

Jerzy Kwaśnikowski, Adrian Gill, Grzegorz Gramza

Szacowanie stopnia strat ponoszonych przez przewoźników kolejowych w wyniku zdarzeń niepożądanych w ruchu kolejowym

Jednym z rodzajów zdarzeń niepożądanych (ZN), występujących w systemie transportu kolejowego, są zakłócenia w ruchu kolejowym. Są to odstępstwa w realizacji zadań przewozowych od wcześniej ustalonego planu ze względu na bieżącą sytuację ruchową na drodze kolejowej [16].

Zgodnie z definicją ZN podaną w pracy [18] – zdarzenie ZN – i tym samym zakłócenie – może spowodować straty. Mogą one dotyczyć wszystkich elementów systemu transportowego i otoczenia. Ponosi je zarówno konsument usług transportowych (pasażer, zleceniodawca przewozu), przewoźnik, dostawca infrastruktury, jak i otoczenie kolejowego systemu transportowego (np. środowisko naturalne). Szacowanie stopnia strat spowodowanych ZN ma zatem ważne znaczenie w procesie ich oceny przez podmioty badające takie zdarzenia. Jest także podstawowym elementem jednego z procesów w zarządzaniu ryzykiem zagrożeń, tj. elementem procesu identyfikacji zagrożeń. Proces ten polega na sformułowaniu zagrożeń i przyjęciu poziomu strat jakie zostaną wygenerowane w wyniku ich aktywizacji [4].

Specyfika organizacji transportu kolejowego, szczególnie trasowany ruch pociągów i ograniczenia przy wyprzedzaniu pociągów na szlaku, powodują, że zakłócenia pojedynczych pociągów mogą stanowić źródła wtórnych zakłóceń w wielu miejscach sieci kolejowej. Ocena strat spowodowanych zakłóceniami dla wymienionych elementów jest zależna od przyjętych kryteriów. Najczęstszym rodzajem strat spowodowanych zakłóceniami są straty czasowe i energetyczne posiadające swój wymiar finansowy. W przypadku wypadków kolejowych zakres rodzajów strat obejmuje także utratę zdrowia i życia ludzi lub straty mienia. Trudno jest zdefiniować uniwersalną miarę stopnia strat spowodowanych zakłóceniami – to jest taką, którą można by stosować jednocześnie dla wszystkich elementów systemu transportowego i otoczenia. Straty te bowiem dotyczą w różnym stopniu pasażera, przewoźnika i środowiska naturalnego [11]. Model miary stopnia strat dostosowuje się zatem do określonego elementu systemu transportowego i otoczenia.

W artykule przedstawiono propozycję wyznaczania miary stopnia strat ponoszonych przez przewoźników kolejowych w wyniku zakłóceń w ruchu kolejowym. Tematyka pracy poruszana była wcześniej przez autorów niniejszej pracy w [3, 9, 10, 11], gdzie przedstawiono między innymi modele wyznaczania skutków zdarzeń niepożądanych w ruchu kolejowym i przykłady szacowania skutków zakłóceń w ruchu kolejowym.

Model szczegółowy szacowania stopnia strat ponoszonych przez przewoźników kolejowych w wyniku zakłóceń w ruchu kolejowym

Modele ogólne miar stopnia strat spowodowanych zdarzeniami niepożądanymi w ruchu kolejowym przedstawiono między innymi w pracach [3, 11].

Do wyznaczenia miary stopnia strat ponoszonych przez przewoźnika e_1 przyjęto zbiór kryteriów $K(e_1)$, według których szacuje się stopień strat oraz zbiór ważności kryteriów $Q(K(e_1))$, które zostały określone w następujący sposób:

$$K(e_1) = \{k_1^1(e_1), k_2^1(e_1), k_3^1(e_1), k_3^2(e_1), k_4^1(e_1), k_4^2(e_1), k_5^1(e_1), k_6^1(e_1)\} \quad (1)$$

$$Q(K(e_1)) = \{q[k_1^1(e_1)], q[k_2^1(e_1)], q[k_3^1(e_1)], q[k_3^2(e_1)], q[k_4^1(e_1)], q[k_4^2(e_1)], q[k_5^1(e_1)], q[k_6^1(e_1)]\} \quad (2)$$

$$Q(K(e_1)) = \{0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7\} \quad (3)$$

gdzie:

