W U T J o u r n a l o f T r a n s p o r t a t i o n E n g i n e e r i n g

P R A C E N A U K O W E - P O L I T E C H N I K A W A R S Z A W S K A . T R A N S P O R T

ISSN: 1230-9265 vol. **134**
DOI: 10.5604/01.3001.0016.3272 2022

Risk assessment in railway traffic planning - assumptions for the method

Piotr Gołębiowski*

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

Abstract: Every activity, including within the railway system, is subject to risk, i.e., the possibility of uncertain phenomena that may affect it (both positively and negatively). One of the operational subsystems of the Union Railway System is railway traffic. It consists of four processes - the second is traffic planning. This process is also subject to risk. As it directly relates to traffic safety, conducting research and analyzing the risks involved makes sense. This article aims to develop the assumptions for a risk assessment method in railway traffic planning. This method, once created, will be used to carry out a risk assessment of the indicated process from two points of view: the railway undertaking and the infrastructure manager. As a result of the considerations, it was assumed that risk identification would be performed using the risk description principle from the M_o_R methodology. The risk estimation will be adapted to use a probabilistic risk assessment model. This assessment will be performed using the Monte Carlo simulation method, which is strongly recommended for use by the Office of Railway Transport (the national railway safety body).

Keywords: risk assessment, railway traffic planning, M_o_R methodology, probabilistic risk model, Monte Carlo method

1. Wprowadzenie

Każda działalność obarczona jest ryzykiem, czyli możliwością wystąpienia zjawiska, które może mieć na nią wpływ (zarówno pozytywny jak i negatywny). Ryzyko jest także obecne w systemie kolejowym. Ze względu na przynależność Polski do Unii Europejskiej zasadnym jest posługiwanie się dokumentami wspólnotowymi. Dyrektywa 2016/797 [13] wprowadza pojęcie systemu kolei Unii, którego elementy można podzielić na dwie grupy:

– sieć kolejową, czyli infrastrukturę wraz z systemami zarządzania ruchem, śledzenia i nawigacji; do tej grupy zaliczyć możemy w szczególności:
  – linie dużych prędkości: specjalnie wybudowane dla pociągów poruszających się z prędkościami większymi bądź równymi 250 km/h, specjalnie zmodernizowane dla pociągów poruszających się z prędkościami rzędu 200 km/h i specjalnie

Article citation information:

Gołębiowski, P. (2022). Risk assessment in railway traffic planning - assumptions for the method, WUT Journal of Transportation Engineering, 134, 109-123, ISSN: 1230-9265, DOI: 10.5604/01.3001.0016.3272

*Corresponding author
E-mail address: piotr.golebiowski@pw.edu.pl
ORCID iD: 0000-0001-6885-7738 (P. Gołębiowski)

Received 20 January 2022, Revised 30 March 2022, Accepted 5 April 2022, Available online 15 April 2022

zmodernizowane dla pociągów poruszających się z prędkościami wynikającymi ze szczególnych uwarunkowań,
  - linie konwencjonalne: dedykowane dla ruchu pasażerskiego, mieszanego i towarowego,
  - multimodalne węzły przesiadkowe dedykowane dla transportu pasażerskiego,
  - centra logistyczne wraz z terminalami intermodalnymi,
  - linie łączące wyżej wymienione elementy,
- pojazdy kolejowe, czyli suprastrukturę; do tej grupy zaliczyć możemy:
  - lokomotywy i tabor pasażerski,
  - wagony towarowe,
  - pojazdy specjalne.

System kolei cechuje się dość skomplikowaną strukturą [42]. W związku z tym został on podzielony na podsystemy, dla których łatwiej jest opracować szeroki zakres wymagań. Analizowany system został podzielony na osiem podsystemów [13]:
- strukturalnych:
  - infrastruktura [24],
  - energia,
  - sterowanie - urządzenia przytorowe,
  - sterowanie - urządzenia pokładowe,
  - tabor,
- eksploatacyjnych (funkcjonalnych):
  - ruch kolejowy,
  - utrzymanie,
  - aplikacje telematyczne dla przewozów pasażerskich i dla przewozów towarowych.

Dla każdego z w/w podsystemów zostały sformułowane wymagania zapisane w postaci technicznych specyfikacji interoperacyjności (TSI). Z punktu widzenia tematyki niniejszego artykułu najistotniejszym podsystemem jest ruch kolejowy. Dalsze rozważania w pracy będą dotyczyły tylko tego elementu.

Podsystem ruch kolejowy można zdefiniować jako [13]: „*procedury i związane z nimi urządzenia umożliwiające spójne funkcjonowanie różnych podsystemów strukturalnych, zarówno w czasie normalnego, jak i pogorszonego funkcjonowania, w tym w szczególności przygotowanie składu i prowadzenie pociągu, planowanie ruchu i zarządzanie ruchem”*, a także *„kwalifikacje zawodowe, jakie mogą być wymagane do realizacji przewozów kolejowych każdego rodzaju*”. Podsumowując przedstawioną definicję można stwierdzić, że podsystem ruch kolejowy obejmuje procedury, związane z nimi urządzenia oraz kwalifikacje zawodowe. Elementy te powinny umożliwiać spójne funkcjonowanie różnych podsystemów strukturalnych (infrastruktury, energii, sterowania w dwóch warstwach oraz taboru) w sytuacji normalnej oraz w sytuacji awaryjnej.

W ruchu kolejowym można wydzielić cztery procesy:
- przygotowanie składu i prowadzenie pociągu (czynności związane ze składem i pociągiem od momentu pojawienia się potrzeby transportowej do jej zaspokojenia),
- planowanie ruchu (czynności od momentu pojawienia się potrzeby transportowej do momentu jej zaspokojenia),
- zarządzanie ruchem (czynności związane z fizyczną realizacją przewozu),
- pozostałe procesy.

Przedmiotem niniejszego artykułu jest problematyka planowania ruchu kolejowego. W związku z tym do dalszych rozważań wybrano tylko ten proces zachodzący w podsystemie ruchu kolejowego. W literaturze brak jest jednoznacznej definicji planowania ruchu kolejowego. W związku z tym, na potrzeby przeprowadzenia badań, przyjęto definicję na podstawie połączenia znaczenia pojęć „planowanie" i „ruch kolejowy". Przedstawiono to w tabeli 1.

Tabela 1. Planowanie ruchu kolejowego - definicja

Planowanie [17]	**Ruch kolejowy [13]**
„*proces wytyczania celów i określania najlepszego sposobu ich osiągnięcia*"	„*procedury i związane z nimi urządzenia umożliwiające spójne funkcjonowanie różnych podsystemów strukturalnych, zarówno w czasie normalnego, jak i pogorszonego funkcjonowania, w tym w szczególności przygotowanie składu i prowadzenie pociągu, planowanie ruchu i zarządzanie ruchem*", a także „*kwalifikacje zawodowe, jakie mogą być wymagane do realizacji przewozów kolejowych każdego rodzaju*"
Planowanie ruchu kolejowego	
proces wytyczania celów i określania najlepszego sposobu ich osiągnięcia dotyczący spójnego funkcjonowania różnych podsystemów strukturalnych, zarówno w czasie normalnego, jak i pogorszonego funkcjonowania, określony poprzez procedury, urządzenia i kwalifikacje zawodowe	

Należy stwierdzić, że proces planowania ruchu kolejowego jest obarczony ryzykiem. Ze względu na to, że ma on bezpośredni związek z bezpieczeństwem ruchu [3], to zasadnym jest prowadzenie badań nad ryzykiem z nim związanym. Celem artykułu jest opracowanie założeń do metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego. Metoda ta, po jej opracowaniu, zostanie wykorzystana do przeprowadzenia oceny ryzyka procesu z dwóch punktów widzenia: przewoźnika kolejowego oraz zarządcy infrastruktury. Aby ten cel osiągnąć przeprowadzono następujący zakres prac badawczych. Sekcja pierwsza stanowi wprowadzenie do problemu, gdzie zdefiniowano proces planowania ruchu kolejowego. W sekcji drugiej przedstawiono i omówiono zagadnienia składające się na proces planowania ruchu kolejowego. W sekcji trzeciej omówiono problematykę ryzyka w transporcie kolejowym. W sekcji czwartej zaprezentowano założenia dotyczące metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego w rozbiciu na cztery podpunkty: założenia ogólne, założenia dotyczące identyfikacji ryzyka, założenia do szacowania ryzyka i założenia dotyczące oceny ryzyka. W sekcji piątej podsumowano rozważania przeprowadzone w niniejszym artykule.

2. Zagadnienia planowania ruchu kolejowego

Planowanie ruchu kolejowego, ze szczególnym uwzględnieniem ruchu pociągów pasażerskich, można podzielić na następujące zagadnienia [9]:

- planowanie linii komunikacyjnych (Line Planning Problem - LPP):
  1. **opis problemu** projektowanie sieci linii komunikacyjnych, w taki sposób, aby zapotrzebowanie na przewóz zostało zaspokojone oraz aby spełnione były ograniczenia,

2. **narzędzie wykorzystane do sformułowania problemu** – teoria grafów, w grafie wierzchołki symbolizują punkty eksploatacyjne, a łuki symbolizują połączenia między nimi,
3. **cele problemu**
   - maksymalizacja liczby usług kierowanych do pasażerów,
   - minimalizacja kosztów operacyjnych funkcjonowania systemu transportu kolejowego,
4. **literatura** – opisane ujęcie: Caprara i in., 2007 [9], Jacyna i in., 2019 [18]

– konstrukcję rozkładu jazdy pociągów (Train Timetabling Problem - TTP):

opis problemu	dostarczenie rozkładu jazdy dla określonej liczby pociągów dla pewnej części sieci kolejowej; rozkład jazdy może być cykliczny (pociągi kursują z określonym interwałem czasowym) oraz niecykliczny (brak jednakowego interwału między poszczególnymi pociągami); przewoźnik kolejowy opracowuje idealny rozkład jazdy, natomiast optymalny (aktualny) rozkład jazdy jest przygotowywany przez zarządcę infrastruktury,
narzędzie wykorzystane do sformułowania problemu	teoria grafów, w grafie wierzchołki symbolizują chwile zmiany stanu danego pociągu (jazda, postój), natomiast łuki symbolizują stan pociągu (jazda, postój),
cele problemu	maksymalizacja sumy profitów osiągniętych dla poszczególnych tras pociągów umieszczonych na wykresie ruchu; profit zależy od dwóch czynników: absolutnej różnicy czasu odjazdu pociągów z pierwszej stacji w idealnym i aktualnym rozkładzie jazdy pociągów oraz nieujemnej różnicy między całkowitym czasem jazdy pociągów w rozkładzie aktualnym i idealnym,
literatura	opisane ujęcie: Caprara i in., 2002 [8], Jacyna i in., 2019 [18]

– przydział krawędzi peronowych (Train Platforming Problem – TPP):

opis problemu	poszukiwanie „ścieżki" przejazdu pociągów przez stację od miejsca początkowego do miejsca końcowego z uwzględnieniem postoju przy peronie,
narzędzie wykorzystane do sformułowania problemu	programowanie liniowe całkowitoliczbowe,
cele problemu	minimalizacja kosztów całkowitych wyrażana w postaci sumy wielkości kar związanych z przydzieleniem pociągu do zatrzymania się przy peronie, który nie należy do zbioru peronów sugerowanych,
literatura	opisane ujęcie: Zwaneveld i in., 1996 [44],

– obiegowanie taboru (Rolling Stock Circulation Problem - RSCP):

opis problemu	przypisanie typu i liczby jednostek taboru do konkretnego pociągu umieszczonego w rozkładzie jazdy z uwzględnieniem zapewnienia odpowiedniego standardu dostarczanego pasażerom; problem obiegowania dotyczy lokomotyw, wagonów i jednostek pociągowych,
narzędzie wykorzystane do sformułowania problemu	teoria grafów, graf tranzycji, w którym wierzchołkami są momenty przyjazdów i odjazdów ze stacji, natomiast łuki oznaczają albo jazdę albo postój na stacji (zapas); sformułowania matematyczne przygotowywane są oddzielnie dla „gęstych" i „rzadkich" sieci transportowych,
cele problemu	minimalizacja kosztów całkowitych wyrażana w postaci sumy iloczynów parametru kosztowego i liczby pojazdów zadysponowanych do odbycia podróży lub pozostania w charakterze zapasu,
literatura	opisane ujęcie: Schrijver, 1993 [34], Peeters i Kroon, 2008 [29], Cordeau i in., 2001 [12],

– manewrowanie jednostek pociągowych (Train Unit Shunting Problem - TUSP):

opis problemu	poprzez manewrowanie jednostek pociągowych należy rozumieć następujące elementy: proces poszukiwania miejsc postojowych taboru

	w obszarze manewrowym, trasowanie taboru między stacją a obszarem manewrowym, obsługę techniczną dotyczącą utrzymania taboru oraz czyszczenie; danymi do problemu są: sparametryzowana stacja oraz obszar manewrowy, rozkład jazdy pociągów uwzględniający godzinę przyjazdu i odjazdu, numer peronu i zestawienie składu oraz koszty trasowania z każdego do każdego miejsca; poszukuje się par składu pociągu przyjeżdżającego i wyjeżdżającego oraz miejsc postoju,
narzędzie wykorzystane do sformułowania problemu	programowanie matematyczne zero-jedynkowe oraz teoria kolejek,
cele problemu	minimalizacja kosztów manewrowania składów pociągów, na które składają się koszty trasowania, wielkości karne związane z ustawieniem konkretnego typu składu na konkretnym torze oraz wielkości karne związane z nieznalezieniem odpowiedniego toru dla pojazdu,
literatura	opisane ujęcie: Caprara i in., 2007 [9] na podstawie Schrijver, 2003 w języku duńskim [35],

– planowanie pracy drużyn pociągowych (Crew Planning Problem - CPP):

opis problemu	budowanie planu pracy załóg, który ma umożliwić realizację zaplanowanego rozkładu jazdy; podstawą planowania jest rozkład jazdy, w którym wyróżnia się poszczególne pociągi (handlowe i próżne); następnie tworzy się sekwencję podróży (turnusów) składającą się z poszczególnych pociągów; w dalszej części na podstawie sekwencji podróży (turnusów) tworzy się grafik (służbę) /crew scheduling/; utworzone grafiki powinny uwzględnić obsługę wszystkich pociągów, które mają zostać uruchomione danego dnia (w określonym horyzoncie planowania); następnie na postawie służb tworzy się harmonogram pracy dla poszczególnych pracowników (najczęściej miesięczny) /crew rostering/; zatem problem składa się z dwóch etapów (faz): poszukiwania służb (grafików), dla których horyzont planowania zazwyczaj wynosi dobę oraz poszukiwania harmonogramu pracy na dłuższy czas (np. grafik miesięczny),
narzędzie wykorzystane do sformułowania problemu	teoria grafów; graf tranzycji, w którym wierzchołki symbolizują turnusy (do budowania służb) lub służby (do budowania harmonogramów), a łuki to odwzorowanie tranzycji oznaczających najlepsze przejście drużyny; poszukuje się informacji w którym miejscu znajduje się łuk; programowanie liniowe całkowitoliczbowe,
cele problemu	minimalizacja całkowitej liczby drużyn niezbędnych do wykonania zaplanowanych zadań w ciągu doby lub miesiąca,
literatura	opisane ujęcie: Caprara i in., 2001 [10].

3. Problematyka ryzyka w transporcie kolejowym

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/798 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa kolei [14] (która powstała w wyniku przekształcenia Dyrektywy 2004/49/WE [15]), jest głównym dokumentem legislacyjnym odnoszącym się do tematyki ryzyka w transporcie kolejowym. Dokumenty te pozwoliły na wprowadzenie jednolitych metod z obszaru monitorowania, oceny zgodności, nadzoru oraz oceny i wyceny ryzyka [14].

Dyrektywa 2016/798 [14] wprowadza obowiązek dla przewoźników kolejowych, zarządców infrastruktury oraz podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie do stosowania środków kontroli ryzyka. W tym celu organizacje powinny stosować wspólne metody oceny

bezpieczeństwa, które pozwalają na ocenę jego poziomu. Jednym z siedmiu dokumentów są metody wyceny i oceny ryzyka [19], [33].

Głównym celem rozporządzenia 402/2013 [33] jest wprowadzenie jednolitych procesów zarządzania ryzykiem w organizacjach kolejowych, takich jak:
- przedsiębiorstwo kolejowe lub zarządca infrastruktury,
- podmiot odpowiedzialny za utrzymanie,
- podmiot zamawiający lub producent wyrobów, które będą następnie notyfikowane,
- podmiot składający wniosek o zezwolenie na dopuszczenie do eksploatacji podsystemów strukturalnych.

Należy podkreślić, że głównym przeznaczeniem w/w wspólnej metody jest ocena wpływu zmian (czyli modyfikacji technicznych, eksploatacyjnych i organizacyjnych w systemie kolejowym) na poziom bezpieczeństwa i zgodność z wymogami bezpieczeństwa [33]. Metoda ta nie jest zatem dedykowana do oceny procesów, które funkcjonują bez modyfikacji. Biorąc pod uwagę fakt, że problematyka ryzyka ma ścisły związek z bezpieczeństwem, to wytyczne zamieszczone w rozporządzeniu 402/2013 można stosować do zarządzania ryzykiem w innych obszarach.

Rozporządzenie 402/2013 definiuje ryzyko jako „*częstotliwość wypadków i incydentów prowadzących do szkody (spowodowanej zagrożeniem) oraz stopień powagi tej szkody*" [33]. Należy zauważyć, że pojęcie częstotliwości stosowane jest w zamian za pojęcie prawdopodobieństwa. Zagrożenie rozumiane jest jako stan, który może doprowadzić do wypadku. Rozważane są zatem jedynie ryzyka o charakterze negatywnym (takie, których materializacja prowadzi do skutków negatywnych). Analiza ryzyka to identyfikowanie zagrożeń i szacowanie ryzyka [33]. Szacowanie ryzyka można zdefiniować jako proces, który prowadzi do ustalenia poziomu analizowanego ryzyka w danym momencie [33].

Zarządzanie ryzykiem według rozporządzenia 402/2013 [33] składa się z trzech etapów:
- oceny ryzyka (w ramach tego etapu należy zidentyfikować: zagrożenia, ryzyka, środki bezpieczeństwa związane z tym ryzykiem oraz wymogi bezpieczeństwa, które powinien spełniać system) [7], [11], [21], [23], [28], [36], [40],
- oceny zgodności systemu po materializacji danego zagrożenia (po wystąpieniu danego ryzyka) ze zidentyfikowanymi wymogami bezpieczeństwa,
- zarządzania zagrożeniami (ryzykiem) poprzez stosowanie odpowiednich środków bezpieczeństwa.

Ocena ryzyka jest zatem jednym z elementów procesu zarządzania ryzykiem [1], [4], [5], [16], [26], [27], [31]. Ocena zgodności systemu ze wszystkimi wymogami bezpieczeństwa jest niezbędna do zaakceptowania danego zagrożenia (ryzyka).

4. Założenia dotyczące metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego

4.1. Założenia ogólne

Do oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego proponuje się wykorzystanie dwóch metodyk. Pierwsza bazuje na rozporządzeniu Komisji Europejskiej 402/2013 [33] w części dotyczącej wyceny i oceny ryzyka. Ponadto uwzględnione zostaną rozważania opracowane

w formie przewodnika przez Urząd Transportu Kolejowego (krajowy organ do spraw bezpieczeństwa ruchu kolejowego) w odniesieniu do rozporządzenia 402/2013 w postaci dokumentu „*Ekspertyza dotycząca praktycznego stosowania przez podmioty sektora kolejowego wymagań wspólnej metody bezpieczeństwa w zakresie oceny ryzyka (CSM RA)…*" [17], [30], [33]. Druga metodyka bazuje natomiast na doświadczeniach przedsiębiorców brytyjskich i brytyjskim ładzie korporacyjnym. Jest to metodyka M_o_R [2] opracowana przez firmę Axelos. Należy zauważyć, że metodyka ta funkcjonowała za czasów, kiedy Wielka Brytania była członkiem Unii Europejskiej. W związku z tym jej zawartość jest zgodna z przepisami unijnymi i może być stosowana do oceny procesów odbywających się na tym rynku.

Zgodnie z metodyką M_o_R ryzyko może być zdefiniowane jako niepewne przyszłe zdarzenie lub zbiór niepewnych zdarzeń, które, jeżeli by zaszły, to wpłyną na osiągalność celów [2]. Tę definicję przyjęto jako wiodącą przy opracowywaniu założeń do oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego.

W przewodniku UTK [41], który został opracowany na podstawie normy [30], proces oceniania ryzyka zdefiniowano jako składający się z następujących etapów:

- identyfikacji ryzyka – w ramach tego etapu należy dokonać określenia jakie zagrożenia (ryzyka o charakterze negatywnym) będą mogły mieć wpływ na analizowany problem,
- analizy ryzyka:
  - określenia konsekwencji – w ramach tego etapu należy dokonać identyfikacji jakie mogą być skutki wystąpienia uprzednio zidentyfikowanego zagrożenia,
  - określenia prawdopodobieństwa – w ramach tego etapu należy dokonać identyfikacji jakie jest prawdopodobieństwo materializacji zidentyfikowanego ryzyka,
  - określenia poziomu ryzyka – w ramach tego etapu należy dokonać identyfikacji jaki poziom ryzyka organizacja jest w stanie zaakceptować,
- oceny ryzyka – w ramach tego etapu należy dokonać oceny, w jaki sposób ryzyko może wpływać na analizowany problem.

Należy zatem zauważyć, że proces oceny ryzyka jest jednym z elementów procesu oceniania ryzyka. Dla każdego z etapów opracowane zostały zalecenia dotyczące stosowania poszczególnych metod związanych z procesem oceniania ryzyka.

Według metodyki M_o_R proces zarządzania ryzykiem, którego część stanowi proces oceniania ryzyka, składa się z czterech podstawowych etapów [2]:

- identyfikuj:
  - kontekst – w ramach tego podetapu należy dokonać identyfikacji problemu, który będzie podlegał analizie,
  - ryzyko – w ramach tego podetapu należy dokonać identyfikacji konkretnych ryzyk, które mogą stanowić okazje (ryzyka o charakterze pozytywnym) lub zagrożenia (ryzyka o charakterze negatywnym),
- oceniaj:
  - szacuj – w ramach tego podetapu należy określić prawdopodobieństwo, wpływ i bliskość zidentyfikowanych ryzyk,
  - ewaluacja – w ramach tego podetapu należy określić poziom ekspozycji na ryzyko zidentyfikowanego problemu,
- planuj – w ramach tego etapu należy opracować reakcję na zidentyfikowane ryzyka,

– wdrażaj – w ramach tego etapu należy wdrożyć opracowane reakcje na zidentyfikowane ryzyka w życie oraz ciągle monitorować sytuację.

Należy zatem zauważyć, że proces oceny ryzyka jest jednym z elementów procesu zarządzania ryzykiem.

Przedstawione powyżej dwie metodyki są do siebie podobne. Ze względu na to, że proces planowania ruchu kolejowego ma istotny związek z bezpieczeństwem, to w analizach należy uwzględnić regulacje zawarte w rozporządzeniu 402/2013 [25], [37]. Metodyka M_o_R natomiast stanowi istotne wsparcie w uporządkowaniu wszelkich elementów dotyczących problematyki zarządzania ryzykiem i do niedawna była jednym z narzędzi obowiązujących na terytorium Unii Europejskiej. W związku z tym zasadnym jest skorzystanie z połączonych w/w metodyk w odniesieniu do analizowanego problemu [22]. Zatem ocena ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego będzie składała się z następujących zagadnień:

– identyfikacji procesów składających się na planowanie ruchu kolejowego,
– identyfikacji ryzyka dla każdego ze zidentyfikowanych procesów składowych planowania ruchu kolejowego,
– oszacowania wpływu poszczególnych zidentyfikowanych ryzyk na cele danego procesu składającego się na planowanie ruchu kolejowego,
– przeprowadzeniu oceny poszczególnych ryzyk z wykorzystaniem wybranej metody.

Poszczególne zagadnienia zostaną omówione w kolejnych podpunktach artykułu.

4.2. Identyfikacja ryzyka

Rozporządzenie Komisji Europejskiej 402/2013 [33] określa ryzyko jako niepewne zdarzenie jedynie o charakterze negatywnym, czyli zagrożenie. Tymczasem ryzyko powinno być rozpatrywane nie tylko jako zagrożenie, ale także jako okazja. Na potrzeby opracowania założeń do metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego przyjęto, że ryzyko będzie rozpatrywane z dwóch punktów widzenia: jako zagrożenie i jako okazja. Zdarzenie w postaci zagrożenia (jego materializacja) miałoby negatywny wpływ na cele [2]. Zatem, gdyby zagrożenie wystąpiło, to rozumiane byłoby w formie straty. Zdarzenie w postaci okazji (jego materializacja) miałoby pozytywny wpływ na cele [2]. Zatem gdyby okazja wystąpiła, to rozumiana by była w formie zysku.

Metodyka M_o_R do wykonania identyfikacji ryzyka zaleca zastosowanie zasady opisu ryzyka, która pozwala na dokonanie opisu ryzyka w sposób zrozumiały dla wszystkich zapoznających się z nim. Zaleca się wskazanie dla każdego ryzyka następujących elementów [2], [43]:

– przyczyny ryzyka, która opisuje źródło ryzyka, czyli zdarzenie, które powoduje ryzyko (aby wystąpiło ryzyko, musi wystąpić uprzednio zdarzenie),
– ryzyka, czyli dokonanie opisu obszaru niepewności,
– efektu ryzyka, czyli opisanie wpływu, jaki ryzyko miałoby na dane przedsięwzięcie, gdyby wystąpiło.

Zatem na potrzeby dokonania założeń do metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego założono, że identyfikacja ryzyka będzie odbywała się za pomocą techniki proponowanej przez metodykę M_o_R. Proponuje się, aby było to realizowane w postaci tabelarycznej. Przykład opisu ryzyka przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Przykład opisu ryzyka (źródło: opracowanie własne)

Lp.	P przyczyna	R ryzyko	E efekt ryzyka
	Ze względu na: …	*… istnieje ryzyko, że …*	*…, które jeśli się zmaterializuje to …*
1	1) doświadczenie badacza może być nieodpowiednie, 2) sprecyzowanie celu badań i pożądanych efektów może być niedokładne, 3) stopień szczegółowości danych może być niedostateczny	liczba segmentów popytu, dla których przeprowadzona zostanie estymacja, może być zbyt mała, w stosunku do celu badań (zagrożenie)	może nastąpić częściowa utrata przychodów przez przewoźnika, ponieważ: 1) estymacja popytu może być zbyt mało dokładna, w stosunku do celu badań, 2) zachowania komunikacyjne mogą nie zostać odwzorowane zbyt dokładnie
2	…	…	…
3	…	…	…
…	…	…	…

Należy zauważyć, że metodyka M_o_R w opisie ryzyka oprócz jego identyfikacji zawiera także określenie konsekwencji, które jest przedmiotem drugiego etapu oceny według metodyki zawartej w rozporządzeniu 402/2013 czyli analizy ryzyka – określenie konsekwencji. Według zaleceń zawartych w przewodniku UTK [41] do identyfikacji ryzyka proponuje się wykorzystanie następujących metod/technik:

zdecydowanie zalecane są:	Burza mózgów, Ustrukturyzowany lub półustrukturyzowany wywiad, Technika Delphi, Lista kontrolna (CL), Analiza podstawowych zagrożeń (PHA), HAZOP, Analiza zagrożeń i punkty kontroli krytycznej (HACCP), Oszacowanie ryzyk środowiskowych, Technika „Co, Jeśli?" (SWIFT), Analiza scenariuszowa, Analiza przyczyn wadliwości i krytyczności wad (FMEA), Analiza przyczyn i skutków (diagram Ishikawy), Analiza niezawodności człowieka (HRA), Utrzymanie zorientowane na niezawodność (RCM), Macierz prawdopodobieństwa,
zalecane są:	Analiza wpływu na biznes (BIA), Analiza drzewa uszkodzeń (FTA), Analiza drzewa zdarzeń (ETA), Analiza przyczyn i konsekwencji (CCA), Analiza warstw zabezpieczeń/ochrony (LOPA), Analiza Markova, Krzywa/Diagram FN – ALARP, Indeksy/Wskaźniki ryzyka, Analiza kosztów i korzyści, Wielokryterialna analiza decyzyjna (MCDA).

Według zaleceń zawartych w przewodniku UTK [41] do szacowania ryzyka (w zakresie konsekwencji) proponuje się wykorzystanie następujących metod/technik:

zdecydowanie zalecane są:	HAZOP, Analiza zagrożeń i punkty kontroli krytycznej (HACCP), Oszacowanie ryzyk środowiskowych, Technika „Co, Jeśli?" (SWIFT), Analiza scenariuszowa, Analiza wpływu na biznes (BIA), Analiza przyczyn pierwotnych (RCA), Analiza przyczyn wadliwości i krytyczności wad (FMEA), Analiza drzewa zdarzeń (ETA), Analiza przyczyn i konsekwencji (CCA), Analiza przyczyn i skutków (diagram Ishikawy), Analiza warstw zabezpieczeń/ochrony (LOPA), Drzewo decyzyjne, Analiza niezawodności człowieka (HRA), Utrzymanie zorientowane na niezawodność (RCM), Analiza Markova, Statystyka i Sieci Bayesa, Krzywa/Diagram FN – ALARP, Indeksy/Wskaźniki ryzyka, Macierz prawdopodobieństwa, Analiza kosztów i korzyści, Wielokryterialna analiza decyzyjna (MCDA),
zalecane są:	Analiza Bow Tie.

Podczas identyfikacji ryzyk należy dążyć do tego, aby ich liczba była możliwie najwyższa (im bardziej dokładnie zostaną zidentyfikowane ryzyka dla każdego procesu, tym lepiej). Dla każdego ryzyka należy wskazać co najmniej jedną przyczynę i co najmniej jeden efekt.

4.3. Szacowanie ryzyka

Kolejnym etapem oceniania ryzyka według przewodnika UTK [41] jest analiza ryzyka, który składa się z dwóch podetapów (jeden z podetapów został zakwalifikowany do etapu identyfikacji ryzyka): określenia prawdopodobieństwa oraz określenia poziomu ryzyka. Zatem dla każdego ryzyka należy określić prawdopodobieństwo jego materializacji i wielkość akceptowalną ryzyka. Według zaleceń zawartych w przewodniku UTK [41] do szacowania ryzyka (w zakresie prawdopodobieństwa) proponuje się wykorzystanie następujących metod/technik:

zdecydowanie zalecane są:	Oszacowanie ryzyk środowiskowych, Technika „Co, Jeśli?" (SWIFT), Analiza przyczyn pierwotnych (RCA), Analiza przyczyn wadliwości i krytyczności wad (FMEA), Analiza drzewa uszkodzeń (FTA), Analiza przyczyn i konsekwencji (CCA), Drzewo decyzyjne, Analiza niezawodności człowieka (HRA), Analiza Bow Tie, Utrzymanie zorientowane na niezawodność (RCM), Krzywa/Diagram FN – ALARP, Indeksy/Wskaźniki ryzyka, Macierz prawdopodobieństwa,
zalecane są:	HAZOP, Analiza scenariuszowa, Analiza wpływu na biznes (BIA), Analiza drzewa zdarzeń (ETA), Analiza warstw zabezpieczeń/ochrony (LOPA), Analiza kosztów i korzyści, Wielokryterialna analiza decyzyjna (MCDA).

Według zaleceń zawartych w przewodniku UTK [41] do szacowania ryzyka (w zakresie poziomu ryzyka) proponuje się wykorzystanie następujących metod/technik:

zdecydowanie zalecane są:	Oszacowanie ryzyk środowiskowych, Technika „Co, Jeśli?" (SWIFT), Analiza przyczyn pierwotnych (RCA), Analiza przyczyn wadliwości i krytyczności wad (FMEA), Analiza niezawodności człowieka (HRA), Analiza Bow Tie, Utrzymanie zorientowane na niezawodność (RCM), Macierz prawdopodobieństwa, Wielokryterialna analiza decyzyjna (MCDA),
zalecane są:	HAZOP, Analiza scenariuszowa, Analiza wpływu na biznes (BIA), Analiza drzewa uszkodzeń (FTA), Analiza drzewa zdarzeń (ETA), Analiza przyczyn i konsekwencji (CCA), Analiza warstw zabezpieczeń/ochrony (LOPA), Drzewo decyzyjne, Krzywa/Diagram FN – ALARP, Indeksy/Wskaźniki ryzyka, Analiza kosztów i korzyści.

Na potrzeby oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego przyjęto, że będzie ona dokonywana z wykorzystaniem probabilistycznych modeli ryzyka, które są zalecane do wykorzystania przez metodykę M_o_R. W literaturze zarówno polskojęzycznej jak i anglojęzycznej znajduje się dość mało wzmianek dotyczących ich implementacji w odniesieniu do problemów transportu kolejowego. Głównie na tym etapie wykorzystuje się tzw. matryce ryzyk (element metody HAZOP i PHA) [20], [38], [39].

Szacowanie ryzyka można inaczej nazwać oszacowaniem wpływu ryzyka na cele danego procesu. Aby móc tego dokonać należy zidentyfikować zmienne, które będą mogły posłużyć do dokonania oszacowania wpływu. Zmienne te będą posiadały charakter losowy. Ważnym jest, aby przyjęte zmienne miały charakter uniwersalny, czyli aby można było je obliczyć na podstawie ogólnodostępnych danych statystycznych. Ułatwi to prognozowanie wartości zmiennych losowych na podstawie danych na lata następne lub na podstawie danych z okresów poprzednich. Dla każdego ryzyka należy przypisać tylko jeden typ zmiennej.

Kolejną rzeczą, którą należy określić, to przyjęcie dla każdego zidentyfikowanego ryzyka, opisanego konkretną zmienną opisującą wpływ, odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa. Według metodyki M_o_R do opisania prawdopodobieństwa zmiennych zalecane jest wykorzystanie następujących rozkładów prawdopodobieństwa: trójkątnych, beta, dyskretnych i jednorodnych. Wymienione rozkłady zostały przytoczone zgodnie z kolejnością przedstawioną w podręczniku M_o_R [2]. Można zatem wysnuć wniosek, że najodpowiedniejszym rozkładem do zastosowania jest rozkład trójkątny. Taką logiką posłużono się przy opracowaniu założeń do metody i wykorzystano właśnie rozkład trójkątny. Dla każdej zmiennej należy przyjąć tylko jeden typ rozkładu.

Dla każdego z rozkładów prawdopodobieństwa niezbędne jest wskazanie wartości charakterystycznych dla nich. Dla rozkładu trójkątnego należy podać [32] minimalną, najbardziej prawdopodobną oraz maksymalną wartość zmiennej opisującej wpływ (zmiennej losowej).

4.4. Ocena ryzyka

Ostatnim etapem procesu oceniania ryzyka jest dokonanie oceny poszczególnych ryzyk z wykorzystaniem wybranej metody. Według zaleceń zawartych w przewodniku UTK [41] do oceny ryzyka proponuje się wykorzystanie następujących metod/technik:

zdecydowanie zalecane są:	Analiza zagrożeń i punkty kontroli krytycznej (HACCP), Oszacowanie ryzyk środowiskowych, Technika „Co, Jeśli?" (SWIFT), Analiza przyczyn pierwotnych (RCA), Analiza przyczyn wadliwości i krytyczności wad (FMEA), Utrzymanie zorientowane na niezawodność (RCM), **Symulacja Monte Carlo**, Statystyka i Sieci Bayesa, Krzywa/Diagram FN – ALARP, Indeksy/Wskaźniki ryzyka,
zalecane są:	HAZOP, Analiza scenariuszowa, Analiza wpływu na biznes (BIA), Analiza drzewa uszkodzeń (FTA), Analiza przyczyn i konsekwencji (CCA), Drzewo decyzyjne, Analiza niezawodności człowieka (HRA), Analiza Bow Tie, Macierz prawdopodobieństwa, Analiza kosztów i korzyści, Wielokryterialna analiza decyzyjna (MCDA).

Jedną ze zdecydowanie zalecanych do wykorzystania metod oceny ryzyka jest symulacja Monte Carlo [6]. W związku z tym zdecydowano, że właśnie ta metoda zostanie wykorzystana do przeprowadzenia oceny. Wybór ten został dokonany na podstawie dokonanego przeglądu literatury, zarówno polskojęzycznej jak i anglojęzycznej. Brak jest informacji o wykorzystaniu tej metody do oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego. Zatem zasadnym jest rozszerzenie stanu wiedzy w tym zakresie.

Do przeprowadzenia oceny ryzyka proponuje się wykorzystanie dedykowanego oprogramowania – np. dodatku do programu Microsoft Excel – RiskAMP [32]. Oprogramowanie to, po wprowadzeniu danych wejściowych dotyczących danego ryzyka, pozwala na przeprowadzenie symulacji i przedstawienia wyników, na podstawie których dokonuje się oceny.

Dla każdej zmiennej opisującej wpływ generowane są wartości następujących parametrów statystycznych:

- wartości średniej danej zmiennej opisującej wpływ,
- liczby prób wykonanych w ramach rozkładu dla danej zmiennej opisującej wpływ,
- błędu standardowego uzyskanego w ramach rozkładu dla danej zmiennej opisującej wpływ,

- wartości minimalnej danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości maksymalnej danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości mediany danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości rozstępu danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości odchylenia standardowego dla danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości wariancji dla danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości skośności dla danej zmiennej opisującej wpływ,
- wartości kurtozy dla danej zmiennej opisującej wpływ.

Następnie odczytuje się dla poszczególnych percentyli (co można przyjąć za ocenę prawdopodobieństwa) otrzymane w wyniku symulacji wartości zmiennej (co można przyjąć za ocenę wpływu) i na tej podstawie wyznacza się wartość oczekiwaną (czyli dokonuje się oceny ryzyka). Następnie można podsumować przeprowadzoną ocenę, ze szczególnym uwzględnieniem kwartyla dolnego (percentyl 25%), średniego (percentyl 50%) i górnego (percentyl 75%). Ponadto odczytuje się histogram występowania poszczególnych wartości zmiennej (częstość występowania poszczególnych wartości zmiennych) oraz oblicza się prawdopodobieństwo wystąpienia wartości.

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych w niniejszym artykule analiz i rozważań opracowane zostały założenia do metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego. Zostały one opracowane na podstawie analizy specyfiki procesu planowania ruchu kolejowego oraz dwóch metodyk związanych z ocenianiem ryzyka: metodyki opisanej w rozporządzeniu Komisji Europejskiej 402/2013 oraz metodyki M_o_R bazującej na brytyjskim ładzie korporacyjnym.

Pierwsze opracowane założenie dotyczy elementów składowych metody ocena ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego. Przyjęto następujące etapy oceny:

- identyfikacja procesów składowych,
- identyfikacja ryzyk dla każdego ze zidentyfikowanych procesów składowych,
- oszacowanie wpływu poszczególnych zidentyfikowanych ryzyk na cele poszczególnych procesów składowych,
- ocena poszczególnych ryzyk z wykorzystaniem wybranej metody.

W artykule przedstawiono jeden z podziałów procesów składowych planowania ruchu kolejowego. Nie jest to jedyny podział, jaki można spotkać w literaturze. Należy wybrać taki podział, który będzie najlepiej pasował do celu prowadzonych badań. Jak już wspomniano, ocena będzie dokonywana zarówno z punktu widzenia przewoźnika kolejowego, jak i zarządcy infrastruktury. Należy zauważyć, że nie wszystkie etapy będą rozpatrywane z obu punktów widzenia. Niektóre etapy mogą także być rozpatrywane jednocześnie z obu punktów widzenia.

Założono, że identyfikacja ryzyk będzie przeprowadzana z wykorzystaniem zasady opisu ryzyka, która została przyjęta zgodnie z metodyką M_o_R. W zasadzie tej oprócz wskazania konkretnego ryzyka wskazuje się przyczynę, która może doprowadzić do wystąpienia danego ryzyka oraz efekt, jaki może ono wywołać.

Przyjęto, że etap szacowania wpływu poszczególnych ryzyk na cele został dostosowany do możliwości wykorzystania probabilistycznego modelu ryzyka. Należy powołać zmienne, które mogą posłużyć do opisania poszczególnych ryzyk na cele. Przy wyborze zmiennych należy dokonywać tego w taki sposób, aby dane były ogólnodostępne i do tego można było je prognozować. Poza tym niezbędnym jest przypisanie do zmiennych odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa.

Założono, że etap oceny ryzyka zostanie przeprowadzony z wykorzystaniem symulacyjnej metody Monte Carlo. Jest ona zdecydowanie zalecana do wykorzystania przez Urząd Transportu Kolejowego. Zastosowanie wspomagania komputerowego pozwala na przeprowadzenie oceny w sposób kompleksowy i dokładny.

Bibliografia

1. Aven, T., Renn, O. (2010). Risk Management and Governance. Concepts, Guidelines and Applications. Berlin - Heidelberg: Springer.
2. AXELOS Ltd. (2010). Zarządzanie ryzykiem. Przewodnik dla praktyków. Londyn: TSO.
3. Baranovskyi, D., Muradian, L., Bulakh, M. (2021). The Method of Assessing Traffic Safety in Railway Transport. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 666(4), 042075.
4. Berrado, A., El-Koursi, E. M., Cherkaoui, A., Khaddour, M. (2010). A framework for risk management in railway sector: application to road-rail level crossings. The Open Transportation Journal, 5, 34-44.
5. Boholm, Å. (2010). On the organisational practice of expert-based risk management: A case of railway planning. Risk Management, 12(4), 235-255.
6. Brandimarte, P. (2014). Handbook in Monte Carlo simulation: applications in financial engineering, risk management, and economics. Hoboken: Wiley.
7. Burdzik, R. (2021). Epidemic Risk Analysis and Assessment in Transport Services. Boca Raton: CRC Press.
8. Caprara, A., Fischetti, M., Toth, P. (2002). Modeling and solving the train timetabling problem. Operations research, 50(5), 851-861.
9. Caprara, A., Kroon, L., Monaci, M., Peeters, M., Toth, P. (2007). Passenger railway optimisation, in: Barnhart, C., Laporte, G. (eds.), Handbooks in Operations Research and Management Science, 14, 129-187.
10. Caprara, A., Monaci, M., Toth, P. (2001). A global method for crew planning in railway applications. In: Computer-aided scheduling of public transport (17-36). Springer, Berlin, Heidelberg.
11. Celiński, I., Burdzik, R., Młyńczak, J., Kłaczyński, M. (2022). Research on the applicability of vibration signals for real-time train and track condition monitoring. Sensors, 22(6), 2368
12. Cordeau, J. F., Soumis, F., Desrosiers, J. (2001). Simultaneous assignment of locomotives and cars to passenger trains. Operations research, 49(4), 531-548.
13. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/797 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei w Unii Europejskiej. Dz.U. L 138 z 26.05.2016.
14. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/798 z dnia 11 maja 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa kolei (wersja przekształcona). Dz.U. L 138 z 26.05.2016.
15. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/49/WE z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa kolei wspólnotowych oraz zmieniająca dyrektywę Rady 95/18/WE w sprawie przyznawania licencji przedsiębiorstwom kolejowym, oraz dyrektywę 2001/14/WE w sprawie alokacji zdolności przepustowej infrastruktury kolejowej i pobierania opłat za użytkowanie infrastruktury kolejowej oraz certyfikację w zakresie bezpieczeństwa (Dyrektywa w sprawie bezpieczeństwa kolei). Dz.U. L 164 z 30.04.2004.
16. Froot, K. A., Scharfstein, D. S. (1994). A framework for risk management. Harvard Business Review, 72(6), 91-101.
17. Griffin, R. W. (2017). Podstawy zarządzania organizacjami. Warszawa: PWN.
18. Jacyna, M., Gołębiowski, P., Krześniak, M., Szkopiński, J. (2019). Organizacja ruchu kolejowego. Warszawa: PWN.

19. Jagieło, D., Kwasiborska, A. (2017). The Concept of Tool to Support the Work of Air Traffic Controller in the Field of Aircraft Landing Scheduling in the TMA with Little Traffic, in: Mikulski, J. (eds.), Smart solutions in today's transport, Communications in Computer and Information Science, 715, 436-446.
20. Karasiewicz, I. (2020). Rola i znaczenie czynnika ludzkiego w analizie zdarzeń kolejowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, 119(2), 63-75.
21. Kukulski, J., Gołębiowski, P., Makowski, J., Jacyna-Gołda, I., Żak, J. (2021). Effective Method for Diagnosing Continuous Welded Track Condition Based on Experimental Research. Energies, 14, 1–23.
22. Kwasiborska, A., Skorupski, J. (2018) Analysis of the Process of Merging Air Traffic Streams. Case Study of TMA Warsaw, in: Mikulski, J. (eds.), Management Perspective for Transport Telematics, Communications in Computer and Information Science, 320-334, 2018.
23. Kwasiborska, A., Skorupski, J. (2021). Assessment of the Method of Merging Landing Aircraft Streams in the Context of Fuel Consumption in the Airspace. Sustainability, 13, 1-18.
24. Kwasiborska, A., Stelmach, A. (2014). Analysis of airport traffic in the context of environmental throughput. Transport Problems, 9(1), 129 – 140.
25. Kycko, M., Zabłocki, W. (2018). Metody oceny ryzyka w procesach inwestycyjnych obejmujących wdrożenie systemów sterowania ruchem kolejowym (srk). Transport Economics and Logistics, 74, 269-277.
26. Merna, T., Al-Thani, F. F. (2008). Corporate risk management. Hoboken: John Wiley & Sons.
27. Molak, V. (red.). (1997). Fundamentals of risk analysis and risk management. Boca Raton: CRC Press.
28. Paś, J., Rosiński, A., Chrzan, M., Białek, K. (2020). Reliability-operational analysis of the LED lighting module including electromagnetic interference. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 62(6), 2747-2758
29. Peeters, M., Kroon, L. (2008). Circulation of railway rolling stock: a branch-and-price approach. Computers & operations research, 35(2), 538-556.
30. PN-EN IEC 31010:2020-01 – Risk management – Risk assessment.
31. Pritchard, C. L. (2010). Risk management: concepts and guidance. New York: ESI International.
32. RiskAMP. Pobrane z: https://www.riskamp.com/ (16.07.2022).
33. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 402/2013 z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka i uchylające rozporządzenie (WE) nr 352/2009. Dz.U. L121 z 03.05.2013.
34. Schrijver, A. (1993). Minimum circulation of railway stock. Cwi Quarterly, 6(3), 205-217.
35. Schrijver, A. (2003). Rangeren op Opstelsporen. Technical report, CWI (w języku duńskim).
36. Semenov, I., Jacyna, M. (2022). The synthesis model as a planning tool for effective supply chains resistant to adverse events. Eksploatacja i Niezawodność, 24, 140–152.
37. Stelmach, A., Góra, I., Zięba, M. (2022). Application of risk assessment methods in rail transport, WUT Journal of Transportation Engineering, 134, 7-16
38. Szaciłło L, Jacyna M, Szczepański E, Izdebski M. (2021). Risk assessment for rail freight transport operations. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 23(3), 476–488.
39. Szaciłło, L., Krześniak, M., Jasiński, D., Valis, D. (2022). The use of the risk matrix method for assessing the risk of implementing rail freight services. Archives of Transport, 64(4), 89-106.
40. Urbaniak, M., Kardas-Cinal, E. (2022). Optimization of Train Energy Cooperation Using Scheduled Service Time Reserve. Energies, 15, 119
41. Urząd Transportu Kolejowego. Ekspertyza dotycząca praktycznego stosowania przez podmioty sektora kolejowego wymagań wspólnej metody bezpieczeństwa w zakresie oceny ryzyka (CSM RA) opracowana w formie Przewodnika. Pobrane z: https://www.utk.gov.pl/download/1/12494/UTKCSMRAfinal2.pdf
42. von Bertalanffy, L. (1984). Ogólna teoria systemów: podstawy, rozwój, zastosowania. Warszawa: PWN
43. Zou, P., Li, J. (2010). Risk identification and assessment in subway projects: case study of Nanjing Subway Line 2. Construction Management and Economics, 28(12), 1219-1238.
44. Zwaneveld, P. J., Kroon, L. G., Romeijn, H. E., Salomon, M., Dauzere-Peres, S., Van Hoesel, S. P., Ambergen, H. W. (1996). Routing trains through railway stations: Model formulation and algorithms. Transportation science, 30(3), 181-194.

Ocena ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego – założenia do metody

Streszczenie: Każda działalność, także w obrębie systemu kolejowego, obarczona jest ryzykiem, czyli możliwością wystąpienia niepewnych zjawisk, które mogą mieć na nią wpływ (zarówno pozytywny jak i negatywny). Jednym z podsystemów eksploatacyjnych systemu kolei Unii jest ruch kolejowy. Składa się on z czterech procesów – drugi to planowanie ruchu. Proces ten także jest obarczony ryzykiem. Ze względu na to, że ma on bezpośredni związek z bezpieczeństwem ruchu, to zasadnym jest prowadzenie badań i analiz nad ryzykiem z nim związanym. Celem artykułu jest opracowanie założeń do metody oceny ryzyka w planowaniu ruchu kolejowego. Metoda ta, po jej opracowaniu, zostanie wykorzystana do przeprowadzenia oceny ryzyka wskazanego procesu z dwóch punktów widzenia: przewoźnika kolejowego oraz zarządcy infrastruktury. W wyniku przeprowadzonych rozważań przyjęto, że identyfikacja ryzyka zostanie dokonana z wykorzystaniem zasady opisu ryzyka z metodyki M_o_R. Szacowanie ryzyka zostanie dostosowane do wykorzystania probabilistycznego modelu oceny ryzyka. Ocena ta zostanie wykonana przy pomocy metody symulacyjnej Monte Carlo, która jest jedną ze zdecydowanie zalecanych do wykorzystania przez Urząd Transportu Kolejowego (krajowy organ bezpieczeństwa ruchu kolejowego).

Słowa kluczowe: ocena ryzyka, planowanie ruchu kolejowego, metodyka M_o_R, probabilistyczny model ryzyka, metoda Monte Carlo

Copyright © 2022 Gołębiowski P.
This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License