

Adrian GILL¹
Adam KADZIŃSKI²

IDEA IDENTYFIKACJI WARSTW MODELI SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA OBIEKTÓW W TRANSPORCIE

Przedstawiono ideę identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w transporcie z wykorzystaniem opracowanej klasyfikacji środków redukcji ryzyka zagrożeń. Prezentowana idea zakłada, że jednym ze sposobów identyfikacji jest adaptacja wielowarstwowego modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w transporcie do znanych modeli tego typu. Podano przykłady takiej adaptacji. Omówiono także notację stosowaną w procesie identyfikacji do symbolicznego zapisu nazw warstw modelu.

THE IDEA OF IDENTIFICATION OF THE LAYERS IN SAFETY SYSTEM MODELS FOR OBJECTS IN TRANSPORT

The paper presented the idea of identification of the layers in safety system models for objects in transport using the classification of hazard risk reduction measures. The presented idea that one way to identify the model is an adaptation of a multi-layered safety system for the transport of objects in the known models of this type. The examples of such adaptation are given. Also discusses the notation used in the identification process to write the names of the symbolic model layers.

1. WPROWADZENIE

Analizy funkcjonowania systemów bezpieczeństwa prowadzi się zwykle w oparciu o wielowarstwowe modele tych systemów [1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 13]. Istotą takich modeli jest podział elementów systemów bezpieczeństwa na niezależne grupy zwane warstwami ochronnymi [2]. Przyjmując, że postać modelu zależy od przyjętej klasyfikacji środków redukcji ryzyka zagrożeń, można dokonać identyfikacji warstw tego modelu. Identyfikacja polega na określeniu (nazwaniu i oznaczeniu) warstw modelu według przyjętej klasyfikacji oraz na zakwalifikowaniu środków redukcji ryzyka zagrożeń stosowanych w systemie bezpieczeństwa do odpowiednich warstw jego modelu [2]. Prezentowana w niniejszej pracy idea identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów zakłada trzy,

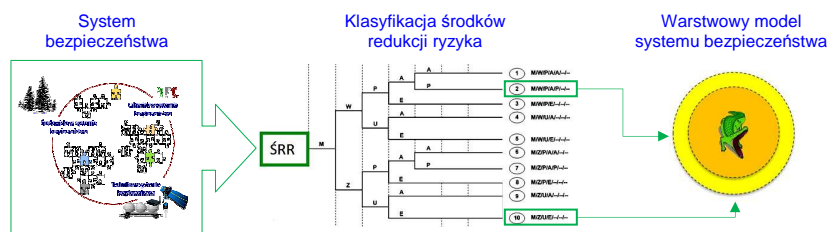
¹ Poznan University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, 60-956 Poznan, ul. Piotrowo 3, tel: (61) 665 2017, e-mail: adrian.gill@put.poznan.pl

² Poznan University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, 60-956 Poznan, ul. Piotrowo 3, tel: (61) 665 2017, e-mail: adam.kadzinski@put.poznan.pl

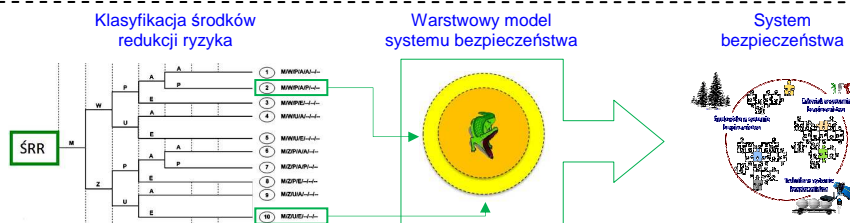
następujące sposoby realizacji procesu identyfikacji (schematycznie przedstawiono je na rys. 1):

1. Określenie (nazwanie, oznaczenie) warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie istniejącego systemu bezpieczeństwa.
2. Przyjęcie warstwowego modelu systemu bezpieczeństwa zgodnie z klasyfikacją środków redukcji ryzyka.
3. Identyfikacja warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie znanych wielowarstwowych modeli systemów bezpieczeństwa.