$k_1^1(e_1)$ – kryterium rodzaju pociągu (tab. 2),

$k_2^1(e_1)$ – kryterium wielkości konkurencji na rynku przewozów (tab. 2),

$k_3^1(e_1)$ – kryterium zmiany zużycia energii przeznaczonej na realizację przejazdu zakłóconego i bez zakłóceń (zależność 4 i tab. 1),

$k_3^2(e_1)$ – kryterium zmiany zużycia energii przeznaczonej na realizację przejazdu zakłóconego i bez zakłócenia (zależność 5 i tab. 1),

$k_4^1(e_1)$ – kryterium dodatkowego czasu zatrudnienia załogi – druzyn konduktorskich i trakcyjnych (zależność 8 i tab. 1),

$k_4^2(e_1)$ – kryterium dodatkowego czasu wykorzystania taboru (tab. 2),

$k_5^1(e_1)$ – kryterium spadku jakości usług wykonywanych przez przewoźnika (tab. 2),

$k_6^1(e_1)$ – kryterium strat w mieniu przewoźnika opracowane w oparciu o przybliżone ceny taboru i koszty napraw taboru szynowego 0 (tab. 1).

Kryterium $k_3^1(e_1)$ zmiany zużycia energii przeznaczonej na realizację przejazdu zakłóconego i bez zakłóceń wyznacza się na podstawie wskaźnika procentowego $w(E)_k^{pab}$ zmiany zużycia energii podczas przejazdu z występującym zakłóceniem na k -tym odcinku drogi który zdefiniowano następująco:

$$w(E)_k^{pab} = \frac{(E_{k,Z}^{pab} - E_{k,Z}^{pab})}{E_{k,BZ}^{pab}} 100\% \quad (4)$$

gdzie:

$E_{k,Z}^{pab}$ – energia przeznaczona na zakłócony przejazd k -tego odcinka drogi p^{ab} [kWh],

$E_{k,BZ}^{pab}$ – energia przeznaczona na niezakłócony przejazd k -tego odcinka drogi p^{ab} [kWh].

Różnica w zużywanej energii podczas przejazdu zakłóconego i niezakłóconego jest podstawą do wyznaczania kryterium $k_3^2(e_1)$. Przyrost energii może być dodatni lub ujemny, ponieważ obniżenie prędkości dopuszczalnej na znacznym odcinku toru może powodować mniejsze zużycie energii na przejazd poprzez jego mniejszą forsowność, ale znacznie dłuższy czas przejazdu:

$$\Delta E_k^{pab} = E_{k,Z}^{pab} - E_{k,ZB}^{pab} \text{ [kWh]} \quad (5)$$

gdzie:

ΔE_k^{pab} – zmiana zużycia energii w trakcie przejazdu zakłóconego i niezakłóconego na k -tym odcinku drogi p^{ab} [kWh].

Kryterium dodatkowego czasu zatrudnienia załogi – drużyn konduktorskich i trakcyjnych $k_4^2(e_1)$ oparte jest o dodatkowy koszt zatrudnienia załogi w tym czasie. Zatrudnienie załogi, podobnie jak inne składowe kosztów, jest najczęściej wyrażane w jednostkach [zł/km]. Aby uzyskać koszt jednostkowy w odniesieniu do czasu, tj. czas w jednostkach [zł/min], należy uwzględnić średnią prędkość handlową realizacji zadań przewozowych na danym odcinku [1]. Zależność tę można wyrazić wzorem:

$$k_{zZA}(t) = \frac{(k_{zDT}(s) + k_{zDK}(s) \cdot v_{sr}^{HAN})}{60} \text{ [zł/min]} \quad (6)$$

gdzie:

$k_{zZA}(t)$ – koszt jednostkowy zatrudnienia załogi w zależności od czasu realizacji zadania przewozowego [zł/min],

$k_{zDT}(s)$ – koszt jednostkowy zatrudnienia drużyny trakcyjnej w zależności od drogi przewozu [zł/km],

$k_{zDK}(s)$ – koszt jednostkowy zatrudnienia drużyny konduktorskiej w zależności od drogi przewozu [zł/km],

v_{sr}^{HAN} – średnia prędkość handlowa realizacji zadania [km/h].

Koszt łączny zatrudnienia załogi $K_{zZA_k}^{pab}$ w trakcie przejazdu odcinkiem p_k^{pab} będzie iloczynem rzeczywistego czasu realizacji zadania przewozowego t_k^{pab} i kosztu jednostkowego (odniesionego do czasu) zatrudnienia załogi w zależności od czasu realizacji tego zadania $k_{zZA}(t)$:

$$K_{zZA_k}^{pab} = t_k^{pab} \cdot k_{zZA}(t) = t_k^{pab} \cdot \frac{(k_{zDT}(s) + k_{zDK}(s) \cdot v_{sr}^{HAN})}{60} \text{ [zł]} \quad (7)$$

Dodatkowy łączny koszt zatrudnienia załogi $K_{zZA_k}^{pab}$ ze względu na wydłużenie czasu realizacji zadania z powodu zakłóceń ruchu będzie zatem wyznaczony następująco:

$$\begin{aligned} \Delta K_{zZA_k}^{pab} &= (t_{k,Z}^{pab} - t_{k,BZ}^{pab}) \cdot k_{zZA}(t) = \\ &= (t_{k,Z}^{pab} - t_{k,BZ}^{pab}) \cdot \frac{(k_{zDT}(s) + k_{zDK}(s) \cdot v_{sr}^{HAN})}{60} \text{ [zł]} \end{aligned} \quad (8)$$

gdzie:

$t_{k,Z}^{pab}$ – rzeczywisty czas realizacji zakłóconego zadania przewozowego na k -tym odcinku drogi p^{ab} [min],

$t_{k,BZ}^{pab}$ – czas realizacji zadania przewozowego bez zakłóceń na k -tym odcinku drogi p^{ab} [min].

Przyjęto następujące przedziały kryterialne oraz odpowiadające im miary ocenowe i liczbowe dla kryteriów ilościowych i jakościowych, które przedstawiono w tabelach 1 i 2. Przedziały dla kryteriów energetycznych $k_3^1(e_1)$ i $k_3^2(e_1)$ opracowano między innymi na podstawie prac [13, 15] i wcześniejszych wyników badań symulacyjnych, prezentowanych w pracach [6, 7, 8].

Podsumowanie

W artykule przedstawiono propozycję szacowania miary stopnia strat ponoszonych przez przewoźników kolejowych z powodu zakłóceń w ruchu kolejowym. Przedstawiono model szczegółowy szacowania miary stopnia tych strat. Użyteczność opracowanego modelu polega między innymi na możliwości kwantyfikacji (określenia ilościowego) jednego z najistotniejszych – z punktu widzenia przewoźnika kolejowego – rodzajów strat, tj. tych związanych z nieplanowym wykonaniem zadania przewozowego. Należy ponadto wskazać, że szacowanie stopnia strat spowodowanych – ogólnie rozumianymi – zdarzeniami niepożądanymi w transporcie kolejowym ma istotne znaczenie w procesie analizy zdarzeń przez odpowiednie instytucje zajmujące się tą problematyką. Jest to także ważny element procesu zarządzania ryzykiem zagrożeń, zwłaszcza zagrożeń występujących w transporcie kolejowym.

Trudno jest zdefiniować uniwersalną miarę stopnia strat spowodowanych zakłóceniami, którą można by stosować jednocześnie do wszystkich elementów systemu transportowego i otoczenia. Przewidziano jednak możliwość dostosowania opracowanego modelu do określonego elementu systemu transportowego i otoczenia. Zmiany w modelu proponuje się realizować między innymi poprzez wprowadzenie nowych (dodatkowych) kryteriów i odpowiednie modyfikacje przedziałów kryterialnych w zależności od celów modelowania. Procedura przypisywania miar ocenowych stopnia strat nie ulegnie zmianie.



