnie z [4] system zarządzania bezpieczeństwem jako minimum powinien:

- identyfikować faktyczne oraz potencjalne zagrożenia w zakresie bezpieczeństwa oraz poddawać ocenie związane z nimi ryzyka,
- wdrażać działania zaradcze, mające na celu utrzymywanie akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa,
- monitorować oraz oceniać odpowiedniość oraz skuteczność działań związanych z zarządzaniem bezpieczeństwem.

Pojęcie *bezpieczeństwa* zdefiniowane zostało w [4] jako: *stan, w którym ryzyka związane z różnymi rodzajami działalności lotniczej, związanymi lub stanowiącymi bezpośrednie wsparcie operacji statku powietrznego są obniżone do akceptowalnego poziomu i kontrolowane*. Z pojęciem bezpieczeństwa łączą się ściśle pojęcia *wskaźnika poziomu bezpieczeństwa* (*safety performance indicator*) oraz *docelowego poziomu bezpieczeństwa* (*safety performance target*). Zgodnie z definicją bezpieczeństwa wskaźnik poziomu bezpieczeństwa powinien spełniać pewne założenia. Wartość wskaźnika bezpieczeństwa powinna być utrzymywana na poziomie wyższym niż dopuszczalny - akceptowalny poziom bezpieczeństwa (ALoSP). Należy jednak dążyć w zadanym okresie czasu do uzyskania wartości wskaźnika na poziomie docelowym. Takie założenia pociągają za sobą konieczność stałego rozwoju technologii oraz stałej analizy procesów i ich optymalizacji. Wprowadzane są zmiany w procedurach, ilości oraz rodzaju wykorzystywanych urządzeń technicznych. To zagadnienie dotyczy także procesu kontroli bezpieczeństwa.

Celem artykułu było przeprowadzenie analizy wpływu zmiany procedur procesu kontroli bezpieczeństwa na charakterystyki jakości obsługi pasażerów (Level of Service).

2. Aktualny stan wiedzy na temat analizy funkcjonowania kontroli bezpieczeństwa

Funkcjonowanie systemu transportu lotniczego jest przedmiotem badań wielu naukowców z całego świata. Liczne zakłócenia w realizacji operacji lotniczych przy dynamicznym rozwoju systemu wymusza konieczność stałej analizy oraz wprowadzania rozwiązań pozwalających na optymalizację funkcjonowania systemu transportu lotniczego.

Modelowanie przepływu strumienia pasażerów na terminalu pasażerskim przeprowadzane było w aspektach analizy wielokryterialnej [5,6]. Jednym z najczęściej poruszanych aspektów była analiza jakości obsługi pod względem minimalizacji wykorzystania zasobów technicznych [7,8]. Z drugiej strony poruszane są często aspekty związane bezpośrednio z bezpieczeństwem [9-12]. Analizie poddano także jakość obsługi pasażera z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa [13]. W [14] przedstawiono przegląd literatury modeli kompleksowego zarządzania systemami funkcjonowania portu lotniczego. W [15,16] poruszono ważną problematykę jaką są ponoszone koszty realizacji procesu. Analizę procesów transportowych można prowadzić także w aspekcie kontrolingu [17] oraz niezawodności [18-28] z różnymi kryteriami oceny [29]. Przedstawiane prace mają często charakter wdrożeniowy [30-31]. Sprawia to, że przeprowadzana analiza dotyczy dedykowanego systemu. Zmiany procedur, czy wdrażanie nowych technologii pociąga za sobą niepewność prawidłowego funkcjonowania procesu. W literaturze brakuje analiz porównawczych, które mogą wskazać w jakim stopniu zmiany wprowadzane w systemie wpłyną na realizację procesu.

3. Funkcjonowanie systemu kontroli bezpieczeństwa

System kontroli bezpieczeństwa składa się z urządzeń technicznych o różnym przeznaczeniu. Do przeprowadzenia kontroli pasażerów stosowane są między innymi:

- bramki do wykrywania metalu (WTMD - Walk Through Metal Detector),
- urządzenia do prześwietlania osób (BS - body scanner)
- urządzenia do wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych (ETD - Explosive Trace Detection)

Kontrola bagażu przeprowadzana jest przy pomocy:

- urządzeń rentgenowskich RTG (X-Ray scanner),
- urządzeń do wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych (ETD).