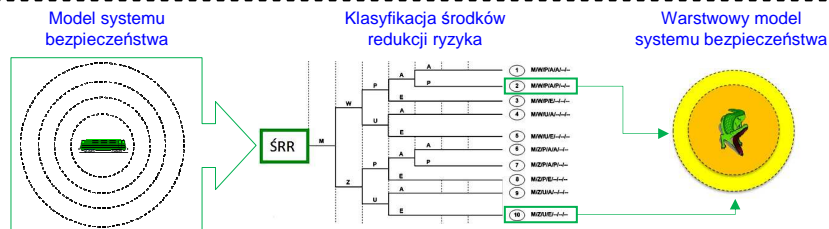
Koncepcja 1



Koncepcja 2



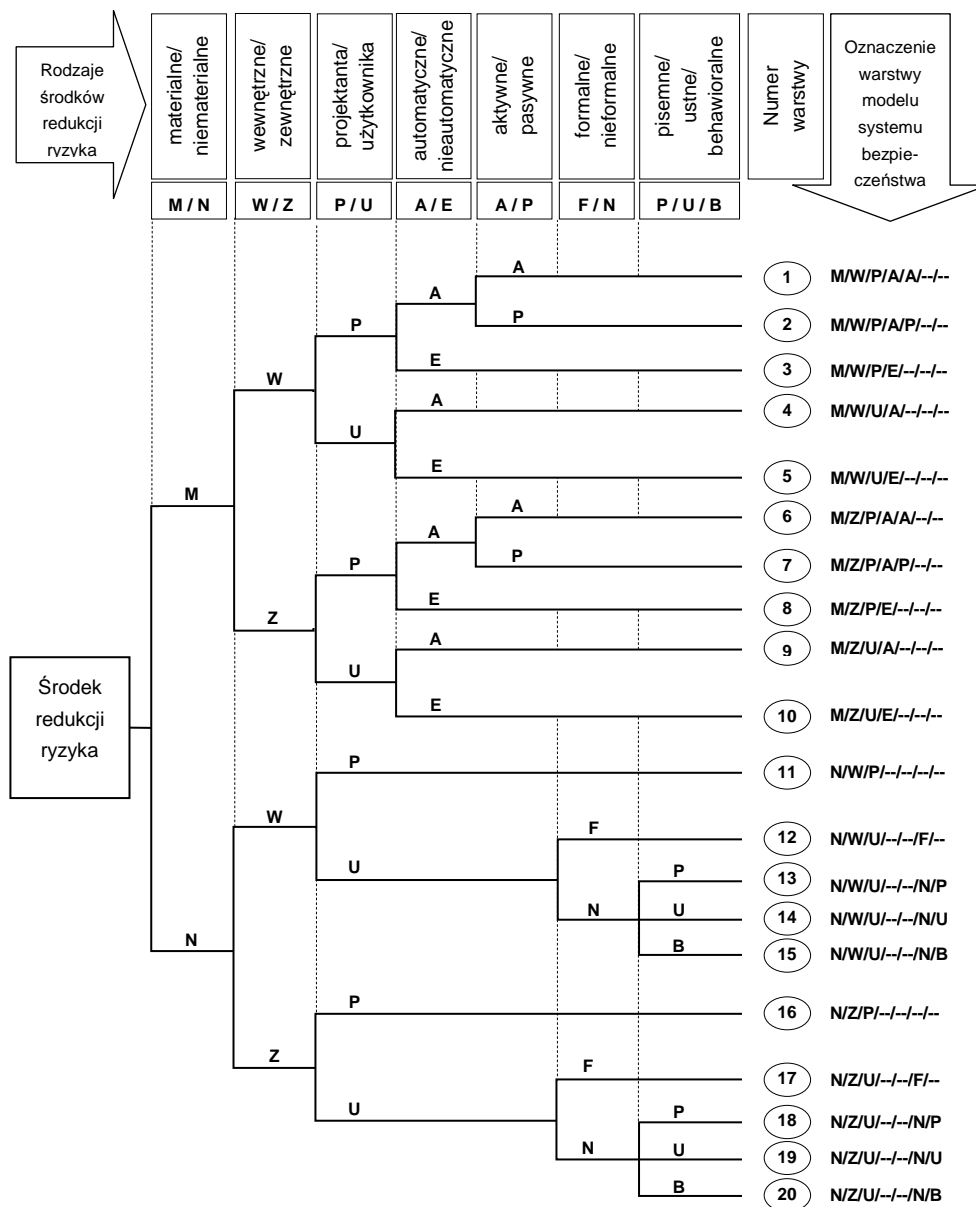
Koncepcja 3



Rys. 1. Koncepcje identyfikacji warstw modeli systemów bezpieczeństwa z zastosowaniem klasyfikacji środków redukcji ryzyka zagrożeń

Do symbolicznego oznaczenia warstw modelu przygotowano odpowiednią notację. Jej opis przedstawiono w rozdziale 2.

Na etapie kwalifikowania środków redukcji ryzyka zagrożeń do odpowiednich warstw modelu systemu bezpieczeństwa pomocne jest korzystanie z pełnych nazw tych warstw. Nazwy takie powstają na podstawie oznaczeń sformułowanych zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat ideowy identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów systemów transportowych według przyjętej klasyfikacji rodzajów środków redukcji ryzyka zagrożeń

Za pomocą przedstawionego (rys. 2) schematu ideowego identyfikacji można opisać modele systemów bezpieczeństwa obiektów innych niż transportowe. Przykłady takiej

adaptacji opracowano dla znanych wielowarstwowych modeli systemów bezpieczeństwa i przedstawiono w rozdziale 3.

2. NOTACJA WARSTW MODELU SYSTEMU BEZPIECZEŃSTWA

W przyjętej notacji warstwa systemu bezpieczeństwa jest opisana za pomocą odpowiedniej liczby symboli przedzielonych znakiem kreski ukośnej (ukośnika, *slash*). Każdy z symboli oznacza pewną cechę warstwy systemu bezpieczeństwa wynikającą z przyjętej klasyfikacji środków redukcji ryzyka zagrożeń. W przypadku proponowanej klasyfikacji siedmiostopniowej wyróżnia się piętnaście następujących symboli:

- M** – *materialne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki o charakterze technicznym, których zadaniem jest eliminacja źródeł zagrożeń lub ograniczenie narażenia pochodzącego od tych źródeł poprzez blokowanie przepływu/strumienia energii, materiałów lub informacji.
- N** – *niematerialne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki o charakterze organizacyjnym, których zadaniem jest eliminacja źródeł zagrożeń lub ograniczenie narażenia pochodzącego od tych źródeł a także ograniczenie skutków zdarzeń niepożądanych poprzez odpowiednio ustalone procedury postępowania.