Literatura

- [1] Bentkowska-Senator K.: *Żałożenia metodyczne obliczania kosztów przewozów towarowych transportem kolejowym*. Problemy Ekonomiki Transportu 2/2000, s. 69–84.
- [2] Choińska-Kulesza I.: *Przychody i koszty w kolejowym ruchu pasażerskim*. Problemy Ekonomiki Transportu 1/2001, s. 51–59.
- [3] Gill A., Kadziński A., Gramza G.: *Modele miar skutków kolejowych zdarzeń niepożądanych*. Mat. XVIII Konferencji Naukowej POJAZDY SZYNOWE, Katowice-Ustroń, 17–19 września 2008, tom II, s. 319–332.
- [4] Kadziński A., Gill A.: *Ogólny model ocen ryzyka zagrożeń identyfikowanych w wybranych obszarach systemu transportu*. Mat. XXXVIII Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk 2010, referat, niepublikowane.
- [5] Korobowski P.: *Optymalizacja parametrów jazdy pociągów z zastosowaniem modyfikacji rozkładu jazdy* (rozprawa doktorska). Politechnika Warszawska, 1997.
- [6] Kwaśnikowski J.: *Energetyczne i czasowe skutki ograniczeń prędkości dla pociągu prowadzonego lokomotywą EU07*. Technika Transportu Szynowego 3/1994, s. 28–30.
- [7] Kwaśnikowski J.: *Wpływ wzniesień i zakłóceń ruchu na zużycie energii i czas jazdy lokomotywy ET22 z pociągiem towarowym*. Technika Transportu Szynowego 6/1994, s. 38–41.
- [8] Kwaśnikowski J., Gramza G.: *Wpływ zakłóceń ruchu i profilu trasy na zużycie energii przez lokomotywę elektryczną EU07 prowadzącą pociąg pasażerski*. Mat. IX Konferencji TransComp, Zakopane 5–8 grudnia 2005, Prace Naukowe Politechniki Radomskiej, Elektryka, nr 1 (9), 2005, s. 131–136.
- [9] Kwaśnikowski J., Gramza G., Gill A.: *Koncepcja ilościowego szacowania wpływu opóźnień pociągu na jakość kolejowych przewozów pasażerskich*. Logistyka nr 4/2009, płyta CD.

Tabela 1

Przedziały wartości kryteriów ilościowych oraz odpowiadające im miary ocenowe i liczbowe w szczegółowym modelu szacowania stopnia strat ponoszonych przez przewoźników kolejowych w wyniku zakłóceń w ruchu kolejowym

Miara ocenowa	Miara liczbowa	Oznaczenie kryterium			
		$k_3^1(e_1)$	$k_5^2(e_1)$	$k_4^1(e_1)$	$k_6^1(e_1)$
Bardzo duży	4	powyżej 50	powyżej 1000	powyżej 300	powyżej 5 mln
Duży	3	powyżej 30	powyżej 500	powyżej 150	powyżej 500 tys.
Średni	2	powyżej 10	powyżej 150	powyżej 75	powyżej 10 tys.
Mały	1	powyżej 5	powyżej 50	powyżej 20	powyżej 1000
Bardzo mały	0	do 5	do 50	do 20	do 1000

Tabela 2

Przedziały wartości kryteriów jakościowych oraz odpowiadające im miary ocenowe i liczbowe w szczegółowym modelu szacowania stopnia strat ponoszonych przez przewoźników kolejowych w wyniku zakłóceń w ruchu kolejowym