Istnieją również inne metody stosowane jako komplementarne do urządzeń opisanych powyżej (kontrola manualna, kontrola z wykorzystaniem ręcznych wykrywaczy metali itp.). Do funkcjonowania systemu kontroli bezpieczeństwa niezbędne są także zasoby ludzkie. Praca operatorów kontroli bezpieczeństwa polega na sterowaniu strumieniem a także w dużej mierze identyfikacji występujących zagrożeń (ocena obrazu z urządzeń RTG, kontrola manualna, pobieranie materiałów do badań ETD).

Dotychczasowy proces kontroli bezpieczeństwa dla wielu portów regionalnych przeprowadzany był zgodnie z Rys. 1a. Pasażer zgłaszający się do kontroli bezpieczeństwa wykonuje czynności związane z przygotowaniem do kontroli. Następnie w dwóch równoległych podprocesach odbywa się kontrola pasażera oraz osobno kontrola posiadanych przez niego przedmiotów, a w szczególności bagażu podręcznego. W strumieniu dotyczącym kontroli pasażera, kontrola zasadnicza

przebiega z wykorzystaniem urządzenia WTMD. Wynik pozytywny przy pierwszym przejściu umożliwia skierowanie pasażera do strefy odbioru przedmiotów. Wskazanie detektora może być spowodowane przez dwa czynniki. Pierwszym z nich jest wykrycie metalu. W takim przypadku pasażer kierowany jest do ponownego przygotowania i ponownego przejścia do kontroli urządzeniem WTMD. W przypadku ponownego wskazania wykonywana jest kontrola manualna. W przypadku kiedy czynność ponownego przejścia przez detektor daje wynik pozytywny, wyznaczony procent pasażerów zostaje dodatkowo wskazanych do kontroli manualnej. Drugim czynnikiem wpływającym na bezpośrednie wskazanie przez WTMD jest losowy wybór danego procentu pasażerów do kontroli manualnej.

a)

b)

Rys. 1. Proces kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym: a) dotychczasowe funkcjonowanie b) funkcjonowanie po przeprowadzonej nowelizacji

Kontrola bagażu przeprowadzana jest z wykorzystaniem urządzeń RTG. Wynik pozytywny (ocena operatora procesu) powoduje przemieszczenie bagażu do strefy odbioru. Wynik negatywny powoduje skierowanie bagażu do kontroli manualnej. W przypadku identyfikacji przedmiotów zabronionych dokonuje się ich neutralizacji. Jednak w przypadku kiedy istnieją przesłanki, że przedmioty niedozwolone stanowią realne zagrożenie wykorzystania ich do celów związanych

z ingerencją w bezpieczeństwo wykonywanej operacji lotniczej pasażer oraz przedmioty mogą zostać wycofane z dalszej realizacji procesu transportowego.

Rys. 1b. przedstawia wprowadzane zmiany w procesie kontroli bezpieczeństwa. Kolorem czerwonym oznaczono część procesu, której dotyczy nowelizacja. W strumieniu kontroli pasażera, kontrolę manualną wykonywaną po losowym wskazaniu zastąpiono kontrolą z wykorzystaniem urządzeń ETD. W strumieniu kontroli przedmiotów wprowadzono dodatkową kontrolę z wykorzystaniem urządzenia ETD. Do kontroli ETD typowany jest w sposób losowy pewien procent prześwietlanych przedmiotów urządzeniem RTG.

4. Analiza systemowa funkcjonowania kontroli bezpieczeństwa w Porcie Lotniczym Wrocław

System kontroli bezpieczeństwa w Porcie Lotniczym Wrocław funkcjonuje w oparciu o strukturę równoległą. Proces kontroli bezpieczeństwa realizowany jest na 7 równoległych stanowiskach wyposażonych w 7 urządzeń RTG oraz 4 urządzenia WTMD. Z uwagi na wspólne urządzenia WTMD pary stanowisk 2 i 3, 4 i 5 oraz 6 i 7 tworzą stanowiska podwójne (Rys. 2.).