- W** – *wewnętrzne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki materialne umieszczone wewnątrz obiektu technicznego (zwykle zintegrowane z obiektem) lub środki niematerialne dotyczące i odnoszące się wyłącznie do analizowanego obiektu.
- Z** – *zewnętrzne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki materialne umieszczone na zewnątrz obiektu technicznego lub środki niematerialne przewidziane dla szerszej grupy obiektów nie będących obiektami analizy.
- P** – *środki redukcji ryzyka wprowadzone przez projektanta*. Środki materialne umieszczone wewnątrz obiektu technicznego (zwykle zintegrowane z obiektem) lub procedury postępowania (instrukcje) przewidziane i wprowadzone przez projektanta obiektu.
- U** – *środki redukcji ryzyka zagrożeń wprowadzone przez użytkownika*. Środki materialne umieszczone wewnątrz obiektu technicznego (lub zintegrowane z obiektem), środki stosowane przez użytkownika (środki ochrony indywidualnej).
- A** – *automatyczne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki materialne umieszczone wewnątrz lub na zewnątrz obiektu technicznego, które włączają się automatycznie. Do ich właściwego funkcjonowania zwykle nie jest konieczna interakcja z człowiekiem.
- E** – *nieautomatyczne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki materialne umieszczone wewnątrz lub na zewnątrz obiektu technicznego, które nie włączają się automatycznie.
- A** – *aktywne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki materialne, których istnienie w systemie i prawidłowe działanie jest niezbędne do realizacji przez system bezpieczeństwa wyznaczonych zadań (elementy podstawowe).
- P** – *pasywne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki materialne (elementy obiektów) zdolne do przejmowania funkcji działania innego elementu obiektu (elementy rezerwowe).