Miara ocenowa	Miara liczbową	Oznaczenie kryterium			
		$k_1^1(e_1)$	$k_2^1(e_1)$	$k_4^2(e_1)$	$k_6^1(e_1)$
Bardzo mały	0	Pociąg służbowy, gospodarczy lub roboczy, pojazd trakcyjny jadący luzem	Przewoźnik jest monopolistą, nie ma konkurencji ze strony innych przewoźników i gałęzi transportu, występujące zakłócenia nie spowodują utraty klientów	Zakłócenie nie powoduje wydłużenia czasu pracy taboru	Jednorazowe doraźne zdarzenie losowe bez wpływu na jakość usług (bez opóźnienia)
Mały	1	Pociąg osobowy Pociąg towarowy z pustymi wagonami	Istnieje konkurencja na rynku przewozów, ale przewoźnik mimo występujących zakłóceń ma nadal konkurencyjną ofertę	Dodatkowy czas przeznaczony na realizację zadania nie powoduje opóźnienia	Doraźne zdarzenie powodujące wydłużenie realizacji zadania do 10 min
Średni	2	Pociąg pasażerski pospieszny Pociąg towarowy zwykły	Istnieje konkurencja na rynku przewozów, występujące zakłócenia powodują spadek zaufania klientów, nieliczni klienci mogą zrezygnować z usług przewoźnika	Pojazd powinien realizować już kolejne zadanie przewozowe, ale jest możliwość wykorzystania do jego realizacji taboru zastępczego	Długotrwałe ograniczenie prędkości powodujące opóźnienie przy każdorazowej realizacji zadania do 10 min w przewozach pasażerskich i 30 min w przewozach towarowych bez zakłócania ruchu innych pociągów
Duży	3	Pociąg TLK Pociąg towarowy pospieszny	Na rynku przewozów jest duża konkurencja, niektórzy z konkurentów mają lepszą ofertę, istnieje możliwość utraty klientów, co może spowodować zmniejszenie przewozów na danej linii	Tabor wykonując zadanie przewozowe w dłuższym czasie powinien realizować inne zadanie przewozowe, ale jest możliwość, że znacznie je wykonywać z opóźnieniem	Długotrwałe ograniczenie prędkości powodujące opóźnienie przy każdorazowej realizacji zadania do 10 min w przewozach pasażerskich i 30 min w przewozach towarowych z zakłóceniem ruchu innych pociągów
Bardzo duży	4	Pociąg kwalifikowany (Ex, IC, EC) Pociąg towarowy ekspresowy	Na rynku przewozów jest duża konkurencja, istnieje możliwość utraty klientów, a także brak pozyskania nowych klientów, co może spowodować zawieszenie przewozów na danej linii	Tabor nie może wykonać kolejnego planowanego zadania przewozowego	Długotrwałe ograniczenie prędkości powodujące każdorazowo opóźnienie realizacji zadania powyżej 10 min w przewozach pasażerskich i 30 min w przewozach towarowych zakłócające realizację zadań przez inne pociągi, konieczność modyfikacji planu realizacji zadań

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12, 14, 17].

- [10] Kwaśnikowski J., Gramza G., Gill A.: *Ocena ilościowa wpływu opóźnień pociągu na jakość kolejowych pasażerskich usług przewozowych*. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 70/2009, Modelowanie procesów transportowych i logistycznych, s. 97–111.
- [11] Kwaśnikowski J., Gramza G., Gill A.: *Oszacowanie ilościowe skutków zakłócenia realizacji zadania przewozowego dla pasażerów pociągu*. Mat. XVIII Konferencji Naukowej POJAZDY SZYNOWE, Katowice-Ustroń, 17–19 września 2008, tom II, s. 67–82.
- [12] Maciąg M., Rytel K.: *Ocena efektywności modernizacji i remontów linii kolejowych w Polsce*. Raport Centrum Zrównoważonego Transportu 3/2006.
- [13] Mazurkiewicz I.: *Analiza czynników wpływających na zużycie energii w przewozach PKP*. Technika Transportu Szynowego 1/1995, s. 34–38.
- [14] Raczyński J.: *Czynniki decyzyjne w procesie zakupu taboru kolejowego*. Technika Transportu Szynowego 4/2007, s. 38–45.
- [15] Raczyński J., Szafranski Z.: *Zużycie energii elektrycznej przez pociągi pasażerskie – wyniki pomiarów*. Technika Transportu Szynowego 3/1995, s. 42–47.

- [16] Woch J.: *Podstawy inżynierii ruchu kolejowego*. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [17] Zalewski P., Siedlecki P., Drewnowski A.: *Technologia transportu kolejowego*. WKiŁ, Warszawa 2004.
- [18] *Zintegrowany System Bezpieczeństwem Transportu*, tom II, Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu. Praca zbiorowa red. R. Krystek, Politechnika Gdańska, Podrozdział 7.3.2. Kadziński A., Gill A.: *Integracja pojęć*, s. 285–288. WKiŁ, Warszawa 2009.

dr hab. inż. Jerzy Kwaśnikowski, prof. Politechniki Poznańskiej,
dr inż. Adrian Gill,
dr inż. Grzegorz Gramza,
Instytut Silników Spalinowych i Transportu
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska

Referat prezentowany na

XIX KONFERENCJA NAUKOWA
POJAZDY SZYNOWE