Rys. 2. System kontroli bezpieczeństwa w Porcie Lotniczym Wrocław

System kontroli bezpieczeństwa należy do klasy systemów masowej obsługi. Przeprowadzenie analizy takich systemów możliwe jest poprzez zastosowanie narzędzi opartych o teorię kolejek.

Jednak z uwagi na złożoność procesu kontroli bezpieczeństwa oraz charakteru strumienia zgłoszeń pasażerów wykorzystanie teorii kolejek w tym zakresie jest bardzo ograniczone [31]. Dodatkowym aspektem jest istotny wpływ czynnika ludzkiego na przebieg procesu [32]. Z uwagi na powyższe, autorzy wykorzystali metodę symulacji komputerowej.

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania FlexSim, które umożliwia modelowanie procesów dyskretnych. Opracowano model funkcjonowania systemu identyfikując czasy obsługi pasażera na poszczególnych etapach kontroli. Proces kontroli podzielono na etapy składowe:

- czas przygotowania wstępnego pasażera (1) – pasażer przygotowuje przedmioty do kontroli bez asysty operatora procesu,
- czas przygotowania finalnego pasażera (2) – operator procesu sprawdza poprawność wykonania procesu przygotowania a następnie kieruje pasażera do kontroli z wykorzystaniem WTMD. Etap ten zawiera również przygotowanie powtórne po wykryciu przedmiotów metalowych przez WTMD.
- czas kontroli manualna pasażera (3)
- czas oczekiwania na bagaż (4) – proces kontroli bagażu urządzeniem RTG oraz kontroli manualnej bagażu został opisany w postaci czasu oczekiwania pasażera na przedmioty. Zastosowano tu uproszczenie modelu co przyczyniło się do zmniejszenia ilości niezbędnych do realizacji obliczeń.
- czas odbioru przedmiotów (5).

Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono w Tab. 1.

Tabela 1. Estymacja danych wejściowych modelu [32].

czynność	funkcja gęstości prawdopodobieństwa	test statystyczny
(1)	$f(t_{1stunl}) = \frac{t_{1stunl}^{3,42}}{13,74^{4,42} \cdot \Gamma(4,42)} e^{-\frac{t_{1stunl}}{13,74}} [s]$	0,4711
(2)	$f(t_{finunl}) = \frac{e^{-\frac{23,62}{t_{finunl}-0,94}}}{23,62 \cdot \Gamma(2,02) \cdot \left(\frac{t_{finunl}-0,94}{23,62}\right)^{3,02}} [s]$	0,5786
(3)	$f(t_{mcont}) = \frac{(t_{mcont}-16,95)^6}{2,137 \cdot \Gamma(7)} \cdot e^{-\frac{t_{mcont}-16,95}{2,13}} [s]$	0,4041
(4)	$f(t_{wfi}) = \frac{1}{B(0,67;2,56)} \cdot \frac{(t_{wfi}-2,93)^{-0,33} \cdot (139,10-t_{wfi})^{1,56}}{136,17^{2,23}} [s]$	0,6551
(5)	$f(t_{load}) = \frac{2,01}{23,62} \cdot \left(\frac{t_{load}-0,94}{23,62}\right)^{1,01} e^{-\left(\frac{t_{load}-0,94}{23,62}\right)^{2,01}} [s]$	0,5768

Testem zgodności λ -Kolmogorowa na poziomie istotności $\alpha = 0.05$ zweryfikowano zgodność dystrybuant empirycznych i teoretycznych. Wszystkie przeprowadzone testy wykazały brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej (wartości mniejsze od granicznej $\lambda_{0,05}=1,36$).

Danymi wejściowymi modelu systemu kontroli bezpieczeństwa są także:

- a) struktura systemu kontroli bezpieczeństwa (rozmieszczenie urządzeń systemu kontroli bezpieczeństwa, charakterystyka stanowisk kontroli itp.),
- b) procedury realizacji procesu kontroli bezpieczeństwa (następstwo wzbudzenia bramki WTMD itp.),

c) plan lotów. Na jego podstawie wyznaczany jest strumień zgłoszeń do systemu kontroli bezpieczeństwa.