- F** – *formalne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki organizacyjne (wzorce i kryteria, działania operatorów) zgodne z obowiązującymi przepisami oraz normami bezpieczeństwa.
- N** – *nieformalne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki organizacyjne w postaci wymagań narzucanych sobie – przez kierownictwo lub uczestników zespołów roboczych lub wymagania „ostrzejsze” niż to wynika z przepisów i norm, jak i wymagania niższe od wymaganych.
- P** – *komunikaty pisemne*. Komunikaty formalne lub nieformalne przekazywane w sposób pisemny przez kierownictwo lub uczestników zespołów roboczych.
- U** – *komunikaty ustne*. Komunikaty formalne lub nieformalne przekazywane w sposób ustny przez kierownictwo lub uczestników zespołów roboczych.
- B** – *behawioralne środki redukcji ryzyka zagrożeń*. Środki organizacyjne określające szczegółowe metody pracy (tzw. wzorce wykonania) oraz wyznaczające zachowania nie związane bezpośrednio z wykonywanymi zadaniami (tzw. wzorce postępowania).

3. PRZYKŁADY IDENTYFIKACJI WARSTW NA PODSTAWIE ZNANYCH MODELI SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA

3.1. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie modelu automatyki zabezpieczeniowej w przemyśle procesowym

Model systemu bezpieczeństwa w przemyśle procesowym przedstawił W. Głodek w pracy [3]. Na podstawie tego modelu dokonano identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa (tab. 1) adaptując jego nazwy z wykorzystaniem opracowanej klasyfikacji środków redukcji ryzyka.

Tabela 1. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w przemyśle procesowym

Opis warstwy modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w przemyśle procesowym ¹	Nr warstw wg rys. 2	Oznaczenie warstwy modelu systemu bezpieczeństwa ²
Automatyka procesowa	1	M/W/P/A/A/--/--
Alarmy + operator	3	M/W/P/E/--/--/--
Układy zabezpieczające	7	M/Z/P/A/P/--/--
Urządzenia zabezpieczające	4	M/Z/U/A/--/--/--
Oslony fizyczne	2	M/W/P/A/P/--/--
Zakładowe plany operacyjno-ratownicze	12	N/W/U/--/--/F/--
Zewnętrzne plany operacyjno-ratownicze	17	N/Z/U/--/--/F/--

¹ – nazwy warstw modelu systemu bezpieczeństwa przedstawionego w pracy [3]

² – oznaczenia zgodnie z klasyfikacją środków redukcji ryzyka zagrożeń przyjętej w niniejszej pracy

3.2. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie ogniw łańcucha zabezpieczeń zgodnego z filozofią głębokiej obrony

