

KADZIŃSKI Adam ¹
 WARGUŁA Joanna ²
 GILL Adrian ³

Szacowanie i wartościowanie ryzyka zagrożeń związanych z odcinkiem szybkiego tramwaju na poznańskiej sieci tramwajowej

Komunikacja tramwajowa, zagrożenia, ryzyko zagrożeń, zarządzanie ryzykiem, Tram-Risk

Streszczenie

W artykule zrealizowano niektóre sformalizowane procedury metody Tram-Risk zarządzania ryzykiem zagrożeń w komunikacji tramwajowej. Obszarem analiz ryzyka jest segment Aleja Solidarności – Ulica Lechicka odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST). Szczególny nacisk położono na procedury szacowania i wartościowania ryzyka zagrożeń sformułowanych na wybranym segmencie odcinka PST. Procedury te oparto na specjalnie stworzonym modelu ryzyka, który nazwano R-SL-WK. W modelu tym przyjęto dwa kryteria analizy ryzyka – kryterium możliwości aktywizacji zagrożeń, kryterium szkód ponoszonych w wyniku aktywizacji zagrożeń. Opracowano schematy kwantyfikacji poziomów ryzyka wg obu kryteriów. Przyjęto zbiór miar ważności kryteriów analizy ryzyka. Stworzono formułę matematyczną na wyznaczenie miar ryzyka zagrożeń. Na tej podstawie zbudowano macierz ryzyka zagrożeń. Zaproponowano zasady wartościowania ryzyka zagrożeń. Kierując się zasadami modelu ryzyka R-SL-WK przeprowadzono oszacowania i wartościowania ryzyka kilkunastu zagrożeń zidentyfikowanych na segmencie Aleja Solidarności – Ulica Lechicka odcinka PST sieci tramwajowej Poznania.

RISK ESTIMATION AND RISK EVALUATION ON A SELECTED ROAD PORTION OF THE FAST TRAM (PST) WITHIN THE POZNAŃ TRAM NETWORK

Abstract

In the paper the authors realized some of the formalized procedures of the Tram-Risk method (risk management in tram transportation). The area of risk analysis was the fast tram (PST) road portion from Aleja Solidarności to Lechicka Street. The authors focused particularly on the procedures of risk estimation and risk evaluation formulated based on this very road portion of the Poznań Fast Tram (PST). These procedures were based upon a specially developed risk model referred to as R-SL-WK. In this model two risk analysis criteria have been adopted – the criterion of the possibility of activation of hazard and the criterion of damage sustained as a result of the risk activation. Schematics of quantification of the risk levels have been developed according to both criteria. A set of measures of the significance of the criterion of the risk analysis has been adopted. A mathematical formula determining the risk measures has been developed. On this basis the risk matrix has been built. The authors proposed the principles of the risk evaluation. Following the rules of the risk model R-SL-WK the estimation and evaluation have been carried out of several hazards identified on the PST (fast tram) road portion from Aleja Solidarności to Lechicka Street.

1. WSTĘP DO PROBLEMATYKI BADAWCZEJ

W komunikacji tramwajowej w Wielkopolsce, w wyniku zdarzeń niepożądanych, tylko w roku 2010, śmierć poniosła jedna osoba, a 26 osób doznało uszczerbku na zdrowiu [6]. Motorniczowie tramwajów w tym samym roku byli winni (byli źródłami) 226 zdarzeń niepożądanych. W liczbie tych zdarzeń mieszczą się 3 wypadki i 11 kolizji. Ich negatywnym efektem jest to, że 5 osób zostało rannych [6].

Nieznaczne negatywne efekty zdarzeń niepożądanych w komunikacji tramwajowej w Wielkopolsce, w porównaniu do strat/szkód ponoszonych w związku z innymi rodzajami komunikacji miejskiej (zbiorowej i indywidualnej), to zasługa zarządzania ryzykiem zagrożeń. W komunikacji tramwajowej rozumianej, jako charakterystyczny obszar aktywności ludzi, działania w zakresie zarządzania ryzykiem zagrożeń nie zawsze są sformalizowane, a wchodzące w skład tych działań algorytmy, procesy, procedury i modele, nie są zintegrowane w ramach konkretnej metody zarządzania ryzykiem.

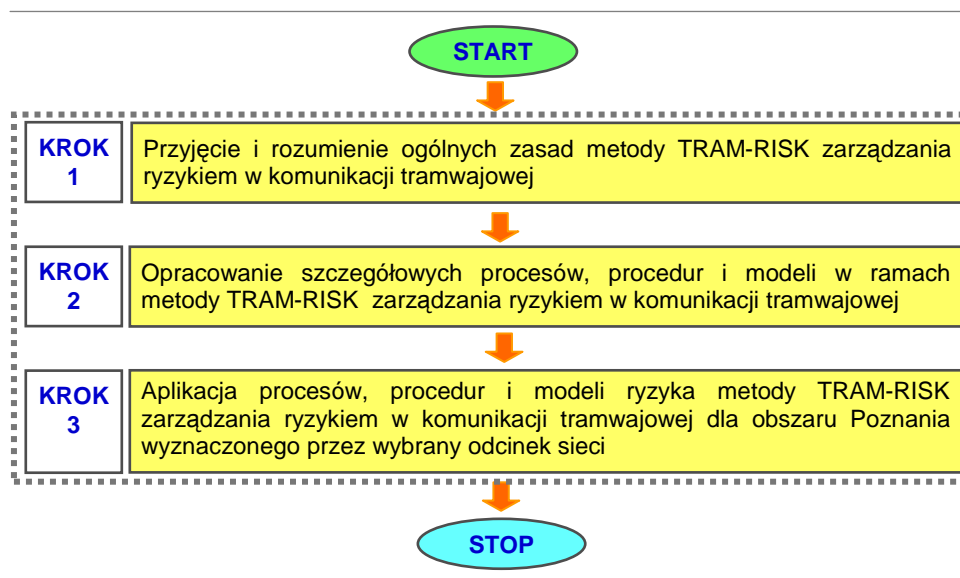
W ostatnich latach (2008÷2010) w Polsce – jako pewna część efektów prac badawczych w projekcie „Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu” (ZEUS) – powstała zintegrowana metoda Trans-Risk zarządzania ryzykiem w głównych gałęziach transportu. Opisy efektów tych prac badawczych zawarte są m.in. w [1, 2, 9]. W pracach [3, 4] zaproponowano sposób implementacji zasad metody Trans-Risk zarządzania ryzykiem zagrożeń dla potrzeb komunikacji tramwajowej. Pojawiła się koncepcja metody Tram-Risk i modeli zarządzania ryzykiem zagrożeń dedykowanych

