

## METODOLOGICZNE PODSTAWY OCENY RYZYKA INWESTYCJI KOLEJOWYCH<sup>1</sup>

### Magdalena Kycko

mgr Magda Kycko, Wydział Transportu, Politechnika  
Warszawska, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, In-  
stytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warsza-  
wa, tel.: +48 22 47 31 071, e-mail: mkycko@ikolej.pl

### Wiesław Zabłocki

dr hab. inż. Wiesław Zabłocki, Wydział Transportu,  
Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 75, 00-662  
Warszawa, tel.: +48 22 234 54 81, e-mail: zab@wt.pw.  
edu.pl

**Streszczenie.** *Fundamentalnym czynnikiem związanym z procesem inwestycyjnym w szczególności w odniesieniu do systemów sterowania ruchem kolejowym (srk) jest ryzyko. Dokonując rozważań na temat ryzyka w inwestycjach, nieodzownym staje się zdefiniowanie pojęcia niewymiernego czynnika jakim jest ryzyko. W procesach inwestycyjnych ryzyko oznacza możliwość poniesienia straty lub nieosiągnięcia zamierzonego celu. Podjęcie jakiegokolwiek decyzji działalności inwestycyjnej jest obciążone ryzykiem. Z tego też względu konieczna staje się ocena wielkości ryzyka związanego z procesem inwestycyjnym. Istnieje wiele metod oceny ryzyka, minimalizacja ryzyka jest związana z wyborem metod projektowania systemów srk. Według normy PN-EN 50126 jest podejście RAMS. Opracowanie projektów inwestycyjnych w ujęciu RAMS nie rozwiązuje problemów oceny wielkości ryzyka. W tym celu pomocne stają się metody wielokryterialnego podejścia do rozwiązania problemu. W publikacji zostanie przedstawiony przykład zastosowania pewnej metody do oceny ryzyka.*

**Słowa kluczowe:** *inwestycje kolejowe, ryzyko, metody oceny ryzyka*

### 1. Wprowadzenie

W warunkach dynamicznie zmieniających się uwarunkowań politycznych i gospodarczych, podejmowanie decyzji inwestycyjnych i realizacja inwestycji są nierozłącznie powiązane z ryzykiem. Analiza ryzyka stanowi kluczowy element systemu zarządzania bezpieczeństwem w transporcie szynowym. Od zastosowanej metody, dobrych praktyk, rzeczowego i sumiennego podejścia do analizy ryzyka w znacznej mierze zależy skuteczność działań i efektywność środków przeznaczonych na rzecz poprawy bezpieczeństwa na kolei.

Za bezpieczeństwo w transporcie kolejowym głównie odpowiadają systemy sterowania ruchem kolejowym, które również w ostatnich latach bardzo się rozwinęły. Na rynku pojawiają się nowe systemy srk różnych producentów, co również zwiększa poziom ryzyka inwestycji kolejowych. W samej branży sterowania ruchem kolejowym pojawia się coraz więcej inwestycji, które mają na celu wprowadzenie nowych, interoperacyjnych systemów. Zgodnie z [5] przekazany w lipcu

<sup>1</sup> Wkład autorów w publikację: Kycko M. 50%, Zabłocki W. 50%

2017 r. do Komisji Europejskiej, przewiduje się, że w system ETCS do 2023 roku zostanie wyposażonych 2667 km linii kolejowych, a w perspektywie do 2030 roku liczba ta wzrośnie ponad dwukrotnie, przekraczając 6700 km. Równoległe planowane jest wdrożenie na większości linii kolejowych w Polsce systemu GSM-R. Nakłady związane z koniecznością wdrożenia systemu ERTMS na infrastrukturze kolejowej Polski oszacowano na ok 6 mld zł, w zdecydowanej większości będą one pochodzić ze środków unijnych. Wykres poniżej obrazuje wydatki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na inwestycje.



