

Systemy Logistyczne Wojsk
Zeszyt 54 (2021)
ISSN 1508-5430, s. 125-134

Military Logistics Systems
Volume 54 (2021)
ISSN 1508-5430, pp. 125-134



Institut Logistyki
Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania
Wojskowa Akademia Techniczna
w Warszawie

Institute of Logistics
Faculty of Security, Logistics and Management
Military University of Technology
in Warsaw

Niezawodność funkcjonowania procesów logistycznych

Reliability of Functioning of Logistic Processes

Jan Figurski

jan.figurski@wat.edu.pl; ORCID: 0000-0002-6389-5759
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania
Instytut Logistyki

Jerzy Niepsuj

jerzy.niepsuj@wat.edu.pl; ORCID: 0000-0002-2158-7504
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania
Instytut Logistyki

Abstrakt. W artykule przedstawiono zasadnicze uwarunkowania dotyczące charakterystyk funkcjonowania procesów logistycznych w nowoczesnym przedsiębiorstwie. Scharakteryzowano funkcjonalność poszczególnych ogniw logistycznych i ich zasadnicze parametry. Funkcjonalność tych ogniw została wkomponowana w struktury niezawodnościowe, które najczęściej występują w procesach funkcjonalnych przedsiębiorstwa. Wszystkie rezultaty planowania zostały wykorzystane do opisu czynności prognostycznych i wyznaczenia parametrów funkcjonalnych poszczególnych ogniw logistycznych. W pracy uwzględniono również procesy efektywności funkcjonalnej przedsiębiorstwa oceniane za pomocą wariantów systemowych i wskaźników doraźnych. W końcowej części zwrócono uwagę na potrzebę korzystania z informacji podstawowych z informatycznego systemu zarządzania procesami eksploatacji. Celem publikacji jest przedstawienie oceny niezawodności środków transportu za pomocą funkcji, wskaźników niezawodności. Cele szczegółowe obejmują odwzorowanie struktur niezawodności środków transportu oraz podstawowych wskaźników dotyczących funkcji niezawodności i gotowości analizowanych urządzeń. Problem badawczy obejmuje opracowanie systemu umożliwiającego analizę i ocenę procesów niezawodności analizowanych urządzeń. W artykule postawiono do weryfikacji następującą hipotezę: istnieje możliwość i potrzeba opracowania systemu umożliwiającego analizę istniejącego stanu i ocenę funkcji niezawodności oraz wskaźników

gotowości analizowanych urządzeń. W badaniu zastosowano metodę analizy systemowej ujmującej zagadnienia „jak jest oraz jak być powinno”. Ponadto w ocenie stosowano funkcje niezawodności oraz funkcje intensywności uszkodzeń. Wykorzystano również funkcję prognozy niezawodności. W opracowaniu wykorzystano własny dorobek literaturowy oraz pozycje autorstwa R. Barlow, F. Proschan (1996), J. Girtler (2006), J. Żurek, J. Ziółkowski, A. Borucka (2017).

Słowa kluczowe: niezawodność, procesy logistyczne, ogniwa logistyczne, wskaźniki niezawodności, wskaźniki gotowości

Abstract. The article presents the basic conditions concerning the characteristics of logistic processes in a modern enterprise. The functionality of individual logistic links and their basic parameters are characterized. The functionality of these links has been integrated into the reliability structures that most often occur in the functional processes of an enterprise. All planning results were used to describe forecasting activities and to determine functional parameters of individual logistics links. The article also considers the processes of the company's functional effectiveness assessed by means of system variants and ad hoc indicators. In the final part, attention was drawn to the need for using basic information from an IT system for managing exploitation processes. The aim of the article is to present the assessment of the reliability of means of transport by means of functions, reliability indicators. The specific objectives include the mapping of reliability structures of means of transport and the basic indicators of reliability functions and readiness of the analyzed equipment. The research problem includes the development of a system to analyze and evaluate the reliability processes of analyzed equipment. The following hypothesis has been put for verification in the paper: There is a possibility and need for the development of a system enabling the analysis of the existing state and assessment of reliability functions and readiness indicators of analyzed equipment. In the study, a system analysis method has been used to address the issues of “how it is and how it should be”, in addition, reliability functions and damage intensity functions have been applied in the assessment. The article uses own literature and items by Barlow R., Proschan F. (1996), Girtler J. (2006), Żurek J., Ziolkowski J., Borucka A. (2017).