Na podstawie wprowadzonych danych realizowany jest przebieg procesu kontroli bezpieczeństwa pasażerów. Algorytm funkcjonowania modelu oraz jego weryfikację zaprezentowano w [33-35].

Przeprowadzono analizę dla wybranego dnia funkcjonowania kontroli bezpieczeństwa w godzinach przeciążenia systemu (ilość zgłoszeń pasażerów większa od wydajności funkcjonowania systemu). Założono deterministycznie realizację procesu z wykorzystaniem ciągów 7,6,3,2,1. Wyniki natężenia zgłoszeń oraz opuszczenia systemu w analizowanym przedziale czasu zaprezentowano na rys. 3. Charakterystyka czasu spędzonego przez pasażerów w systemie, zgłaszających się do kontroli w danej chwili czasu przedstawiona została na rys. 4.

Rys.3. Charakterystyka strumienia pasażerów w analizowanym przedziale czasowym.

Rys.4. Charakterystyka czasu spędzonego w systemie przez pasażera.

5. Wpływ procedur i urządzeń technicznych na funkcjonowanie systemu kontroli bezpieczeństwa

Zmiana procedury przeprowadzenia kontroli bezpieczeństwa wymusiła rozbudowę systemu technicznego o dodatkowe urządzenia do przeprowadzenia kontroli bezpieczeństwa w aspekcie wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych. Spełnienie założeń dotyczących kontroli bezpieczeństwa z wykorzystaniem urządzeń ETD może być zrealizowane przy różnej konfiguracji systemu technicznego. Na Rys. 5. zaprezentowano dwie przykładowe konfiguracje systemu które zostaną poddane szczegółowej analizie. Scenariusz pierwszy (Rys. 5a) zakłada rozmieszczenie urządzeń ETD równomiernie, po jednym urządzeniu ETD przypadającym na strumieniu kontrolowane przez jedno urządzenie WTMD. Założono podział każdego strumienia kontroli przedmiotów po kontroli RTG wg. prawdopodobieństw:

- $P_1 = 0,95$ – nie wymaga kontroli ETD,
- $P_2 = 0,05$ – skierowany do kontroli ETD,

Założono podział każdego strumienia kontroli pasażerów po kontroli WTMD wg prawdopodobieństw:

- $P_3 = 0,10$ – wymaga kontroli ETD,
- $P_4 = 0,90$ – skierowany do kontroli ETD,

Zgodnie z założeniami zaprezentowanymi w rozdziale 3, przyjęto także, że 2% pasażerów poddanych kontroli WTMD zostanie poddanych kontroli manualnej.

Scenariusz 2 (Rys. 5b) zakłada wydzielenie odrębnej strefy do realizacji kontroli ETD. Kontrola na stanowisku 1 (stanowisko wydzielone dla pasażerów klasy biznes) odbywa się zgodnie z założeniami zgodnymi ze scenariuszem 1. Strefa kontroli ETD dla pozostałych strumieni obejmuje stanowisko podwójne 4-5. Założono podział głównego strumienia zgłoszeń pasażerów na:

- $P_6 = 0,10$ – skierowany do kontroli ETD,
- $P_5 + P_7 = 0,90$ – nie wymaga kontroli ETD,

Do kontroli ETD skierowane jest 50% ($P_9=0,5$) bagażów posiadanych przez pasażerów ze strumienia P_6 . Zgodnie z założeniami zaprezentowanymi w rozdziale 3, przyjęto także, że 2% pasażerów poddanych kontroli WTMD zostanie poddanych kontroli manualnej.

Przeprowadzona została analiza analogiczna do tej, przeprowadzonej dla systemu obecnego (Rozdz. 4). z wykorzystaniem modelu symulacyjnego [30]. Przyjęto, że czas kontroli ETD pasażera wynosi 45 sekund a czas kontroli ETD bagażu wynosi 60 sekund.