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. + 48 61 665-2267, E-mail: adam.kadzinski@put.poznan.pl

² Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, absolwent, E-mail: wargula.joanna@gmail.com

³ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. + 48 61 665-2017, E-mail: adrian.gill@put.poznan.pl

dla obszarów komunikacji tramwajowej. Algorytm wdrożenia metody i modeli zarządzania ryzykiem zagrożeń generowanych w komunikacji tramwajowej Poznania, pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Algorytm wdrożenia metody Tram-Risk i modeli zarządzania ryzykiem zagrożeń generowanych w komunikacji tramwajowej Poznania. Źródło: [4]

W ramach algorytmu wdrożenia metody Tram-Risk, w pracach [3, 4] przyjęto ogólne zasady tej metody i ich rozumienie (krok 1 – rys. 1) oraz podano szczegółowe opisy niektórych jej procesów, procedur i modeli (krok 2 – rys. 1)

Celem niniejszego artykułu jest aplikacja kilku sformalizowanych procedur zintegrowanej metody Tram-Risk zarządzania ryzykiem zagrożeń w komunikacji tramwajowej. W szczególności są to procedury: prezentacja obszaru analiz ryzyka, opracowanie modelu ryzyka zagrożeń oraz szacowanie i wartościowanie ryzyka zagrożeń generowanych na wybranym segmencie odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST).

2. MODELE RYZYKA ZAGROŻEŃ

2.1 Uogólniony model ryzyka zagrożeń

Dany jest obszar analiz związany z funkcjonowaniem komunikacji tramwajowej. W tym obszarze chce się określić miary ryzyka generowanego przez zidentyfikowane w nim zagrożenia. Podstawą identyfikacji zagrożeń są rozpoznane źródła zagrożeń i wielkości potencjalnych szkód pojawiających w wyniku aktywizacji tych zagrożeń.

Ogólna idea modelu ryzyka zagrożeń

Niech

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\} \quad (1)$$

jest skończonym zbiorem zidentyfikowanych zagrożeń w określonym obszarze funkcjonowania komunikacji tramwajowej. Dla potrzeb decyzyjnych związanych z zarządzaniem ryzykiem, w tym obszarze analiz, istnieje potrzeba wyznaczenia miar ryzyka zagrożeń jako wartości funkcji R postaci:

$$R : Z \rightarrow V \subset \mathbf{R} , \quad (2)$$

przyporządkowującej zagrożeniom ze zbioru Z (formuła (1)) wartości z pewnego podzbioru V zbioru liczb rzeczywistych \mathbf{R} .

Kryteria analizy ryzyka zagrożeń

Model ryzyka każdego zagrożenia jest funkcją składowych będących wynikiem odrębnych decyzji, podjętych na podstawie analizy według m kryteriów K_i ($i = 1, 2, \dots, m$). Zgodnie z definicjami ryzyka, każde z m kryteriów analizy ryzyka zagrożenia musi być takie, aby składowa $r_i(z_k)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) będąca wynikiem decyzji wg tego kryterium należała do grupy składowych wyrażających możliwość aktywizacji zagrożenia z_k lub wielkość potencjalnych szkód powstałych po jego aktywizacji (materializacji) w zdarzeniu niepożądanym.

Schematy określania (kwantyfikacji) poziomów składowych ryzyka

Wynikiem analizy ryzyka zagrożenia z_k ($k = 1, 2, \dots, n$) wg kryterium K_i ($i = 1, 2, \dots, m$) jest poziom składowej ryzyka r_i ($i = 1, 2, \dots, m$) zagrożenia, który przyjmuje wartości na podstawie zbioru wartości cechy zagrożenia X_i ($i = 1, 2, \dots, m$) (cecha zagrożenia jest to zmienna, której wartości służą do określenia składowej ryzyka zagrożenia – przez cechy zagrożenia rozumie się m.in.: historię aktywizacji zagrożenia w obszarze analiz, prawdopodobieństwo aktywizacji zagrożenia, rozległość szkód/strat generowanych w obszarze analiz w wyniku aktywizacji zagrożenia, liczbę osób poszkodowanych w wyniku aktywizacji zagrożenia, wartość szkody/straty w wyniku aktywizacji zagrożenia, wielkości narażeń generowanych przez źródła zagrożenia) i przyjętego schematu hierarchizacji – w następujący sposób:

$$r_i : X_i \rightarrow \Omega_i; r_i(z_k) = \omega_{i,j}, \omega_{i,j} \in \Omega_i, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, s_i; k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

gdzie:

- X_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – są zbiorami wartości cech zagrożenia wykorzystywanymi podczas analizy ryzyka zagrożeń według kolejnych kryteriów,
- Ω_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – są zbiorami miar poziomów ryzyka wykorzystywanymi podczas analizy ryzyka zagrożeń według kolejnych kryteriów,
- $\omega_{i,j}$ ($j = 1, 2, \dots, s_i$) – są miarami poziomów ryzyka wskazanymi podczas analizy ryzyka zagrożeń według i -tych kryteriów.

