

# Analiza wybranych problemów dotyczących doboru systemu srk dla linii kolejowej o zadanych parametrach ruchowo-przewozowych

Magdalena KYCKO<sup>1</sup>, Wiesław ZABŁOCKI<sup>2</sup>

## Streszczenie

Jednym z istotnych elementów modernizacji transportu kolejowego w Polsce jest wdrożenie nowoczesnych interoperacyjnych systemów ERTMS / ETCS (Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym / Europejski System Sterowania Pociągami), spełniających zadania i funkcje BKJP (Bezpieczna Kontrola Jazdy Pociągów). Proces inwestycyjny, w tym wdrożenie systemów ERTMS / ETCS, wymaga wcześniejszego opracowania wielu dokumentów, które obejmują studium wykonalności, specyfikację istotnych warunków zamówienia (SIWZ), opis przedmiotu zamówienia (OPZ) i wiele innych [9, 10]. Wszczęcie procesu inwestycyjnego poprzedzają działania, w tym ocena i wybór właściwego docelowego systemu sterowania ruchem kolejowym dla wybranej linii kolejowej. Ze względu na wymagania dotyczące interoperacyjności, konieczne jest opracowanie metod oceny możliwych konfiguracji systemów ERTMS / ETCS, a następnie selekcja konfiguracji linii kolejowej o wstępnie zdefiniowanych parametrach ruchowo-przewozowych. Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji, która może być uznana za podstawę dla metod analizy i wyboru systemu sterowania ruchem kolejowym. Linią próbną, która została wyznaczona do przeprowadzenia badań i analiz, jest wybrany odcinek linii kolejowej nr 7 ze względu na jego strategiczne położenie i obciążenie ruchem.

**Słowa kluczowe:** system, sterowanie ruchem kolejowym, ERTMS / ETCS

## 1. Wstęp

Geneza systemów ERTMS / ETCS polegała na dążeniu do stworzenia jednolitego europejskiego systemu transportu kolejowego w celu osiągnięcia oczekiwanej jakości i wydajności usług kolejowych przy jednoczesnym utrzymaniu bezpieczeństwa ruchu na najwyższym poziomie. Rozwiązanie ERTMS / ETCS to nowoczesny system zarządzania, sygnalizacji i sterowania ruchem kolejowym, oferujący również możliwość wyboru i dostosowania wersji systemu do linii kolejowej przy zadanych parametrach ruchowych. W szczególności odnosi się to do przepustowości lub następstwa pociągów. Powstaje zatem potrzeba rozwiązania problemu wyboru wersji systemu ERTMS / ETCS dla określonej linii. Takie rozwiązanie powinno doprowadzić do opracowania koncepcji ustandaryzowanej metody wyboru systemu ERTMS / ETCS, zgodnie z jasnymi kryteriami, z uwzględnieniem wszystkich możliwych aspektów, takich jak koszt instalacji i utrzymania systemu, wpływ na przepustowość, potok przewozów i wiele innych.

## 2. Krótka charakterystyka systemu ERTMS / ETCS

System ERTMS / ETCS polega na cyfrowej transmisji sygnałów między urządzeniami zainstalowanymi na linii kolejowej i urządzeniami zainstalowanymi w taborze oraz między taborem i radiowym centrum sterowania (RBC). W przypadku pierwszego poziomu systemu ETCS, zespoły balis przekazują punktowo informację do pojazdu trakcyjnego o lokalizacji czoła pociągu i limicie prędkości obowiązującym na odcinku drogi kolejowej – transmisja między torem i taborem. W systemach ERTMS / ETCS poziomu 2. i ETCS poziomu 3. (rys. 1) stosuje się punktowy odczyt informacji z balis o lokalizacji pojazdu trakcyjnego oraz dwukierunkową transmisję GSM-R przekazującą do RBC (radiowe centrum sterowania) informację o lokalizacji i prędkości pociągu a w kierunku od RBC do pociągu – elektroniczne rozkazy jazdy nakazujące dopuszczalną prędkość na określonej długości drogi kolejowej [2, 13]. Ze względu na różnorodność koncepcji podsystemów ETCS 2 i 3 w odniesieniu do ETCS 1

