

Andrzej NIEWCZAS¹, Łukasz MÓRAWSKI¹, Ewa DEBICKA¹, Anna BORUCKA²

¹Motor Transport Institute (Instytut Transportu Samochodowego)

²Military University of Technology (Wojskowa Akademia Techniczna)

COMMERCIAL VEHICLES INCAPACITY RISK ANALYSIS IN THE TRANSPORT COMPANY

Analiza ryzyka niezdatności samochodów ciężarowych w warunkach przedsiębiorstwa transportowego

Abstract: *A proposal was presented to assess the incapacity risk of commercial vehicles performing transport tasks under market conditions. The risk assessment model in the form of cost was used, which is based on the determination of operational efficiency, referring the probable costs of ensuring the reliability of the transport system to the estimated threshold income. It includes costs: incidental repairs, unplanned downtime and resulting from the presumed loss of client's trust. Operational research were carried out on a group of several dozen vehicles, registering their operational states during several years of use. The results of the research confirmed the suitability of the incapacity risk model for predicting potential expenses for guarantee the vehicle's continuity of running in the company and to verify the selection of the vehicle brand and the period of use.*

Keywords: road transport, reliability, operational efficiency, operational costs

Streszczenie: *Przedstawiono propozycję oceny ryzyka niezdatności samochodów użytkowych realizujących zadania przewozowe w warunkach rynkowych. Zastosowano model oceny ryzyka w formie kosztowej, który opiera się na wyznaczeniu efektywności eksploatacyjnej, odnosząc koszty zapewnienia niezawodności systemu transportowego do przychodu progowego. Uwzględnia on koszty: napraw incydentalnych, nieplanowanych przestoju oraz wynikające z potencjalnej utraty zaufania zleceniodawcy. Badania eksploatacyjne przeprowadzono na grupie kilkudziesięciu pojazdów ciężarowych, rejestrując ich naprawy na przestrzeni kilku lat użytkowania. Wyniki badań potwierdziły przydatność modelu ryzyka niezdatności do prognozowania potencjalnych wydatków na zapewnienie ciągłości działania pojazdów w przedsiębiorstwie oraz do weryfikacji doboru marki pojazdów w aspekcie okresu ich użytkowania.*

Słowa kluczowe: transport samochodowy, niezawodność, efektywność eksploatacyjna, koszty eksploatacji

1. Introduction

The continuity of the transport company's activity depends on the suitability of the transport means, and the disturbance of this state leads to the losses. From the point of view of an entrepreneur operating in the market conditions, financial losses are of particular importance. They can be determined based on a risk analysis.

The correct assessment of the profitability of transport companies' activities requires knowledge of the operating costs and purchase costs of commercial vehicles. In the literature, the choice of means of transport in relation to the type of transport tasks performed is often discussed [3,4,6], in contrast to the choice of the vehicle's manufacturer within the same haulage capacity [3].

Entrepreneurs deciding to buy new vehicles pay more and more attention to the analysis of the costs of subsequent servicing (maintaining business continuity). Its scope, however, first of all comes down to the evaluation of operating costs resulting from planned maintenance and topping up of the operating fluids. The costs of unplanned repairs are often underestimated or are not taken into account at all, which may lead to wrong decisions in the process of selecting means of transport. Indirect costs, resulting from unplanned defects, are virtually never taken into account, which results from incomplete knowledge about the factors that generate them.

Entrepreneurs deciding to buy new vehicles pay more and more attention to the analysis of the costs of subsequent servicing (maintaining business continuity). Its scope, however, first of all comes down to the evaluation of operating costs resulting from planned maintenance and topping up of the operating fluids. The costs of unplanned repairs are often underestimated or are not taken into account at all, which may lead to wrong decisions in the process of selecting means of transport. Indirect costs, resulting from unplanned defects, are virtually never taken into account, which results from incomplete knowledge about the factors that generate them.

With regard to the transport companies, the definition proposed in [13,14], defining the risk as the occurrence possibility of specific losses (damages) in the system under consideration and the specific time of its functioning, seems appropriate. The same author also defines the measure of risk expressed in the general form:

$$[\textit{measure of risk}] = [\textit{measure of unreliability}] \times [\textit{measure of unreliability}] \quad (1)$$

With regard to the road transport, the risk analysis most often concerns safety issues, in the sense of protecting the lives and health of the road users.

The effectiveness of the transport services performed (business approach) is not often examined, despite the legitimacy of such analyses [15,16].

2. The course of research

Operational tests were carried out on a group of 60 vehicles, while the test sample consisted of 30 cars of two makes (manufacturers), which for the needs of the work were marked – I and M. Medium-duty vehicles with a maximum permissible weight not exceeding 12 tons were selected for the tests. The vehicles of both makes were used in the distribution transport and had comparable haulage capacities. During the tests, the entrepreneur kept registering the costs incurred to maintain the continuity of vehicles' operation, the date of their occurrence and the operational mileage. For the purpose of this work, only costs caused by incidental damages were taken into account, excluding costs of periodic servicing, insurance, taxes, fuel, and similar costs of a known size. The average operational mileage of the M vehicles was about 221 thous. km and was completed in the average time of 56 months. For the vehicles of the I make, the average mileage was about 158 thousand kilometres and was completed in the average time of 55 months (table 1).

Table 1

Test observation times

| Make | Medium mileage p_k [thous. of km] | Standard deviation σ_{pk} [thou. of km] | Average observation time [month] | Standard deviation of the average observation time [months] |
|------|--|---|--|---|
| M | 220,5 | 47,9 | 56 | 2,1 |
| I | 157,6 | 36,7 | 55 | 7,1 |

3. The incapacity risk model

The operational efficiency determined by the formula (2) is the basis for determining the failure rate according to the formula (1) [3,7].

$$E_e(p_k) = \frac{1}{\frac{N_i(p_k)}{P_p(p_k)} + [1 - K_g(p_k)] + F_w(p_k)} \quad (2)$$

where: p_k – upper limit of the k -th operating interval, $E_e(p_k)$ – operational efficiency to reach the end of the upper operational mileage p_k , $N_i(p_k)$ – cumulated cost of unplanned repairs until the p_k mileage is reached, $P_p(p_k)$ – threshold revenue until the p_k mileage is reached, $K_g(p_k)$ – technical readiness in the range $p_k \pm p_{k+1}$, $F_w(p_k)$ – Weibull distribution of the p_k operational mileage till the first defect.

The initial assumption in the equation (2) is to achieve threshold revenue, i.e. one that allows to fully cover the costs of vehicle depreciation. The loss of vehicle value is estimated according to the exponential curve proposed by F. Kleiner [6] – fig. 1.

