

Paweł Szalek

Ocena zagrożeń w wybranych elementach sieci tramwajowej

W komunikacji miejskiej w Poznaniu w godzinach szczytu natężenie przewozów sięga 4,2 tys. pas./godz. [6]. Na system komunikacji tramwajowej składają się podsystemy ruchu tramwajowego, ruchu drogowego oraz ruchu pieszego. Każdy z uczestników tego systemu jest potencjalnie narażony na udział w zdarzeniu niepożądanym. Porównując zdarzenia niepożądane z udziałem tramwajów do ogółu zdarzeń na terenie Poznania łatwo zauważyć, że zdarzenia z udziałem tramwajów stanowią prawie 7% wszystkich zdarzeń. Biorąc natomiast pod uwagę tylko wypadki, to zdarzenia z udziałem tramwajów stanowią prawie 9% wszystkich zdarzeń. Liczba ofiar śmiertelnych w komunikacji tramwajowej stanowi 4% ofiar zdarzeń w całym mieście [4, 7]. Pomimo faktu, że wypadki i kolizje z udziałem tramwajów stanowią niewielki odsetek ogółu zdarzeń, ich ograniczenie jest konieczne.

Na podstawie statystyk zdarzeń z udziałem pojazdów w komunikacji tramwajowej, możliwe jest przeprowadzenie wielu analiz ruchu pojazdów. Ocena zagrożeń w wybranych elementach sieci tramwajowej jest jedną z istotniejszych analiz.

Do elementów sieci tramwajowej, które mogą podlegać analizie zalicza się:

- węzły tramwajowe,
- skrzyżowanie torów tramwajowych z drogami kołowymi,
- skrzyżowania torów tramwajowych z kolejowymi,
- punkty sieci tramwajowej o zwiększonym zagrożeniu,
- pętle tramwajowe,
- odcinki międzywęzłowe sieci tramwajowej,
- przystanki tramwajowe.

Do dalszych rozważań analizy przyjęto podział elementów sieci tramwajowej na dwa rodzaje:

- węzły (węzły tramwajowe, skrzyżowania torów tramwajowych z drogami kołowymi oraz z kolejowymi, punkty sieci tramwajowej o zwiększonym zagrożeniu, pętle tramwajowe, przystanki tramwajowe);
- odcinki międzywęzłowe.

Najczęściej występującym zdarzeniem z udziałem taboru tramwajowego w Poznaniu są zderzenia z pojazdami obcymi (spoza MPK) [4]. To jest powodem, że analiz nie można ograniczyć wyłącznie do odcinków międzywęzłowych lub węzłów. Nie w całej sieci tramwajowej tory są wydzielone z jezdni, w związku z tym nie można powiedzieć, że komunikacja tramwajowa jest niezależna. Wygrodzenie torowisk oraz ograniczenie możliwości przejazdów w poprzek torowisk jest jednym z uwarunkowań zapewnienia bezpieczeństwa ruchu tramwajów.

Węzły tramwajowe są utrudnieniem dla pojazdów w ruchu drogowym, dlatego nie jest celowe łączenie ich ze skrzyżowaniami ulicznymi. W większości przypadków w Poznaniu takie rozwią-

zania są jednak powszechnie stosowane. Konieczne jest przeprowadzenie badań dla wszystkich elementów sieci tramwajowej.

Wskaźniki do oceny zagrożeń w wybranych elementach sieci tramwajowej

Stan bezpieczeństwa w ruchu pojazdów w poszczególnych elementach sieci komunikacyjnej jest określany głównie wielkościami następujących wskaźników:

- liczby ekwiwalentnych zdarzeń (WB),
- liczby pieszych biorących udział w zdarzeniach (WOP),
- liczby zdarzeń z udziałem pieszych (WP),
- liczby ofiar zdarzeń (WA),
- liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych (WPD),
- ciężkości zdarzeń (WC).

1. Wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń

Wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń WB określa liczbę zdarzeń w danym okresie w danym elemencie sieci tramwajowej, według zależności [5]:

$$WB = \begin{cases} \frac{X}{L \cdot T} & \text{odcinki międzywęzłowe} \\ \frac{X}{T} & \text{pozostałe elementy sieci} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

T – okres bilansowy [lat],

L – długość odcinka sieci drogowej w danym obszarze miasta [km],

X – liczba ekwiwalentnych zdarzeń w okresie T w danym obszarze:

$$X = \sum_{i=1}^Y x_i \quad (2)$$

Y – liczba zdarzeń w danym elemencie sieci tramwajowej w okresie T ,

x_i – współczynnik przeliczeniowy i -tego zdarzenia drogowego na liczbę ekwiwalentnych zdarzeń.