Dla systemu obecnego oraz analizowanych scenariuszy porównano uzyskane dystrybuanty:

- średniego czasu w systemie wszystkich pasażerów (Rys. 6),
- średniego czasu w systemie pasażerów nie wymagających kontroli ETD (Rys. 7),
- średniego czasu w systemie pasażerów poddanych kontroli ETD (Rys. 8).

a)

b)

Rys. 5. Schemat realizacji kontroli ETD dla analizowanych scenariuszy
a) scenariusz 1, b) scenariusz 2

Wyznaczone dystrybuanty umożliwiają analizę funkcjonowania prezentowanych systemów z wykorzystaniem współczynnika gotowości funkcjonalnej. Na podstawie [36] można przyjąć, że *współczynnik gotowości funkcjonalnej jest to prawdopodobieństwo zdarzenia dla którego użytkownik pojawiający się w danej chwili zostanie obsłużony w założonym limicie czasowym przy założeniu, że system jest zadatny.*

Rys. 6. Dystrybuanty średniego czasu w systemie (wszyscy pasażerowie)

Rys. 7. Dystrybuanty średniego czasu w systemie (pasażerowie bez kontroli ETD)

Rys. 8. Dystrybuanty średniego czasu w systemie (pasażerowie poddani kontroli ETD)

Zakładając czas maksymalny, który pasażer może przebywać w systemie $t_{max} = 8\text{min}$, gotowość funkcjonalna dla obecnego systemu i założonych danych wejściowych wynosi 0,44 przy gotowości funkcjonalnej 0,56 dla scenariusza 1 i gotowości funkcjonalnej równej 0,46 dla scenariusza 3. Wzrost gotowości systemu spowodowany jest zmniejszeniem udziału procentowego przeprowadzanej kontroli manualnej pasażerów przy jednoczesnym kierowaniu pasażerów oraz bagażów wytypowanych do kontroli ETD do osobnej kolejki. W skutek tego zwiększa się natężenie przepływu pasażerów nie poddawanych kontroli ETD (Rys 7.). Różnica wskaźnika gotowości funkcjonalnej pasażerów nie poddawanych kontroli ETD wynika z podziału strumienia głównego zgłoszeń. Scenariusz 2 zakłada skierowanie do kontroli 10% pasażerów a spośród nich 50% na przeprowadzenie kontroli bagażu. Scenariusz 1 zakłada przeprowadzenie kontroli ETD dla 10% pasażerów oraz kontroli 5% losowych bagażów z całego strumienia zgłoszeń przez co aż do 15% pasażerów może zwolnić strefę odbioru bagażu znacznie szybciej. Również gotowość funkcjonalna przy założonym t_{max} dla pasażerów i bagażów poddanych kontroli ETD jest większa dla scenariusza 1 o 0,11. Konfiguracja systemu zgodnie ze scenariuszem 1 powoduje jednak, że czas przebywania w systemie w porównaniu do scenariusza 2 wzrośnie aż dla 10% pasażerów poddanych kontroli ETD i będzie przekraczał wartość 12,5 minuty. Konfiguracja systemu zgodna ze scenariuszem nr 2 powoduje jednak ograniczenie przepustowości całego systemu. Do kontroli ETD dedykowano stanowisko podwójne na które kierowane jest zaledwie 10% stałego strumienia co przy konieczności jednoczesnego otwarcia wszystkich stanowisk ograniczy przepustowość systemu o 23%.

6. Podsumowanie

Przedstawiona analiza umożliwiła dokonanie oceny wpływu procedury i urządzeń technicznych na funkcjonowanie systemu kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym. Analiza przeprowadzona została z wykorzystaniem metody symulacji komputerowej. Opracowane zostały dystrybuanty charakteryzujące czas przebywania pasażera w systemie w zależności od różnej konfiguracji systemu technicznego z wykorzystaniem różnych urządzeń technicznych do przeprowadzenia kontroli. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie wad oraz zalet dla analizowanych konfiguracji systemu technicznego. Jako główny wniosek można przyjąć, że wprowadzenie kontroli ETD w systemie kontroli bezpieczeństwa przy odpowiedniej konfiguracji systemu pozwala na zwiększenie natężenia przepływu pasażerów przez system. Ograniczeniem staje się fakt, że w zależności od konfiguracji systemu czas przebywania w systemie dla pasażerów którzy zostali poddani kontroli ETD lub których bagaże zostały poddane kontroli ETD ulega znacznemu wydłużeniu. Kolejnym ograniczeniem może być fakt, że dla niektórych konfiguracji systemu pomimo zwiększenia natężenia przepływu pasażerów przez system dla zadanych warunków zmniejsza się znacznie maksymalna przepustowość całego systemu co przy zwiększeniu liczby operacji lotniczych w danym porcie lotniczym może wymusić konieczność rozbudowy systemu.