The equation (2) takes into account three factors: N_i - direct costs of incidental defects, $(1-K_g)$ – probability of the revenue loss due to the defect and the F_w - likelihood of the loss of confidence in a given vehicle make due to the occurring defects. Theoretically, the equation (2) can assume values from the infinity (highest efficiency) to the values approaching asymptotically to zero. For obvious reasons, the denominator can never take the value of 0, just like the value of the threshold revenue $P_p(p_k)$, which is fulfilled, because theoretically the vehicle loses its value at the time of purchase, i.e. at the zero mileage of p_k .

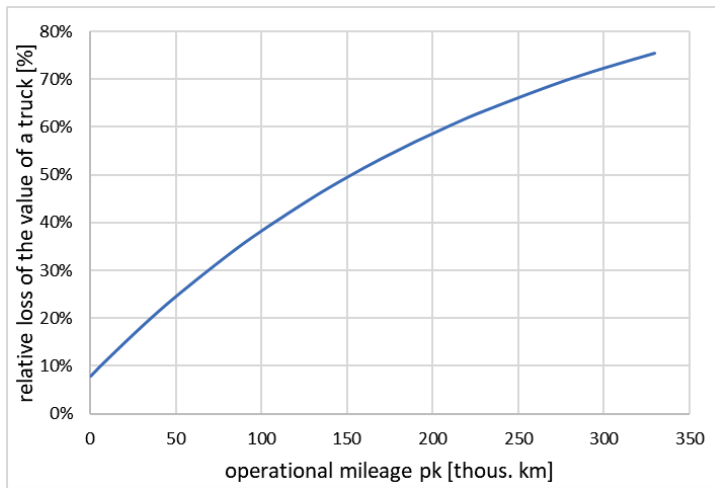


Fig. 1. Loss of the value of a truck as the function of the p_k operational mileage

The $R_z(p_k)$ (3) incapacity risk measure is the product of the unreliability determined from the equation (2) and threat, defined as threshold revenue (in the monetary values).

$$R_z(p_k) = \sum_{k=1}^n N_i(p_k) + \sum_{k=1}^n [\Delta P_p (1 - K_g(p_k))] + P_p(p_k) * m_l m_d F_w(p_k) \quad (3)$$

where: ΔP_p – threshold revenue achieved in the $p_k \div p_{k+1}$ mileage interval, m_l – loyalty factor, m_d – coefficient of the availability of transport services.

In further considerations, further components of the $R_z(p_k)$ risk sum will be defined as: $R_i(p_k)$ – the risk of direct repair costs in the $0 \div p_k$ interval, $R_g(p_k)$ – the risk caused by the loss of revenues due to vehicle’s downtime in the $0 \div p_k$ interval, the so-called, short-term risk of losing orders (order) for transport and $R_w(p_k)$ – the risk of an alleged loss of customer trust, the so-called long-term risk of losing orders for transport. In addition, the $R_w(p_k)$ risk component contains two correction factors: m_l - loyalty coefficient and m_d – coefficient of the availability of transport services. The values of both coefficients were assumed conventionally to be 0.5. This means that only every second client gives up in the event of

a discontinuity in the carriage of goods (m_i) and that on the market of transport services in the surrounding of the client, only two carriers declare satisfactory transport offers (m_d).

4. Test results

Fig. 2 shows the course of E_e operational efficiency as the function of the p_k operational mileage. For both vehicle makes, the E_e high efficiency is characteristic in the initial period of operation, followed by quite a sharp decline and oscillation at values below 1. The operational efficiency was also considered in the characteristic periods. The fig. 3a. and 3b. in the box-plot show the operational efficiency in the period when the vehicles were covered by the manufacturer's warranty (2 years) and after this period. During the warranty period, the vehicles of the I make achieved average mileage of 70,000 km, while M vehicles – approx. 100,000 km. Vehicles of the M make achieve significantly higher E_e efficiency in the post-warranty period compared to the I make. The period of full operational suitability (FOS) [9] for the vehicles of both makes is not the same and its length has been determined at around 150,000 km for the I and 210 thousand km for the M make (fig. 4). The R_z incapacity risk calculated for the I make as the function of the operational mileage is shown in fig. 5. The maximum amount of the R_z incapacity risk at a maximum mileage of 230 thousand km is 100,1 thousand. zl.

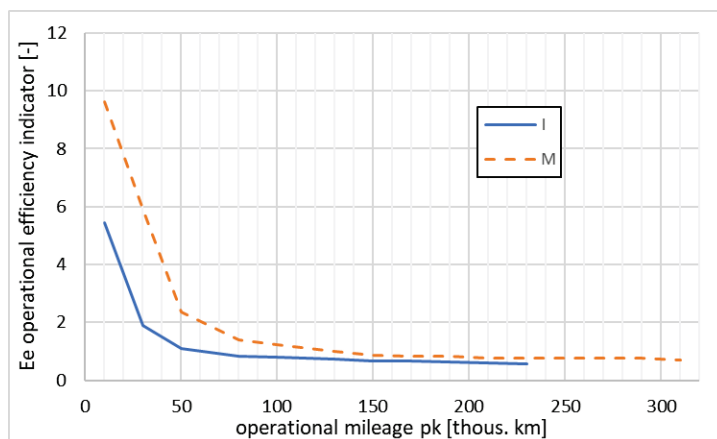


Fig. 2. E_e operational efficiency indicator as the function of the p_k mileage for the total period of observation

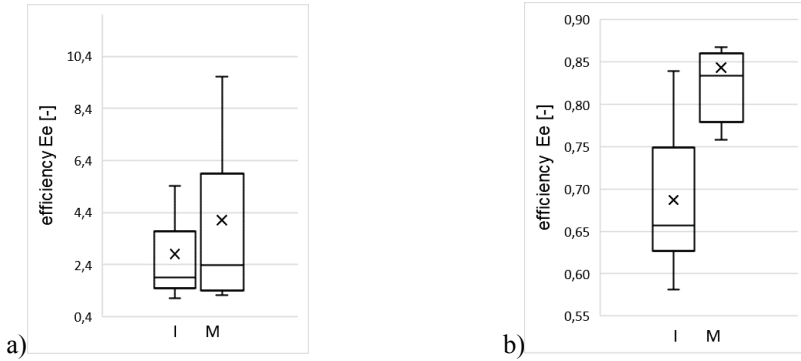


Fig. 3. E_e operational efficiency during the warranty period a) and post-warranty period b)