Ekwiwalentne zdarzenie stanowi kolizja o średnich stratach materialnych. Określone zdarzenie przelicza się na liczbę ekwiwalentnych zdarzeń według następującego wzoru:

$$x_i = \eta_{Z,i} \cdot q_Z + \eta_{H,i} \cdot q_H + \eta_{R,i} \cdot q_R + \eta_{P,i} \cdot q_P \quad (3)$$

gdzie:

$\eta_{Z,i}$ – liczba ofiar śmiertelnych,

$\eta_{H,i}$ – liczba ofiar ciężko rannych,

$\eta_{R,i}$ – liczba ofiar lekko rannych,

$\eta_{P,i}$ – liczba uszkodzonych pojazdów,

q_Z – waga skutku zdarzenia dla ofiary śmiertelnej ($q_Z = 26,7$),

q_H – waga skutku zdarzenia dla osoby ciężko rannej ($q_H = 10$),
 q_R – waga skutku zdarzenia dla osoby lekko rannej ($q_R = 0,5$),
 q_P – waga skutku zdarzenia dla pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu (wypadku $q_P = 1,0$; w kolizji $q_P = 0,5$).

2. Wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń z udziałem pieszych

Wskaźnik liczby zdarzeń z udziałem pieszych WP określa liczbę zdarzeń z pieszymi w danym okresie w danym elemencie sieci komunikacyjnej [5]:

$$WB = \begin{cases} \frac{Y^R}{L \cdot T} & \text{odcinki międzywęzłowe} \\ \frac{X}{T} & \text{pozostałe elementy sieci} \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

Y^R – liczba zdarzeń drogowych z udziałem pieszych.

3. Wskaźnik liczby pieszych biorących udział w zdarzeniach

Wskaźnik liczby pieszych WOP , biorących udział w zdarzeniach, wyraża liczbę pieszych biorących udział w zdarzeniach w danym okresie w wybranym elemencie sieci tramwajowej [5]:

$$WOP = \begin{cases} \frac{P^R}{L \cdot T} & \text{odcinki międzywęzłowe} \\ \frac{P^R}{T} & \text{pozostałe elementy sieci} \end{cases} \quad (5)$$

gdzie:

P^R – liczba pieszych biorących udział w wypadkach w danym elemencie w okresie T .

4. Wskaźnik ciężkości zdarzeń

Wskaźnik ciężkości zdarzeń WC wyraża średnią wagę zdarzeń. Jest wyrażony jako stosunek liczby ekwiwalentnych zdarzeń X i liczby zdarzeń Y w elemencie sieci tramwajowej podlegającym analizie [5]:

$$WC = \frac{X}{Y} \quad (6)$$

The screenshot shows a spreadsheet interface for accident analysis. It is divided into three parts: 'Część 1' (top left), 'Część 2' (bottom left), and 'Część 3' (top right). 'Część 1' contains input fields for accident details like date (2006.05.03), number of fatalities (0), and injured persons (1). 'Część 2' shows calculated indicators like 'Liczba ekwiwalentnych zdarzeń' (3.00) and 'Ciężkość zdarzeń' (0.50). 'Część 3' displays a network diagram of tram lines with a selected node.

Rys. 1. Arkusz roboczy ZDARZENIA aplikacji Ocena_z_e.xls

5. Wskaźnik liczby ofiar zdarzeń

Wskaźnik liczby ofiar zdarzeń WA określa się jako średnią liczbę osób, które poniosły śmierć lub zostały ranne w zdarzeniach drogowych w określonym elemencie sieci tramwajowej w ciągu jednego roku [5]:

$$WA = \begin{cases} \frac{P_o}{L \cdot T} & \text{odcinki międzywęzłowe} \\ \frac{P_o}{T} & \text{pozostałe elementy sieci} \end{cases} \quad (7)$$

gdzie:

P_o – liczba ofiar wypadków w okresie T w danym elemencie sieci.