Przeprowadzona analiza nie uwzględnia także niezawodności urządzeń technicznych oraz niezawodności bezpośredniego procesu zapewnienia bezpieczeństwa. Opracowanie metody oceny niezawodności procesów zapewnienia bezpieczeństwa będzie przedmiotem dalszych prac badawczych.

7. Literatura

- [1] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 185/2010 z dnia 4 marca 2010 r. ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego.
- [2] Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 272/2009 z dnia 2 kwietnia 2009 r. uzupełniające wspólne podstawowe normy ochrony lotnictwa cywilnego określone w załączniku do rozporządzenia (WE) 300/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady.
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002
- [4] ICAO, Załącznik 19 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Zarządzanie Bezpieczeństwem, Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego, 2013
- [5] Eilon S., Mathewson S. A simulation study for the design of an air terminal building. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 3 (4), 1973, pp. 308–317.
- [6] Skorupski J., Stelmach A., Selected models of service processes at the airport. *Systems Science*, 34 (3), 2008, pp. 51-59.
- [7] Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Analysis of check-in procedure using simulation: a case study. In: *IEEE Int. Conf. Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2010, pp. 1621–1625
- [8] Manataki I.E., Zografos K.G., Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management* 16 (2), 2010, pp. 86–93.
- [9] Hofer F., Schwaninger A., Using threat image projection data for assessing individual screener performance *WIT Transactions on The Built Environment*, Vol 82, pp.417-426.
- [10] Schwaninger, A., Increasing effectiveness and efficiency in airport security screening, *WIT Transactions on the Built Environment*, Vol 82, pp.405-416.
- [11] Schwaninger, A., Training of airport security screeners. *AIRPORT*, 05, 2003, pp. 11-13,
- [12] Skorupski J., Uchroński P., A fuzzy reasoning system for evaluating the efficiency of cabin baggage screening at airports, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 54, 2015, pp. 157-175

- [13] Gkritza K., Niemeier D., Mannering F., Airport Security Screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment, *Journal of Air Transport Management*, 12(5), 2006, pp. 213-219.
- [14] Wu, P.P.Y., Mengersen, K., A review of models and model usage scenarios for an airport complex system *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 47, 2013, pp. 124-140.
- [15] Oum T.H., Fu X., Air transport security user charge pricing: an investigation of flat per-passenger charge vs. Ad Valorem user charge schemes. *Transport. Res. Part E: Logistics Transport. Rev.* 43, 2007, pp. 283–293.
- [16] Zajac P.: “Evaluation method of energy consumption in logistic warehouse systems”, Springer, 2015, ISBN 978-3-319-22043-7
- [17] Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Safety measure issues in passenger transportation system performance : case study W: Safety, reliability and risk analysis: beyond the horizon : proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2013, Amsterdam, The Netherlands, 29 September-2 October 2013 / eds. R.D.J.M. Steenbergen [i in.]. Leiden : CRC Press/Balkema, cop. 2014. s. 1309-1316
- [18] Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Inventory management of operational materials in road passenger transportation company - case study. CLC 2013. Carpathian Logistics Congress - Congress Proceedings. pp: 65-70
- [19] Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Reliability assessment of integrated airport surface surveillance system, „Proceedings of the Tenth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”. *Advances in intelligent systems and computing*, Vol. 365, Springer, 2015, pp. 435-443, DOI: 10.1007/978-3-319-19216-1, ISBN: 978-3-319-19215-4.
- [20] Krzykowska K., Siergiejczyk M., Rosiński A., The concept of the SWIM system in air traffic management, A. Weintrit (red.), *Activities in Navigation, Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, CRC Press 2015 Taylor & Francis Group, London UK, p.255 - 259, Gdynia, TransNav 2015, 17 – 19 June 2015, ISBN: 978-1-138-02858-6.
- [21] Stańczyk, P., Stelmach, A. Selected aspects of modeling the movement of aircraft in the vicinity of the airport with regard to emergency situations. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2015, 365, pp. 465-475.
- [22] Zajac, M., Swieboda, J.. An Unloading Work Model at an Intermodal Terminal. (2015) In *Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability 2015*, pp. 573-582