Schemat ideowy hierarchizacji/określenia poziomów składowych ryzyka, na podstawie cech stanowiących przedmiot analiz w ramach kolejnych kryteriów, przedstawiono w tabeli 1.

Gdy określone zostaną poziomy wszystkich składowych ryzyka, to łączne ryzyko R zagrożenia z_k ($k = 1, 2, \dots, n$) można zapisać w postaci:

$$R(z_k) = f_1(r_1(z_k), r_2(z_k), \dots, r_m(z_k)), k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Tab. 1. Schemat ideowy określania poziomów składowych ryzyka zagrożeń w ramach kryterium K_i

j	Poziom ryzyka	Charakterystyka cech zagrożeń stanowiących przedmiot analiz w ramach kryterium K_i
1	$\omega_{i,1}$	Cecha zagrożenia x_i stanowiąca przedmiot analizy spełnia zależność: $x_i < x_{i,1G}$
2	$\omega_{i,2}$	Cecha zagrożenia x_i stanowiąca przedmiot analizy spełnia zależność: $x_{i,2D} \leq x_i < x_{i,2G}$
3	$\omega_{i,3}$	Cecha zagrożenia x_i stanowiąca przedmiot analizy spełnia zależność: $x_{i,3D} \leq x_i < x_{i,3G}$
\vdots	\vdots	\vdots
s_i	ω_{i,s_i}	Cecha zagrożenia x_i stanowiąca przedmiot analizy spełnia zależność: $x_i \geq x_{i,s_iD}$

Źródło: opracowanie własne

Ważności kryteriów analizy ryzyka

Oprócz poziomów składowych ryzyka zagrożeń, w analizach ryzyka uwzględnia się miary ważności kryteriów analizy. Niech miary ważności kryteriów analizy ryzyka zagrożeń tworzą zbiór:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (5)$$

Zbiór ważności kryteriów analizy ryzyka zagrożeń można uwzględnić w modelu ryzyka za pomocą funkcji f_2 następująco:

$$R(z_k) = f_2(a_i, r_i(z_k)), i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Procedura wyznaczania miary ryzyka

Funkcja f_2 w zależności (6) może być określona w postaci formuły matematycznej, tabelarycznie, werbalnie lub jeszcze w inny sposób. Postać funkcji f_2 zależy od obszaru analiz, analityka ryzyka i jego preferencji w zakresie metod analizy ryzyka oraz od umiejętności algorytmizacji i możliwości obliczeniowych. Przykład takiej funkcji przedstawia formuła (7):

$$R(z_k) = \sum_{i=1}^m a_i \cdot r_i(z_k), k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Procedury wartościowania ryzyka zagrożeń

Przestrzeń poziomów miary ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych na odcinku i/lub segmentach odcinka sieci tramwajowej dzieli się na trzy obszary kategorii ryzyka a wartościowanie ryzyka może się odbywać według schematu zaprezentowanego w postaci tabeli 2.

Tab. 2. Schemat ideowy procedury wartościowania ryzyka dla modelu ryzyka wyrażonego formułą (7)

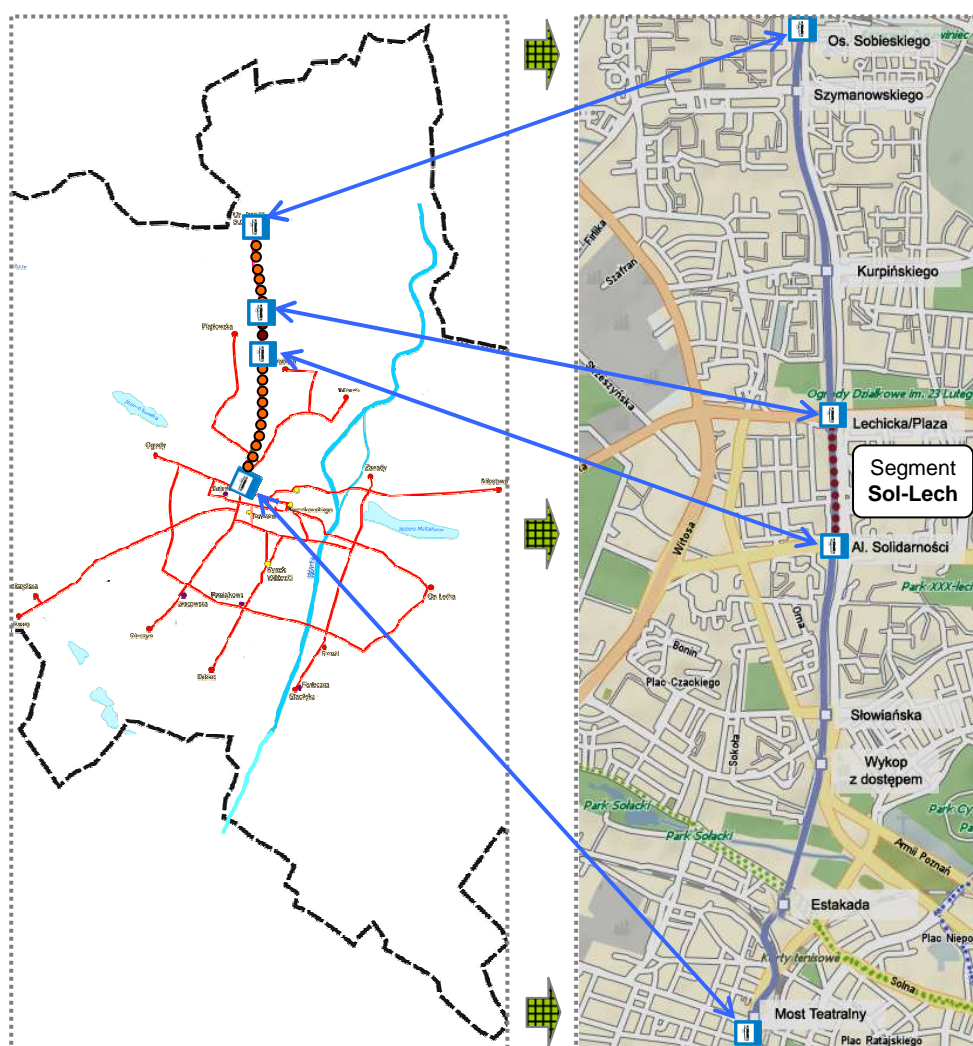
Zakresy poziomów miary ryzyka	Nazwy obszarów kategorii ryzyka i ich symboliczne oznaczenie
$R(z_k) < R_{Tot}^D$	Obszar kategorii ryzyka akceptowanego – symbol A
$R_{Tot}^D \leq R(z_k) < R_{Tot}^G$	Obszar kategorii ryzyka tolerowanego – symbol T
$R(z_k) \geq R_{Tot}^G$	Obszar kategorii ryzyka nieakceptowanego – symbol NA