Model systemu bezpieczeństwa obiektów w transporcie można przedstawić zgodnie z tzw. *ogniwami łańcucha zabezpieczeń* (nazwa stosowana m.in. przez A. Szymanka, prace [11, 12]) projektowanymi zgodnie z zasadą (lub też filozofią) głębokiej obrony. Zasada ta nakazuje tworzenie łańcuchów zabezpieczeń fizycznych, technicznych, proceduralnych i organizacyjnych, które zaprojektowane dla systemu M-T-E mają poprawić poziom bezpieczeństwa. Kolejne warstwy modelu systemu bezpieczeństwa przyjęte analogicznie do ogniw łańcucha zabezpieczeń i zgodnie z zasadą głębokiej obrony miałyby następującą postać [12]:

1. „Wyposażenie procesu”, czyli bezpieczne technologie, bezpieczne procedury – ich rolą jest prowadzenie procesu w sytuacji normalnej,
2. Systemy bezpieczeństwa – ich rolą jest realizowanie akcji ochronnej w przypadku pojawienia się zakłóceń procesu,
3. Bariery bezpieczeństwa – ich rola polega na powstrzymaniu (spowolnieniu) rozwoju sekwencji (scenariuszy) wypadku,
4. Strefy bezpieczeństwa – mają na celu ograniczenie skutków wypadku.

Na podstawie tak zdefiniowanych ogniw łańcucha zabezpieczeń dokonano identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w transporcie a wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie ogniw łańcucha zabezpieczeń (filozofii głębokiej obrony)

Opis warstwy modelu systemu bezpieczeństwa obiektów ¹	Nr warstw wg rys. 2	Oznaczenie warstwy modelu systemu bezpieczeństwa ²
„Wyposażenie procesu”	1 2	M/W/P/A/A/--/-- M/W/P/A/P/--/--
Systemy bezpieczeństwa	6	M/Z/P/A/A/--/--
Bariery bezpieczeństwa	7	M/Z/P/A/P/--/--
Strefy bezpieczeństwa	7	M/Z/P/A/P/--/--

¹ – nazwy warstw modelu systemu bezpieczeństwa przedstawionego w pracach [11, 12]

3.3. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie klasyfikacji barier bezpieczeństwa

E. Hollnagel przedstawił (praca [5]) rodzaje *barier bezpieczeństwa*. Bariery takie można traktować jako kolejne warstwy modeli systemów bezpieczeństwa. Na potrzeby identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów wykorzystano zarówno nazwy rodzajów barier bezpieczeństwa jak i określenia funkcji bezpieczeństwa, które pełnią te bariery. Wyniki identyfikacji przedstawiono w tabeli 3.

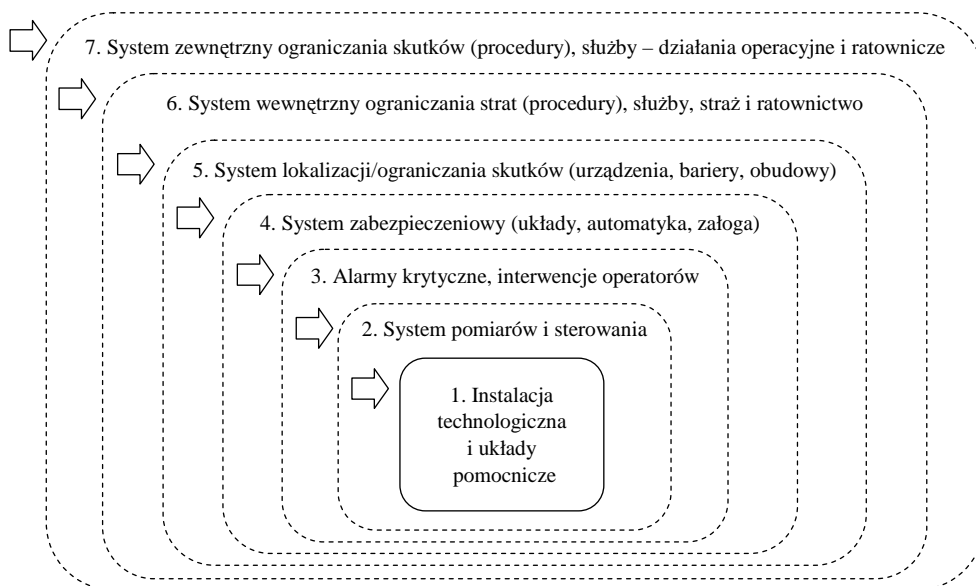
Tabela 3. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie klasyfikacji barier bezpieczeństwa i ich funkcji bezpieczeństwa