-
- [23] Kwasniowski, S., Zajac, M., & Zajac, P., Telematic problems of unmanned vehicles positioning at container terminals and warehouses. In *Transport Systems Telematics*, 2010 pp. 391-399
- [24] Restel F.J.: Reliability and safety models of transportation systems - A literature review. (2014) PSAM 2014 - Probabilistic Safety Assessment and Management
- [25] Vališ, D., Zák, L., Pokora, O. Contribution to system failure occurrence prediction and to system remaining useful life estimation based on oil field data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229 (1), 2015, pp. 36-45.
- [26] Koucky, M., Valis, D., Vintr, Z. Mission profile and its effect onto system reliability. *Reliability, Risk and Safety: Back to the Future*, 2010, pp. 1100-1106.
- [27] Kowalski M., Magott J., Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S. Exact and approximation methods for dependability assessment of tram systems with time window. *European Journal of Operational Research*, 2014, vol. 235, Issue: 3, pp. 671-686,
- [28] Magott, J.; Nowakowski, T.; Skrobanek, P. Werbińska S. Analysis of possibilities of timing dependencies modeling-Example of logistic support system. *Safety, reliability and risk analysis: theory, methods and applications*, vols 1-4, Martorell, S; Soares, CG; Barnett, J (eds). *Proc. of European Safety and Reliability Conference (ESREL)/17th Annual Meeting of the Society-for-Risk-Analysis-Europe (SRA-Europe)* Valencia, SPAIN, SEP 22-25, 2009, pp. 1055-1063,
- [29] Giel R, Plewa M. The evaluation method of the process of municipal waste collection, CLC 2015: Carpathian Logistics Congress - Congress Proceedings. [in. prep.]
- [30] Bezerra G.C.L., Gomes C.F., The effects of service quality dimensions and passenger characteristics on passenger's overall satisfaction with an airport, *Journal of Air Transport Management*, V. 44–45, 2015, pp. 77-81
- [31] Correia A.R., Wirasinghe S.C., de Barros A.G., A global index for level of service evaluation at airport passenger terminals. *Transport. Res. Part E: Logistics Transport. Rev.* 44, 2008, pp. 607–620.
- [32] Manataki I.E., Zografos K.G., Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management* 16 (2), 2010, pp. 86–93.
- [33] Kierzkowski, A., Kisiel, T. An impact of the operators and passengers behavior on the airport's security screening reliability. *Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference*, 2015 pp. 2345-2354.
-

- [34] Kierzkowski, A., Kisiel, T., Modelling the passenger flow at an airport terminal to increase the safety level. ICMT 2015 - International Conference on Military Technologies 2015, 2015, DOI: 10.1109/MILTECHS.2015.7153693
- [35] Kierzkowski, A., Kisiel, T., A simulation model of safety control system functioning: a case study of the Wrocław airport terminal, International Forum on Shipping, Ports and Airports proceedings, 2015, [in. prep.]
- [36] Walkowiak T., Symulacyjna ocena gotowości usług systemów internetowych z realistycznym modelem czasu odnowy. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability., 2014; Vol.16, (2): 341-346.

Informacja

Projekt współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych. Publikacja prezentuje wyniki badań realizowanych w projekcie: "Model wsparcia logistycznego funkcjonowania Portu Lotniczego Wrocław S.A." realizowanego przez konsorcjum Politechniki Wrocławskiej oraz Portu Lotniczego Wrocław S.A.

dr inż. Artur Kierzkowski, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Logistycznych, Systemów Transportowych i Układów Hydraulicznych; Praca naukowa obejmuje problematykę modelowania złożonych systemów transportowych. W szczególności obejmuje ona modelowanie systemu transportu lotniczego w zakresie infrastruktury terminalowej. (Udział: 50%)

mgr inż. Tomasz Kisiel, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Logistycznych, Systemów Transportowych i Układów Hydraulicznych; Obecne zainteresowania związane są z zagadnieniami modelowania systemów transportowych i ukierunkowane są na proces transportu lotniczego. (Udział: 50%)