

Mapy ryzyka funkcjonowania rozległych systemów technicznych

*Stanisław Biedugnis, Mariusz Smolarkiewicz,
Paweł Podwójci, Andrzej Czapczuk
Politechnika Warszawska*

1. Wstęp

W dzisiejszym świecie mamy do czynienia z coraz większą liczbą katastrof technicznych. Niestety wzrasta nie tylko ich liczba, ale także ich rozmiar. Jedną z przyczyn powstawania coraz większej ilości awarii jest postępujący rozwój cywilizacyjny, zwiększająca się gęstość zaludnienia, urbanizacja, rozwój przemysłu, emisja niebezpiecznych związków do atmosfery, transport materiałów niebezpiecznych (TŚP) i jeszcze wiele innych zjawisk związanych z rozwojem życia człowieka. Fakty te spowodowały międzynarodową dyskusję na temat sposobów ochrony przed różnego rodzaju zagrożeniami technicznymi. Stale zwiększająca się liczba awarii, a co za tym idzie, także stale wzrastająca liczba ofiar wskazują na kierunek, w jakim powinna rozwijać się ochrona przed zagrożeniami technicznymi.

Mapy ryzyka stanowią jedną z najskuteczniejszych metod wdrożenia czterofazowego modelu zarządzania kryzysowego. Mapy ryzyka technicznego pozwalają na globalną i pełną ocenę dowolnego systemu technicznego.

2. Definicja ryzyka

Pierwsza definicja, która ma charakter czysto inżynierski i jest stosowana przez wielu autorów (Hakan Frantrich, 1998; Jönsson, J. Lundin, 1998) mówi, że ryzyko to prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia wraz z jego skutkami.

Ryzyko = prawdopodobieństwo · skutki

Ta forma ryzyka nosi nazwę ryzyka obliczeniowego. Wydawać by się mogło, że definicja ta jest w pełni wystarczająca do określenia wartości danego ryzyka. Jednak obliczenie prawdopodobieństwa występowania danego zdarzenia i jego skutków (fizycznych, technicznych) należy do umiejętności wąskiej grupy specjalistów. Samo modelowanie przebiegu różnych zjawisk fizycznych, np. rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w sieciach wodociągowych, przebiegu pożaru czy zawodności urządzeń zabezpieczających wymaga doświadczenia, specjalistycznej wiedzy i jest obarczone dużym błędem.

Niestety, definicja ta nie ma zastosowania w rzeczywistości. Chodzi o to, że poziom ryzyka obliczony przez ekspertów różni się od odczuć społeczności lokalnej związanych z tym ryzykiem. Zauważył to Peter M. Sandman, który definiuje ryzyko w następujący sposób:

Ryzyko = Ryzyko Obliczeniowe + Społeczne Wzburzenie

Według Sandmana cały proces zarządzania ryzykiem (w tym analiza ryzyka technicznego jako jeden z jego komponentów) nie może obejść się bez udziału tych, których ten proces dotyczy, czyli użytkowników danego systemu technicznego. Dla przykładu załóżmy, że na danym terenie ma powstać elektrownia wodna wraz z zbiornikiem szczytowo-pompowym. Eksperti wyliczyli, że ryzyko związane z awarią tej elektrowni jest praktycznie równe zeru. W związku z tym podjęcie decyzji o budowie tej elektrowni powinno iść w parze z poparciem społecznym dla tej inwestycji. Jednak społeczność lokalna inaczej postrzega ryzyko niż eksperci i kieruje się zupełnie innymi, niemierzalnymi kryteriami w jego ocenie. Społeczności lokalnej budowa tego typu obiektu kojarzy się z wielkim zagrożeniem i nieodwracalnymi skutkami jego awarii. Nawet najbardziej nowoczesne systemy zabezpieczające nie przekonają społeczności lokalnej, że tego rodzaju obiekt nie stwarza zagrożenia.

3. Analiza ryzyka technicznego

Analiza ryzyka technicznego jest działaniem polegającym na wykorzystaniu dostępnej informacji o zagrożeniach technicznych w celu oszacowania ryzyka dotyczącego danego układu urządzeń technicznych.

Należy pamiętać, że pełna analiza ryzyka jest podstawą fazy zapobiegania i odzwierciedla podwójną naturę procesu planowania bezpieczeństwa. Podwójna natura planowania polega nie tylko na tym, że trzeba zidentyfikować zagrożenia, które mogą mieć w przyszłości wpływ na poszczególne urządzenia techniczne, ale także na społeczność lokalną ogółem w celu oszacowania potencjalnych ofiar i strat powstałych w wyniku różnego rodzaju awarii technicznych. W związku z tym istnieje potrzeba zidentyfikowania potencjalnych za-

grożeń technicznych, na które narażeni są użytkownicy systemów technicznych, oraz oszacowania podatności na te zagrożenia poprzez określenie rodzaju i zasięgu skutków danego zdarzenia.

4. Identyfikacja zagrożeń technicznych

Zagrożeniem technicznym może być wszystko, co jest związane z techniką i ma negatywny wpływ na członków danej społeczności lokalnej lub na jego mienie. Jeżeli chodzi o szczebel lokalny, zagrożeniem technicznym jest wszystko, co może mieć negatywny wpływ na rozbudowaną infrastrukturę techniczną, zakłady przemysłowe i publiczne, pracowników tychże zakładów, członków danej społeczności lokalnej, funkcjonowanie systemu dostarczania usług, lub coś, co może spowodować dużą liczbę ofiar.

Podstawową koncepcją planowania jest przeprowadzenie kompletnej i gruntownej oceny zagrożeń technicznych na danym obszarze. Może to pozwolić na eliminację lub zmniejszenie skutków tych że zagrożeń.

Podział zagrożeń technicznych ze względu na ich źródło powstawania jest intuicyjny i składa się z: zagrożeń technicznych wewnętrznych i zagrożeń technicznych zewnętrznych.

4.1. Zagrożenia techniczne wewnętrzne

Pod pojęciem zagrożeń wewnętrznych rozumiemy wszystkie te zagrożenia techniczne, które występują w rozpatrywanym układzie technicznym i mają pośredni bądź bezpośredni wpływ na jego funkcjonowanie w ujęciu technicznym.

Do zagrożeń technicznych wewnętrznych możemy zaliczyć: wypadki drogowe lub lotnicze, wycieki substancji toksycznych czy przerwy w dostawie prądu lub wody na dużym obszarze.



Rys. 1. Zagrożenia techniczne wewnętrzne; *Źródło: Czapczuk, 2007*

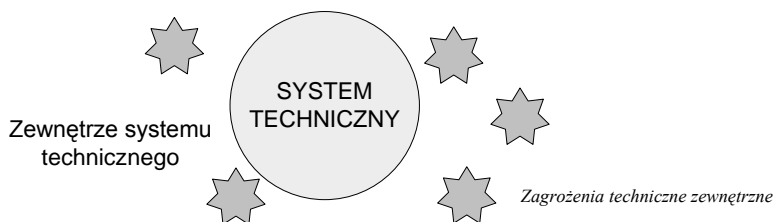
Fig. 1. Inner technical threats

4.2. Zagrożenia techniczne zewnętrzne

Pod pojęciem zagrożeń technicznych zewnętrznych rozumiemy wszystkie te zagrożenia techniczne, które występują poza rozpatrywanym układem technicznym, a mają pośredni bądź bezpośredni wpływ na jego funkcjonowanie w ujęciu technicznym.

Należy wziąć pod uwagę fakt, że zdarzenia następujące w „okolicznych” układach technicznych mogą w bardzo krótkim czasie wpłynąć negatywnie na rozpatrywany układ techniczny.

Przykładem może być awaria przesyłowej sieci energetycznej, której skutki odczuwane będą we wszystkich okolicznych zakładach przemysłowych i odbiją się na zachowaniu ciągłości produkcji. Warto w tym miejscu nadmienić, że większość dużych i strategicznych zakładów przemysłowych posiada dwa niezależne źródła zasilania.



Rys. 2. Zagrożenia techniczne zewnętrzne; Źródło: Czapczuk, 2007

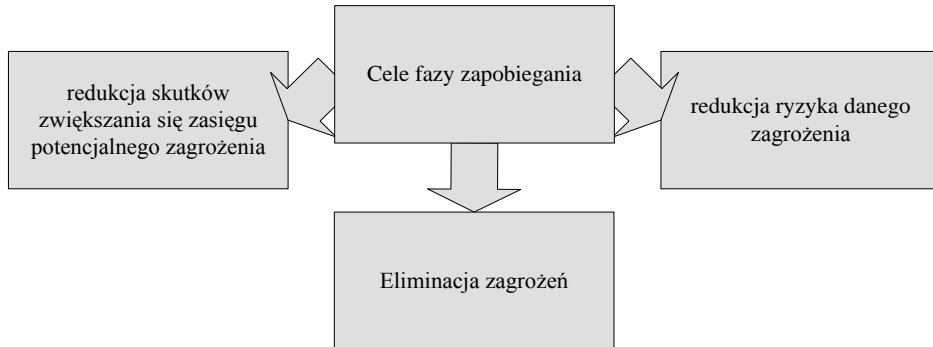
Fig. 2. Outer technical threats

5. Czterofazowy model zarządzania kryzysowego

Metody szacowania ryzyka wynikającego z rozwoju cywilizacyjnego wiążą się z identyfikacją, zagrożen oraz oceną i hierarchizowaniem ryzyka związanego z technicznymi wypadkami. Do takich wypadków możemy zaliczyć: duże pożary, wybuch i wycieki trujących substancji przynoszących szkodę środowisku lub klęski żywiołowe mogące przyczynić się do powstania wypadku technicznego, w wyniku np. obsunięcia ziemi, czy też powodzi. Metody te stanowią podstawowe narzędzie zarządzania ryzykiem technicznym.

Większość systemów ochrony stworzonych do tej pory skupiało się na skutecznym reagowaniu na zdarzenie. Poprzez szereg lat reagowania na awarie techniczne - służby ratownicze (Straż Pożarna, Policja, Służby Medyczne jak i wyspecjalizowane służby techniczne) stały się dobrze przygotowane do niesienia pomocy w czasie sytuacji zagrażającej życiu i mieniu ludzkiemu. Jednak umiejętność skutecznego reagowania nie zmniejsza liczby zdarzeń. Co więcej - ich liczba stale rośnie. W następstwie tych zjawisk rozwinął się w Polsce czte-

rofazowy model zarządzania kryzysowego obejmujący takie fazy jak: zapobieganie, przygotowanie, reagowanie i odbudowa. Wszystkie te fazy są bardzo ważne. Jednak największe wysiłki powinny być skierowane na fazę zapobiegania, ponieważ skuteczne zapobieganie jest w stanie zminimalizować częstotliwość występowania awarii, a więc także ilość ofiar i strat finansowych.



Rys. 3. Cele fazy zapobiegania; *Źródło: Czapczuk, 2007*

Fig. 3. Aims of prevention phase

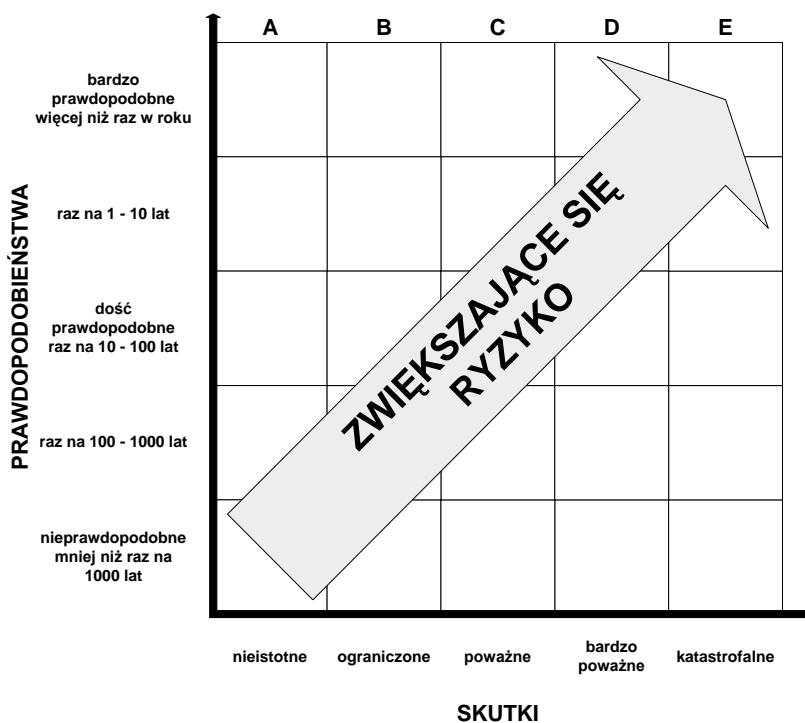
Według James A. Gordona faza zapobiegania ma na celu: eliminację zagrożeń, redukcję ryzyka danego zagrożenia, redukcję skutków zwiększania się zasięgu potencjalnego zagrożenia.

Aby zminimalizować skutki potencjalnego zagrożenia i przygotować się na nie, należy przeprowadzić szczegółową analizę ryzyka związanego z danym zagrożeniem technicznym. Taka analiza pozwala na wyeliminowanie lub przynajmniej ograniczenie tego typu zagrożeń. Skuteczna analiza ryzyka technicznego wymaga zastosowania szeregu ogólnych reguł dotyczących jej przeprowadzania. Podczas analizy tego typu ryzyka należy uwzględnić szereg charakterystycznych cech danego obszaru, na którym znajduje się analizowany obiekt techniczny. Związane to jest z tym, że zagrożenia techniczne występują we wszystkich rodzajach układów technicznych niezależnie od ich wielkości i przeznaczenia. Zdarzenia niekorzystne związane z zagrożeniami technicznymi najczęściej występują na poziomie poszczególnych modułów technicznych (awaria samochodu, awaria pompy, pęknięcie zbiornika, pęknięcie przewodu). Ich nakładanie się - efekt domina, może powodować rozszerzenie się awarii i przejście jej w stan awarii całego systemu (awaria wodociągu przesyłowego, zerwanie przesyłowej trakcji elektrycznej, awaria całej linii produkcyjnej).

Mapy ryzyka stanowią jedną z najskuteczniejszych metod wdrożenia fazy zapobiegania w czterofazowym modelu zarządzania kryzysowego. Mapy ryzyka technicznego pozwalają na globalną i pełną ocenę dowolnego systemu technicznego.

6. Miara ryzyka

Ryzyko to miara charakteryzująca bezpieczeństwo (poziom bezpieczeństwa) lub jego poczucie, wyrażona poprzez wartość prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnego zdarzenia w określonym czasie wraz z jego skutkami oddziałującymi negatywnie na zdrowie i życie ludzi, mienie lub środowisko. Powyższa definicja wskazuje na istnienie dwóch aspektów określenia ryzyka: prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia w określonym czasie oraz skutki tego zdarzenia. Analiza zagrożeń opiera się na badaniu wzajemnego powiązania prawdopodobieństwa i skutków wystąpienia zdarzenia. Obydwe wartości na raz bardzo rzadko można określić liczbowo, a tym samym z dużą precyzją, jednak w wielu przypadkach nawet zgrubne określenie tych liczb jest wystarczająco dokładne, aby stwarzały one podstawę do podejmowania odpowiednich decyzji i przyjmowania miar by, przeciwdziałać ryzyku. Zmniejszenie ryzyka polega więc na zmniejszeniu prawdopodobieństwa.



Rys. 4. Prawdopodobieństwo zdarzenia związanego z określonym zagrożeniem

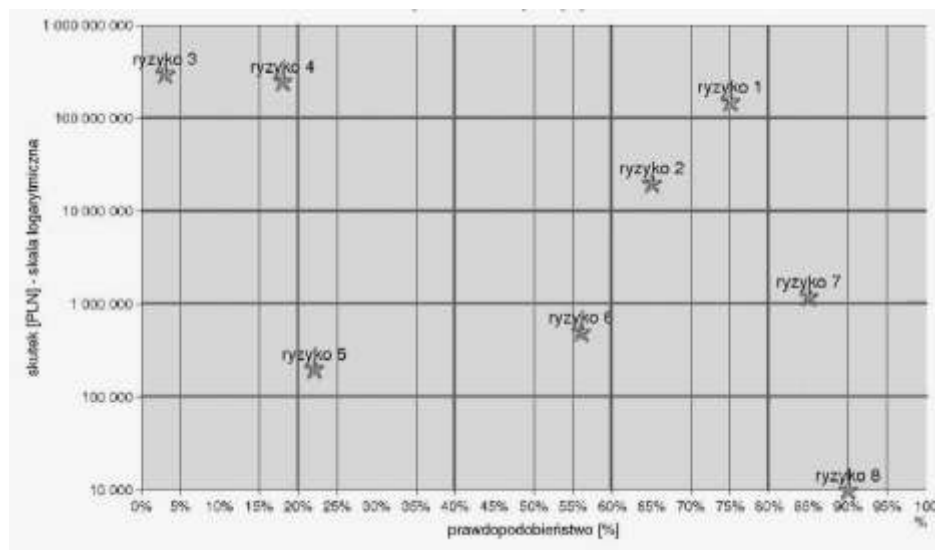
Źródło: www.rudnicki.com.pl

Fig. 4. Probability of event connected with specified threat

Analiza zagrożeń obejmuje klasyfikację zagrożeń indywidualnych uwzględniając prawdopodobieństwo, skutki oraz czas ostrzegania. Praca ta może być uproszczona jeżeli do jej wykonania wykorzystana zostanie macierz ryzyka (mapy ryzyka) przedstawiono na rysunku poniżej. Prawdopodobieństwo zdarzenia związanego z określonym zagrożeniem można podzielić na pięć klas w zależności od oszacowania częstotliwości jego wystąpienia.

7. Mapa ryzyka technicznego

Jedną z najbardziej szczegółowych metod analizy ryzyka technicznego jest metoda graficzna „Mapa Ryzyka Technicznego”. Stworzenie mapy ryzyka technicznego polega na naniesieniu poszczególnych ryzyk technicznych na wykres XY, gdzie współrzędnym X odpowiadają wartości prawdopodobieństwa, a współrzędne Y to wartości wyrażające skutek. Na poniższym rysunku przedstawiono przykładową mapę ryzyka.



Rys. 5. Przykładowa mapa ryzyka; Źródło: www.rudnicki.com.pl

Fig. 5. Example of a risk map

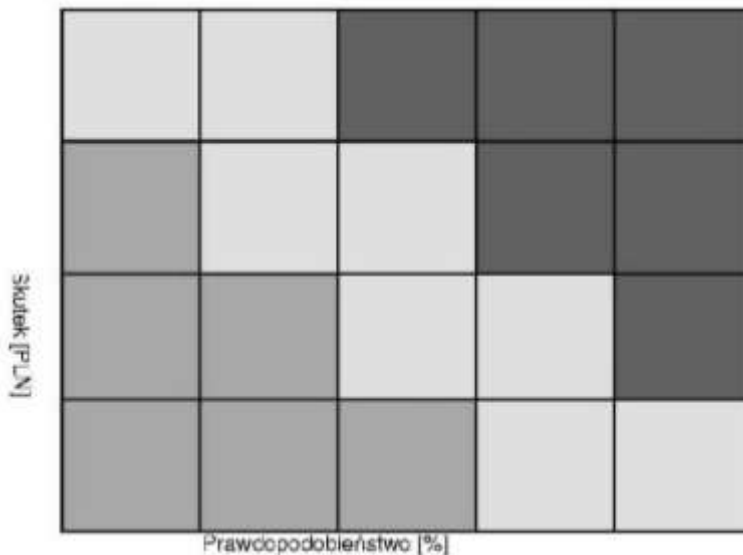
Mapa ryzyka technicznego ilustruje rozkład (profil) ryzyk technicznych dla analizowanego układu technicznego, wynikający z dokładnej analizy poszczególnych ryzyk technicznych powodowanych zagrożeniami technicznymi wewnętrznymi i zewnętrznymi występującymi w danym systemie.

Ryzyka przedstawione na powyższym wykresie są bardziej dotkliwe w sensie skutków, strat finansowych, a położone bliżej prawej strony, są bardziej prawdopodobne. Zważywszy te dwie prawidłowości, stosunkowo łatwo wskazać kluczowe ryzyka techniczne dla danego układu technicznego (będą to te blisko prawego górnego rogu: ryzyka stosunkowo mało prawdopodobne, ale niezwykle dotkliwe, a także ryzyka „nagminne” lecz stosunkowo drobne).

Analizę otrzymanych wyników można ułatwić poprzez nałożenie kolorów, tak zwanej „sygnalizacji świetlnej”, na nowo powstałą mapę ryzyka technicznego.

Nie należy ulegać złudzeniu, że jednorazowe stworzenie mapy ryzyka wystarczy do prowadzenia pełnej analizy zagrożeń technicznych dowolnego systemu technicznego. Mapa ryzyka jest obrazem dynamicznym (podobnie jak funkcjonujący układ techniczny), a naniesione na niej ryzyka techniczne przemieszczają się wraz z upływem czasu.

Zarządzanie ryzykiem technicznym polega na powtarzalnej analizie nowo powstających map ryzyka technicznego.



Rys. 6. Przykładowa matryca „sygnalizacji świetlnej”; *Źródło: www.rudnicki.com.pl*
Fig. 6. Example of “Light signalling” matrix

8. Podsumowanie

Określenie poziomu bezpieczeństwa funkcjonowania systemów technicznych wymaga dużej wiedzy i doświadczenia specjalistów z różnych dziedzin. Bezpieczeństwo systemów technicznych określane jest na podstawie cząstkowych analiz bezpieczeństwa poszczególnych podsystemów technicznych. Poprzez kolejne uogólnienia otrzymujemy globalny system bezpieczeństwa dla całego systemu technicznego.

Analiza ryzyka technicznego jest nieodłącznym elementem wspomagającym planowanie na poziomie rozbudowanych systemów technicznych. W celu jej przeprowadzenia nie wystarczą tylko dobre chęci, lecz wymagany jest pewien poziom wiedzy z zakresu zarządzania kryzysowego.

Bardzo ważny jest fakt, że zarówno analiza ryzyka technicznego, jak i planowanie nie może odbyć się bez strony, dla której jest ona tworzona, czyli użytkowników systemu technicznego. Sam proces analizy ryzyka nie jest sprawą prostą i wymaga zastosowania różnych metod i narzędzi, np. map ryzyka technicznego. Proces analizy ryzyka najczęściej realizowany jest metodą krytyczności, oddziaływania i skutków uszkodzeń. Zarządzanie bezpieczeństwem systemu najczęściej opiera się o ocenę najsłabszych i najbardziej podatnych jego punktów.

Literatura

1. **Aven T.:** *Reliability and Risk Analysis*. London and New York, Elsevier 1992.
2. **Denczew S.:** *Organizacyjne, techniczno – technologiczne oraz ekonomiczne możliwości usprawnienia zjawiska „uszkodzenie – usunięcie” w procesie eksploatacji układów wodociągowych*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 9/2003.
3. **Denczew S.:** *Wstępna analiza niezawodności zaopatrzenia w wodę m. st. Warszawy*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 7/99, Warszawa 1999.
4. **Denczew S.:** *Organizacja i zarządzanie infrastrukturą komunalną w ujęciu systemowym*. Wydawnictwo SGSP, Warszawa 2006.
5. **Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.:** *Bezpieczeństwo systemów*. Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1993.
6. **Opychał L.:** *Metoda analizy i oceny ryzyka awarii opracowana dla polskich budowli hydrotechnicznych*. Instytut MiGW, Warszawa 2005.
7. **Szopa T.:** *Podstawy modelowania bezpieczeństwa*. W materiałach z VI Symp. Bezpieczeństwa Systemów, Kiekrz 1996.
8. **Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.:** *Niezawodność człowieka w biotechnicznym systemie zaopatrzenia w wodę*. Materiały III Międzynarodowej (XV Krajowej) Konferencji Naukowo – Technicznej Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Poznań 1998, s. 9÷21.