Keywords: reliability, logistics processes, logistics links, reliability indicators, readiness indicators

Wstęp

Kierownictwo firmy logistycznej zainteresowane jest efektywnością jej funkcjonowania. Efektywność ta rozumiana jest jako rezultat uzyskiwanych korzyści przy ograniczonych nakładach funkcjonalnych. W procesie tym zasadnicze znaczenie mają zagadnienia dotyczące nieznaności poszczególnych ogniwo funkcjonalnych przedsiębiorstwa logistycznego. Ogniwa te z racji swojej funkcjonalności posiadają przypisane określone zadania wykonawcze, które obsługiwane są wskazanymi stopniami wykonalności. Stopnie te są wkomponowane w całość funkcjonowania przedsiębiorstwa logistycznego z punktu widzenia procesów niezawodności. Funkcjonalność poszczególnych ogniwo logistycznych oceniana jest za pomocą funkcji niezawodności oraz wskaźników gotowości i zawodności. Uzyskiwane rezultaty stają się podstawą do prowadzenia analiz przez kierownictwo firmy, obejmujących możliwości doskonalenia funkcjonalnego poszczególnych ogniwo logistycznych.

Głównym celem artykułu jest przedstawienie oceny niezawodności środków transportu za pomocą funkcji wskaźników niezawodności.

Cele szczegółowe obejmują odwzorowanie struktur niezawodności środków transportu oraz podstawowych wskaźników dotyczących funkcji niezawodności i gotowości analizowanych urządzeń.

Problem badawczy obejmuje opracowanie systemu umożliwiającego analizę i ocenę procesów niezawodności analizowanych urządzeń.

W artykule postawiono do weryfikacji następującą hipotezę: istnieje możliwość i potrzeba opracowania systemu umożliwiającego analizę istniejącego stanu i ocenę funkcji niezawodności oraz wskaźników gotowości analizowanych urządzeń.

W badaniu wykorzystano metodę analizy systemowej ujmującej zagadnienia „jak jest oraz jak być powinno”. Ponadto w ocenie zastosowano funkcje niezawodności oraz funkcje intensywności uszkodzeń. Uwzględniono również funkcję prognozy niezawodności.

W artykule wykorzystano własny dorobek literaturowy oraz pozycje autorstwa R. Barlow, F. Proschan (1996), *Mathematical Theory of Reliability, Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia, J. Girtler (2006), *Reliability Model of Two-Shaft Turbine Combustion Engine with Heat Regenerator*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, vol. 132, nr 4, s. 15-22 oraz J. Żurek, J. Ziółkowski, A. Borucka (2017), *Research of Automotive Vehicles Operation Process Using the Markov Model. Safety and Reliability. Theory and Applications*, ESREL, s. 2353-2362.

Charakterystyka ogniów logistycznych

W procesie funkcjonowania przedsiębiorstwa logistycznego wyróżnia się następujące moduły funkcjonalne obejmujące procesy:

1. Planowania systemowego.
2. Transportu towarów.
3. Magazynowania materiałowego.
4. Sprawozdawczości funkcjonalnej.
5. Rozliczenia funkcjonalnego.
6. Oceny funkcjonalnej.

W ujęciu funkcjonalnym wymienione moduły można przedstawić w postaci struktury niezawodnościowej, jak na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura funkcjonalno-niezawodnościowa przedsiębiorstwa

Źródło: opracowanie własne

Według struktury niezawodnościowej funkcjonalność firmy logistycznej zgodnie z rysunkiem 1 uwarunkowana jest poprawną funkcjonalnością każdego ogniwa logistycznego. Jeśli któreś z ogniw nie spełnia wymagań funkcjonalnych, wówczas podlega procesowi modernizacji bądź wymianie profilaktycznej.

Wymienione ogniwa spełniają poniżej wymienione zadania funkcjonalne:

1. W ogniwie planowania systemowego wykonywane są zadania obejmujące:
 - zgłaszanie zapotrzebowań dostawczych;
 - uzgadnianie terminów realizacji zamówień;
 - uzgadnianie uwarunkowań kosztowych;
 - uzgadnianie formy zamówienia;
 - uzgadnianie procesów bezpieczeństwa dostawy.

Realizacja zadań przewidzianych w ogniwie planowania systemowego warunkuje potrzebę dysponowania specjalistycznymi systemami informatycznymi w rejestrze ewidencji materiałowej i procesów planowania. Specjaliści pracujący w tym ogniwie powinni dysponować znajomością systemów informatycznych, posługiwania się językiem obcym oraz uwarunkowaniami dotyczącymi rozliczeń materiałowych.

2. W ogniwie transportu towarów występują rodzaje transportu zewnętrznego i wewnętrznego.

W transporcie zewnętrznym występuje transport drogowy kołowy, morski, lotniczy i przesyłowy. Każdy z wymienionych rodzajów transportu ma swoje uwarunkowania funkcjonalne.

Zaletą transportu drogowego są zagadnienia związane z czasem, możliwością przewozów zwiększonych podziałów środków. Wadą zaś są ograniczenia ładowności i negatywny wpływ na środowisko naturalne.

Zaletą transportu kolejowego jest jego funkcjonalność w przewozie produktów masowych i ograniczona szkodliwość dla środowiska naturalnego. Niekorzystnym jego atutem jest potrzeba dysponowania transportu kombinowanego.

Zaletą transportu morskiego jest jego dość duży zasięg, ale posiada ograniczony wskaźnik ładowności oraz stosunkowo wydłużony czas.

Transport lotniczy charakteryzuje się stosunkowo krótkim czasem transportu, jego wadą jest określona pojemność załadunkowa i stosunkowo wysoki koszt przewozu.

Transport przesyłowy dotyczy głównie przesyłu paliw płynnych i transportu energii. Jest stosunkowo korzystnym środkiem, który ogranicza się tylko do realizacji dostaw przerobionego surowca.

W procesie transportu środków towarowych oraz transportu zewnętrznego występuje transport wewnętrzny. Jest on przystosowany do transportu elementów potrzebnych do produkcji lub prowadzenia gospodarki magazynowej. Napęd wózków transportu wewnętrznego z uwagi na określone wymogi bezpieczeństwa i ochrony stosowany jest zawsze z napędem elektrycznym bądź stosowany jest napęd ręczny. W tym kontekście wykorzystywane są suwnie, które służą do przemieszczania ładunków, głównie w halach odlewniczych i przeładunku materiałowego.

Charakterystyka niezawodności procesów

Proces funkcjonowania przedsiębiorstwa logistycznego zapewniają zespoły specjalistyczne, które planują, zabezpieczają transport i dostarczają towary do miejsca przeznaczenia.

Zamówiona usługa jest rozliczana i zabezpieczana zgodnie z uwarunkowaniami formalnoprawnymi. Najczęściej w przedsiębiorstwie logistycznym występują zespoły funkcjonalne usytuowane według struktury szeregowej przedstawionej na rysunku 1.

Kierownictwo firmy logistycznej jest zainteresowane, by wymienione zespoły funkcjonowały bez przeszkód, a ich wykonalność zadaniowa była zgodna z oczekiwaniami. Do oceny funkcjonalnej zespołów wykorzystuje się funkcje niezawodności w postaci:

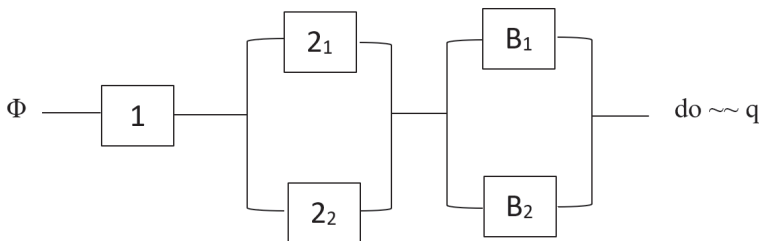
$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{j=1}^n R_j(t), \quad (1)$$

która w ujęciu analitycznym przyjmuje postać:

$$R(t) = e^{-x(t)t} = \exp(-x(t) \cdot t), \quad (2)$$

gdzie: $x(t)$ – intensywność niewykonania zadań,
 n – liczba zespołów wykonujących zadania.

Działanie firmy logistycznej według powyższej struktury polega na tym, że jeśli któryś z zespołów nie wykona planowanego zadania, cały system funkcjonalny nie wykonuje zadań. Obraz struktury szeregowej (zob. rysunek 1) funkcjonowania firmy logistycznej może funkcjonować według struktury równoległej przedstawionej na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura niezawodnościowa równoległa

Źródło: opracowanie własne

W równoległej strukturze funkcja niezawodności $R(t)$ zastępowana jest funkcją zawodności postaci:

$$Q(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot Q_n(t) = \prod_{j=1}^n Q_3(t). \quad (3)$$

W ujęciu analitycznym funkcja przyjmuje postać:

$$Q(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-x(t) \cdot t} = 1 - \exp(-x(t) \cdot t). \quad (4)$$

Kierownictwo firmy logistycznej jest zainteresowane gotowością poszczególnych zespołów do wykonywania zadań. Ocena tej gotowości jest możliwa za pomocą wskaźników gotowości i zawodności gotowości. Analityczna postać tych wskaźników opisywana jest zależnością:

$$\begin{aligned} W_q(t) &= \exp(-\lambda(t) \cdot t) \\ W_z(t) &= 1 - \exp(-\lambda(t) \cdot t) \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie: $\lambda(t)$ – intensywność niewykonywanych zadań przez zespoły specjalistyczne.
Jej postać analityczna opisana jest zależnością:

$$K(t) = \frac{n(t)}{t}, \quad (6)$$

gdzie: $n(t)$ – intensywność niewykonania zadań przez zespoły,
 t – czas realizacji zadania w firmie logistycznej (podawany w godzinach pracy).

Intensywność niewykonywania zadań oblicza się zgodnie z zależnością (6), przyjmując wartość czasu $t = 87600$ godzin przy jednej wartości niewykonania zadania, wówczas:

$$\lambda(t) = \frac{1}{87600} = 1.1456 \cdot 10^{-5}. \quad (7)$$

W podobny sposób oblicza się intensywność niewykonania zadań dla każdego zespołu wykonawczego.

Wskaźniki gotowości $W_q(t)$ i zawodności gotowości $W_z(t)$ do wykonania zadań oblicza się według zależności (5), przyjmując wartości czasu pracy $t = 87600$ h.

Schemat obliczeń dla zespołu:

$$\begin{aligned} W_q(t) &= \exp(-1,1456 \cdot 10^{-5} \cdot 87600) = 0,8803 \\ W_z(t) &= 1 - W_q(t) = 1 - 0,8803 = 0,1197 \end{aligned} \quad (8)$$

Stosując podobną metodykę obliczeniową, wyznacza się parametry funkcyjne dla poszczególnych zespołów specjalistycznych.

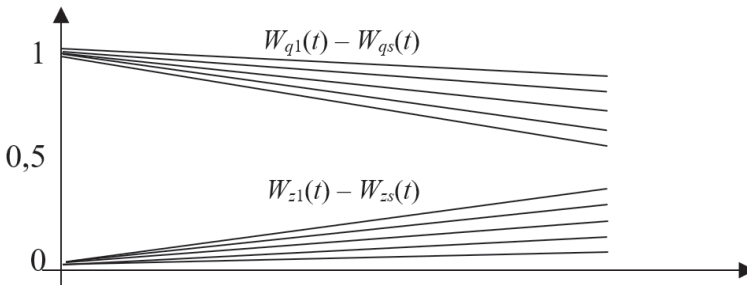
Uzyskane wartości obliczeniowe przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki parametrów funkcyjnych dla poszczególnych zespołów specjalistycznych

Lp.	Nr Rodzaj	n	$\lambda(t)$	$W_q(t)$	$W_z(t)$
1.	1	1	$1.1456 \cdot 10^{-5}$	0.8803	0.1197
2.	2	3	$3.4247 \cdot 10^{-5}$	0.7408	0.2592
3.	3	2	$2.2831 \cdot 10^{-5}$	0.8187	0.1813
4.	4	2	$2.2831 \cdot 10^{-5}$	0.8187	0.1813
5.	5	1	$1.1456 \cdot 10^{-5}$	0.8803	0.1197
6.	6	4	$4.5662 \cdot 10^{-5}$	0.6703	0.3298

Źródło: opracowanie własne

Wyniki przedstawione w tabeli 1 przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyka wskaźników gotowości i zawodności gotowości pracy zespołów

Źródło: opracowanie własne

Kierownictwo firmy logistycznej może uznać, że wyniki przedstawione w tabeli 1 są niezadawalające, szczególnie dotyczą one intensywności niewykonywania zadań $\lambda(t)$ przez poszczególne zespoły. Stawia wymagania, by wszystkie zespoły wykonywały planowane zadania, co się łączy, by $\lambda(t) = 0$. Uzyskane rezultaty, zgodnie z nowym wymaganiem, przedstawiono w tabeli 2.

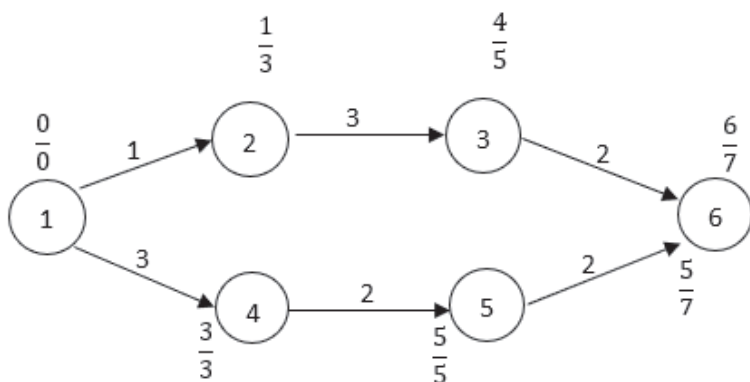
Uzyskane rezultaty dotyczące funkcjonowania zespołów są satysfakcjonujące, gdyż nie odnotowuje się niewykonania zadań $\lambda(t) = 0$, a wskaźnik gotowości funkcjonowania wynosi 1, natomiast niewykonalność – 0.

Tabela 2. Wykaz planowanych zadań

Lp.	Nr zespołu	n	$\lambda(t)$	$W_q(t)$	$W_z(t)$
1.	1	0	0	1	0
2.	2	0	0	1	0
3.	3	0	0	1	0
4.	4	0	0	1	0
5.	5	0	0	1	0
6.	6	0	0	1	0

Źródło: opracowanie własne

Uzyskane rezultaty przedstawione w tabelach 1 i 2 można wykorzystać do śledzenia czasów realizacji poszczególnych zadań. Śledzenie to możliwe jest za pomocą schematu przedstawionego na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat funkcjonalny zespołów 1-6. Numery zespołów wykonawczych

Źródło: opracowanie własne

Funkcjonalność zespołów wykonawczych wymaga ustalenia wartości czasowych t realizacji poszczególnych zadań. Wartości te ustala się według średnich pomiarów w ustalonej jednostce zgodnie z zależnością:

$$t = \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{n}, \quad (9)$$

gdzie: n – liczność pomiarów czasowych,
 t – wartość czasu realizacji zadania.

Ścieżka krytyczna określa cały czas trwania przedsięwzięcia. Przy czym każde skrócenie tego czasu może być osiągnięte tylko poprzez skrócenie czasu trwania czynności leżących na ścieżce krytycznej. Jednak należy tu podkreślić, że każde niedopatrzenie zaplanowanego czasu trwania czynności leżących na ścieżce krytycznej stawia pod znakiem zapytania dotrzymanie terminu zakończenia całego przedsięwzięcia.

Uzyskane rezultaty pomiaru czasów trwania poszczególnych czynności:

$t_{1-1} - 0$

$t_{1-2} - 2$

$t_{2-3} - 1$

$t_{3-6} - 1$

$t_{1-4} - 0$

$t_{4-5} - 0$

$t_{5-6} - 2$

przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Rezultaty pomiaru czasów trwania poszczególnych czynności

Czynność	Najwcześniejszy możliwy termin zakończenia	Najpóźniejszy możliwy termin zakończenia	Zapas czasu
1-1	1	1	0
1-2	1	3	2
2-3	4	5	1
3-6	6	7	1
1-4	3	3	0
4-5	5	5	0
5-6	5	7	2

Źródło: opracowanie własne

Wymienione wartości czasowe zostały wpisane odpowiednio w liczbie i miarowym początku oraz końcu trwania poszczególnych czynności. Wartości czasowe przedstawione w liczbach przy numerach zespołów traktowane są jako wartości najwcześniejsze, wartości przedstawione w mianownikach traktowane są jako wartości najpóźniejsze.

Prowadzone prace analityczne zmierzają do usprawnienia funkcjonalnego poszczególnych zespołów.

Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono uwarunkowania funkcjonalne opisujące prace zespołów funkcyjnych pracujących w firmie logistycznej.

Rezultaty pracy wskazują jednoznacznie na konieczność doskonalenia zespołów funkcjonalnych odpowiedzialnych za prawidłowe funkcjonowanie firmy logistycznej.

Zadania dla poszczególnych zespołów specjalistycznych są ściśle określone z takim wyliczeniem, aby były gwarancją wykonania całego zadania podejmowanego przez firmę logistyczną.

Z przeprowadzonej w pracy analizy wynikają następujące wnioski:

1. Procesy logistyczne są realizowane w każdej firmie logistycznej. Przypisane są do poszczególnych zespołów wykonawczych, które realizują swoje zadania wykonywalne i zadania całościowe firmy.
2. Podzespoły podobnie jak i firma logistyczna funkcjonują według określonej struktury niezawodnościowej. Uwzględniając wymienioną strukturę, można wskazać zarówno niezawodność funkcjonowania zamówień firm, jak i poszczególnych zespołów wykonawczych.
3. Rezultaty analizy pozwalają na identyfikowanie prac poszczególnych zespołów umożliwiających podejmowanie stosownych prac doskonalących.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BARLOW, R., PROSCHAN, F., 1996. *Mathematical Theory of Reliability*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [2] GIRTLER, J., 2006. Reliability Model of Two-Shaft Turbine Combustion Engine with Heat Regenerator. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 132, Nr 4, 15-22.
- [3] ŻUREK, J., ZIÓŁKOWSKI, J., BORUCKA, A., 2017. Research of Automotive Vehicles Operation Process Using the Markov Model, Safety and Reliability. Theory and Applications, ESREL.