Źródło: opracowanie własne

2.2 Wybór obszaru do szczegółowych analiz

Obszarem analiz ryzyka w tej pracy jest odcinek Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST) sieci tramwajowej Poznania. Trasa PST charakterystycznie wpisuje się w obszar Poznania zlokalizowany między Mostem Teatralnym i Osiedlem Jana III Sobieskiego. Odcinek torowiska PST w dwóch trzecich swej długości (6100 m) przebiega w wykopie a w pozostałej części ruch tramwajów odbywa się na wiaduktach i nasypach. Na tym odcinku sieci tramwajowej Poznania zlokalizowano siedem przystanków tramwajowych. Maksymalna przepustowość trasy PST szacowana jest na ok. 6000 osób na godzinę.

Schemat ideowy wyboru części Poznania – z jego fragmentów wyznaczanych przez układ sieci tramwajowej – jako obszaru analiz w ramach zarządzania ryzykiem zagrożeń – pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat ideowy wyboru z sieci tramwajowej Poznania segmentu Sol-Lech odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju jako obszaru do szczegółowych analiz w ramach zarządzania ryzykiem. Opracowanie własne

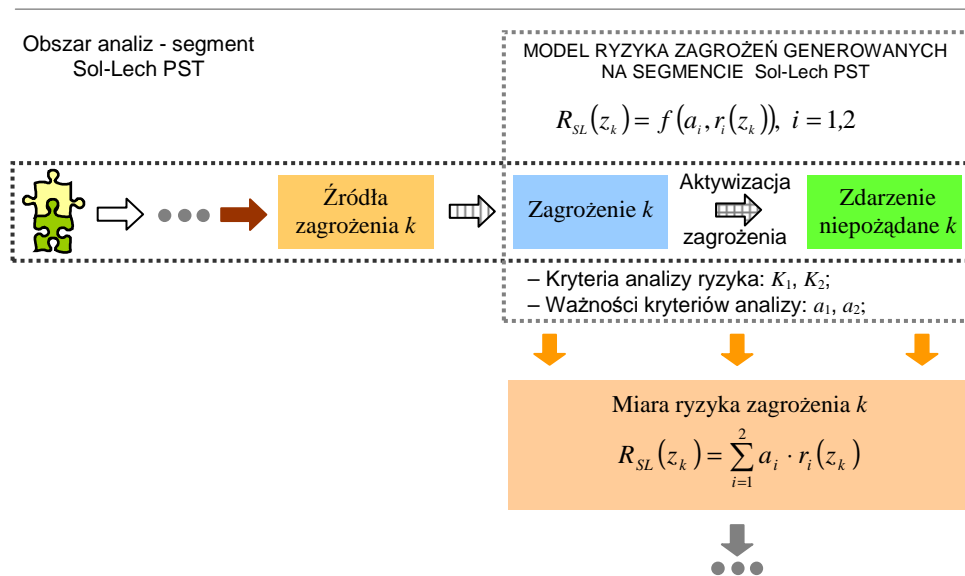
Dalej w tej pracy szczegółowo przedstawiono wyniki realizacji niektórych procedur zarządzania ryzykiem zagrożeń tylko dla segmentu Aleja Solidarności – Ulica Lechicka (w skrócie nazywanym segmentem Sol-Lech lub SL) odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju.

Segment Sol-Lech liczy 780 metrów długości i przebiega całkowicie w wykopie. Ruch pojazdów samochodowych odbywa się po jezdniach wyznaczonych obok wykopu oraz na wiaduktach. W bezpośredniej bliskości torowiska piesi pojawiają się na kładce nad torowiskiem oraz na chodnikach wytyczonych na wiaduktach. Ruch rowerowy odbywa się po

wytyczonych ścieżkach rowerowych znajdujących się przy przystankach: Al. Solidarności oraz Lechicka/Plaza. W otoczeniu segmentu Sol-Lech odcinka PST znajdują się dwa duże centra handlowe i budynki osiedli mieszkaniowych. Na przystanku Lechicka/Plaza zlokalizowano przejazd przez torowisko, który może być wykorzystywany przez służby ratownicze oraz przez pracowników Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Poznaniu.