Opis warstwy modelu systemu bezpieczeństwa obiektów		Nr warstw wg rys. 2	Oznaczenie warstwy modelu systemu bezpieczeństwa ²
Rodzaj bariery ¹	Funkcje bariery ¹		
Materialne, fizyczne	Hamujące	7	M/Z/P/A/P/--/--
	Ograniczające	7	M/Z/P/A/P/--/--
		2	M/W/P/A/P/--/--
	Utrzymujące, spajające	1	M/W/P/A/A/--/--
	Oddzielające, blokujące	2	M/W/P/A/P/--/--
Funkcjonalne	Zapobiegania ruchowi lub działaniu mechanicznemu	3	M/W/P/E/--/--/--
	Zapobiegania przepływowi informacji lub działaniu logicznemu	11	N/W/P/--/--/--/--
	Utrudniające działania	2	M/W/P/A/P/--/--
	Zraszające, łagodzące	1	M/W/P/A/A/--/--
	Rozpraszające, pochłaniające	2	M/W/P/A/P/--/--
Symboliczne	Przeciwdziałające	5	M/W/U/E/--/--/--
	Regulujące	11	N/W/P/--/--/--/--
	Wpływające	2	M/W/P/A/P/--/--
	Zezwalające	12	N/W/U/--/--/F/--
	Komunikujące	13	N/W/U/--/--/N/P
14		N/W/U/--/--/N/U	
Niematerialne	Monitorowanie	6	M/Z/P/A/A/--/--
	Zalecające	16	N/Z/U/--/--/F/--

¹ – nazwy rodzajów barier bezpieczeństwa i ich funkcji opracowane na podstawie pracy [5]

3.4. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie warstw ochronnych systemu technologicznego wysokiego ryzyka

K.T. Kosmowski wyszczególnił (m.in. praca [7]) siedem warstw ochronnych przykładowego systemu technologicznego wysokiego ryzyka – rysunek 3. Posłużyły one do identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa zgodnie z prezentową w niniejszej pracy ideą.



Rys. 3. Schemat warstwowego modelu systemu bezpieczeństwa przykładowego systemu technologicznego wysokiego ryzyka [7]

Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie warstw ochronnych systemu technologicznego wysokiego ryzyka przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Przykład identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie warstw ochronnych systemu technologicznego wysokiego ryzyka

Opis warstwy modelu systemu bezpieczeństwa ¹	Nr warstw wg rys. 2	Oznaczenie warstwy modelu systemu bezpieczeństwa ²
Instalacja technologiczna i układy pomocnicze	1	M/W/P/A/A/--/--
System pomiarów i sterowania	2	M/W/P/A/P/--/--
Alarmy krytyczne, interwencje operatorów	3	M/W/P/E/--/--/--
System zabezpieczeniowy (układy, automatyka, załoga)	2	M/W/P/A/P/--/--
System lokalizacji/ograniczania skutków (urządzenia, bariery, obudowy)	7	M/Z/P/A/P/--/--
System wewnętrzny ograniczania strat (procedury), służby, straż i ratownictwo	11	N/W/P/--/--/--/--
System zewnętrzny ograniczania skutków (procedury), służby – działania operacyjne i ratownicze	16	N/Z/P/--/--/--/--

¹ – nazwy warstw modelu systemu bezpieczeństwa przedstawione w pracy [7]