6. Wskaźnik liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych

Wskaźnik liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych WPD określa liczbę zdarzeń z pojazdami drogowymi w danym okresie w danym elemencie sieci tramwajowej:

$$WPD = \begin{cases} \frac{Y^{PD}}{L \cdot T} & \text{odcinki międzywęzłowe} \\ \frac{Y^{PD}}{T} & \text{pozostałe elementy sieci} \end{cases} \quad (8)$$

gdzie:

Y^{PD} – liczba zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych.

Komputerowe wspomaganie oceny zagrożeń w wybranych elementach sieci tramwajowej

Do obliczenia wskaźników oceny zagrożeń w wybranych elementach sieci komunikacyjnej, konieczne są czasochłonne obliczenia. Do szybszego rozwiązania problemu opracowano specjalną aplikację komputerową *Ocena_z_e.xls*. Jest to pakiet arkuszy kalkulacyjnych opracowany w formacie programu MS Excel.

Aplikacja *Ocena_z_e.xls* służy do obliczenia wskaźników ocenowych zagrożeń w wybranych elementach sieci komunikacyjnej.

Do stworzenia aplikacji komputerowej wykorzystano koncepcję i procedury symulatorów *WMM_6_4.xls*, *Kaja.xls* i *Sym_Sys_Lok_1.xls*. Symulatory te na różnym poziomie szczegółowości przedstawiono w pracach [1, 2, 3].

Podstawą aplikacji *Ocena_z_e.xls* są arkusze robocze: ZDARZENIA, BAZA ZDARZEŃ, BAZA ELEMENTÓW i MAKRA.

Aplikacja *Ocena_z_e.xls* jest pomyślana w ten sposób, aby jej użytkownik mógł łatwo ją konfigurować, wpisywać informacje o zdarzeniach oraz prowadzić analizę wskaźników oceny. Arkusz ZDARZENIA pokazano na rysunku 1.

Sformułowanie i ocena zagrożeń w wybranych miejscach sieci tramwajowej Poznania

Sieć tramwajowa Poznania składa się z węzłów oraz odcinków międzywęzłowych. Węzeł jest przecięciem w jednym poziomie kilku kierunków jazdy, zatem jest miejscem szczególnie narażonym na występowanie zdarzeń niepożądanych.

Celem badawczym jest przeprowadzenie oceny zagrożeń na podstawie danych o zdarzeniach w węzłach sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r., przy uwzględnieniu wskaźników przedstawionych w p. 2.

Wykorzystując aplikację komputerową *Ocena_z_e.Xls*, wskazać w których węzłach sieci tramwajowej wystąpiło najwięcej zdarzeń.

Na podstawie przeprowadzonej analizy podać miejsca, na których:

- wystąpiła największa liczba ofiar,
- wystąpiła największa liczba ofiar wśród pieszych,
- została uszkodzona największa liczba tramwajów,
- wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń ma najwyższą wielkość,
- wskaźnik liczby ciężkości zdarzeń ma najwyższą wielkość,
- wskaźnik liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych ma najwyższą wielkość.

W elementach węzłowych sieci tramwajowej w 2004 r. wystąpiły 492 zdarzenia niepożądane. Elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wystąpiło najwięcej zdarzeń przedstawiono w arkuszu roboczym BAZA ELEMENTÓW aplikacji *Ocena_z_e.Xls* (rys. 2).

W elementach węzłowych sieci tramwajowej w 2004 r. 74 osoby zostały poszkodowane w wypadkach, z czego 16 osób to ofiary wśród pieszych. Elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wystąpiła największa liczba ofiar przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie liczbowe ofiar w węzłach w sieci tramwajowej Poznania w 2004 r.

Nazwa elementu sieci	Liczba ofiar				
	razem	śmiertelnych	ciężko-rannych	lecko-rannych	pieszych
Roosevelta – PST	22	0	0	22	0
Plac Wielkopolski	5	0	1	4	2
Rondo Rataje	4	0	1	3	0
Rondo Śródka	4	0	2	2	2
Nad Wierzbakiem – Al. Wielkopolska	3	0	0	3	1
Św. Marcin – Al. Niepodległości	2	0	1	1	0
Królowej Jadwigi – Strzelecka	2	0	2	0	1
Grunwaldzka – Ostroroga	2	0	1	1	0
Strzelecka – Długa	2	0	2	0	2
23 lutego – Marcinkowskiego	2	0	0	2	0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Wszystkie elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wystąpiły wypadki z udziałem pieszych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie liczbowe ofiar wśród pieszych w węzłach w sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r.