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Ośrodek Jakości i Certyfikacji; e-mail: mkycko@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Dr hab. inż., prof. PW; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, e-mail: zab@wt.pw.edu.pl.

i stosowanych transmisji GSM R i RBC, podsystemy te należą do klasy ERTMS / ETCS. Niezależnie od poziomu ETCS, aktualna prędkość pociągu i odległość pokonywanej drogi kolejowej są na bieżąco kontrolowane na każdym poziomie ETCS – w pojeździe trakcyjnym (ETCS 1) oraz w pojeździe i w centrum RBC (ETCS 2 i ETCS 3). Umożliwia to obliczanie aktualnego w danej chwili profilu dynamicznego jazdy pociągu, uzależnionego także od ograniczeń prędkości wynikających z profilu statycznego drogi kolejowej. Profil dynamiczny umożliwia nadzorowanie ograniczenia prędkości, a w przypadku braku reakcji maszynisty, zapewnia bezpieczne hamowanie. Możliwe konfiguracje systemu ERTMS / ETCS przedstawiono na rysunku 1.

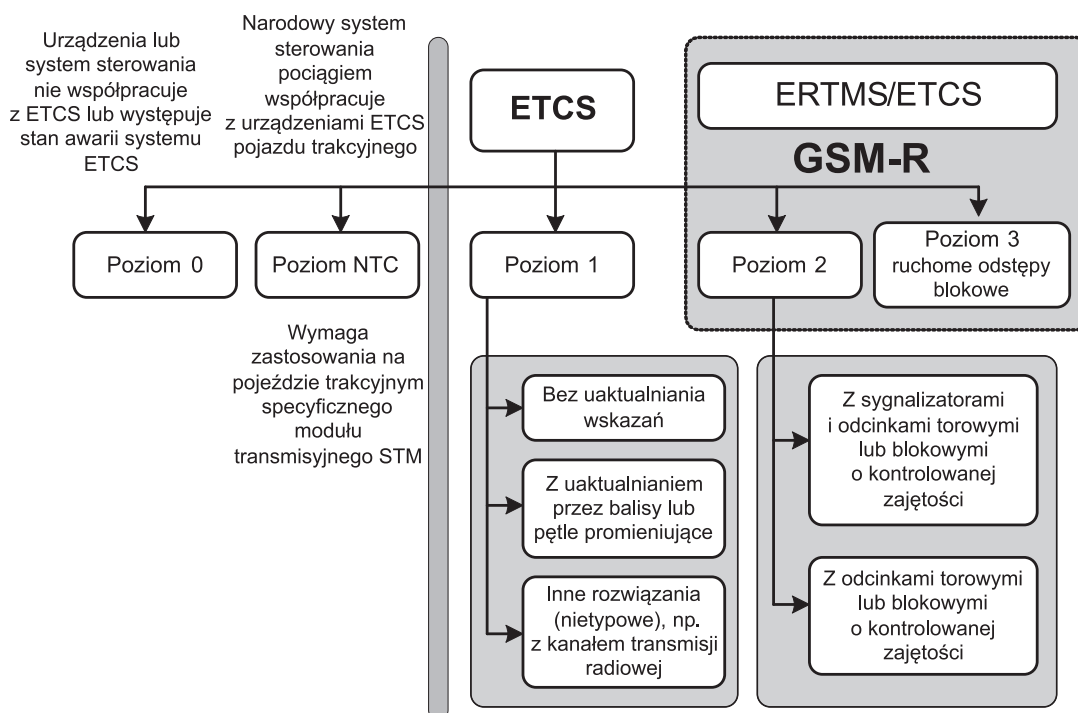
W analizie różnorodności konfiguracji podsystemów ERTMS / ETCS i wymagań linii kolejowej dotyczących wymaganej przepustowości, prędkości dozwolonej dla różnych pociągów, kosztów inwestycyjnych i operacyjnych oraz wielu innych ograniczeń lub założeń, jest konieczne właściwe dobranie systemu ERTMS / ETCS dla danej linii kolejowej.

### 3. Wybrane problemy związane z wdrożeniem systemu ERTMS / ETCS

Sformułowany w poprzednich rozdziałach problem wyboru systemu ETCS z uwagi na założenia

ruchowe byłyby jednak niepełny, gdyby nie dokonano także analizy możliwości wyposażenia pojazdów trakcyjnych w pokładowe podsystemy ETCS z jednej strony, pokładowego zainstalowania „modułu” ETCS na pokładach lokomotyw, a z drugiej strony wdrożenia stałych urządzeń podsystemów ETCS. W praktyce jest niemożliwe wyposażenie w tym samym czasie wszystkich pojazdów trakcyjnych w podsystem ETCS, a modernizowana lub remontowana linia kolejowa nie może jednocześnie zostać „przełączona” z dotychczasowego systemu sterowania i sygnalizacji na podsystem ETCS. Powoduje to nieuniknioną konieczność równoczesnego funkcjonowania dotychczasowych systemów sterowania wraz z podsystemem ETCS na pokładzie pociągu, jak i/lub w części terenowo-obszarowej podsystemu ETCS. Modernizacja, remont lub przedłużanie danej linii nie powinny ograniczać ruchu na tej linii pojazdów trakcyjnych wyposażonych jedynie w system ETCS oraz ograniczać dostęp do linii dla pociągów wyposażonych w system ETCS. Jest to uznawane jako niedopuszczalne ekonomicznie. Czynniki, które muszą być uwzględnione przy wyborze i wdrożeniu podsystemu ETCS można określić następująco:

- analiza kosztów i zysków, wynikająca z wdrożenia systemu ETCS w okresie przejściowym może być niekorzystna, a znaczenie interoperacyjności nie będzie skuteczne,
- optymalna strategia przewiduje, że projekt modernizacji lub remontu linii kolejowej powinien



Rys. 1. Podsystemy ERTMS / ETCS; opracowanie własne na podstawie [3, 5, 6]

- uwzględniać rozwój systemu ETCS i instalację podsystemu ETCS w pojazdach trakcyjnych,
- dążenie do osiągnięcia spójnej sieci wybranych linii wyposażonych w system ETCS, np. interoperacyjnych korytarzy międzynarodowych i wyposażenie wystarczającej liczby pojazdów trakcyjnych w system ETCS, pozwoli obniżyć koszty migracji systemów sterowania [5].

#### 4. Kryteria wyboru rozwiązań ERTMS / ETCS

Obecnie przyjęte wytyczne dotyczące poprawy bezpieczeństwa i wydajności sterowania ruchem pociągów, mające znaczący wpływ na zadania i parametry ruchowe, zakładają zastąpienie istniejących urządzeń sterowania systemem ETCS, jednak ze względu na koszt inwestycji i wielkość prac związanych z transportem, nie jest uzasadnione wdrożenie tych systemów na wszystkich liniach kolejowych. Analizy wpływu systemu ETCS na proces skuteczności sterowania pociągami, prowadzone przez UIC (*Union Internationale des Chemins de Fer*) [15], wyraźnie wykazały, że wdrożenie systemu ETCS, w szczególności poziomu pierwszego i drugiego systemu ETCS, nie poprawia znacząco przepustowości linii kolejowej (w przypadku konfiguracji poziomu pierwszego systemu ETCS bez uaktualniania, obniża nawet przepustowość linii kolejowej). Analizując właściwości tych systemów, można postawić pytanie: jak opracować metodę na podstawie różnych informacji, parametrów i oceny w celu dokładnego doboru konfiguracji systemu ERTMS / ETCS dla określonej linii kolejowej z uwzględnieniem wskazanych założeń.

Mogłoby się wydawać, że opracowanie metody wyboru z uwzględnieniem wielu czynników może prowadzić do jasnych wniosków dotyczących wyboru, jednak takie wskazanie wymagałoby przeprowadzenia testów, ponieważ może okazać się, że istnieją czynniki, które mają wpływ na wybór systemu, a które mogą zostać pominięte do celów analizy. Niezależnie od tego wniosku, proponuje się wielokryterialną metodę analizy, ponieważ umożliwia ona wskazanie właściwego systemu ETCS / ERTMS przed rozpoczęciem procesu inwestycyjnego. Analiza wielokryterialna mogłaby zostać oparta na wnioskowaniu jakościowym i analitycznym, obejmującym m.in. takie czynniki, jak:

- 1) charakterystyka techniczno-ruchowa, a także warunki eksploatacji linii, na której jest przewidziana instalacja systemu,
- 2) właściwości systemu ERTMS / ETCS,
- 3) zasady realizacji procesu inwestycyjnego,
- 4) analiza kosztów zabudowy i potencjalnych kosztów utrzymania systemu ERTMS / ETCS,

- 5) analiza oceny ryzyka inwestycji i bezpieczeństwa (rozporządzenie nr 402/2013 [14]).

Czynniki te powinny być skorelowane z celami oceny wielokryterialnej (tabl. 1). Wnioski wynikające z tej analizy będą priorytetem przy wyborze konfiguracji systemu ERTMS / ETCS.

#### 5. Koncepcja oceny i metody selekcji rozwiązań ERTMS / ETCS na wybranej linii

Analiza wielokryterialna wyboru systemu ETCS lub ERTMS / ETCS jest szeregiem kolejnych działań wynikających z przyjętej metody. Niniejsza metoda odnosi się do identyfikacji celów i określenia kryteriów mierzących stopień osiągnięcia tych celów. Po zdefiniowaniu celów, kryteriów i określeniu ich istotności, ustala się oceny poszczególnych wariantów realizacji danej inwestycji infrastrukturalnej w odniesieniu do kryteriów wyodrębnionych w poszczególnych celach. Dąży się, aby wyspecyfikowane kryteria oceny jakości wariantowych rozwiązań były mierzalne.

Następną ważną kwestią przy ocenie poszczególnych wariantów ze względu na przyjęte kryteria, jest normalizacja ocen wariantów [9]. Oceny wariantowe dla każdego kryterium mogą być wyrażone w różnych jednostkach i mogą obejmować zarówno zmaksymalizowane kryteria (przyjmuje się największą wartość jako najlepszą), jak i zminimalizowane (najkorzystniejsza jest najniższa wartość). Celem normalizacji jest spełnienie wymagań porównywalności. Po przeprowadzeniu oceny poszczególnych wariantów, opierając się na tzw. metodzie punktowej, można wyznaczyć zagregowane wskaźniki oceny dla poszczególnych wariantów modernizacji lub remontu oraz innych zadań inwestycyjnych analizowanej linii kolejowej.

Tablica 1  
Podstawowe parametry odcinka wybranej linii kolejowej

Parametry podstawowe	Wartość
Długość analizowanego odcinka linii kolejowej [km]	147,404
Przepustowość	220
Średnia prędkość pociągów pasażerskich [km/h]	93
Średnia prędkość pociągów towarowych [km/h]	68
Maksymalne obciążenie na oś [kN]	221
Maksymalny czas następstwa pociągów [min.]	6,5

Opracowanie własne na podstawie [10]

W celu obliczenia wskaźników poszczególnych celów, sumuje się iloczyny wag kryteriów z przypisany-

mi wagami dla każdego wariantu. Do obliczenia ostatecznych wskaźników umożliwiających wybór najkorzystniejszego wariantu, należy zsumować iloczyny wag każdego z celów ze wskaźnikiem uzyskanym dla każdego celu. Wariant, który osiągnie największy wskaźnik (najbliższy wartości 1) jest najkorzystniejszy [8, 9]. Zaletą tej metody jest jej klarowność i jednoznaczność. Linia kolejowa nr 7 została wybrana jako obiekt przykładowej analizy wielokryterialnej. W tej metodzie, istotne są także takie czynniki, jak intuicja i wiedza ekspercka pozwalające ustalić ważność poszczególnych celów i kryteriów, natomiast dalsze kroki są już realizowane według precyzyjnie określonej procedury obliczeniowej.

Zaproponowana metoda analizy wielokryterialnej może być podstawą lub wytyczną do wyboru wariantu realizacji w projekcie inwestycyjnym. W celu przeprowadzenia oceny wielokryterialnej, zgodnie z proponowaną metodą, zidentyfikowano trzy główne cele, które wraz z ich ustalonymi wagami są przedstawione w tabelicy 2.

Tabela 2

#### Cele i kryteria oceny wielokryterialnej i ich wag

Nazwa celów (grupy kryteriów)	Waga [%]
Ekonomiczny	45
Ogólnospołeczny	30
Środowiskowy	25

[Opracowanie własne]

W celu porównania różnych wariantów systemów ETCS i ERTMS / ETCS, zdefiniowano kryteria odpowiadające wybranym celom i określono ich wagę:

1. Cel ekonomiczny:
  - poziom nakładów inwestycyjnych – 0,3;
  - poziom kosztów eksploatacyjnych – 0,4;
  - wielkość pracy eksploatacyjnej w pociągokilometrach – 0,3.
2. Cel ogólnospołeczny:
  - bezpieczeństwo – 0,3;
  - wpływ modernizacji na rozwój regionalny – 0,2;
  - łatwość realizacji projektu – 0,1;
  - redukcja czasu przejazdu – 0,2;
  - zachowanie przepustowości linii i poziom swobody ruchu – 0,2.
3. Cel środowiskowy:
  - redukcja kosztów zewnętrznych przez przejście pasażerów z transportu drogowego – 0,3;
  - redukcja hałasu – 0,1;
  - spadek liczby wypadków z udziałem zwierząt – 0,2;
  - stopień wpływu na obszary chronione – 0,3;
  - zajętość terenu – 0,1.

Po ustaleniu celów, kryteriów i ich znaczenia, dokonano oceny realizacji inwestycji dla różnych wariantów

systemu sterowania pociągiem dla rozpatrywanej linii kolejowej, w zależności od określonych kryteriów. Wartości ocen kryteriów dobrano na podstawie analiz informacji o właściwościach typów systemów ETCS, które mogłyby być rozpatrywane jako przedmioty inwestycji i do zabudowy na rozpatrywanej linii kolejowej. Jednym z możliwych narzędzi umożliwiających ustalić wartości ocen kryteriów jest analiza SWOT (*Strengths* – mocne strony, *Weaknesses* – słabe strony, *Opportunities* – szanse, and *Threats* – zagrożenia), określająca mocne i słabe strony inwestycji, a także szanse i zagrożenia związane z systemem ETCS zbudowanym na linii kolejowej, w zależności od poziomu zainstalowanego systemu. Warianty systemu sterowania pociągiem, które można zabudować na rozpatrywanej linii, określa się w następujący sposób:

- Wariant 1 – system ETCS (poziom 1) bez aktualizacji informacji o dozwolonej prędkości wskazanej na semaforze, do którego zbliża się pociąg w odległości jednego odcinka torów.
- Wariant 2 – system ETCS (poziom 1) z uprzedzającą aktualizacją informacji o dopuszczalnej prędkości na semaforze, do którego zbliża się pociąg.
- Wariant 3 – system ERTM / ETCS poziomu 2 z zabudowaną dotychczasową sygnalizacją świetlną.

Analizę SWOT [10], przeprowadzoną dla wymienionych wariantów, można wykorzystać jako uzupełnienie analizy wielowariantowej [4]. W analizie [10] dokonano szacunku kosztów instalacji systemów wybranych do ewentualnego wdrożenia przy budowie linii kolejowej. W branży kolejowej metoda RAMS jest często wykorzystywana do oceny ryzyka [1, 7], jednak ta metoda nie została uwzględniona w badaniu.

Wyniki analizy wielokryterialnej przedstawiono w tablicach 3, 4 i 5, które w odniesieniu do proponowanych wariantów reprezentują odpowiednio wartości ocen wielokryterialnych, unormowane wartości ocen oraz wyniki oceny wielokryterialnej wariantów modernizacji.

Tablicę 5 sporządzono na podstawie wyników przedstawionych w tablicach 3 i 4. Przykład analizy wyboru systemu BKJP (Bezpieczna Kontrola Jazdy Pociągów) dobrze ilustruje tę metodę. Więcej informacji na temat analizy wyboru przedstawiono w [10].

Wyniki przeprowadzonej analizy pokazują, że najkorzystniejszym wariantem modernizacji jest wariant 2, czyli modernizacja linii uwzględniająca instalację systemu ERTMS / ETCS poziomu 1 bez uaktualniania. Wybrany system nie zmniejsza wydajności, a koszty instalacji nie są największe (tabl. 4). W celu porównania wyników przedstawiono tablicę 6 zawierającą przybliżone dane porównawcze dotyczące wydajności linii, które potwierdzają wybór wariantu systemu sterowania.



Tablica 3

## Ocena wielokryterialna

Nr	Kryterium		Ocena wariantów			Poszukiwane ekstremum
	Nazwa	Waga	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	
1	Nakłady inwestycyjne	0,3	1,00	0,80	0,50	maks.
	Koszty eksploatacyjne	0,4	1,00	0,90	0,60	maks.
	Praca eksploatacyjna	0,3	0,85	0,93	1,00	maks.
2	Bezpieczeństwo	0,3	0,85	0,90	1,00	maks.
	Rozwój regionalny	0,2	0,90	0,92	1,00	maks.
	Łatwość realizacji projektu	0,1	1,00	0,95	0,85	maks.
	Redukcja czasu przejazdu	0,2	0,70	0,85	1,00	maks.
	Przepustowość linii	0,2	0,65	0,90	1,00	maks.
3	Redukcja kosztów zewnętrznych	0,3	0,80	0,85	1,00	maks.
	Redukcja hałasu	0,1	0,87	0,92	1,00	maks.
	Spadek wypadków z udziałem zwierząt	0,2	1,00	1,00	1,00	maks.
	Wpływ na obszary chronione	0,3	1,00	1,00	1,00	min.
	Zajętość terenu	0,1	1,00	0,98	0,95	min.

[Opracowanie własne]

Tablica 4

## Wartości unormowanej oceny wariantów według kryteriów i celów modernizacji linii kolejowej

Nr	Kryterium		Unormowana ocena wariantów		
	Nazwa	Waga	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
1	Nakłady inwestycyjne	0,3	1,00	0,88	0,50
	Koszty eksploatacyjne	0,4	1,00	0,95	0,60
	Praca eksploatacyjna	0,3	0,85	0,93	1,00
	<b>Razem</b>	<b>1,0</b>	<b>0,95</b>	<b>0,92</b>	<b>0,69</b>
2	Bezpieczeństwo	0,3	0,85	0,90	1,00
	Rozwój regionalny	0,2	0,90	0,92	1,00
	Łatwość realizacji projektu	0,1	1,00	0,95	0,85
	Redukcja czasu przejazdu	0,2	0,70	0,85	1,00
	Przepustowość linii	0,2	0,65	0,90	1,00
	<b>Razem</b>	<b>1,0</b>	<b>0,80</b>	<b>0,90</b>	<b>0,98</b>
3	Redukcja kosztów zewnętrznych	0,3	0,80	0,85	1,00
	Redukcja hałasu	0,1	0,87	0,92	1,00
	Spadek wypadków z udziałem zwierząt	0,2	1,00	1,00	1,00
	Wpływ na obszary chronione	0,3	1,00	1,00	1,00
	Zajętość terenu	0,1	1,00	0,98	0,95
	<b>Razem</b>	<b>1,0</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>0,99</b>

[Opracowanie własne]

Tablica 5

## Wyniki oceny wielokryterialnej wariantów modernizacji linii kolejowej nr 7

Cel	Unormowana ocena wariantów				
	Nazwa	Waga	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Ekonomiczny		0,45	0,95	0,92	0,69
Ogólnospołeczny		0,30	0,80	0,90	0,98
Środowiskowy		0,25	0,93	0,94	0,99
<b>Razem</b>		<b>1,0</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	<b>0,85</b>

[Opracowanie własne]

Tablica 6

## Porównanie parametrów odcinka wybranej linii kolejowej z uwzględnieniem wariantów modernizacji

Parametr	Obecnie	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Przepustowość	220	maks. 450	maks. 480	maks. 578
Średnia prędkość pociągów pasażerskich [km/h]	93	140	160	200
Średnia prędkość pociągów towarowych [km/h]	68	100	120	160
Maksymalne obciążenie na oś [kN/oś]	221	221	221	221
Maksymalny czas następstwa pociągów [min.]	6,5	4	3	2,5

[Opracowanie własne]

Przedstawiony przykład, ilustrujący metodę analizy wielokryterialnej, nie wyczerpuje problemu metody wyboru systemu sterowania. Opracowanie pełnej znormalizowanej metody powinno uwzględniać również inne kwestie, takie jak metoda oceny ryzyka inwestycyjnego, przepustowość linii, wybór długości odstępu między odcinkami torów w zależności od specyfiki przewidywanego ruchu i innych. Wstępna ocena ryzyka inwestycyjnego przeprowadzona w [11] wskazuje również na wybór konfiguracji poziomu pierwszego systemu ETCS bez uaktualnienia.

## 6. Wnioski

Poszukiwanie znormalizowanych metod wyboru rozwiązań dla transportu kolejowego obejmuje nie tylko zagadnienia doboru i oceny systemów BKJP w celu dostosowania do warunków polskich, ale także opracowanie zintegrowanych środowisk IT zorientowanych na wiele problemów [11]. Metody jakościowe, takie jak analiza SWOT lub macierz oceny ryzyka, mogą stanowić uzupełnienie przedstawionej metody oceny wielokryterialnej. Proces modernizacji, począwszy od dokumentacji przetargowej, a kończąc na uzyskaniu certyfikatów WE i oddaniu do eksploatacji, jest złożonym procesem, a zastosowanie zobiektywizowanych metod standaryzacji dokładnych rozwiązań wspierających inwestycje, będzie miało istotne znaczenie dla skrócenia czasu wdrożenia nowych systemów sterowania i automatyzacji w transporcie kolejowym.

## Literatura

- An M., Lin W., Stirling A.: *An intelligent railway safety risk assessment support system for railway operation and maintenance analysis*, The Open Transportation Journal, 2013.
- Białoń A., Gradowski P., Gryglas M.: *Zarys metody analizy wpływu ERTMS/ETCS na wzrost przepustowości linii kolejowej*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport, Zeszyt 78, Warszawa, 2011.
- Białoń A., Gradowski P., Pawlik M.: *Polish National European Railway Traffic Management System Deployment Plan*, EURNEX-ŻEL 2007 „Towards more competitive European rail system”, Żylna 30.04–3.05.2007.
- Cockshaw A., Ferguson D., Grace P.: *RAMP – Risk Analysis and Management for Project*, Institute of Civil Engineers and Institute of Actuaries, London, GB 2000.
- Commission communication to the European Parliament and the Council on the deployment of the European rail signaling ERTMS / ETCS system (SEC(2005) 903) Brussels, 04.07.2005 COM(2005).
- Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- Gonçalo M., Pais S.: *RAMS analysis of railway track infrastructure (Reliability, Availability, Maintainability, Safety)*, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, September 2008.
- Jacyna M.: *Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych* Prace naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport, Zeszyt 47, Warszawa 2001.
- Jacyna M., Wasiak M.: *Zastosowanie wielokryterialnej oceny do wyboru wariantu modernizacji elementów infrastruktury kolejowej*, Problemy Kolejnictwa, 2008, zeszyt 146.
- Kycko M.: *Koncepcja metody i wyboru rozwiązania ERTM / ETCS dla linii kolejowej o zadanych parametrach ruchowo przewozowych*, praca magisterska, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, 2015.
- Maciejewski M., Zabłocki W.: *Metodyka budowy komputerowych systemów srk*. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK, seria: materiały Konferencyjne, tom 96, zeszyt 158, Kraków 2015.
- Narodowy Plan Wdrożenia Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym w Polsce, Warszawa, 2007.
- Pawlik M.: *Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym: przegląd funkcji i rozwiązań technicznych – od idei do wdrożeń i eksploatacji*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2015.
- Rozporządzenie Wykonawcze 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. L 108.
- UIC CODE 406 – „Capacity”, UIC Editions Techniques Ferroviaires, Paris 2004 (1st edition June 2004).