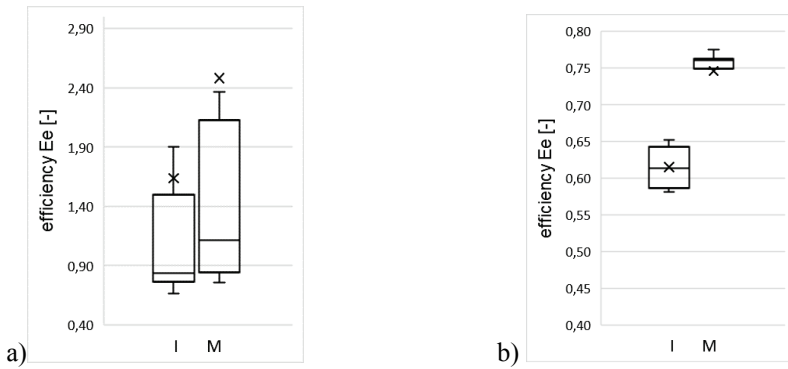


Fig. 4. E_e operational efficiency during the full operational suitability period a) and limited operational suitability b)

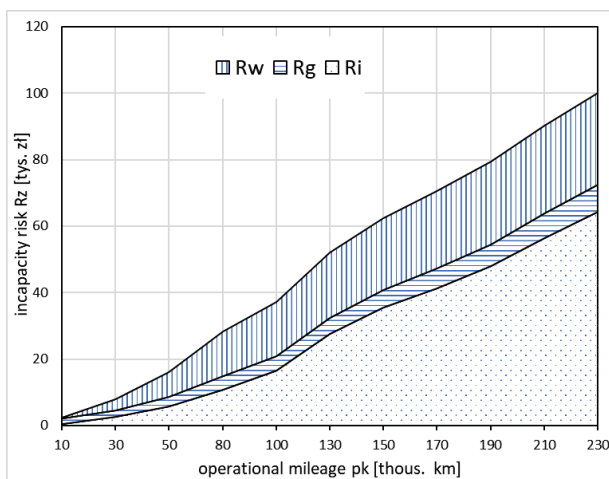


Fig. 5. accumulated risk of R_z incapacity as the function of p_k operational mileage for the I make

Of this amount, the largest part are the N_i costs of repairs of incidental defects, amounting to 64.2 thous. zl. To a relatively small extent, along with the p_k course, the risk R_g of losing revenues due to downtimes increases.

In turn, the R_w risk of losing customer confidence grows quite rapidly in the initial period of operation, and after about 100,000 km is normalized reaching the value of 27.7 thous. zl at the end of the observation period.

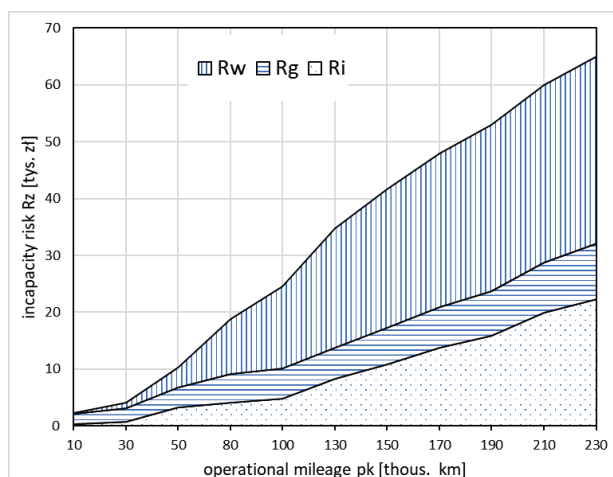


Fig. 6. Accumulated risk of R_z incapacity as the function of the p_k operating mileage for the M make

Due to different values of the maximum operating mileage for both tested vehicle makes, for comparison purposes, only the mileage range of 0–230 thous. km was considered. The total incapacity risk R_z at the mileage of 230 thous. km amounted to 65 thous. zl (fig. 6). The repair costs N_i alone are at the level of 22.4 thous. zl. Risk R_g and R_w are a greater part of the total risk than in the case of the I make and are characterized by a more rapid increase together with the operational mileage, especially the risk of losing customer confidence. The relationships between individual risk components for both makes are presented in fig. 7. For the vehicles of both makes, the risk R_g of loss of revenues due to downtimes is exponentially decreasing, which is consistent with the formation of unreliability as a function of the operational mileage of vehicles. For vehicles of both makes from about 130,000 km the R_g risk is about 9% and 15% of the total risk amount, respectively for make I and M. The share of customer confidence risk for both makes is similar. Initially, it gradually increases, reaches the maximum and then gradually decreases as a result of the increasing share of N_i . The R_w maximum risk equal to 47% for the make I, is achieved at the mileage of approx. 70 thous. km. For the M make it is 60%, at the mileage of approx. 130,000 km.

In the case of the I make, the risk R_i of direct repair costs of defects begins to dominate already at the operational mileage of approx. 100 thous. km. While for the M make, the

alleged risk R_w of losing customer confidence after reaching the mileage of approx. 50 thous. km.

In order to determine the optimal period of use of vehicles of both makes, the R_z risk amount was calculated per 1 km of the p_k operational mileage (fig. 8). As a result, a unit of $z\text{l}/\text{km}$ was obtained, which is widely used in the area of transport services to determine transport rates. The original assumption of the model is to achieve the threshold revenue. A threshold rate of around 3 $z\text{l}/\text{km}$ was assumed for the tested vehicles [2,17]. Assuming that the incapacity risk should not exceed this rate, the period of full operational suitability FOS [9] for I vehicles from fig. 8 is set at around 150,000 km, and the M make for 210,000 km.

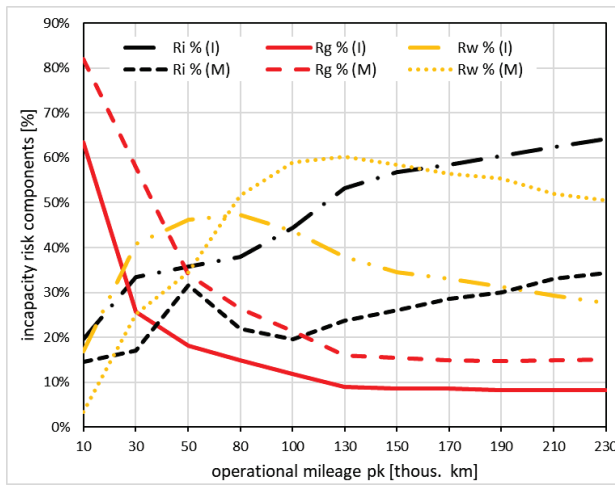


Fig. 7. Percentages of the R_z incapacity risk components as the function of the operating mileage p_k for vehicles of both makes