2.3 Model ryzyka zagrożeń identyfikowanych na odcinku Poznańskiego Szybkiego Tramwaju

Przedstawiony dalej szczegółowy model ryzyka jest implementacją modelu uogólnionego (przedstawionego w podrozdziale 2.1) dla zagrożeń zidentyfikowanych w wybranym obszarze analiz. Schemat ideowy modelu ryzyka zagrożeń generowanych podczas funkcjonowania segmentu Sol-Lech odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju, przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Model ryzyka zagrożeń generowanych podczas funkcjonowania segmentu Al. Solidarności – Lechicka/Plaza (segmentu Sol-Lech) odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju na tle schematu procedur analizy ryzyka wybranego zagrożenia (objaśnienie oznaczeń w tekście). Opracowanie własne

Przyjmuje się, że w obszarze analiz – tzn. na segmentie Sol-Lech (SL) – zidentyfikowano n zagrożeń. Zatem zbiór zidentyfikowanych zagrożeń ma postać:

$$Z_{SL} = \{z_1, z_2, \dots, z_n\} \quad (8)$$

Model ryzyka każdego zagrożenia ze zbioru Z_{SL} jest funkcją składowych $r_i(z_k)$ ($i = 1,2, k = 1,2, \dots, n$) będących wynikiem odrębnych decyzji podjętych na podstawie analizy według 2 kryteriów K_i ($i = 1,2$) oraz gdy miary ważności kryteriów a_i ($i = 1,2$) analizy ryzyka zagrożeń tworzą zbiór:

$$A_{SL} = \{a_1, a_2\} \quad (9)$$

Składowe modelu ryzyka k -tego zagrożenia przyjmują wartości według formuły:

$$r_i(z_k) = \omega_{i,j}, \omega_{i,j} \in \Omega_i = \{\text{zielony, niebieski, żółty, pomarańczowy, czerwony}\}, i = 1,2, j = 1,2, \dots, 5. \quad (10)$$

Na tej podstawie łączne ryzyko R_{SL} zagrożenia z_k ($k = 1,2, \dots, n$) można zapisać w postaci:

$$R_{SL}(z_k) = f(a_i, r_i(z_k)), i = 1,2, k = 1,2, \dots, n. \quad (11)$$

W szczegółowym modelu ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych w obszarze analiz, w którym zlokalizowano segment Sol-Lech odcinka PST sieci tramwajowej Poznania, przyjęto dwa kryteria analizy o następujących nazwach:

- K_1 – kryterium możliwości aktywizacji zagrożeń,
- K_2 – kryterium szkód ponoszonych w wyniku aktywizacji zagrożeń.

Schemat kwantyfikacji poziomów możliwości aktywizacji zagrożeń, w ramach pierwszego kryterium analizy ryzyka, przedstawiono w tabeli 3. Wykorzystując podobny sposób prezentacji, w tabeli 4, przedstawiono schemat kwantyfikacji poziomów szkód w wyniku aktywizacji zagrożeń.

Tab. 3. Schemat kwantyfikacji poziomów możliwości aktywizacji zagrożeń

j	Poziom $\omega_{1,j}$	Charakterystyka możliwości aktywizacji zagrożenia
1	zielony	Raz na 10 lat lub rzadziej
2	niebieski	Raz na 5 lat lub rzadziej i częściej niż raz na 10 lat
3	żółty	Raz w roku lub rzadziej i częściej niż raz na 5 lat
4	pomarańczowy	Raz na kwartał lub rzadziej i częściej niż raz na 1 rok
5	czerwony	Częściej niż raz na kwartał

Źródło: opracowanie własne

Tab. 4. Schemat kwantyfikacji poziomów szkód w wyniku aktywizacji zagrożeń

j	Poziom $\omega_{2,j}$	Charakterystyka szkód ponoszonych w wyniku aktywizacji zagrożenia
1	zielony	Znikome urazy użytkowników tramwajów i/lub współużytkowników przestrzeni / niski poziom szkód materialnych
2	niebieski	Obrażenia użytkowników tramwajów i/lub współużytkowników przestrzeni / wymierny poziom szkód materialnych
3	żółty	Ciężkie zranienia użytkowników tramwajów i/lub współużytkowników przestrzeni / znaczący poziom szkód materialnych
4	pomarańczowy	Pojedyncze ofiary śmiertelne wśród użytkowników tramwajów i/lub współużytkowników przestrzeni / wysoki poziom szkód materialnych
5	czerwony	Wiele ofiar śmiertelnych wśród użytkowników tramwajów i/lub współużytkowników przestrzeni / bardzo wysoki poziom szkód materialnych

Źródło: opracowanie własne

W szczegółowym modelu ryzyka zagrożeń generowanych na segmencie Sol-Lech odcinka PST sieci tramwajowej Poznania przyjęto następujący zbiór miar ważności kryteriów analizy ryzyka:

$$A_{SL}^{(1)} = \{1,2\}, \quad (12)$$

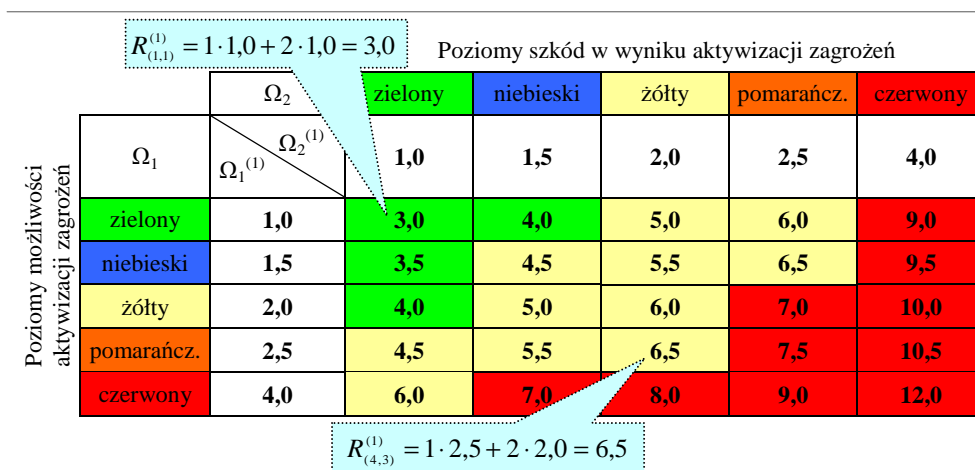
zaś elementom zbiorów Ω_i miar składowych ryzyka zagrożeń przyporządkowano zbiory wartości miar postaci:

$$\Omega_i^{(1)} = \{1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0\}, \quad i = 1,2. \quad (13)$$

Funkcję f w zależności (11) (uwzględniającą wyniki analizy ryzyka zagrożeń według dwóch kryteriów oraz miary ważności kryteriów analizy zagrożeń można przyjąć w postaci:

$$R_{SL}^{(1)}(z_k) = \sum_{j=1}^2 a_j \cdot r_j(z_k), \quad k = 1,2,\dots,n. \quad (14)$$

Wykorzystując model ryzyka wyrażony formułą (14), schematy kwantyfikacji poziomów ryzyka zagrożeń w ramach przyjętych kryteriów analizy ryzyka (tabele 3 i 4) oraz zbiór miar ważności kryteriów analizy ryzyka (zależność (12)), można zbudować macierz ryzyka zagrożeń. Graficzną postać tej macierzy ryzyka przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Matryca ryzyka dla modelu ryzyka wyrażonego formułą (14). Opracowanie własne

Przestrzeń poziomów ryzyka matrycy ryzyka przedstawionej na rysunku 4, podzielono na trzy obszary kategorii ryzyka. Na rysunku 4 obszary te wyróżniono specjalnymi kolorami tła elementów matrycy ryzyka. Znaczenie przyjętych kolorów tła i odpowiadającym im wartości poziomów ryzyka, wyjaśniono w tabeli 5. Jednocześnie tabela 3 zawiera zasady wartościowania ryzyka zagrożeń.

Przestrzeń poziomów ryzyka matrycy ryzyka przedstawionej na rysunku 4, podzielono na trzy obszary kategorii ryzyka. Na rysunku 4 obszary te wyróżniono specjalnymi kolorami tła elementów matrycy ryzyka. Znaczenie przyjętych kolorów tła i odpowiadającym im wartości poziomów ryzyka, wyjaśniono w tabeli 5. Jednocześnie tabela 3 zawiera zasady wartościowania ryzyka zagrożeń.

Tab. 5. Schemat wartościowania ryzyka w ramach matrycy ryzyka (rys. 4) dla modelu ryzyka wyrażonego formułą (14)

Kolor tła obszaru kategorii ryzyka	Zakres poziomów ryzyka	Nazwa obszaru kategorii ryzyka i jego symboliczne oznaczenie
zielony	3,0÷4,0	Obszar kategorii ryzyka akceptowanego – symbol A
żółty	4,5÷6,5	Obszar kategorii ryzyka tolerowanego – symbol T
czerwony	7,0÷12,0	Obszar kategorii ryzyka nieakceptowanego – symbol NA

Źródło: opracowanie własne

Gdy poziom ryzyka zagrożenia zawiera się w obszarze kategorii ryzyka nieakceptowanego lub tolerowanego, należy wdrożyć procedury postępowania wobec ryzyka.

Model ryzyka zagrożeń generowanych podczas funkcjonowania segmentu Sol-Lech odcinka PST sieci tramwajowej Poznania, po uwzględnieniu jego parametrów wskazanych formułami (10), (12), (13) i (14), przyjmując nazwę modelu ryzyka jako **R-SL-WK** (Ryzyko segment Sol-Lech PST – Warguła, Kadziński), oznaczono **R-SL-WK⁽¹⁾**.

3. APLIKACJA MODELU RYZYKA ZAGROŻEŃ IDENTYFIKOWNYCH NA ODCINKU POZNAŃSKIEGO SZYBKIEGO TRAMWAJU

3.1 Zagrożenia generowane na segmencie Al. Solidarności – Lechicka odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju

Identyfikacji zagrożeń w obszarze analiz wyznaczonym przez segment Sol-Lech odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju – wg schematu zrealizowanego w pracy [8] a wymagającego przeprowadzenie procedur: generowania pytań kontrolnych o występowanie źródeł zagrożeń, rozpoznawania źródeł zagrożeń, grupowania źródeł zagrożeń, formułowania zagrożeń, wskazania wielkości szkód (strat) jakie mogą się ujawnić w wyniku aktywizacji zagrożeń – pozwoliła zestawić w tabeli 6 listę zagrożeń generowanych na segmencie Sol-Lech.

Tab. 6. Zestawienie zagrożeń zidentyfikowanych na segmencie Sol-Lech odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju

Zagrożenie z_k	Lista sformułowań zagrożeń
-1-	-2-
Zagrożenie z_1	Możliwość wykolejenia tramwaju w wykopie
Zagrożenie z_2	Możliwość najechania tramwaju na tramwaj poprzedzający w wyniku uszkodzeń tramwaju najeżdżającego
Zagrożenie z_3	Możliwość najechania tramwaju na tramwaj poprzedzający, którego źródłami są zachowania motorniczego tramwaju najeżdżającego
Zagrożenie z_4	Możliwość najechania tramwaju na samochód znajdujący się w wykopie
Zagrożenie z_5	Możliwość najechania tramwaju bądź potrącenia przez tramwaj pieszego poza platformami przystankowymi
Zagrożenie z_6	Możliwość wypadnięcia pasażera z tramwaju poza platformami przystankowymi
Zagrożenie z_7	Możliwość potrącenia przez tramwaj pasażerów znajdujących się w obrębie platform przystankowych
Zagrożenie z_8	Możliwość uszkodzenia tramwaju w wyniku zdarzeń zainicjowanych przez współużytkowników przestrzeni segmentu torowiska
Zagrożenie z_9	Możliwość doznania uszczerbku na zdrowiu przez pasażerów we wnętrzu tramwaju
Zagrożenie z_{10}	Możliwość jazdy tramwaju prowadzonego przez osoby do tego nieuprawnione
Zagrożenie z_{11}	Zagrożenie hałasem o poziomach niedopuszczalnych generowanym na styku koła z szyną

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7, 8]

3.2 Szacowanie i wartościowanie ryzyka zagrożeń generowanych na segmencie Al. Solidarności – Lechicka odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju

Kierując się zasadami modelu ryzyka *R-SL-WK*⁽¹⁾ (przedstawiono je w podrozdziale 2.3) dokonano oszacowania ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych w obszarze analiz i jego wartościowania. Wyniki tych procedur zestawiono w tabeli 7.

Tab. 7. Zestawienie wyników szacowania i wartościowania – przy wykorzystaniu modelu *R-SL-WK*⁽¹⁾ – ryzyka zagrożeń generowanych na segmencie Sol-Lech odcinka PST sieci tramwajowej Poznania

Kryterium analizy ryzyka zagrożenia w modelu <i>R-SL-WK</i>	Jakościowa miara analizy ryzyka w modelu <i>R-SL-WK</i> ⁽¹⁾	Ilościowa miara analizy ryzyka w modelu <i>R-SL-WK</i> ⁽¹⁾	Miara ważności kryterium analizy ryzyka w modelu <i>R-SL-WK</i> ⁽¹⁾	Poziom składowej ryzyka zagrożenia w modelu <i>R-SL-WK</i> ⁽¹⁾	Łączny poziom ryzyka zagrożenia i jego wartościowanie w modelu <i>R-SL-WK</i> ⁽¹⁾
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
Zagrożenie z_1 – Możliwość wykołowania tramwaju w wykopie					
K_1	zielony	1	1	1	6,0 ↔ T
K_2	pomarańczowy	2,5	2	5	
Zagrożenie z_2 – Możliwość najechania tramwaju na tramwaj poprzedzający w wyniku uszkodzeń tramwaju najjeżdżącego					
K_1	zielony	1	1	1	4,0 ↔ A
K_2	niebieski	1,5	2	3	
Zagrożenie z_3 – Możliwość najechania tramwaju na tramwaj poprzedzający, którego źródłami są zachowania motorniczego tramwaju najjeżdżącego					
K_1	zielony	1	1	1	3,0 ↔ A
K_2	zielony	1	2	2	
Zagrożenie z_4 – Możliwość najechania tramwaju na samochód znajdujący się w wykopie					
K_1	zielony	1	1	1	5,0 ↔ T
K_2	żółty	2	2	4	
Zagrożenie z_5 – Możliwość najechania tramwaju bądź potrącenia przez tramwaj pieszego poza platformami przystankowymi					
K_1	czerwony	4	1	4	6,0 ↔ T
K_2	zielony	1	2	2	
Zagrożenie z_6 – Możliwość wypadnięcia pasażera z tramwaju poza platformami przystankowymi					
K_1	zielony	1	1	1	6,0 ↔ T
K_2	pomarańczowy	2,5	2	5	
Zagrożenie z_7 – Możliwość potrącenia przez tramwaj pasażerów znajdujących się w obrębie platform przystankowych					
K_1	zielony	1	1	1	6,0 ↔ T
K_2	pomarańczowy	2,5	2	5	
Zagrożenie z_8 – Możliwość uszkodzenia tramwaju w wyniku zdarzeń zainicjowanych przez współużytkowników przestrzeni segmentu torowiska					
K_1	Zielony	1	1	1	6,0 ↔ T
K_2	pomarańczowy	2,5	2	5	
Zagrożenie z_9 – Możliwość doznania uszczerbku na zdrowiu przez pasażerów we wnętrzu tramwaju					
K_1	niebieski	1,5	1	1,5	5,5 ↔ T
K_2	żółty	2	2	4	

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
Zagrożenie z_{10} – Możliwość jazdy tramwaju prowadzonego przez osoby do tego nieuprawnione					
K_1	zielony	1	1	1	6,0 ↔ T
K_2	pomarańczowy	2,5	2	5	
Zagrożenie z_{11} – Zagrożenie hałasem o poziomach niedopuszczalnych generowanym na styku koła z szyną					
K_1	zielony	1	1	1	4,0 ↔ A
K_2	niebieski	1,5	2	3	

Źródło: opracowanie własne

Z przeprowadzonych obliczeń wartości miar ryzyka i jego wartościowania wynika, iż poziomy ryzyka trzech spośród jedenastu zagrożeń znajdują się w obszarze kategorii ryzyka akceptowanego. Żadne z poziomów ryzyka zidentyfikowanych zagrożeń nie znajduje się w obszarze kategorii ryzyka nieakceptowanego. Największą wartość miary ryzyka uzyskano m.in. dla Zagrożenia z_1 – Możliwość wykolejenia tramwaju w wykopie. Na wartość miary ryzyka w przypadku Zagrożenia z_1 wpływ ma duża wartość poziomu szkód w wyniku aktywizacji tego zagrożenia.

4. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zrealizowano niektóre sformalizowane procedury metody Tram-Risk zarządzania ryzykiem zagrożeń w komunikacji tramwajowej. W szczególności są to procedury: prezentacja obszaru analiz ryzyka, szacowanie i wartościowanie ryzyka zidentyfikowanych zagrożeń.

Obszarem analiz ryzyka w tej pracy jest odcinek Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST) sieci tramwajowej Poznania. Odcinek ten charakterystycznie wpisuje się w obszar Poznania zlokalizowany między Mostem Teatralnym i Osiedlem Jana III Sobieskiego.

Procedury zarządzania ryzykiem zagrożeń szczegółowo zrealizowano dla segmentu Aleja Solidarności – Ulica Lechicka (w skrócie Sol-Lech) odcinka Poznańskiego Szybkiego Tramwaju.

Szacowanie i wartościowanie ryzyka zagrożeń sformułowanych na segmencie Sol-Lech odcinka PST sieci tramwajowej Poznania przeprowadzono za pomocą specjalnie stworzonego modelu ryzyka opartego na zasadach uogólnionego modelu ryzyka. Szczegółowy model ryzyka nazwano *R-SL-WK*. W modelu tym przyjęto dwa kryteria analizy ryzyka – kryterium poziomu możliwości aktywizacji zagrożeń (1), kryterium poziomu szkód w wyniku aktywizacji zagrożeń (2). Opracowano schematy kwantyfikacji poziomów ryzyka wg obu kryteriów. Przyjęto zbiór miar ważności przyjętych kryteriów analizy ryzyka. Stworzono formułę matematyczną na wyznaczenie miar ryzyka zagrożeń. Na tej podstawie zbudowano macierz ryzyka zagrożeń. Przestrzeń poziomów ryzyka macierzy ryzyka, podzielono na trzy obszary kategorii ryzyka – akceptowany, tolerowany, nieakceptowany. Zaproponowano zasady wartościowania ryzyka zagrożeń.

Kierując się zasadami modelu ryzyka *R-SL-WK* przeprowadzono oszacowania i wartościowania ryzyka zagrożeń zidentyfikowanych na segmencie Sol-Lech odcinka PST sieci tramwajowej Poznania. Wyniki tych procedur są następujące – 3 zagrożenia mają poziomy ryzyka mieszczące w obszarze kategorii ryzyka akceptowanego, pozostałe zagrożenia charakteryzują ryzyka o poziomach należących do obszarów kategorii ryzyka tolerowanego.

Wykorzystane w niniejszej artykule algorytmy, procesy, procedury i modele, związane z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń, mogą być zastosowane do oceny ryzyka zagrożeń na innych odcinkach sieci tramwajowej dużych miast.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Jamroz K.: *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
- [2] Jamroz K., Kadziński A., Chrużik K., Szymanek A., Gucma L., Skorupski J.: *TRANS-RISK – an integrated method for risk management in transport*. Journal of KONBiN, No 1 (13) 2010, Wyd. ITWL, Warszawa 2010, s. 209÷220.
- [3] Kadziński A., Gill A.: *Koncepcja implementacji metody TRANS-RISK do zarządzania ryzykiem w komunikacji tramwajowej*. Logistyka, nr 3/2011, CD, s. 1053÷1064.
- [4] Kadziński A., Gill A.: *Koncepcja metody i modeli zarządzania ryzykiem zagrożeń generowanych w komunikacji tramwajowej Poznania w kontekście imprezy sportowej „Euro 2012”*. W: mat. pokonferencyjnych Konferencji Naukowej nt. Bezpieczeństwo ujęcie wieloaspektowe, Wyższa Szkoła Bezpieczeństwa, Poznań 2011 (w druku).
- [5] Kadziński A., Gill A.: *Ogólny model ocen ryzyka zagrożeń identyfikowanych w wybranych obszarach systemów technicznych*. Referat wygłoszony na XXXVIII Zimowej Szkoły Niezawodności nt. Ryzyko w eksploatacji systemów technicznych, Szczyrk 2010, wersja elektroniczna.
- [6] *Ocena stanu bezpieczeństwa na drogach województwa wielkopolskiego*. Komunikat internetowy Wydziału Ruchu Komendy Wojewódzkiej Policji w Poznaniu, www.wielkopolska.policja.gov.pl, maj 2011.
- [7] Warguła J.: *Ryzyko zagrożeń generowanych na odcinku Poznańskiego Szybkiego Tramwaju*. Praca magisterska, Politechnika Poznańska, Wydział MRiT, promotor A. Kadziński, Poznań, 2011, niepublikowane.

- [8] Warguła J., Kadziński A.: *Identyfikacja zagrożeń generowanych na odcinku Poznańskiego Szybkiego Tramwaju*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria MRiT, Poznań 2012 (w druku).
- [9] *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu. III tom Koncepcja zintegrowanego systemu bezpieczeństwa transportu w Polsce*. Praca zbiorowa red. R. Krystek, Politechnika Gdańska. Podrozdział 4.3.1. Jamroz K., Chruzik K., Gucma L., Kadziński A., Skorupski J., Szymanek A., *Koncepcja zintegrowanego systemu bezpieczeństwa transportu w Polsce*, s. 133÷151, WKŁ, Gdańsk 2010.