Nazwa elementu sieci	Liczba wypadków z udziałem pieszych
Plac Wielkopolski	2
Strzelecka – Długa	2
Rondo Śródka	2
Jeleniogórska	1
28 czerwca 1956 – Kosińskiego	1
Przybyszewskiego – Szamarzewskiego	1
Królowej Jadwigi – Strzelecka	1
Grunwaldzka – Bułgarska	1
Nad Wierzbakiem – Al. Wielkopolska	1
Dąbrowskiego – Polna	1
Głogowska – Strusia	1
Głogowska – Stablewskiego	1
Przybyszewskiego – Szamarzewskiego	1

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

BAZA ELEMENTÓW



Usuń elementy	Usuń rekord	Uaktywnij arkusz zdarzeń	Uaktywnij bazę zdarzeń
---------------	-------------	--------------------------	------------------------

Nr elementu	Nazwa elementu	liczba zdarzeń razem	liczba ekwiwalent. Zdarzeń	liczba wypadków	liczba kolizji
1	Rondo Kaponiera	18	13,5	1	17
2	Rondo Rataje	15	24	2	13
3	R. Przybyszewskiego	14	10	1	13
4	Rondo Starołęka	12	10	0	12
5	Dąbrowsk. - Kraszewskiego	11	9	0	11
6	P.Wlkp - Wolnica	10	21	1	9
7	Rondo Śródka	10	26	4	6
8	Marcinkowsk. - Podgórna	10	7,5	0	10
9	Plac C. Ratajskiego	10	10,5	1	9
10	Estkowskiego - Garbary	9	8	0	9
11	Zamenhoffa - Obrzyca	9	9	0	9
12	28 czerwca 1956 - Hetmańska	9	6,5	1	8
13	Nad Wierzbak. - Al. Wielkop.	9	11	3	6
14	Św. Marcin - Al. Niepodległ.	8	18,5	2	6
15	Podwale - Małachowskiego	8	8	0	8

Rys. 2. Zestawienie liczbowe zdarzeń niepożądanych w węzłach sieci tramwajowej Poznania przedstawione w arkuszu roboczym BAZA ELEMENTÓW aplikacji *Ocena_z_e.Xls*

Elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wystąpiło najwięcej uszkodzeń tramwajów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie liczbowe uszkodzonych tramwajów w węzłach w sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r.

Nazwa elementu sieci	Liczba uszkodzonych tramwajów
Rondo Kaponiera	12
Rondo Rataje	11
Rondo Przybyszewskiego	10
Plac Wielkopolski – Wolnica	10
Rondo Starołęka	10
Zamenhoffa – Obrzyca	9
Nad Wierzbakiem – Al. Wielkopolska	8
Dąbrowskiego – Kraszewskiego	8
Pl. Cyryla Ratajskiego	8
Podwale – Małachowskiego	8

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń ma najwyższą wielkość, przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Zestawienie wskaźników liczby ekwiwalentnych zdarzeń w sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r.

Nazwa elementu sieci	Wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń
Rondo Śródka	26,00
Rondo Rataje	24,00
Królowej Jadwigi – Strzelecka	21,00
Plac Wielkopolski – Wolnica	21,00
Strzelecka – Długa	20,00
Św. Marcin – Al. Niepodległości	18,50
Dąbrowskiego – Polna	16,50
Grunwaldzka – Ostroroga	15,50
Plac Wielkopolski	15,00
Roosevelta – PST	13,50
Głogowska – Stablewskiego	13,50
Grunwaldzka – Dziewińska	12,00
Rondo Kaponiera	12,00
Nad Wierzbakiem – Al. Wielkopolska	11,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wskaźnik ciężkości zdarzeń ma najwyższą wielkość przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Zestawienie wskaźników ciężkości zdarzeń w sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r.

Nazwa elementu sieci	Wskaźnik ciężkości zdarzeń
Grunwaldzka – Dziewińska	12,00
Strzelecka – Długa	10,00
Jeleniogórska	10,00
Grunwaldzka – Bułgarska	10,00
Słowiańska	5,00
Królowej Jadwigi – Strzelecka	4,20
Głogowska – Stablewskiego	3,38
Grunwaldzka – Ostroroga	3,10
Rondo Śródka	2,60
Głogowska – Strusia	2,50
Hetmańska – Szymborska	2,50
Dąbrowskiego – Polna	2,36
Św. Marcin – Al. Niepodległości	2,31
Roosevelta – PST	2,25
Plac Wielkopolski	2,14
Plac Wielkopolski – Wolnica	2,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Elementy węzłowe sieci tramwajowej, w których wskaźnik liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych ma najwyższą wielkość przedstawiono w tabeli 6.