Wykres 1. Wydatki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na inwestycje (w mld zł) {9}

Zgodnie z powyższym wykresem zauważalny staje się ogrom prac i zadań, które planowane są na najbliższe lata. Wielkość przedsięwzięć w tak krótkim czasie powiązana jest ze zdecydowanym wzrostem poziomu ryzyka inwestycji kolejowych. Istnieje szereg metod analizy ryzyka tworzonych na rzecz różnych branż przemysłu i skodyfikowanych w postaci norm lub dyrektyw. Metody te nie uwzględniają jednak specyfiki branży kolejowej, w tym głównie sterowania ruchem kolejowym, co wymaga uwzględnienia faktu skomplikowania systemów srk, współistnienia producentów, czy też braku specjalistów w tej branży i w konsekwencji nie pozostaje bez wpływu na poziom bezpieczeństwa systemu srk. Niniejsza publikacja przedstawia wybrane metody analizy ryzyka oraz wielokryterialne podejście rozwiązania problemu.

## 2. Podstawy analizy ryzyka w branży kolejowej

Podejście do bezpieczeństwa w transporcie kolejowym w Polsce i w Europie ulega znaczącej modyfikacji. Zmiany te zostały zainicjowane w 2004 r. zapisami dyrektywy w sprawie bezpieczeństwa kolei [2]. Dyrektywa wskazuje, że wszyscy operatorzy systemów kolejowych, zarządcy infrastruktury i przewoźnicy kolejowi powinni ponosić pełną odpowiedzialność za bezpieczeństwo systemu, każdy

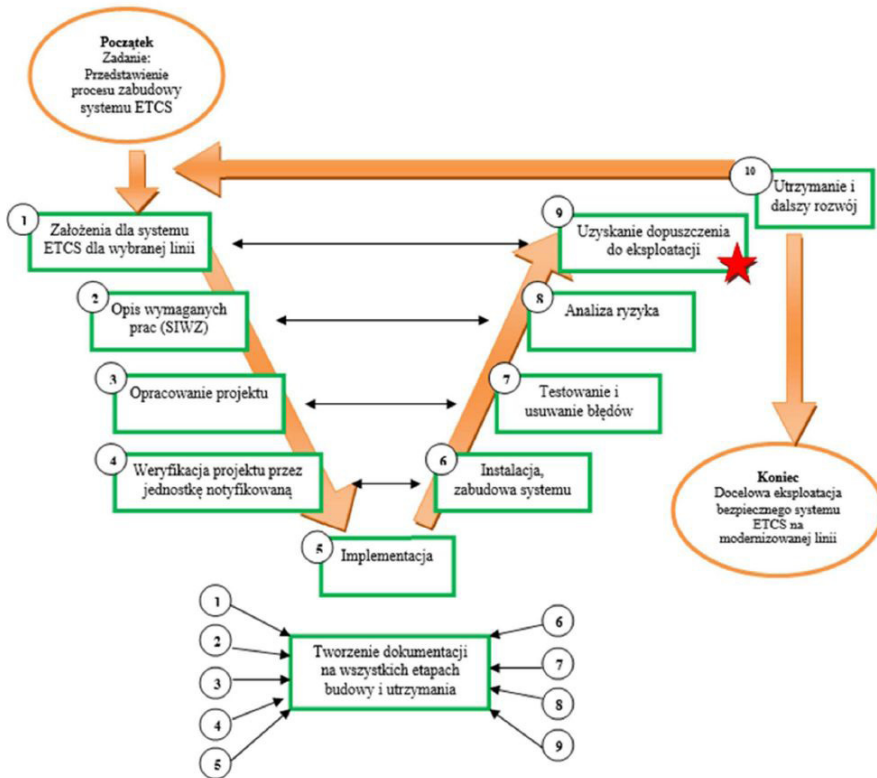
w swoim zakresie. Problematyka ta jest nowa dla sektora kolejowego i powoduje wiele nieporozumień natury interpretacyjnej, w szczególności, że dotyczy styku nauk technicznych i nauk o zarządzaniu.

Przy realizacji inwestycji kolejowych, obejmujących systemy srk, wykonawcy są zobligowani do przestrzegania wymagań wielu dokumentów prawnych, tj. norm, rozporządzeń, czy też technicznych specyfikacji interoperacyjności (TSI). Wszystkie wymagania pośrednio bądź bezpośrednio mają na celu podniesienie poziomu bezpieczeństwa systemów w ramach realizacji danej inwestycji.

