

KOBASZYŃSKA-TWARDOWSKA Anna, GILL Adrian

ZASTOSOWANIE ANALIZY BOW-TIE DO IDENTYFIKACJI WARSTW OCHRONNYCH W SYSTEMACH BEZPIECZEŃSTWA

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie procedur analizy ryzyka zagrożeń metodą Bow-Tie do tworzenia warstwowych modeli systemów bezpieczeństwa. Koncepcja polega na identyfikacji warstw ochronnych, które tworzyć mają model systemu. Warstwy ochronne są wynikiem przyjętej procedury modelowania w szczególności grupowania środków redukcji ryzyka z uwzględnieniem określonych kryteriów. Przyjęto, że grupowanie to będzie odbywało się zgodnie z typem środków redukcji ryzyka wskazanym w wyniku analizy Bow-Tie. Przedstawiono realizację procedury identyfikacji warstw dla przykładowego obszaru analiz w komunikacji tramwajowej.

WSTĘP

Do najczęściej eksploatowanych środków transportu w ramach transportu miejskiego, zalicza się tramwaje oraz samochody. Na infrastrukturę liniową transportu miejskiego składają się, więc przede wszystkim torowiska i jezdnie [7]. Torowiska mogą być wbudowane w jezdnię i wtedy tramwaj uczestniczy w ruchu wraz z samochodami (torowisko niewydzielone). Innym rozwiązaniem są torowiska wyodrębnione z drogi jezdnej, których przekraczanie odbywa się tylko w wyznaczonych do tego miejscach.

W miejscach przecięcia się torów tramwajowych z drogami, zwanymi dalej przejazdami tramwajowymi, generowana jest znacząca liczba zdarzeń niepożądanych. Według danych [8] w 2011 w Polsce na przejazdach tramwajowych doszło do 148 zdarzeń niepożądanych, w których 183 zostały ranne a 17 osób poniosło śmierć. W 63 przypadkach (źródłem zagrożeń) przyczyną było zachowanie motorniczego. Według danych MPK Poznań [1] w 2010 roku 185 razy ruch tramwajowy był wstrzymywany poprzez nieuprawniony wjazd pojazdu drogowego na torowisko. Z czego 12 przypadków zakończyło się kolizją a 17 wypadkiem.

Oczywistym jest dążenie do osiągnięcia takiego stanu obszarów związanych z przejazdami tramwajowymi, w którym przekraczanie torowisk odbywać się będzie przy najniższym ryzyku zagrożeń. Działania takie realizowane są w ramach procedur postępowania wobec ryzyka zagrożeń.

Jedną z metod postępowania wobec ryzyka zagrożeń jest jego redukcja – ukierunkowana na zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia szkody lub zmniejszenie jej wysokości – polegająca na działaniach zabezpieczających i ochronnych – stosowanie środków redukcji ryzyka [10]:

- gdy źródłem zagrożenia jest człowiek – bezwzględne przestrzeganie przepisów prawa i instrukcji (np: prawo o ruchu drogowym; badania lekarskie);

- gdy źródłem zagrożenia jest urządzenie – stosowanie norm, najnowszych technologii, przestrzeganie terminów kontroli, przeglądów i napraw (np: przeglądy okresowe);
- gdy źródłem zagrożenia jest materiał – transport i przechowywanie tych materiałów powinno odbywać się w odpowiednich dla danego materiału warunkach (np: przepisy ADR);
- gry źródłem zagrożenia jest środowisko - stosowanie środków ochrony (np. instalacji odgromowych czy też przycinanie drzew i krzewów ograniczających widoczność lub zasłaniających znaki ostrzegawcze od strony drogi dojazdowej do przejazdów tramwajowych).