Najbardziej narażonym elementem węzłowym sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r. były ronda. Najwięcej zdarzeń niepożądanych wystąpiło na Rondzie Kaponiera, gdzie jest najwięcej linii tramwajowych. Elementem węzłowym o najwyższym wskaźniku ekwiwalentnych zdarzeń było Rondo Śródka. Najczęściej do uszkodzeń tramwajów w wyniku wypadków i kolizji dochodziło na Rondzie Kaponiera. Wskaźnik liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych o najwyższej wielkości wystąpił na Rondzie Rataje. Najwięcej ofiar w elementach węzłowych sieci wystąpiło podczas najechania tramwaju na tramwaj na wyjeździe z trasy PST. Pomijając ten wypadek, największa liczba ofiar wystąpiła w wypadkach na Placu Wielkopolskim. Plac Wielkopolski zajmuje również pierwsze miejsce w liczbowym zestawieniu pieszych poszkodowanych

Tabela 6

Zestawienie wskaźników liczby zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych w sieci tramwajowej w Poznaniu w 2004 r.

Nazwa elementu sieci	Wskaźnik zdarzeń z udziałem pojazdów drogowych
Rondo Rataje	13,00
Rondo Kaponiera	12,00
Plac Wielkopolski – Wolnica	10,00
Dąbrowskiego – Kraszewskiego	10,00
Rondo Starołęka	10,00
Pl. Cyryla Ratajskiego	10,00
Marcinkowskiego – Podgórna	10,00
Estkowskiego – Garbary	9,00
Rondo Przybyszewskiego	9,00
Zamenhofska – Obrzyca	9,00
Nad Wierzbakiem – Wielkopolska	8,00
28 czerwca 1956 – Hetmańska	8,00
Podwale – Małachowskiego	8,00
Św. Marcin – Al. Niepodległości	7,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

wanych w wypadkach w komunikacji tramwajowej. Wskaźnik ciężkości zdarzeń o najwyższej wielkości wystąpił na skrzyżowaniu ulic Grunwaldzka – Dziewińska.

Uwagi końcowe

Sieć tramwajowa składa się z węzłów oraz odcinków międzywęzłowych. Węzeł jest przecięciem w jednym poziomie kilku kierunków jazdy, zatem jest miejscem szczególnie narażonym na występowanie zdarzeń niepożądanych. Wykorzystując przedstawione w pracy wskaźniki ocenowe można dokonać oceny zagrożeń w wybranych elementach sieci oraz na ich podstawie wskażać w których węzłach oraz odcinkach sieci tramwajowej wystąpiło najwięcej zdarzeń. Ocena zagrożeń może być podstawą do przeprowadzenia innych analiz.



Literatura

- [1] Kadziński A.: *Klasa sześciostanowych niezawodnościowych markowskich modeli pojazdów szynowych*. Pojazdy Szynowe 1/2003, s. 53–60.
- [2] Kadziński A.: *Opis komputerowego niezawodnościowo-prognostycznego modelu obiektów nieodnawianych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria MRiT, nr 55/2002, s. 25–36.
- [3] Kadziński A., Kwaśnikowski J.: *Modele i badania symulacyjne kosztów funkcjonowania systemu lokomotyw przeznaczonych do realizacji losowej liczby zadań*. Pojazdy Szynowe 2/2001, s. 47–51.
- [4] *Raporty służbowe Nadzoru Ruchu Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Poznaniu Sp. z o.o.* Poznań, 1992–2005 (niepublikowane).
- [5] Szczuraszek T.: *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*. WKŁ, Warszawa 2005.
- [6] Strona internetowa www.city.poznan.pl, marzec 2006.
- [7] *Wypadkowość na terenie miasta Poznania w latach 2000–2004*. Komunikat internetowy Zarządu Dróg Miejskich w Poznaniu, www.zdm.poznan.pl, wrzesień 2004.

Autor

Paweł Szatek

Absolwent Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej