

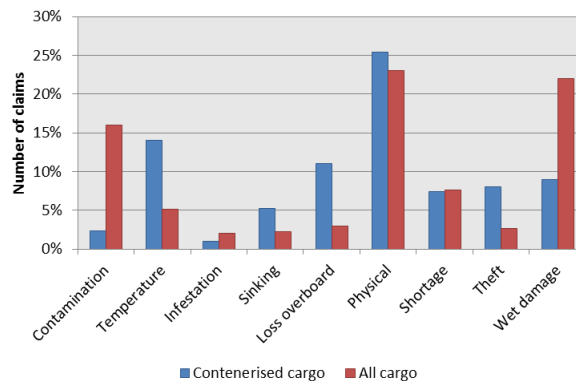
**Augustyn LORENC, Małgorzata KUŹNAR**  
Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków  
E-mail: alorenc@pk.edu.pl, malgorzata.kuznar@mech.pk.edu.pl

## **Analiza kosztów ryzyka w transporcie intermodalnym dla systemów lokalizacji i monitorowania parametrów**

### 1 Wstęp

Analiza ryzyka elementów wchodzących w skład łańcucha dostaw ma szczególne znaczenie dla całego systemu transportowego [1]. Wdrożenie efektywnego systemu zarządzania ryzykiem dla powiązanych ze sobą etapów łańcucha dostaw ma duży wpływ na bezpieczeństwo na każdym etapie przewozu. Zarówno w transporcie, jak i w innych ogniwach łańcucha konieczne jest zidentyfikowanie możliwości występowania zdarzeń niepożądanych oraz rozpoznanie bieżących i potencjalnych zagrożeń [2, 3]. Każdy poziom niezawodności łańcucha dostaw narażony jest na różne rodzaje ryzyka ze względu na występowanie wielu rodzajów zagrożeń związanych ze zmianami w środowisku wewnętrznym i zewnętrznym [4].

Wśród uszkodzeń ładunku kontenerowego można wyróżnić szkody fizyczne i szkody związane z temperaturą. Nieprawidłowe umieszczenie ładunku jest jedną z głównych przyczyn jego uszkodzenia. Wśród najczęstszych roszczeń wynikających z uszkodzenia ładunków kontenerowych w transporcie morskim 25% dotyczy uszkodzeń fizycznych, 14% dotyczy temperatury, 11% dotyczy kontenerów zagubionych, 9% kradzieży i 8% ubytku części ładunku [7] [8]. Rysunek 1 przedstawia procentowy udział głównych roszczeń w ujęciu rocznym w podziale na typy uszkodzeń.



Rys. 1. Najczęstsze przypadki uszkodzenia ładunku według rodzaju ładunku [6]  
Fig. 1. Large cargo claims – Type of damage [6]

## 2 Systemy lokalizacji – przegląd rozwiązań

Transport intermodalny charakteryzuje się zazwyczaj dużą wartością przewożonych towarów, masowością, dużą odległością przewozu, co więcej, bardzo często wymaga zmiany przewoźnika, a nawet rodzaju transportu. W związku z tym operatorzy transportu intermodalnego i kolejowego potrzebują informacji nie tylko o dokładnej lokalizacji, ale i warunkach transportu [9]. Większość rozwiązań technologicznych, takich jak moduły GPS, jest uniwersalna i dostosowana do wymagań klienta, niezależnie od rodzaju przewożonego ładunku. Większość komercyjnie dostępnych jednostek może monitorować określone parametry, ostrzegając w przypadku przekroczenia ustalonego zakresu. Do takich parametrów mogą należeć między innymi temperatura, siła wstrząsu, wilgotność wewnątrz jednostki intermodalnej, ekspozycja na promienie słoneczne czy elektromagnetyczne.

Zaawansowane moduły do monitorowania parametrów ładunków umożliwiają również identyfikację przypadków włamań, tj. sprawdzenie, czy drzwi kontenera są otwarte, czy wewnątrz kontenera nie ma ruchu, światła lub czy nie zaistniały inne przypadki które zdefiniować można jako odbiegające od standardowych. Krótko mówiąc, istniejące obecnie systemy monitorowania parametrów przewozu mogą kontrolować wszystko, co może mieć wpływ na przewożony ładunek. Dostępne na rynku moduły pozwalają na bieżące [10, 11]:

- monitorowanie położenia ładunku,
- rejestrowanie warunków transportu,
- nadzór nad przestrzeganiem parametrów otoczenia,
- pomiar temperatury, wilgotności i uderzenia,
- raportowanie ruchu kontenera,
- ochronę ładunku poprzez wykrycie niepożądanych działań osób trzecich,
- zapis historii ruchu kontenera.

Jednostki stosowane w transporcie intermodalnym są zaprojektowane specjalnie do monitorowania kontenerów. Są one montowane na zewnętrznej ścianie kontenera, mają czujniki na drzwiach lub w jego środku i są niewrażliwe na warunki atmosferyczne.

Zainstalowany moduł odbiera dane o lokalizacji z satelit GPS. Informacje są następnie wysyłane przez sieć komórkową do serwera i przetwarzane. Gdy kontener znajduje się poza zasięgiem sieci komórkowej, np. na środku oceanu, podczas burzy lub z innych powodów, historia lokalizacji nie ulega utraceniu. Jeśli moduł GPS nie może wysłać danych o położeniu, zapisuje je w pamięci wewnętrznej i wysyła, gdy jest to możliwe.

Zgodnie z przeznaczeniem i możliwościami monitorowania można wyróżnić następujące systemy:

- systemy dedykowane dla portów i kontenerów [12],
- systemy do monitorowania przybliżonego położenia [13],
- systemy do monitorowania tylko lokalizacji [12],
- systemy do monitorowania określonych parametrów ładunku [11],
- systemy do monitorowania lokalizacji i parametrów ładunku [15].

### 3 Łańcuch transportowy – rozważane warianty

Aby móc w pełni ocenić korzyści wynikające z zastosowania systemów monitorowania parametrów ładunków i lokalizacji, wykonano symulacje w oparciu o założony przypadek. Jako elementy główne tego łańcucha transportowego można wymienić: transport drogowy, transport morski oraz przeładunek i przechowywanie w terminalach kontenerowych w portach. Dla każdego etapu transportu zidentyfikowano potencjalne ryzyko. Koszty transportu i koszty niepożądanych zdarzeń zostały ustalone przy przeliczaniu walut na poziomie 4,407 za 1,118 EUR / USD i USD / euro (stan z 2017-04-04).

Prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka oszacowano na podstawie rzeczywistych danych statystycznych. W 2014 r. było zrealizowanych 2 007 926 przewozów morskich i 1 069 202 przewozów drogowych w Europie [22]. Na podstawie tych informacji i informacji o niepożądanych zdarzeniach w transporcie morskim [7, 17, 18, 19] i w transporcie drogowym [20, 21] zostało oszacowane prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka.

Zarówno koszty, jak i odpowiedzialność za towar podczas załadunku w firmie dokonującej wysyłki znajdują się po stronie załadowcy. Z tego powodu koszt uszkodzenia ładunku nie został wzięty pod uwagę w analizie. Jeśli na tym etapie stwierdzono uszkodzenie ładunku, producent ma możliwość wymienia go, aby uniknąć wysyłki towaru już uszkodzonego. W przypadku uszkodzenia ładunku w taki sposób, że nie jest możliwe zauważenie uszkodzenia od zewnątrz, uszkodzony ładunek zostanie dostarczony do klienta końcowego. Takie produkty podlegają reklamacji, co powoduje dodatkowe koszty.

Dla transportu drogowego ustalono koszt przewozu równy 1,10 Euro/km. Jest to stawka odpowiadająca standardowym kosztom transportu w Europie.

Koszty przeładunku w terminalu kontenerowym ustalono w oparciu o średnie stawki dla tego typu usług. Zatem koszt dla załadunku / rozładunku przyjęto na poziomie 42,50 Euro [22]. Koszt przechowywania w terminalu ustalono na poziomie 4 euro na dzień, co jest zgodne z ofertą PKP CARGO CONNECT [23].

Koszt związany z transportem został ustalony na podstawie transportu z Szanghaju (Chiny) do Gdańska (Polska) [22]. Są to kwoty wynoszące 727 Euro w przypadku 20-stopowego kontenera oraz dodatkowo 66 euro za przygotowanie niezbędnych dokumentów i listów przewozowych, a także 44 euro na procedurę celną. Podatek od wartości ładunku nie został uwzględniony.

W tabeli 1 przedstawiono prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka dla poszczególnych procesów.

Tab. 1. Prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka  
 Tab. 1. Probability of risk

<b>Proces</b>	<b>Ryzyko</b>	<b>Prawdopodobieństwo wystąpienia [%]</b>
1. Załadunek	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
2. Transport drogowy	Kradzież ładunku	0,09353
	Kradzieży samochodu ciężarowego	0,00954
	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00830
	Utrata własności towaru	0,01539
	Opóźnienie w transporcie	0,05000
3. Rozładunek	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
4. Składowanie w terminalu	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
	Utrata własności	0,01494
	Utrata ładunku towaru	0,00050
	Przedłużone przechowywanie	1,50000
5. Załadunek na statek	Odmowa załadunku na statek	0,05000
	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
6. Transport morski	Utonięcie statku	0,00498
	Wypadnięcie ładunku za burtę	0,00996
	Kradzież ładunku	0,00770
	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,02490
	Utrata własności towaru	0,03033
7. Rozładunek	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
8. Składowanie w terminalu	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
	Utrata własności towaru	0,01494
	Zgubienie ładunku	0,00050
	Przedłużone przechowywanie	1,50000
9. Załadunek	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623
10. Transport drogowy	Kradzieże ładunkowe	0,09353
	Kradzieże samochodów ciężarowych	0,00954
	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00830
	Utrata własności towaru	0,01539
	Opóźnienie w transporcie	0,05000
11. Rozładunek	Mechaniczne uszkodzenie ładunku	0,00623

Wartość kary wynikającej z zapisów umowy ustalono na poziomie:

- 20% wartości ładunku w przypadku dostarczenia uszkodzonego / niekompletnego ładunku,
- 10% wartości ładunku w przypadku dostarczenia uszkodzonego / niekompletnego ładunku w sytuacji uprzedniego powiadomienia klienta,
- 1% wartości ładunku w przypadku opóźnienia za każdy dzień zwłoki.

#### **Opis wariantu I**

W wariantcie I transport jest wykonywany bez użycia systemów do monitorowania lokalizacji i parametrów ładunkowych. W tym przypadku nie ma możliwości określenia w czasie rzeczywistym, gdzie znajduje się kontener. Jest to możliwe tylko w przybliżeniu (jako etap w łańcuchu transportowym) poprzez wyszukanie numeru kontenera w systemach dostępnych online. Biorąc pod uwagę powyższe, nie ma możliwości reagowania na opóźnienia w transporcie, co może być powodem odmowy przyjęcia ładunku na statek, wydłużenia czasu składowania w terminalu, problemów z synchronizacją z innymi środkami transportu itd. Podobnie jak w przypadku kradzieży ciężarówki / przyczepy lub kradzieży ładunków, zatonięcia statku lub wypadnięcia kontenera ze statku nie można szybko określić, co się stało z ładunkiem.

#### **Opis wariantu II**

W wariantcie II kontenery przewożone są z wykorzystaniem systemów wyłącznie do monitorowania lokalizacji. W takim przypadku możliwe jest określenie, gdzie dokładnie znajduje się kontener. Dzięki temu możliwe jest zmniejszenie kosztów niepożądanych zdarzeń, takich jak kradzież czy zagubienie kontenera. Ponadto możliwe jest zsynchronizowanie procesu przeładunku oraz skrócenie czasu składowania w terminalu - w przypadku, gdy statek przyjeżdża szybciej, niż przewidywano.

W tym wariantcie niemożliwe jest zidentyfikowanie parametrów ładunku. Co więcej, niemożliwe jest zidentyfikowanie częściowej kradzieży ładunku – a zatem przypadku, który występuje najczęściej [9]. Zwrócenie uwagi na to, że ładunek jest kompletny, jest możliwe praktycznie tylko podczas przeładunku w obecności człowieka podczas sprawdzenia stanu plomb, drzwi i ścian bocznych kontenera [23].

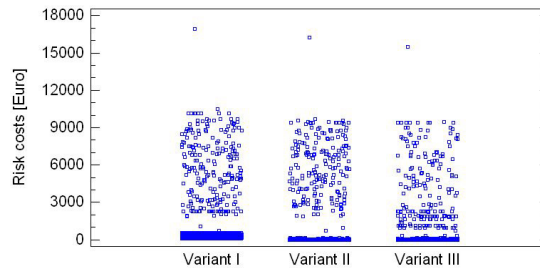
#### **Opis wariantu III**

W wariantcie III kontenery przewożone są z wykorzystaniem systemów do monitorowania lokalizacji i monitorowania parametrów ładunku. System umożliwia sprawdzenie, czy drzwi kontenera są otwarte, czy wewnątrz nie ma ruchu, światła lub innych odbiegających od standardu zdarzeń. System umożliwia również monitorowanie warunków przewozu ładunków, takich jak temperatura, wilgotność lub wstrząs.

Z uwagi na to, że w przypadku czynności przeładunkowych możliwe jest zauważenie nagłego wzrostu lub spadku monitorowanych parametrów poza dopuszczalnym zakresem, możliwe jest stwierdzenie winy po stronie podwykonawcy (przewoźnika lub załadowcy). Zastosowany system zapewnia redukcję kosztów związanych nie tylko z opóźnieniami w transporcie i utracie ładunków, ale także w przypadku kradzieży pojazdu, uszkodzenia lub utraty własności ładunku umożliwia zredukowanie kosztów strat.

#### 4 Analiza kosztów ryzyka dla wariantów

W czasie badań przeprowadzono symulację 50 000 przypadków przewozu ładunku uwzględniających procesy transportowe ujęte w tabeli 1. W 1713 przypadkach odnotowano wystąpienie niepożądanych zdarzeń. We wszystkich przypadkach w symulacji przyjęto wartość ładunku równą 7142 euro. Wynik symulacji kalkulacji kosztów wystąpienia ryzyka został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Koszty ryzyka w zależności od wariantów

Fig 2. Risk costs depending on the variants

Na podstawie rysunku 2 można stwierdzić, że dla wariantu I i wariantu II koszty są największe. Jest to również zauważalne, w oparciu o przedstawione w tabeli 2 dane statystyczne. Wartości przekraczające średnią zostały oznaczone kolorem żółtym.

Tab. 2. Dane statystyczne dla rozważanych wariantów

Tab. 2. Statistical data for the considered options

	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana	Min	Max	Zakres
Wariant I	1021.4	2081.6	377.1	71.4	16927.9	16856.4
Wariant II	704.8	2063.5	8.0	0.0	16213.6	16213.6
Wariant III	483.5	1618.9	8.0	0.0	15499.3	15499.3
Total	736.6	1945.4	24.0	0.0	16927.9	16927.9

W przeprowadzonych badaniach wykonano analizę wariancji (ANOVA) w celu zbadania statystycznego znaczenia różnic między wartościami średnimi. Współczynnik F, który w tym przypadku wynosi 33,5, jest stosunkiem oszacowania między grupami do oszacowania wewnątrz grupy. Ponieważ wartość P testu F jest mniejsza niż 0,05, istnieje statystycznie istotna różnica między środkami trzech zmiennych na poziomie ufności 95,0%.

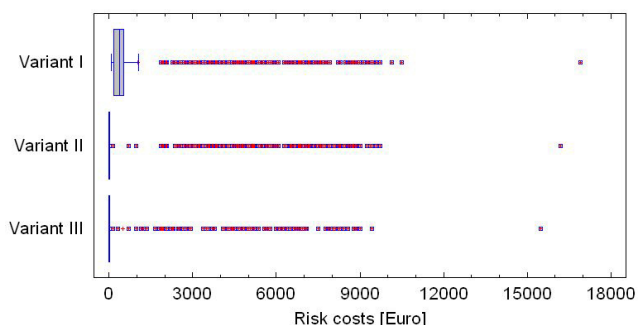
W celu ustalenia, które grupy różnią się pod względem statystycznym od siebie, przeprowadzono testy porównań wielokrotnych, tak zwane testy *post-hoc*. W tym celu wykorzystuje się testy *post-hoc* Scheffego, Turkeya (HSD), Fishera (LSD), Bonferroniego, Newman-Keulsa oraz Duncana. W analizowanym przypadku wykorzystano test Scheffego, który jest uważany za jeden z najbardziej konserwatywnych testów *post-hoc*. Wyniki testu przedstawiono w tabeli 3 i na rysunku 3.

*Tab. 3. Test Scheffego z 95% przedziałem ufności*

*Tab. 3. Scheffe test with 95% confidence interval*

	Średnia	Błąd standardowy	Limit dolny	Limit górny	Jednorodność grup
Wariant III	483.5	46.7	940.5	1102.2	X
Wariant II	704.8	46.7	623.9	785.6	X
Wariant I	1021.4	46.7	402.7	564.4	X

Ostatnia część analizy polegała na porównaniu median, używając testu Kruskala-Wallisa. Został on wykorzystany do sprawdzenia hipotezy zerowej, że wszystkie mediany w każdym z trzech wariantów są takie same. Dane ze wszystkich kolumn są najpierw łączone i klasyfikowane od najmniejszych do największych. Następnie jest obliczana wartość średnia dla danych w każdej kolumnie. Wynik testu wynosił 2134,1, a wartość P wynosiła 0,00, co wskazuje, że grupy znacznie różnią się między sobą. Wyniki analizy przedstawiono w formie wykresu ramka-wąsy (rys. 4).



*Rys. 3. Wykres ramka-wąsy dla analizowanych wariantów*

*Fig 3. Box-and-Whisker Plot for variants*

Dokonując porównania wartości średnich i mediany, ustalono, że najlepsze wyniki uzyskano dla wariantu III, w którym wykorzystano urządzenia do monitorowania lokalizacji i parametrów przewozowych. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwia uzyskanie niższych kosztów niż w przypadku transportu kontenera bez systemu lokalizacyjnego i monitorującego parametry ładunku średnio o 52,7%. Co więcej, korzystanie z systemu monitorowania tylko lokalizacji pomaga obniżyć koszty o 31,0%.

Korzystanie z systemów monitorowania pozycji pomaga w niewielkim stopniu obniżyć koszty ryzyka w każdym procesie w łańcuchu transportowym i może znacząco obniżyć koszty składowania w terminalu kontenerowym. Systemy, które pozwalają monitorować dodatkowo parametry ładunku, pozwalają zredukować koszty na każdym etapie łańcucha transportowego.

Dla przeprowadzonych symulacji największe koszty wystąpienia zdarzeń niepożądanych dotyczyły kradzieży. Na 50000 analizowanych przypadków kradzież ładunków miała miejsce 102 razy, a kradzież pojazdu / przyczepy 11 razy. Koszt tego

incydentu może zostać zmniejszony w przypadku dodatkowego ubezpieczenia ładunku. Ubezpieczenie ładunku mogłoby pokryć koszty związane z uszkodzeniami mechanicznymi lub jego zagubieniem. Zwiększone koszty związane z czasem przechowywania w terminalu mogą się zmniejszyć, jeśli spedytor zostanie poinformowany w odpowiednim czasie o lokalizacji kontenera [24]. Dzięki temu będzie możliwe zsynchronizowanie procesów w łańcuchu transportowym i skrócenie czasu przechowywania pomiędzy etapami transportu [25].

## 5 Podsumowanie

Przeprowadzone symulacje umożliwiły potwierdzenie korzyści wdrożenia systemu lokalizacji i monitorowania parametrów ładunku, co jest szczególnie ważne zwłaszcza w przypadku towarów o wysokiej wartości. Urządzenia do monitorowania lokalizacji i parametrów przewozowych umożliwiają uzyskanie niższych kosztów niż w przypadku transportu kontenerowego bez jakiegokolwiek systemu o 52,7%. Co więcej, korzystanie z systemu monitorowania tylko lokalizacji pomaga obniżyć koszty o 31,0%. Wyniki wykazały, że stosowanie tego typu systemów może przynieść wymierne korzyści.

## Literatura

1. Gajewska T., Szkoda M.: Ocena konkurencyjności transportu intermodalnego. *Logistyka* (3), 2015
2. Szkoda M.: Assessment of Reliability, Availability and Maintainability of Rail Gauge Change Systems. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 16(3), 2014
3. Lorenc A., Szkoda M.: Customer Logistic Service in the Automotive Industry with the Use of the SAP ERP System. *Proceedings of: 2015 4th IEEE International Conference on Advanced logistics and Transport (ICALT)*, 20-22 May 2015
4. Hall P.V.: Institutional Challenges to Intermodal Transport and Logistics. *Journal of Transport Geography* 47, 2015
5. Web page: [http://www.iumi.com/images/gillian/Spring2015/IUMI\\_spring\\_2015\\_Cargo\\_presentation.pdf](http://www.iumi.com/images/gillian/Spring2015/IUMI_spring_2015_Cargo_presentation.pdf), access: 2016-02-08
6. Ciesielski M.: *Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa 2009
7. Container matters. UK P&I CLUB. <http://www.ukpandi.com>, access: 2016-02-08
8. Dotoli M., Epicoco N., Seatzu C.: An improved technique for train load planning at intermodal rail-road terminals. *Proceedings of 20th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFa)*, Luxembourg 2015
9. Lam J.S.L., Gu Y.: A market-oriented approach for intermodal network optimisation meeting cost, time and environmental requirements. *International Journal of Production Economics*, 171 (2), 2016
10. Web page: <http://www.mecomo.com/en/>, access: 2017-02-08
11. Web page: <http://www.intermodaltracker.eu>, access: 2017-02-08
12. Web page: <http://www.navis.com>, access: 2017-02-08
13. Web page: <https://www.cesar-online.com>, access: 2017-02-08
14. Web page: <http://www.savi.com>, access: 2017-02-08
15. Web page: <http://www.novacomservices.com>, access: 2017-02-08
16. Web page: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, access: 2017-02-08



17. Web page: <http://www.actuarialey.com/2014/03/30/how-many-ships-disappear-each-year/>, access: 2017-02-08
18. Web page: <http://www.statista.com/statistics/264024/number-of-merchant-ships-worldwide-by-type/> access: 2017-02-08
19. Carefully to Carry: Cargo damage – the causes. UK P&I CLUB
20. “Road transport: Prevent the risk of theft. AXA Corporate Solutions. 2009
21. Crime in road freight transport. OECD. France 2002
22. Web page: <http://kontener.pl>, access: 2017-02-08
23. Oferta PKP CARGO CONNECT. <http://www.tradetrans.eu>, access: 2016-02-08
24. Clott C., Hartman B.C.: Supply chain integration, landside operations and port accessibility in metropolitan Chicago. *Journal of Transport Geography* (51), 2016
25. Stuart E.: Excellence in warehouse management - how to minimise costs and maximise value. Chichester. John Wiley & Sons Ltd. 2005.

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ systemów do lokalizacji i monitorowania parametrów przewozu dla jednostek intermodalnych na prawdopodobieństwo zmniejszenia kosztów transportu i przepływu informacji. Wykonane badania potwierdziły korzyści wynikające z zastosowania tego typu systemów, zwłaszcza dla towarów o wysokiej wartości w wariancie z wykorzystaniem tylko systemu lokalizacji, koszty ryzyka zmalały o 52.7% w stosunku do wariantu bez systemu lokalizacyjnego. Co więcej, zastosowanie systemu z monitorowaniem parametrów ładunku pozwala dodatkowo obniżyć koszty o średnio 31%.

**Słowa kluczowe:** transport intermodalny, ryzyko w transporcie, koszty w transporcie, systemy lokalizacji ładunku, systemy monitorowania parametrów

## **Risk and costs evaluation in intermodal transport for location and cargo parameters monitoring systems**

### Summary

In the article the impact of systems to monitor the location and parameters of intermodal units on the possibility of lowering costs and improving the flow of information in the transport chain has been analysed. Conducted tests made it possible to confirm the benefits of implementing this type of system, especially for high-value goods. In variant with using systems for location monitoring and cargo parameters costs are lower by about 52.7% then in the case of container transport without any monitoring. Moreover, even systems for monitoring only localization are helpful in cost reduction by an average of 31%.

**Keywords:** intermodal transport, transport risk, transport costs, cargo location systems, parameter monitoring systems