1. WYTYCZNE DO TWORZENIA MODELI SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY BOW-TIE

W niniejszym artykule, zidentyfikowano zagrożenia związane z obszarami przejazdów tramwajowych oraz wskazano konsekwencje aktywacji tych zagrożeń. Wymaga tego proces tworzenia modeli systemów bezpieczeństwa (SB) prowadzący od wskazania funkcji bezpieczeństwa (FB) na podstawie zidentyfikowanych zagrożeń, dobraniu środków redukcji ryzyka (ŚRR) zgodnie z przyjętymi FB i pogrupowaniu tych środków w niezależne warstwy ochronne. Sposób tworzenia takich modeli przedstawiono m.in. w pracach [2,3]. Pojęcie niezależnych warstw ochronnych (IPL – *Independent Protection Layers*) zostało wprowadzone na potrzeby procedur analizy systemów bezpieczeństwa. IPL są wynikiem przyjętej procedury modelowania tych systemów w szczególności grupowania ŚRR z uwzględnieniem określonych kryteriów. Można powiedzieć, że IPL stanowią pewną strukturę funkcjonalną, której elementami są wybrane (sklasyfikowane w ramach jednej warstwy) ŚRR. W skład IPL wchodzi zwykle kilka środków redukcji ryzyka. W szczególnym przypadku warstwę ochronną może tworzyć tylko jeden z tych środków. Przyjmuje się, że każda z IPL może być rozpatrywana jako środek redukcji ryzyka ale nie każdy ze środków może być uznany za IPL.

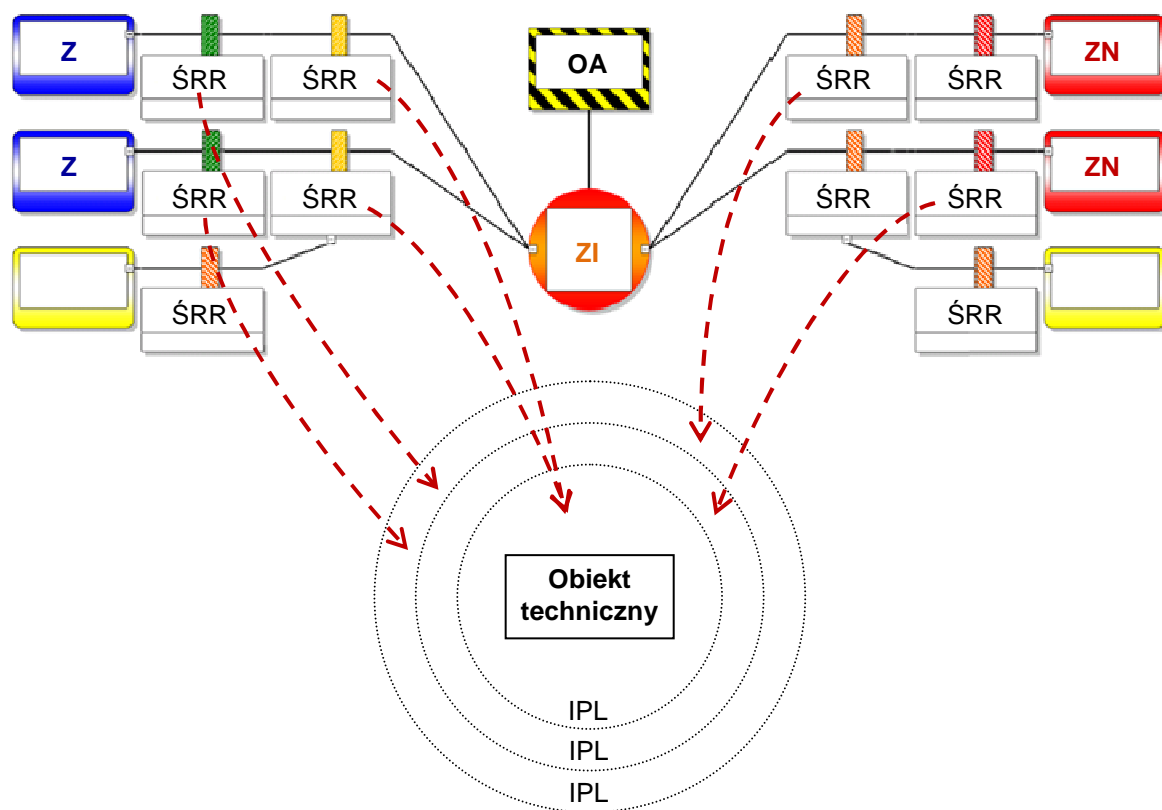
IPL realizują – poprzez sklasyfikowane ŚRR – określone funkcje bezpieczeństwa (FB). W efekcie tego umożliwiają „sterowanie” sekwencjami rozwoju zdarzeń niepożądanych występujących w obszarze (obiekcie), dla którego przewidziany został SB. Zakres IPL zwykle obejmuje kilka ŚRR. Dobór tych środków polega na wyborze tych spośród nich, które zostaną zastosowane w SB w odniesieniu do występujących ŻZ. Wyboru tych środków można dokonać różnymi sposobami. Niekiedy wystarcza intuicja, doświadczenie i/lub wiedza projektującego system bezpieczeństwa. Innym razem – aby sformalizować proces doboru ŚRR i tym samym skorzystać z zalet proceduralnego podejścia do tego procesu – można zastosować przepisy, wytyczne zawarte w normach dotyczących bezpieczeństwa [2].

W metodzie Bow-Tie poprzez zagrożenia określa się przyczyny (źródła) powstawania zdarzenia inicjującego. Według tej metodyki, środki redukcji ryzyka można podzielić na te, które zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niepożądanych (ZN) oraz ŚRR działające na konsekwencje tych zdarzeń, zapobiegając im lub je zmniejszając. W metodach tworzenia SB przejmując się, że warstwy ochronne powinny spełniać pewne kryteria, podobne do tych, które wymaga metoda Bow-Tie w stosunku do zidentyfikowanych barier. Do kryteriów tych należą [3]:

- kryterium specjalizacji: rozumianej jako ukierunkowanie IPL na redukcję składowych ryzyka zagrożeń związanych z wybranym zdarzeniem inicjującym,
- kryterium efektywności: rozumianej jako zdolność do przeciwdziałania aktywizacji zagrożenia (gdy IPL działa zgodnie z przeznaczeniem) w przypadku nie zadziałania pozostałych IPL,
- kryterium niezależności: rozumiane jako brak podatności na wpływ pozostałych IPL,
- kryterium weryfikowalności: rozumianej jako projektowo przewidziana podatność na kontrolę/ocenę stopnia spełnienia przez warstwę funkcji bezpieczeństwa.

Wynika stąd możliwość bezpośredniego zastosowania wyników metody Bow-Tie do tworzenia warstwowych modeli SB. Elementami systemów bezpieczeństwa są środki redukcji ryzyka nazywane w metodzie Bow-Tie: barierami zagrożeń, środkami redukcji skutków.

Wybrane z tych środków, wspólnie utworzą warstwę ochronną SB. Schemat koncepcji powiązania środków redukcji ryzyka wskazanych metodą Bow-Tie z warstwowymi modelami SB przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 Schemat ideowy koncepcji powiązania środków redukcji ryzyka wskazanych metodą Bow-Tie z warstwowymi modelami SB. Objasnienia skrótów w tekście.

Przyjęto, że grupowanie ŚRR w IPL będzie odbywało się zgodnie z typem środka (typem bariery). Do przykładowych typów ŚRR zgodnych z metodyką analizy Bow-Tie należą: konstrukcja, czynnik ludzki, procedura, proces.