Bezpieczeństwo każdego systemu m. in. opiera się przede wszystkim na odpowiedniej dokumentacji dla tego systemu. W związku z wejściem Polski do struktur unijnych w obszarze bezpieczeństwa obowiązujące stały się normy: [11,12,13]. W normie [11] określono niezawodność, gotowość, dostępność i bezpieczeństwo (RAMS – ang. Reliability, Availability, Maintainability and Safety), jako proces oparty o cykl życia systemu (ang. system life-cycle). W procesie tym zdefiniowano poszczególne etapy systemu i procedury związane z zatwierdzeniem przed przejściem do następnego etapu. (specyfikacja wymagań, projekt, implementacja, itp.). Norma [13] określa procedury i wymagania techniczne, dotyczące projektowania oprogramowania bezpiecznego systemu elektronicznego sterowania i zabezpieczenia na kolei. Norma [12] definiuje wymagania dotyczące projektowania, testowania, odbioru i zatwierdzenia elektronicznych systemów, podsystemów i urządzeń sygnalizacji, związanych z bezpieczeństwem w zastosowaniach kolejowych.

Proces projektowania, produkcji, wdrażania i eksploatacji komputerowych systemów srk ze względu na złożoność oraz spełnianie warunków bezpieczeństwa, przy zachowaniu warunków integralności struktury sprzętu i oprogramowania SIL 4 wymaga stosowania szczególnych zasad i procedur. W obszarze wiedzy odnoszącej się do tego procesu istnieje szereg różnych standardów wypracowanych przez poszczególne ośrodki, środowiska naukowe i przemysłowe, które tworzą własne standardy i nie spełniają wzajemnych warunków kompatybilności. Niezależnie od indywidualnie wypracowanych metod, proces budowy systemu srk może przebiegać metodycznie w oparciu o zalecany schemat zwany cyklem V [7], z uwzględnieniem założeń analizy RAMS [11]. Przykład schematu V przedstawia rys. 1. Schemat uwzględnia poziom SIWZ (specyfikacja istotnych warunków zamówienia) i paralelne odniesienie do analizy ryzyka.

Kolejnym dokumentem, którego wymagania muszą być spełnione przez wykonawców inwestycji, obejmujących systemy sterowania i kierowania ruchem jest Rozporządzenie 402/2013 [16]. W zakresie podstaw zarządzania bezpieczeństwem rozporządzenie to wskazuje metodę postępowania w przypadku analizy znaczenia zmiany, nie wchodząc jednak w szczegóły dotyczące samej analizy ryzyka. Do konieczności realizacji analizy ryzyka odwołują się również wymagania prawne związane z systemem SMS (Safety Management System) i MMS (Maintenance Management System).



Rys. 1. Schemat procesu zabudowy systemu ETCS w oparciu o cykl V (źródło: [7])

### 3. Analiza ryzyka w procesach inwestycyjnych oraz metody oceny ryzyka

Ocena ryzyka staje się istotnym elementem całego procesu inwestycyjnego. Przedsiębiorstwa w zależności od nastawienia do ryzyka, a także kalkulacji potencjalnych korzyści związanych z działalnością inwestycyjną decydują o podjęciu bądź odrzuceniu danego projektu inwestycyjnego. W związku z tym analiza ryzyka powinna stanowić istotną część rachunku efektywności inwestycji. Rekomendowany zakres analizy ryzyka obejmuje następujące etapy [10]:

- identyfikacja czynników ryzyka,
- analiza jakościowa ryzyka,
- działania zaradcze i ich alokacja,
- monitorowanie,
- analiza ilościowa ryzyka (na bazie prawdopodobieństwa) (opcjonalnie).

Analiza ryzyka jest istotnym elementem projektowania, produkcji, czy też eksploatacji urządzeń technicznych. Zapisy pojawiające się w niektórych normach dotyczących urządzeń i systemów srk, szczególnie związanych z bezpieczeństwem, nakładają wręcz na zespoły projektujące i producentów urządzeń obowiązek przeprowadzenia analizy ryzyka. Zgodnie z [11], w której pokazany jest cykl życia

systemu (np. systemu srk), analiza ryzyka jest niezbędnym i istotnym elementem horyzontu cyklu życia systemu. Analiza ryzyka projektu inwestycyjnego powinna obejmować cały proces inwestycyjny zaczynając od koncepcji aż po wdrożenie oraz eksploatację.

Racjonalizacja podejścia do ryzyka i optymalizacja wielkości ryzyka wymaga przeprowadzenia procesu zarządzania ryzykiem. Przykład procesu zarządzania ryzykiem został przedstawiony na rys. 2. Istotnym przykładem zarządzania ryzykiem technicznym i operacyjnym jest np. procedura SMS-PR-02 [15].



Rys. 2. Cykl zarządzania ryzykiem (oprac. na podst. [14])

Obecnie istnieją i są stosowane różne metody analizy ryzyka. Wybór metody jest uwarunkowany odniesieniem do systemu, dla którego zostanie przeprowadzona analiza ryzyka, a także od istotności i znaczenia inwestycji oraz od etapu realizacji. W praktyce występuje zbiór metod analizy ryzyka. Dotychczas najczęściej spotykanymi metodami oceny ryzyka są metody takie jak:

- analiza drzewa niezdatności,
- badania zagrożeń i gotowości operacyjnej,
- analiza niezawodności człowieka,
- metoda delhijska,

- symulacja Monte-Carlo i inne metody symulacyjne,
- przegląd danych w retrospekcji,
- ocena wielokryterialna.

Interesującym rozwiązaniem jest metoda wielokryterialna, uwzględniająca i syntetyzująca oceny szeregu innych metod szczegółowych. Dla każdej z inwestycji należałoby dobrać odpowiednią metodę analizy ryzyka, która w najlepszy sposób opisywałaby występujące ryzyka. Dobór metody analizy ryzyka zależy od wielu różnorodnych czynników charakteryzujących inwestora, a także specyfiki samej inwestycji.

Decydenci mają indywidualną skłonność do podejmowania ryzyka, określoną wiedzę, umiejętności, doświadczenie, co wpływa na sposób oceny i analizy ryzyka. Przykłady zastosowania wybranych metod analizy ryzyka należące do różnych zakresów stosowalności zostały przedstawione w tab. 1.

*Tablica 1. Zakres stosowalności wybranych metod analizy ryzyka (oprac. własne)*

	Ocena na etapie studium wykonalności	Ocena na etapie projektu	Ocena na etapie zabudowy	Ocena w okresie eksploatacji	Ocena czynników ludzkich	Ocena niezawodności urządzeń
Analiza drzewa zdarzeń	+	+	+	+	+	+
Analiza FMEA	+	+	+	+	+	--
Analiza HAZOP	+	+	+	+	--	--
Analiza drzewa niezdatności	--	--	--	+	--	+
Analiza niezawodności człowieka	--	--	--	--	+	--
Metoda delhijska	+	+	+	+	--	--
Symulacja Monte-Carlo	+	+	+	+	--	+
Przegląd danych w retrospekcji	+	+	+	+	+	+
Analiza RAMS	+	--	--	--	--	+
Ocena wielokryterialna	+	+	+	+	+	+

#### 4. Wybrane ryzyka w inwestycjach kolejowych oraz koncepcja rozwiązania problemu przy zastosowaniu symulacji Monte Carlo

W procesach inwestycyjnych obejmujących inwestycje kolejowe występuje wiele źródeł ryzyka, szczególnie w dobie dynamicznych zmian w branży kolejowej. W poniższej tabelicy zestawione zostały grupy ryzyk, z którymi można się najczęściej spotkać realizując inwestycje kolejowe.

Tablica 2. Identyfikacja ryzyk w inwestycjach kolejowych (oprac. własne)

Lp.	Kategoria ryzyka	Czynniki ryzyka
1.	Ryzyka związane z projektowaniem	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Niedostateczne wizje lokalne i inwentaryzacja</li> <li>– Niedośzacowanie kosztu projektowania</li> <li>– Błędy w projektowaniu</li> </ul>
2.	Ryzyka operacyjne	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zwiększenie zakładanych kosztów operacyjnych</li> <li>– Ryzyka klimatyczne (mrozy, powodzie, itp.)</li> </ul>
3.	Ryzyka administracyjne/prawne	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Opóźnienia w uzyskiwaniu pozwoleń na realizację inwestycji (np. na budowę). Opóźnienia w uzyskiwaniu decyzji środowiskowych</li> <li>– Niejednoznaczność przepisów (np. błędy w tłumaczeniu TSI)</li> <li>– Zmiana przepisów i wymagań podczas procesu inwestycyjnego</li> <li>– Ignorowanie obowiązku certyfikacji w procesach inwestycyjnych</li> </ul>
4.	Ryzyka związane z wykonaniem robót/techniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Przekroczenie budżetu nakładów inwestycyjnych</li> <li>– Ryzyka geologiczne (nieoczekiwane niekorzystne warunki gruntowe, osunięcia terenu, itp.)</li> <li>– Ryzyka klimatyczne (mrozy, powodzie, itp.) Ryzyka archeologiczne (wykopaliska)</li> <li>– Ryzyka związane z wykonawcą (bankructwo, brak wystarczających zasobów, itp.)</li> <li>– Dobór nieodpowiednich systemów sterowania</li> <li>– Niespełnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa</li> <li>– Konieczność stworzenia interfejsów pomiędzy różnymi systemami</li> <li>– Błędy systemów/aplikacji</li> <li>– Nowe technologie (brak doświadczenia)</li> </ul>
5.	Ryzyka finansowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dostępność środków krajowych na finansowanie nakładów inwestycyjnych</li> <li>– Wzrost kosztów finansowania instalacji i utrzymania</li> <li>– Finansowanie inwestycji, np. cofnięcie finansowania</li> <li>– Konieczność utrzymania dwóch systemów w okresie przejściowym</li> <li>– Opóźnienie inwestycji, częsty brak terminowości</li> <li>– Koszt interfejsów pomiędzy systemami przerasta często koszt systemu</li> </ul>
6.	Ryzyka spowodowane przez czynnik ludzki	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brak wiedzy i doświadczenia wykonawcy</li> <li>– Naciski zewnętrzne/brak bezstronności</li> <li>– Brak świadomości związanej z ryzykiem</li> <li>– Brak specjalistów z branży srk</li> <li>– Zmęczenie/praca w stresie</li> <li>– Brak szkoleń</li> </ul>

Zestawione w tab. 2 ryzyka, są to ryzyka, które należy oceniać i monitorować na każdym etapie inwestycji. W rozdziale 3 przedstawione zostały najczęściej stosowane metody oceny ryzyka. Nie mniej jednak żadna z przedstawionych metod nie jest metodą uniwersalną, gdyż zasadność zastosowania danej metody uzależniona jest od etapu inwestycji, od zakresu prac oraz od samego zakresu danej inwestycji.

Oceniając ryzyko można zastosować analizę jakościową bądź też analizę ilościową. Oczywiście warto te metody połączyć ze sobą. Analiza ilościowa ryzyka pozwala na ocenę wpływu zidentyfikowanych ryzyk na cele danej inwestycji. Skutek ryzyka jest odniesiony do aspektów czasu realizacji, kosztów, oraz zakresu i jakości. Ponieważ trudno zakres i jakość przedstawić w postaci mierzalnych wskaźników, najczęściej występuje metoda - ocena w odniesieniu do czasu i kosztów realizacji inwestycji. Nie mniej jednak w artykule ryzyko zostanie przeanalizowane pod względem czasu oraz bezpieczeństwa realizacji danej inwestycji, ponieważ koszty

są uzależnione od wielu innych czynników, a przede wszystkim od zakresu prac, co jest trudne do przedstawienia w postaci mierzalnych wskaźników.

Tablica 3. Analiza jakościowa ryzyka - prawdopodobieństwo (oprac. własne)

Prawdopodobieństwo	
Skala	Zakres wartości prawdopodobieństwa
Bardzo niskie	<0%, 10%)
Niskie	<10%, 33%)
Średnie	<33%, 66%)
Wysokie	<66%, 90%)
Bardzo wysokie	<90%, 100%>

Jeśli prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia wynosi np. 0,10, to oznacza to 10% wartości z macierzy kwantyfikacji ryzyk. Skutek oznacza natomiast wpływ ryzyka. Jeżeli ryzyko się ziści, wpływ na bezpieczeństwo można określić w skali od 1 do 100 zgodnie z tablicą 4.