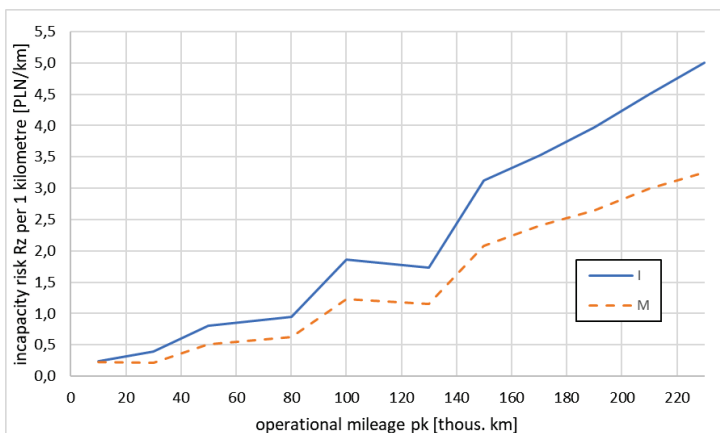


Fig. 8. The R_z incapacity risk per 1 km in the function of the p_k operational mileage

5. Discussing the results

The E_e operational efficiency charts have a similar character for both tested vehicle makes. Significant differences occur only in the initial period of operation, up to about 50,000 km of mileage, where for the M make, the efficiency is higher by approx. 50% compared to the I make. Comparing the operational efficiency in various operational periods, it can be stated that M vehicles have a higher efficiency value compared to the I make.

The values and structure of the incapacity risk also indicate the advantage of M vehicles, because the risk of incapacity is lower. For the I make vehicles, the dominant component is the risk of direct repair costs, while for the M make dominating is the risk of losing customer confidence R_w (about 50% of the total risk). Therefore, the potential choice of the M make will be more beneficial despite the higher purchase price of 205 thous. zł, compared to the price of I make vehicles – 175 thous. zł.

For the I make, the FOS period is equal to 150,000 km and corresponds to the operation for about 4.3 years, while for the M make it is 210 thous. km (about 4.5 years).

6. Conclusions

1. Suitability of the incapacity risk model for trucks was demonstrated, in particular in the scope of determining potential costs of business continuity and determining the optimal period of operation and the choice of the vehicle make.
2. In order to more accurately analyze the costs of the incapacity risk, it is necessary to verify the corrective factors for trucks: the ml loyalty factor and the md availability factor.

7. References

1. Burduk A.: Próba adaptacji szeregowych struktur niezawodności do analizy o oceny ryzyka systemów produkcyjnych. *Eksplatacja i Niezawodność*, nr 3(47), Warszawa 2010.
2. Chojnacki B.A.: Metoda wyznaczania stawek transportowych. *Logistyka*, 4/2011, Poznań 2011.
3. Dmowski A., Ignaciuk P., Ślęzak M., Niewczas A.: Analiza niezawodności i kosztów napraw samochodów ciężarowych w warunkach wynajmu długoterminowego. *Journal of KONBiN*, vol. 2(38), Warszawa 2016, DOI 10.1515/jok-2016-0022.

4. Dudek, M. Rudnicki, A.: Wpływ czynnika jakości na dobór rodzaju środka przewozowego w miejskim transporcie zbiorowym. *Transport Miejski i Regionalny*, 2/2008, Kraków 2008.
5. Jacyna M., Turkowski D.: Wybrane aspekty wielokryterialnej oceny doboru środków transportowych w systemach dystrybucji pojazdów. *Logistyka*, 4/2014, Poznań 2014.
6. Keiner F., Friedrich H.E.: Maintenance & Repair Cost Calculation and Assessment of Resale Value for Different Alternative Commercial Vehicle Powertrain Technologies. *EVS30 Symposium*, 1/2017, Stuttgart 2017.
7. Magiera M.: Monolityczna metoda wyboru dostawców i środków transportu dla łańcuchów dostaw. *Logistyka*, 2/2012, Poznań 2012.
8. Niewczas A., Móravski Ł., Dębicka E., Rymarz, J.: Prognozowanie kosztów niezdatności autobusów miejskich. *XLVII Zimowa Szkoła Niezawodności*, Szczyrk 2019.
9. Niewczas A., Rymarz J., Dębicka E.: Etapy użytkowania pojazdów ze względu na efektywność eksploatacyjną na przykładzie autobusów miejskich. *Eksploatacja i Niezawodność*, vol. 21, no. 1, Warszawa 2019.
10. PN-IEC 60300-3-9:1999: Zarządzanie niezawodnością – Przewodnik zastosowań – Analiza ryzyka w systemach technicznych, PKN, 1999.
11. PN-ISO 31000:2018-08: Zarządzanie ryzykiem – Wytyczne, PKN, 2018.
12. Roland H. E., Moriarty B.: *System Safety Engineering and Management*. Wiley, 1990.
13. Szopa T.: *Niezawodność i bezpieczeństwo*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
14. Szopa T.: *Niezawodność w systemie człowiek-technika-środowisko*. [w:] *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*, t. 2. Praca Zbiorowa, CIOP, Warszawa 1997.
15. Tubis A.: Oceny ryzyka w transporcie drogowym – podejście strategiczne i biznesowe. *Journal of KONBiN*, vol. 45, Warszawa 2018, DOI 10.2478/jok-2018-0016.
16. Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Problematyka oceny ryzyka w procesie obsługi transportu ładunków towarowych. *Journal of KONBiN*, vol. 42, Warszawa 2017, DOI 10.1515/jok-2017-0027.
17. Witkowski K., Tanona K.: Analiza kosztów transportu drogowego. *Logistyka*, 5/2013, Poznań 2013.

ANALIZA RYZYKA NIEZDATNOŚCI SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH W WARUNKACH PRZEDSIĘBIORSTWA TRANSPORTOWEGO

1. Wstęp

Ciągłość działalności przedsiębiorstwa transportowego uzależniona jest od zdatności środków transportowych, a zachwianie tego stanu prowadzi do strat. Z punktu widzenia przedsiębiorcy działającego w uwarunkowaniach rynkowych szczególne znaczenie mają ponoszone straty finansowe. Mogą być one określone na podstawie analizy ryzyka.

Prawidłowa ocena opłacalności działalności przedsiębiorstw transportowych wymaga znajomości kosztów eksploatacji i kosztów zakupu pojazdów użytkowych. W literaturze, dobór środków transportowych w odniesieniu do rodzaju realizowanych zadań przewozowych jest często poruszany [3,4,6], w przeciwieństwie do wyboru producenta pojazdów w obrębie tej samej zdolności przewozowej [3].