2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU ANALIZ

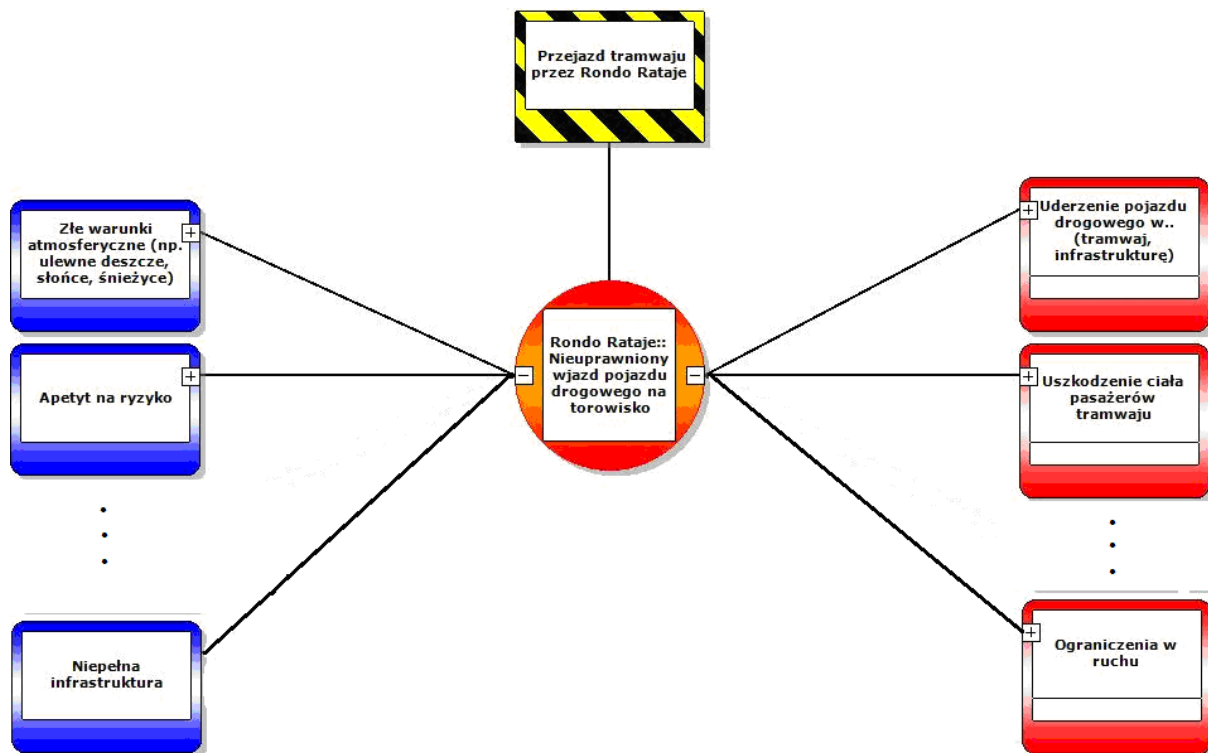
Obszarem analiz w niniejszej pracy jest Rondo Rataje w Poznaniu (rys.2). Rondo Rataje stanowi element I oraz II ramy komunikacyjnej Poznania – układu obwodnic centrum, śródmieścia oraz obszarów peryferyjnych miasta. Jest to skrzyżowanie ulic: Bolesława Krzywoustego, Jana Pawła II i Ludwika Zamenhofa. Obszar charakteryzuje się dużym natężeniem ruchu drogowego (droga krajowa 11 w kierunku Katowic oraz Piły – rys.2). W godzinach szczytu kolejka pojazdów drogowych oczekująca na wjazd na Rondo wynosi ponad 46 pojazdów na każdym z pasów [9]. Na analizowanym rondzie skrzyżowanie torowiska tramwajowego z jezdnią następuje w trzech kierunkach. W ciągu godziny przez Rondo Rataje przejeżdża nawet kilkadziesiąt tramwajów 7 linii, które w godzinach szczytu przewozić mogą nawet 5000 pasażerów/godzinę [9].



Rys. 2 Schemat ideowy wyboru odcinka sieci tramwajowej

3. REALIZACJA PROCEDURY IDENTYFIKACJI WARSTW SYSTEMU BEZPIECZEŃSTWA

W celu identyfikacji IPL przeanalizowano zgodnie z procedurami analizy ryzyka w metodzie Bow-Tie, zdarzenie inicjujące polegające na: nieuprawnionym wjeździe pojazdu drogowego na torowisko tramwajowe. Szczegółowy opis metody można znaleźć m.in. w pracach [4,5,6]. Zidentyfikowano siedem przyczyn zdarzenia inicjującego oraz osiem konsekwencji związanych z rozwojem tego zdarzenia (rys. 3).



Rys. 3. Fragment schematu metody Bow-Tie dla wybranego obszaru analiz

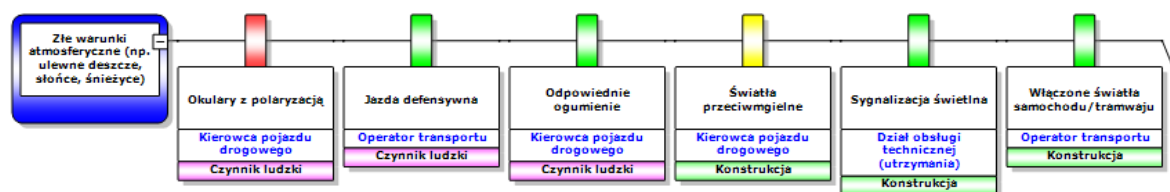
Realizując składowe algorytmu metody Bow-Tie opisanego w [4,5,6] wskazano ŚRR dla przyczyn (źródeł) nieuprawnionego wjazdu pojazdu drogowego na torowisko (tabela 1) oraz konsekwencji rozwoju takiego zdarzenia (tabela 2).

Tab. 1. Środki redukcji ryzyka działające na prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego

LP.	PRZYCZYNY	ŚRODKI REDUKCJI RYZYKA
1.	Złe warunki atmosferyczne (mgły, śnieżyce, ulewne deszcze)	Sygnalizacja świetlna Światła przeciwmgielne Odpowiednie ogumienie Jazda defensywna Włączone światła samochodu/tramwaju Okulary przeciwsłoneczne
2.	Apetyt na ryzyko (pośpiech)	Badania psychologiczne kierowców Kampanie na rzecz bezpieczeństwa Szkolenia Przepisy kodeksu drogowego
3.	Utrata zdolności pojazdu do sterowania	Kontrolki stanu pojazdu Przeglądy okresowe
4.	Niedostosowanie prędkości do warunków drogowych	ABS Jazda defensywna Sygnalizacja świetlna Kontrole drogowe
5.	Utrata zdolności do kierowania pojazdem drogowym	Zakaz używanie telefonów komórkowych Zapewnienie odpowiedniego stanu psychofizycznego Lekarskie badania okresowe Regularne przerwy w podróży Urządzenie blokady zapłonu, gdy wydychany jest alkohol
6.	Nieodpowiednie zachowanie pasażerów tramwaju	Monitoring Oddzielenie kabiny motorniczego
7.	Niepełna infrastruktura	Kontrole stanu infrastruktury Monitoring Inwestycje

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 4 przedstawiono zidentyfikowane środki redukcji ryzyka dla jednej, przykładowej przyczyny zajścia zdarzenia inicjującego a zdefiniowanej, jako „złe warunki atmosferyczne”. Do prezentacji tych ŚRR wykorzystano możliwości programu BowTieXp.



Rys. 4. Wybrana ścieżka metody Bow-Tie prowadząca do zdarzenia inicjującego

Środkami redukcji ryzyka mogą być zarówno urządzenia, maszyny, zachowania ludzkie jak i procedury obowiązujące dla danego obszaru czy dla danego postępowania. Dla zidentyfikowanych ŚRR przypisano odpowiednio [4]:

- typ środka (bariery): konstrukcja, czynnik ludzki, procedura, proces,
- podmioty odpowiedzialne za funkcjonowanie środków: dział kadr, dział projektu i rozwoju, dział kontroli jakości, dział obsługi technicznej i utrzymania, dział organizacji i planowania, operatorzy transportu oraz osoby trzecie,

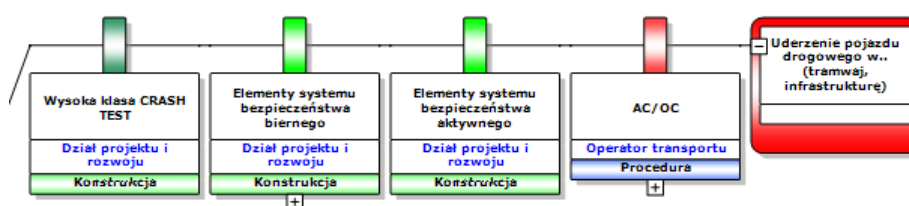
- stopień skuteczności działania środków (na schemacie przedstawiono odpowiednio za pomocą kolorów): bardzo słaby – czerwony, słaby – pomarańczowy, nieznan – żółty, dobry – jasny zielony, bardzo dobry – zielony, nie dotyczy – szary.

Tab. 2. Środki redukcji ryzyka działające na wielkość strat zdarzenia niepożądanego

LP.	KONSEKWENCJE	ŚRODKI REDUKCJI RYZYKA
1.	Uderzenie pojazdu drogowego w ... (tramwaj, infrastrukturę)	Wysoka klasa CRASH TEST Elementy systemu bezpieczeństwa biernego Elementy systemu bezpieczeństwa czynnego OC/AC
2.	Uszkodzenie ciała pasażerów	Działania służ ratowniczych Wyposażenie – apteczka Kompetencje osób trzecich Cechy konstrukcyjne pojazdu drogowego Poduszki powietrzne Zapięte pasy bezpieczeństwa Ustawienie zagłówka na odpowiedniej wysokości Strefy zgniotu
3.	Uderzenie tramwaju w ... (tramwaj, infrastrukturę)	Absorbery energii – zderzaki Ubezpieczenie
4.	Zniszczenie przejazdu tramwajowego	Przepisy dotyczące budowy i projektowania przejazdów Działania zapobiegające i oczyszczające
5.	Zniszczenie środowiska naturalnego	Działania zapobiegające i oczyszczające Działania służ ratowniczych
6.	Utrata mienia ruchomego przez uczestników zdarzenia	Kopie zapasowe Odpowiednie ułożenie bagażu
7.	Utrata pracy przez uczestników	Ubezpieczenie od utraty pracy
8.	Ograniczenia w ruchu	Objazdy Zastępcze środki transportu Działania służ ratowniczych

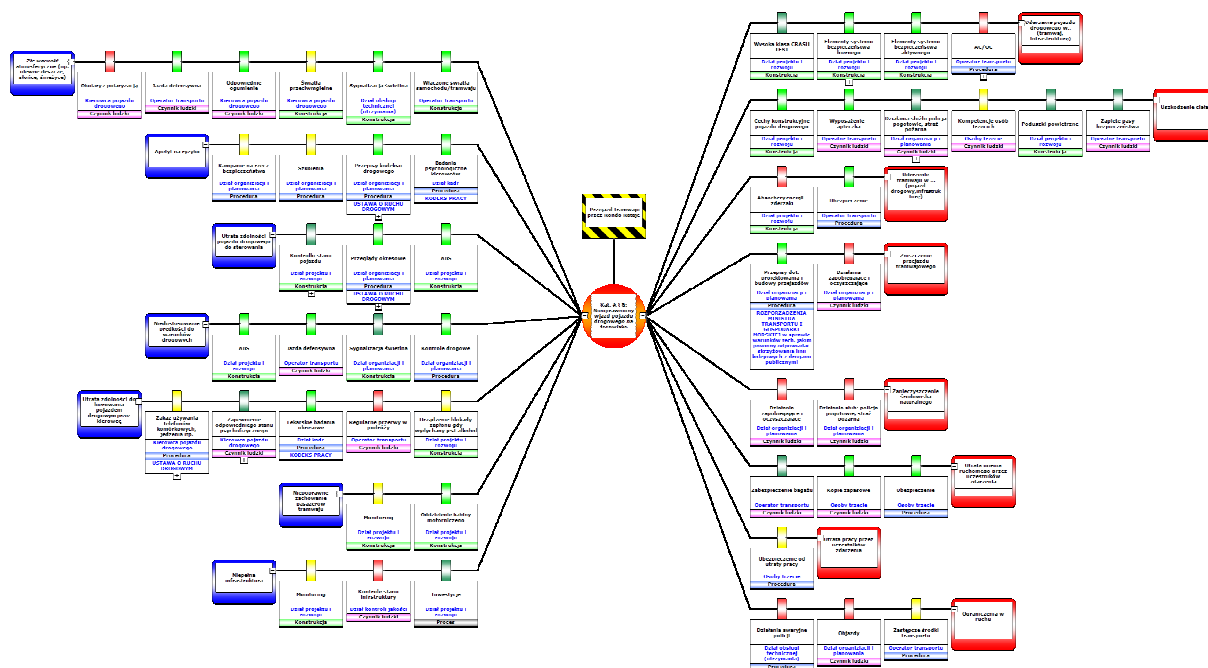
Źródło: Opracowanie własne

Za pomocą programu BowTieXp wskazano środki redukcji ryzyka stosowane w celu zmniejszenia strat w wyniku wybranej konsekwencji scenariuszy rozwoju zdarzenia inicjującego, rozważonego w tej pracy (rys. 5).

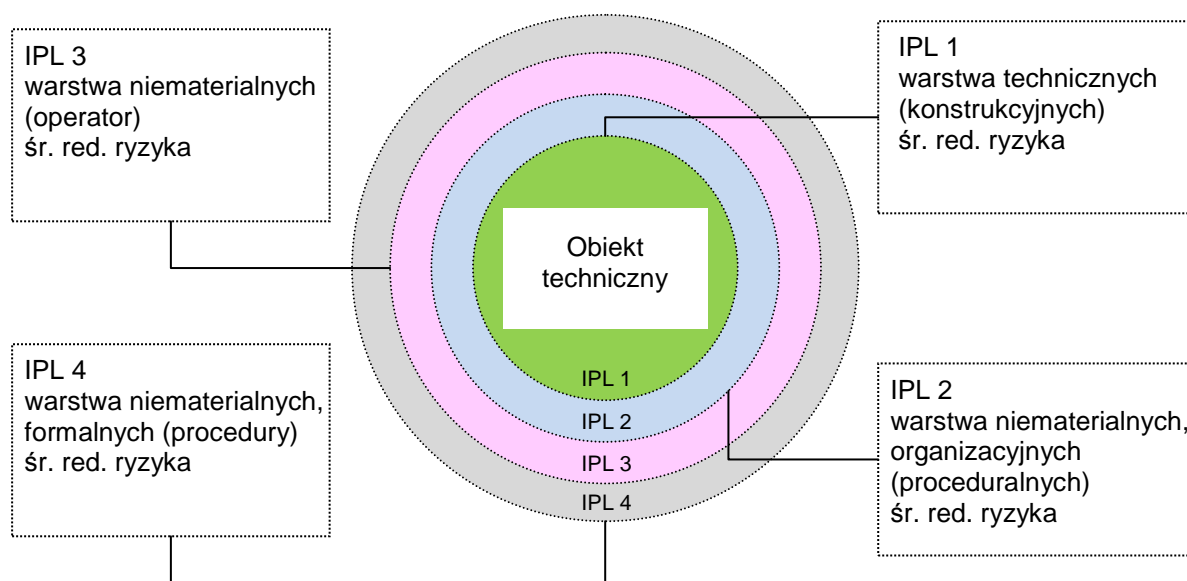


Rys. 5. Wybrana ścieżka metody Bow-Tie prowadząca do zdarzenia inicjującego

Dla zdarzenia inicjującego, jakim jest nieuprawniony wjazd pojazdu drogowego na torowisko zdefiniowano z wykorzystaniem programu BowTieXp wszystkie możliwe przyczyny oraz konsekwencje. Dla tych przyczyn i konsekwencji określono środki redukcji ryzyka. Określono skuteczność działania środków redukcji ryzyka, rodzaj tych środków oraz podmioty odpowiedzialne za ich działanie. Efektem pracy jest diagram zaprezentowany na rysunku 6 oraz warstwowy model systemu bezpieczeństwa, którego schemat przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 6. Schemat Bow-Tie dla nieuprawnionego wjazdu pojazdu drogowego na torowisko



Rys. 7. Schemat warstwowego modelu systemu bezpieczeństwa w komunikacji tramwajowej dla obszaru analiz – Rondo Rataje w Poznaniu

PODSUMOWANIE

W artykule dokonano aplikacji metody analizy ryzyka Bow-Tie do tworzenia warstwowych modeli systemów bezpieczeństwa. Za pomocą metody Bow-Tie zidentyfikowano zagrożenia dla zdarzenia inicjującego polegającego na nieuprawnionym wjeździe pojazdu drogowego na przejazd tramwajowy. Wskazano konsekwencje aktywacji tych zagrożeń. Na podstawie zidentyfikowanych zagrożeń wskazano funkcje bezpieczeństwa, zidentyfikowano środki redukcji ryzyka wpływające na prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia inicjującego oraz środki redukcji zmniejszające skutki, gdy do zdarzenia dojdzie. Następnie środki redukcji ryzyka pogrupowano w niezależne warstwy ochronne.

Przedstawiono realizację procedury identyfikacji warstw dla obszaru analiz jakim są przejazdy tramwajowe na Rondzie Rataje w Poznaniu.

BIBLIOGRAFIA

1. Dane Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego MPK Poznań – niepublikowane
2. Gill A., *Koncepcja metody projektowania i analizy systemów bezpieczeństwa dla pojazdów szynowych*, Technika Transportu Szynowego, nr 9/2012 s. 737÷747, wersja elektroniczna.
3. Gill A., Kadziński A., Warstwowe modele systemów bezpieczeństwa jako narzędzia procedur postępowania wobec ryzyka zagrożeń w komunikacji tramwajowej, czasopismo Logistyka, nr 6/2011, wersja CD
4. Kobaszyńska-Twardowska A., Scenariusze zdarzeń niepożądanych na przejazdach kolejowych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Transport z. XX 2013
5. Rudnicki R., Materiały szkoleniowe; Warsztaty: Metody analizy ryzyka BowTie, niepublikowane
6. Rudnicki R., Zarządzanie ryzykiem, <http://ryzyko.blox.pl/2012/05/BowTieXP-nowa-odslona.html>
7. Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K., Transport – aktualne problemy integracji z UE PWN Warszawa 2005
8. Wietewska G. Ryzyko w działalności przedsiębiorstw przemysłowych http://www.paragraf34.pl/public/file/Ryzyko_w_dzialalnosci_przedsiębiorstw_przemysłowych_Wieteska_Grazyna.pdf 5
9. Strona internetowa: Wypadki drogowe w Polsce 2011 dlakierowcow.policja.download/15/90806/Segregator1.pdf
10. Strona internetowa: www.osiedlerataje.pl/file/ankieta_przebudowa_Ronda_Rataje.pdf

THE BOW-TIE APPLICATION FOR IDENTIFICATION PROTECTIVE LAYERS IN SAFETY SYSTEMS

Abstract

Paper presented the Bow-tie procedures of risk analysis application to layered model of system safety. The idea was to identify the protective layers which were form the system model. The protective layers are the result of chosen modeling procedures in particular grouping the risk reduction measures based on specific criteria. It was assumed that this group will be carried out according to the type of risk reduction measures identified in the Bow-Tie analysis. The paper presents the implementation of these procedures to identify the layers in the exemplary area of tram transportation.

Autorzy:

mgr inż. **Anna Kobaszyńska-Twardowska** – Politechnika Poznańska
dr inż. **Adrian Gill** – Politechnika Poznańska