Tablica 4. Analiza jakościowa ryzyka – oddziaływanie na inwestycję, skutek (oprac. własne)

Znaczenie	Wartość punktowa
Brak wpływu na bezpieczeństwo, nawet bez podejmowania działań zaradczych	0-20
Mały wpływ na bezpieczeństwo, mały wpływ na efekty finansowe inwestycji, Działania zaradcze i korygujące są jednak potrzebne.	20-40
Umiarkowany wpływ na bezpieczeństwo, głównie negatywne efekty finansowe nawet w średnim lub długim terminie	40-60
Poziom krytyczny: wysoka strata finansowa oraz bardzo duży wpływ na bezpieczeństwo, wystąpienie zdarzenia powoduje niemożliwość realizacji podstawowego celu inwestycji, działania zaradcze bardzo intensywne mogą nie doprowadzić do uniknięcia wysokich strat	60-80
Poziom katastroficzny: Fiasco inwestycji, zdarzenie może wywołać całkowity brak realizacji celu inwestycji, główne efekty inwestycji nie będą uzyskane w średnim i długim terminie	80-100

W trakcie oceny jakościowej obejmującej ocenę ryzyka określane zostają prawdopodobieństwo oraz skutek, czyli wpływ na bezpieczeństwo danej inwestycji. W tym celu wykorzystana została technika korzystająca z macierzy prawdopodobieństwa i skutków ryzyka (tzw. macierz kwantyfikacji ryzyk).

Wartością oczekiwaną ryzyka jest suma wszystkich wartości poziomu ryzyka w inwestycji. Ta metoda jednak nie pozwala na określenie poziomu pewności nieprzekraczania poziomu bezpieczeństwa pomimo, że znane są prawdopodobieństwa wystąpienia każdej grupy ryzyk.

W tym celu zastosowana została symulacja metodą Monte Carlo. Przy zastosowaniu funkcji LOS() w tabeli uzyskane zostały wartości w przedziale od 0 do 1 prawostronnie otwartym  $[0;1)$ . Czyli wartość 0 może wystąpić, a wartość 1 nigdy nie zostanie zwrócona jako wynik formuły. Wartość tej funkcji jest losowa. Korzystając z funkcji JEŻELI, która sprawdza, czy wartość z poprzedniej kolumny jest mniejsza od prawdopodobieństwa ryzyka, jeśli tak, to przypisuje wartość opisującą

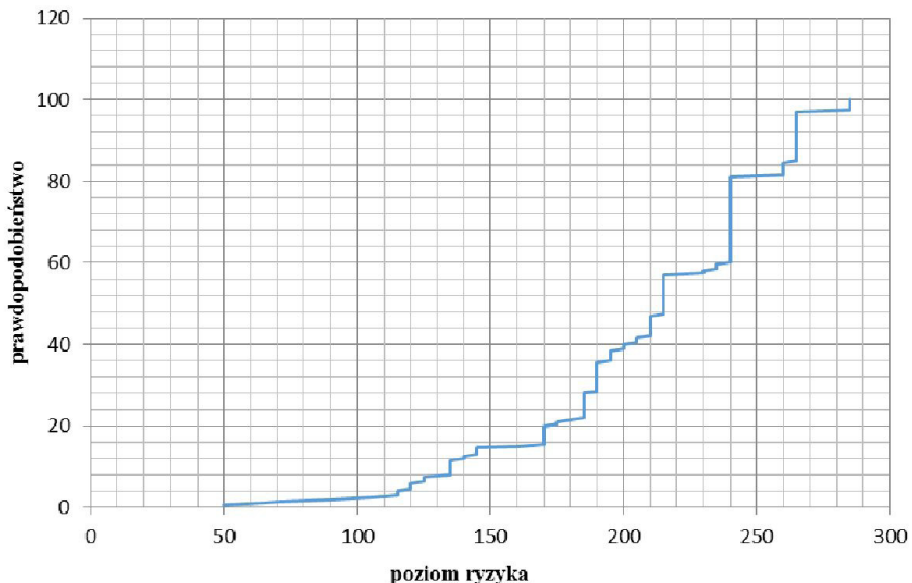


poziom ryzyka do wartości z kolumny SKUTEK. Poniższa tablica przedstawia uzyskane wartości.

Tab.l.ica 5. Analiza ilościowa przedstawionych grup ryzyk (oprac. własne)

Lp	Opis ryzyka	Prawdopodobieństwo	Wartości opisujące poziom ryzyka	Poziom	LOS()	SKUTEK
1	Ryzyka związane z projektowaniem	0,40	25	10	0,145913	25
2	Ryzyka operacyjne	0,15	20	3	0,643333	-
3	Ryzyka administracyjne/ prawne	0,70	50	35	0,541878	50
4	Ryzyka związane z wykonaniem robót/ techniczne	0,80	70	56	0,503157	70
5	Ryzyka finansowe	0,75	55	41,25	0,496111	55
6	Ryzyka spowodowane przez czynnik ludzki	0,90	65	58,5	0,480156	65

Dobierając wartości losowe przy użyciu funkcji LOS(), uzyskuje się inne scenariusze realizacji przykładowych inwestycji. Następnie można zastosować funkcję MS Excel ze zbioru makr, która wygeneruje wybraną liczbę scenariuszy inwestycji i zapisze ich wyniki. Otrzymane wyniki mogą zostać przedstawione w postaci wykresu skumulowanego prawdopodobieństwa (dystrybuanty). Wyniki przedstawia wykres 2, który obejmuje 200 scenariuszy.



Wykres 2. Wykres skumulowanego prawdopodobieństwa dla 200 scenariuszy

Na osi x przedstawionego wykresu znajdują się poziomy ryzyk dla poszczególnych scenariuszy. Na osi y liczebność populacji scenariuszy, liczona w procencie (udziale) wszystkich możliwych sytuacji. Najkorzystniejszy scenariusz zakłada, że poziom ryzyka osiągnie wartość 50, a najbardziej niekorzystny scenariusz zakłada, że poziom ryzyka osiągnie wartość 285. I tak, aby na przykład być pewnym w 80%, że nie przekroczy się poziomu bezpieczeństwa, należałoby założyć dopuszczalną wartość ryzyka na poziomie 240, ponieważ 80% populacji wszystkich scenariuszy znajduje się na lewo tego poziomu ryzyka. W ten sposób można interpretować uzyskany wynik w postaci dystrybuanty prawdopodobieństwa. Celem analizy jest określenie najkorzystniejszego przebiegu dystrybuanty, tj. najmniejszego poziomu ryzyka, przy możliwie największym prawdopodobieństwie (ilość zasymulowanych scenariuszy). Analiza Monte Carlo z uwzględnieniem powiązań pomiędzy ryzykami jest w pełni miarodajną metodą oceny ilościowej wpływu ryzyk na cele inwestycji.

Aby określić poziom ryzyka można również wspomóc się metodą jakościową. Poniższa tablica definiuje poziom ryzyka w zależności od prawdopodobieństwa i siły oddziaływania w odpowiednich kolorach.

Tablica 5. Matryca poziomu ryzyka (oprac. na podst. {4})

		Wpływ				
		I	II	III	IV	V
Prawdopodobieństwo	A	Niski	Niski	Niskie	Niskie	Średnie
	B	Niski	Niskie	Średnie	Średnie	Wysoki
	C	Niski	Średni	Średnie	Wysoki	Wysoki
	D	Niski	Średni	Wysoki	Bardzo wysoki	Bardzo wysoki
	E	Średni	Wysoki	Bardzo wysoki	Bardzo wysoki	Bardzo wysoki

Dodatkowym narzędziem, które może pomóc przy analizie ryzyka inwestycji kolejowych na każdym etapie tej inwestycji, jest matryca ryzyka. Przykładowa matryca przedstawiona została poniżej.

Tablica 6. Matryca ryzyka (oprac. własne)

Pole	Zakres wartości danych
Nazwa ryzyka	Opis ryzyka, np.: „brak finansowania inwestycji”
Kategoria ryzyka	Popyt, Projektowanie, Administracyjne, Nabycie gruntów, Zamówienia, Budowa, Operacyjne, Regulacyjne, Finansowe, Zarządce, Polityczne, Inne Prawdopodobieństwa i Siły oddziaływania.
Przyczyna	Opis pierwotnych czynników mających wpływ na wystąpienie i zmaterializowanie się ryzyka
Skutek	Wzrost kosztów/Redukcja korzyści/Opóźnienie w realizacji inwestycji
Podmiot zarządzający czynnikiem ryzykiem	Wykonawca/ Zamawiający/Ministerstwo właściwe ds. transportu kolejowego/ Wykonawca robót/inny podmiot

<i>Pole</i>	<i>Zakres wartości danych</i>
<b>Faza projektu, którego dotyczy ryzyko</b>	Faza przygotowawcza (tak/nie) Faza wdrożenia (tak/nie) Faza operacyjna (tak/nie)
<b>Prawdopodobieństwo</b>	Odpowiednio Bardzo niskie/Niskie/Średnie/Wysokie/Bardzo wysokie (tab.3)
<b>Sila oddziaływania</b>	(tab.4)
<b>Poziom ryzyka</b>	Kombinacja prawdopodobieństwa i siły oddziaływania (Niski/Średni/Wysoki/Bardzo wysoki)
<b>Strategia zarządzania ryzykiem</b>	Zapobieganie/ograniczenie//przeniesienie/ tolerowanie
<b>Środki ograniczające wpływ ryzyka</b>	Opis słowny
<b>Podmiot zarządzający ograniczaniem wpływu ryzyka</b>	Wykonawca inwestycji/ Zamawiający /Ministerstwo właściwe ds. transport kolejowego/Wykonawca robót/inny podmiot

## 5. Podsumowanie

Przedstawiona metodyka przeprowadzenia analizy ryzyka w inwestycjach kolejowych, wynika nie tylko z analizy metod i dobrych praktyk zaczerpniętych z innych rodzajów transportu [6] i innych branż, ale przede wszystkim z analizy charakterystycznych cech związanych z branżą kolejową. Przedstawione kompleksowe podejście do analizy ryzyka z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo powinno stanowić podstawę do jej dalszego doskonalenia oraz podstawę dalszego wzrostu kultury bezpieczeństwa w transporcie kolejowym, a w rezultacie również do zminimalizowania liczby i skutków niekorzystnych zdarzeń kolejowych oraz strat finansowych. Stosowanie zobiektywizowanych metod standaryzujących precyzyjne rozwiązywanie problemów wspomagających inwestycje będzie istotne dla skrócenia czasu wdrożenia nowych systemów automatyzacji, kierowania i sterowania ruchem w transporcie kolejowym.

## Bibliografia

- [1] Borkowski P., Ryzyko w działalności przedsiębiorstw, WUG, Gdańsk 2008
- [2] Dyrektywa 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 29 kwietnia 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa kolei wspólnotowych z późniejszymi zmianami.
- [3] Gonçalo Medeiros Pais Simões, RAMS analysis of railway track infrastructure (Reliability, Availability, Maintainability, Safety), September 2008.
- [4] Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects - Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020, DG Regio, grudzień 2014.

- [5] Krajowy Plan Wdrożenia Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „Sterowanie”. Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa Rzeczypospolitej Polskiej; Warszawa, czerwiec 2017 r.
- [6] Krystek R., Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu – Tom 1 – Diagnoza bezpieczeństwa transportu w Polsce, WKiŁ Warszawa 2009.
- [7] Kycko M., Koncepcja metody i wyboru rozwiązania ERTM/ETCS dla linii kolejowej o zadanych parametrach ruchowo przewozowych, praca magisterska, Wydział Transportu PW, Warszawa, 2015.
- [8] Kycko M., Zabłocki W., Problem ryzyka w inwestycjach systemów SRK. Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, zeszyt nr 3(110)/2016.
- [9] Ministerstwo Cyfryzacji, GUS wg Krajowego Programu Kolejowego.
- [10] Niebieska Księga, Sektor Kolejowy, Infrastruktura kolejowa, wydanie 2014-2020, wrzesień 2015.
- [11] Norma PN-EN 50126:2002 Zastosowania kolejowe -- Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa.
- [12] Norma PN-EN 50129:2007 Zastosowania kolejowe -- Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem -- Elektroniczne systemy sterowania ruchem związane z bezpieczeństwem.
- [13] Norma PN-EN 50128:2011 Zastosowania kolejowe -- Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem -- Oprogramowanie kolejowych systemów sterowania i zabezpieczenia.
- [14] Norma PN-ISO 31000:2012 Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne.
- [15] Procedura: Ocena ryzyka technicznego i operacyjnego, SMS-PR-02, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2014.
- [16] Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) NR 402/2013z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka i uchylające rozporządzenie (WE) nr 352/2009.
- [17] Szopa T., Niezawodność i bezpieczeństwo, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2009.
- [18] Ya-dong Zhang, Jin Guo, Risk Management Qualitatively on Railway Signal System.
- [19] <http://dotproject.net.pl/node/227>.