Przedsiębiorcy decydujący się na zakup nowych pojazdów coraz większą uwagę poświęcają analizie kosztów późniejszego obsługiwanie (utrzymania ciągłości działania). Jej zakres sprowadza się jednak przede wszystkim do oceny kosztów eksploatacji wynikających z planowanych usług i uzupełniania płynów eksploatacyjnych. Koszty nieplanowanych napraw często są niedoszacowane lub nie są uwzględniane w ogóle, co może prowadzić do błędnych decyzji w procesie doboru środków transportowych. Koszty pośrednie, wynikające z uszkodzeń nieplanowanych, praktycznie nigdy nie są brane pod uwagę, co wynika z niepełnej wiedzy o czynnikach, które je generują.

Norma PN-ISO 31000:2018.08 określa ryzyko jako wpływ niepewności na cele [11]. Norma PN-IEC 60300-3-9, dotycząca analizy ryzyka, definiuje je jako relację prawdopodobieństwa wystąpienia określonego zdarzenia i jego konsekwencji [10]. Mianem ryzyka określana bywa także zawodność (rozumiana jako przeciwieństwo niezawodności) – [1] lub ustalony poziom zagrożenia [12]. Bogactwo definicji wynika przede wszystkim z dużego obszaru zastosowań, w których przeprowadzana jest jego ocena oraz z informacji jakie ma ta ocena dostarczyć.

W odniesieniu do przedsiębiorstw transportowych odpowiednią wydaje się definicja zaproponowana w [13,14], określająca ryzyko jako możliwość pojawienia się określonych strat (szkód) w rozważanym systemie i określonym czasie jego funkcjonowania. Ten sam autor definiuje również miarę ryzyka wyrażoną postacią ogólną:

$$[miara\ ryzyka] = [miara\ zawodności] \times [miara\ zagrożenia] \quad (1)$$

W odniesieniu do transportu drogowego analiza ryzyka najczęściej dotyczy zagadnień bezpieczeństwa, w sensie ochrony życia i zdrowia uczestników ruchu drogowego. Skuteczność realizowanych usług przewozowych (podejście biznesowe) nie jest często badana, pomimo zasadności takich analiz [15,16].

2. Przebieg badań

Badania eksploatacyjne przeprowadzono na grupie 60 pojazdów, próbę badawczą stanowiło po 30 sztuk samochodów dwóch marek (producentów), które na potrzeby pracy oznaczono – I i M. Do badań wybrano pojazdy średniej ładowności, o dopuszczalnej masie całkowitej nie przekraczającej 12 ton. Pojazdy obu marek były wykorzystywane w transporcie dystrybucyjnym i posiadały porównywalne zdolności przewozowe. Przedsiębiorca w trakcie badań rejestrował koszty ponoszone na rzecz utrzymania ciągłości działania pojazdów, datę ich wystąpienia oraz przebieg eksploatacyjny. Dla celów niniejszej pracy ograniczono się jedynie do kosztów powodowanych przez uszkodzenia incydentalne, wykluczając koszty okresowych obsług, ubezpieczeń, podatków, paliwa, i podobne koszty, o znanej wielkości. Średni przebieg eksploatacyjny wykonany przez pojazdy marki M wyniósł około 221 tys. km i zrealizowany był w średnim czasie 56 miesięcy. Dla pojazdów marki I średni przebieg wyniósł około 158 tys. km i wykonywany był w średnim czasie 55 miesięcy (tab. 1).

Tabela 1

Czasy obserwacji próby badawczej

| marka | Średni przebieg pk [tys. km] | Odchylenie standardowe opk [tys. km] | Średni czas obserwacji [m-cy] | Odchyl. Standardowe średniego czasu obserwacji [m-cy] |
|-------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|
| M | 220,5 | 47,9 | 56 | 2,1 |
| I | 157,6 | 36,7 | 55 | 7,1 |

3. Model ryzyka niezdatności

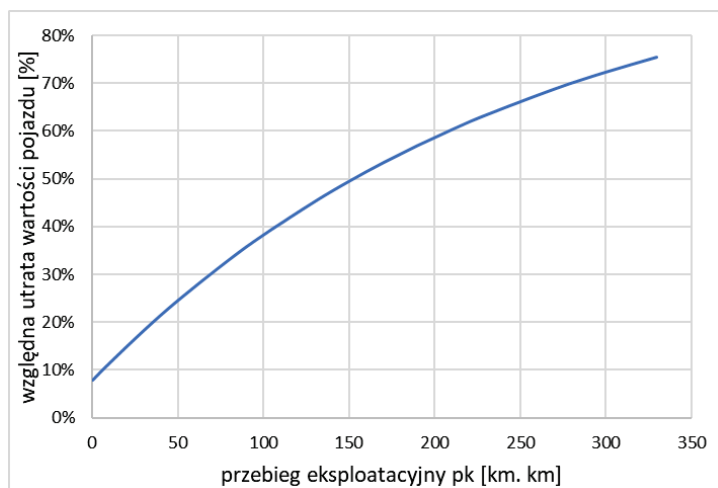
Efektywność eksploatacyjna określona wzorem (2) stanowi podstawę do wyznaczenia miary zawodności według wzoru (1) [3,7].

$$E_e(p_k) = \frac{1}{\frac{N_i(p_k)}{P_p(p_k)} + [1 - K_g(p_k)] + F_w(p_k)} \quad (2)$$

gdzie: p_k – kres górny k-tego przedziału przebiegu eksploatacyjnego, $E_e(p_k)$ – efektywność eksploatacyjna do osiągnięcia kresu górnego przebiegu eksploatacyjnego p_k , $N_i(p_k)$ –

skumulowany koszt napraw nieplanowanych do chwili osiągnięcia przebiegu p_k , $P_p(p_k)$ – przychód progowy do chwili osiągnięcia przebiegu p_k , $K_g(p_k)$ – gotowość techniczna w przedziale $p_k \div p_{k+1}$, $F_w(p_k)$ – dystrybuanta rozkładu Weibulla przebiegu eksploatacyjnego p_k do pierwszego uszkodzenia.

Założeniem wyjściowym w równaniu (2) jest osiągnięcie przychodu progowego czyli takiego, który pozwala w pełni pokryć koszty amortyzacji pojazdu. Utrata wartości pojazdu jest szacowana według krzywej wykładniczej zaproponowanej przez F. Kleiner [6] – rys. 1.



Rys. 1. Utrata wartości samochodu ciężarowego w funkcji przebiegu eksploatacyjnego p_k

Równanie (2) uwzględnia trzy czynniki: koszty bezpośrednie uszkodzeń incydentalnych N_i , prawdopodobieństwo utraty przychodu na skutek uszkodzenia $(1-K_g)$ i prawdopodobieństwo utraty zaufania F_w do danej marki pojazdów na skutek występujących uszkodzeń. Teoretycznie równanie (2) może przybierać wartości od nieskończoności (największa efektywność) do wartości zbliżających się asymptotycznie do zera. Ze względów oczywistych mianownik nigdy nie może przybrać wartości 0, tak samo jak wartość przychodu progowego $P_p(p_k)$, co jest spełnione, ponieważ teoretycznie pojazd traci na wartości już w momencie zakupu czyli przy zerowym przebiegu p_k .

Miarą ryzyka niezdatności $R_z(p_k)$ (3) jest iloczyn zawodności wyznaczonej z równania (2) i zagrożenia, zdefiniowanego jako przychód progowy (w wartościach pieniężnych).

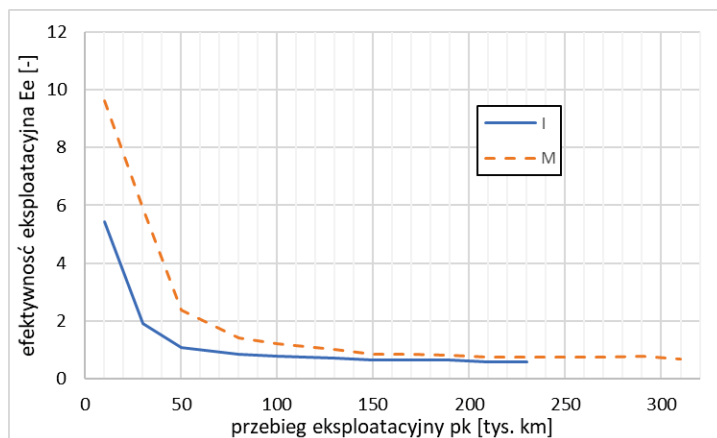
$$R_z(p_k) = \sum_{k=1}^n N_i(p_k) + \sum_{k=1}^n [\Delta P_p (1 - K_g(p_k))] + P_p(p_k) * m_l m_d F_w(p_k) \quad (3)$$

gdzie: ΔP_p – przychód progowy osiągany w przedziale przebiegu $p_k \div p_{k+1}$, m_l – współczynnik lojalności, m_d – współczynnik dostępności usług przewozowych.

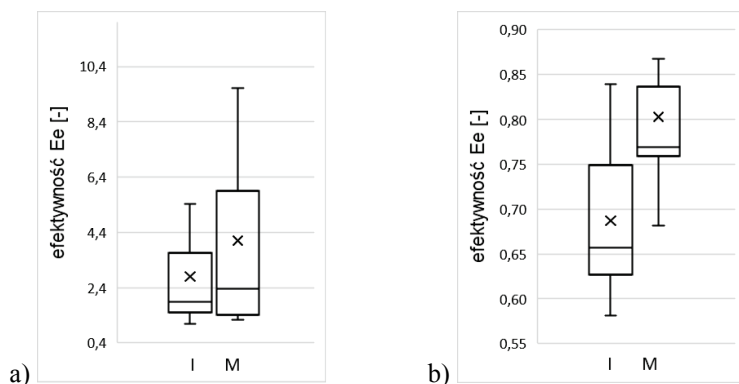
W dalszych rozważaniach kolejne składniki sumy ryzyka $R_z(p_k)$ będą określane jako: $R_i(p_k)$ – ryzyko bezpośrednich kosztów napraw w przedziale $0 \div p_k$, $R_g(p_k)$ – ryzyko spowodowane utratą przychodów na skutek przestojów pojazdów w przedziale $0 \div p_k$, tzw. krótkoterminowe ryzyko utraty zleceń (zlecenia) na przewozy i $R_w(p_k)$ – ryzyko domniemanej utraty zaufania klienta, tzw. długoterminowe ryzyko utraty zleceń na przewozy. Ponadto składnik ryzyka $R_w(p_k)$ zawiera dwa współczynniki korygujące: m_l – współczynnik lojalności i m_d – współczynnik dostępności usług przewozowych. Wartości obu współczynników przyjęto umownie jako 0,5. Oznacza to, że tylko co drugi zleceniodawca rezygnuje w przypadku nieciągłości realizacji przewozów (m_l) oraz, że na rynku usług przewozowych w otoczeniu zleceniodawcy tylko dwóch przewoźników zgłasza zadowolające oferty transportowe (m_d).

4. Wyniki badań

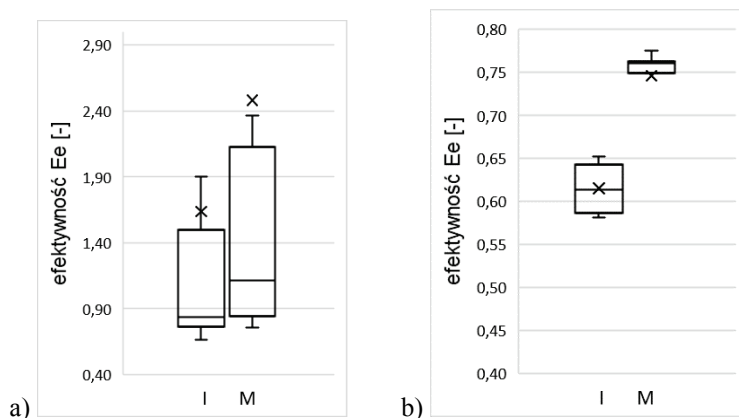
Na rys. 2 przedstawiono przebieg efektywności eksploatacyjnej E_e w funkcji przebiegu eksploatacyjnego p_k . Dla pojazdów obu marek charakterystyczna jest wysoka efektywność E_e w początkowym okresie eksploatacji, po którym następuje dość gwałtowny spadek i oscylowanie przy wartościach poniżej 1. Efektywność eksploatacyjną rozpatrzono również w charakterystycznych okresach. Na rys. 3a. i 3b. na wykresach ramka-wąsy przedstawiono efektywność eksploatacyjną w okresie gdy pojazdy były objęte gwarancją producenta (2 lata) i po tym okresie.



Rys. 2. Wskaźnik efektywności eksploatacyjnej E_e w funkcji przebiegu p_k dla całkowitego okresu obserwacji

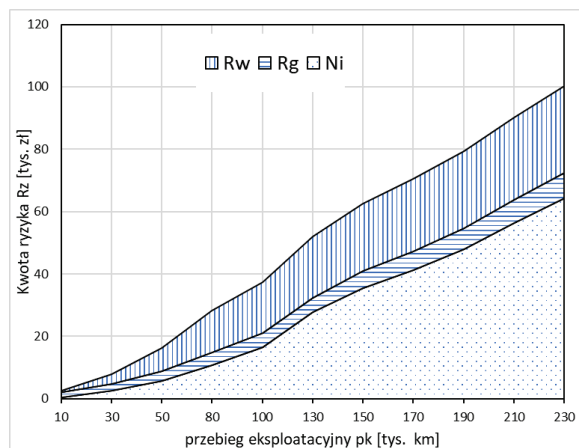


Rys. 3. Efektywność eksploatacyjna E_e w okresie gwarancyjnym a) i okresie pogwarancyjnym b)



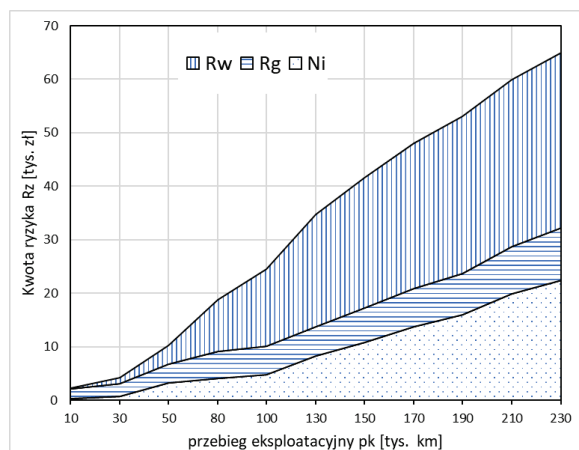
Rys. 4. Efektywność eksploatacyjna E_e w okresie pełnej przydatności eksploatacyjnej a) i ograniczonej przydatności eksploatacyjnej b)

W okresie gwarancyjnym pojazdy marki I wykonały średni przebieg na poziomie 70 tys. km, a pojazdy marki M – ok. 100 tys. km. Pojazdy marki M osiągają istotnie wyższą efektywność E_e w okresie pogwarancyjnym w porównaniu do marki I. Okres pełnej przydatności eksploatacyjnej (PPE) [9] dla pojazdów obu marek nie jest jednakowy i określono jego długość na poziomie około 150 tys. km dla marki I i 210 tys. km dla marki M (rys. 4). Ryzyko niezdatności R_z obliczone dla marki I w funkcji przebiegu eksploatacyjnego przedstawiono na rys. 5. Maksymalna kwota ryzyka niezdatności R_z przy przebiegu maksymalnym 230 tys. km wynosi 100,1 tys. zł. Z tej kwoty największą część stanowią koszty napraw N_i uszkodzeń incydentalnych, wynoszą one 64,2 tys. zł. W stosunkowo niewielkim stopniu, wraz z przebiegiem p_k wzrasta ryzyko utraty przychodów na skutek przestojów R_g .



Rys. 5. Skumulowane ryzyko niezdatności R_z w funkcji przebiegu eksploatacyjnego p_k dla marki I

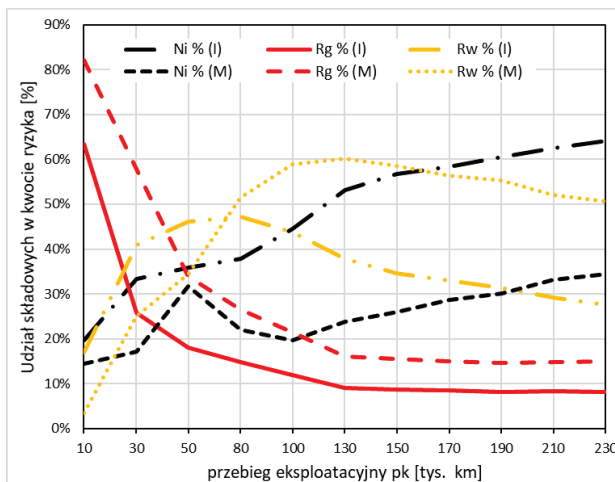
Z kolei ryzyko utraty zaufania klienta R_w dość szybko narasta w początkowym okresie eksploatacji, a po około 100 tys. km normuje się osiągając wartość 27,7 tys. zł pod koniec okresu obserwacji.



Rys. 6. Skumulowane ryzyko niezdatności R_z w funkcji przebiegu eksploatacyjnego p_k dla marki M

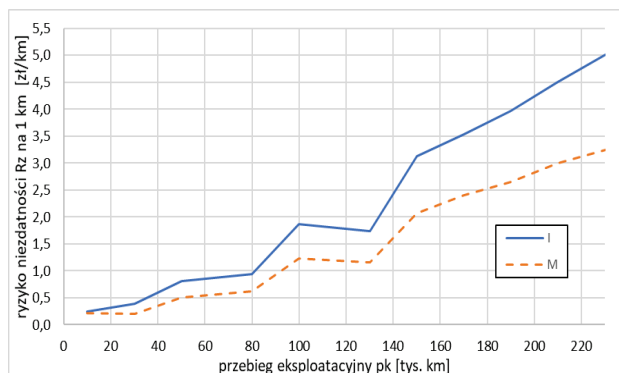
Z uwagi na różne wartości maksymalnego przebiegu eksploatacyjnego dla obu badanych marek pojazdów, dla celów porównawczych wzięto pod uwagę tylko przedział przebiegu 0 – 230 tys. km. Całkowite ryzyko niezdatności R_z przy przebiegu 230 tys. km wyniosło 65 tys. zł (rys. 6). Same koszty napraw N_i kształtują się na poziomie 22,4 tys. zł. Stosunkowo ryzyko R_g i R_w stanowią większą część całkowitego ryzyka niż w przypadku marki I i charakteryzują się gwałtowniejszym przyrostem wraz z przebiegiem eksploatacyjnym, szczególnie ryzyko utraty zaufania klienta.

Relacje poszczególnych składowych ryzyka dla pojazdów obu marek przedstawiono na rys. 7. Dla pojazdów obu marek ryzyko utraty przychodów spowodowane przestojami R_g ma charakter wykładniczo malejący, co jest zbieżne z kształtowaniem się zawodności w funkcji przebiegu eksploatacyjnego pojazdów. Dla pojazdów obu marek od około 130 tys. km ryzyko R_g stanowi około 9% i 15% całkowitej kwoty ryzyka, odpowiednio dla marki I i M. Udział ryzyka zaufania klienta również dla obu marek jest zbliżony. Początkowo sukcesywnie wzrasta, osiąga maksimum i następnie stopniowo maleje na skutek powiększającego udziału N_i . Maksimum ryzyka R_w równe 47% dla marki I, jest osiągane przy przebiegu ok. 70 tys. km. Dla marki M jest to 60%, przy przebiegu ok. 130 tys. km. W przypadku marki I ryzyko bezpośrednich kosztów napraw uszkodzeń R_i zaczynają dominować już przy przebiegu eksploatacyjnym ok. 100 tys. km, z kolei dla marki M domniemane ryzyko utraty zaufania klienta R_w po przekroczeniu przebiegu ok. 50 tys. km.



Rys. 7. Udziały procentowe składowych ryzyka niezdatności R_z w funkcji przebiegu eksploatacyjnego p_k dla pojazdów obu marek

W celu wyznaczenia optymalnego okresu użytkowania pojazdów obu marek wyznaczono kwotę ryzyka R_z w przeliczeniu na 1 km przebiegu eksploatacyjnego p_k (rys. 8). Dzięki temu otrzymano jednostkę zł/km, która jest powszechnie wykorzystywana w obszarze usług transportowych do określania stawek przewozowych. Pierwotnym założeniem modelu jest osiągnięcie przychodu progowego. Dla badanych pojazdów przyjęto stawkę progową na ok. 3 zł/km [2,17]. Zakładając, że ryzyko niezdatności nie powinno przekroczyć tej stawki, okres pełnej przydatności eksploatacyjnej PPE [9] dla pojazdów marki I z rys. 8 określono na ok. 150 tys. km, a marki M na 210 tys. km.



Rys. 8. Ryzyko niezdatności R_z w przeliczeniu na 1 km w funkcji przebiegu eksploatacyjnego p_k

5. Dyskusja wyników

Wykresy efektywności eksploatacyjnej E_e mają podobny charakter dla obu badanych marek pojazdów. Istotne różnice występują jedynie w początkowym okresie użytkowania, do osiągnięcia przebiegu ok. 50 tys. km, gdzie dla marki M, efektywność jest wyższa w porównaniu do marki I o ok. 50%. Porównując efektywność eksploatacyjną w różnych okresach eksploatacji można stwierdzić, że pojazdy marki M odznaczają się wyższą wartością efektywności w porównaniu do marki I.

Wartości i struktura ryzyka niezdatności również wskazują na przewagę pojazdów marki M, ponieważ ryzyko niezdatności jest niższe. Dla pojazdów marki I dominującą składową jest ryzyko bezpośrednich kosztów napraw, natomiast dla marki M dominuje ryzyko utraty zaufania klienta R_w (ok. 50% całkowitego ryzyka). Zatem potencjalny wybór marki M będzie korzystniejszy pomimo wyższej ceny zakupu wynoszącej 205 tys. zł, w porównaniu do ceny pojazdów marki I – 175 tys. zł.

Dla marki I okres PPE jest równy 150 tys. km odpowiada to użytkowaniu przez około 4,3 lat, dla marki M jest to 210 tys. km (około 4,5 lat).

6. Wnioski

1. Wykazano przydatność modelu ryzyka niezdatności w odniesieniu do samochodów ciężarowych w szczególności w zakresie wyznaczania potencjalnych kosztów ciągłości działania oraz określenia optymalnego okresu użytkowania i wyboru marki pojazdów.
2. W celu dokładniejszej analizy kosztów ryzyka niezdatności konieczne jest zweryfikowanie właściwych dla samochodów ciężarowych współczynników korygujących: współczynnika lojalności m_l i współczynnika dostępności m_d .

7. Literatura

1. Burduk A.: Próba adaptacji szeregowych struktur niezawodności do analizy o oceny ryzyka systemów produkcyjnych. Eksploatacja i Niezawodność, nr 3(47), Warszawa 2010.
2. Chojnacki B.A.: Metoda wyznaczania stawek transportowych. Logistyka, 4/2011, Poznań 2011.
3. Dmowski A., Ignaciuk P., Ślęzak M., Niewczas A.: Analiza niezawodności i kosztów napraw samochodów ciężarowych w warunkach wynajmu długoterminowego. Journal of KONBiN, vol. 2(38), Warszawa 2016, DOI 10.1515/jok-2016-0022.
4. Dudek M., Rudnicki A.: Wpływ czynnika jakości na dobór rodzaju środka przewozowego w miejskim transporcie zbiorowym. Transport Miejski i Regionalny, 2/2008, Kraków 2008.
5. Jacyna M., Turkowski D.: Wybrane aspekty wielokryterialnej oceny doboru środków transportowych w systemach dystrybucji pojazdów. Logistyka, 4/2014, Poznań 2014.
6. Keiner F., Friedrich H.E.: Maintenance & Repair Cost Calculation and Assessment of Resale Value for Different Alternative Commercial Vehicle Powertrain Technologies, EVS30 Symposium, 1/2017, Stuttgart 2017.
7. Magiera M.: Monolityczna metoda wyboru dostawców i środków transportu dla łańcuchów dostaw, Logistyka, 2/2012, Poznań 2012.
8. Niewczas A., Móravski Ł., Dębicka E., Rymarz J.: Prognozowanie kosztów niezdatności autobusów miejskich. XLVII Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2019.
9. Niewczas A., Rymarz J., Dębicka E.: Etapy użytkowania pojazdów ze względu na efektywność eksploatacyjną na przykładzie autobusów miejskich. Eksploatacja i Niezawodność, vol. 21, no. 1, Warszawa 2019.
10. PN-IEC 60300-3-9:1999: Zarządzanie niezawodnością - Przewodnik zastosowań - Analiza ryzyka w systemach technicznych, PKN, 1999
11. PN-ISO 31000:2018-08: Zarządzanie ryzykiem – Wytyczne, PKN, 2018
12. Roland H. E., Moriarty B.: System Safety Engineering and Management. Wiley, 1990.
13. Szopa T.: Niezawodność i bezpieczeństwo. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
14. Szopa T.: Niezawodność w systemie człowiek-technika-środowisko. [w:] Bezpieczeństwo pracy i ergonomia, T. 2, CIOP, Warszawa 1997.
15. Tubis A.: Oceny ryzyka w transporcie drogowym – podejście strategiczne i biznesowe. Journal of KONBiN, vol. 45, Warszawa 2018, DOI 10.2478/jok-2018-0016.

16. Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Problematyka oceny ryzyka w procesie obsługi transportu ładunków towarowych. *Journal of KONBiN*, vol. 42, Warszawa 2017, DOI 10.1515/jok-2017-0027.
17. Witkowski K., Tanona K.: Analiza kosztów transportu drogowego. *Logistyka*, 5/2013, Poznań 2013.