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono ideę identyfikacji warstw ochronnych w wielowarstwowych modelach systemów bezpieczeństwa. Realizacja procesu identyfikacji może być – według prezentowanej idei – prowadzona trzema sposobami. Zaprezentowano sposób polegający na określaniu warstw modelu systemu bezpieczeństwa na podstawie znanych wielowarstwowych modeli tych systemów. Zauważono, że w znanych (istniejących) modelach systemów bezpieczeństwa warstwy ochronne są zwykle zdefiniowane w ogólny sposób i trudno jest wskazać wyraźne kryteria podziału tych warstw. Ponadto, stosowane w modelach nazwy, nie są jednolite nawet w przypadku podobnych systemów bezpieczeństwa. Stało się to podstawą opracowania przedstawionej w niniejszej pracy idei identyfikacji warstw ochronnych w wielowarstwowych modelach systemów bezpieczeństwa. Podstawą procesu identyfikacji jest opracowana klasyfikacja środków redukcji ryzyka zagrożeń oraz przedstawiona schematycznie procedura określenia (nazwania i oznaczenia) warstw modelu i kwalifikowania środków redukcji ryzyka zagrożeń do odpowiednich jego warstw. Ma to na celu usystematyzowanie procedur analizy funkcjonowania systemów bezpieczeństwa szczególnie na etapie tworzenia modeli tych systemów oraz na etapie oceny skuteczności działania warstw ochronnych. Ważnym elementem procedur, szczególnie w perspektywie tworzenia ich algorytmów komputerowych jest przedstawiona w niniejszej pracy notacja warstw ochronnych.

Podczas realizacji procesu identyfikacji warstw modeli zauważono, że jednej warstwie w znanym modelu systemu bezpieczeństwa odpowiada kilka warstw zidentyfikowanych zgodnie z przyjętą klasyfikacją środków redukcji ryzyka. Proponuje się przyjmować najbardziej rozbudowaną postać modelu systemu bezpieczeństwa i dokonywać ewentualnych uproszczeń tego modelu przez „wyłączanie” stosownych warstw. Mała liczba warstw modelu systemu bezpieczeństwa może powodować trudności w dalszych etapach analizy funkcjonowania systemów bezpieczeństwa m.in. w określaniu stopnia redukcji ryzyka. Jest tak w przypadku modeli złożonych/rozbudowanych systemów bezpieczeństwa, w których to modelach do jednej warstwy może zostać zakwalifikowanych kilka lub nawet kilkanaście środków redukcji ryzyka różnej postaci i spełniających różne zadania.

6. LITERATURA

- [1] Gill A., Kadziński A., System obsługiwanego pojazdów szynowych jako element w warstwowym modelu ich systemów bezpieczeństwa, Pojazdy Szynowe, 2006, nr 4, s. 31÷38.
- [2] Gill A., Kadziński A., Klasyfikacje środków redukcji ryzyka zagrożeń w warstwowym modelach systemów bezpieczeństwa w transporcie, czasopismo Logistyka, nr 4/2010, wersja CD.
- [3] Głodek W., Automatyka zabezpieczeniowa w przemyśle procesowym – przegląd unormowań. Warsztaty SIPI61508, Gdynia, 28÷29 maja, 2003, wersja elektroniczna na stronie internetowej: <http://www.sipi61508.com/ciks/pl.glodek.w.pdf>.
- [4] Gowland R., The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer of protection analysis (LOPA) methodology: A step forward towards convergent practices in risk assessment? Journal of Hazardous Materials, nr 130

- (2006), s. 307–310, wersja elektroniczna: zasoby Science Direct, Wyd. Elsevier Journals.
- [5] Hollnagel E., Risk+barriers=safety? Safety Science 46 (2008) s. 221–229, wersja elektroniczna: zasoby Science Direct, Wyd. Elsevier Journals.
- [6] Kosmowski K. T., Aktualne problemy analizy ryzyka i zarządzania bezpieczeństwem w systemach technicznych, w mat. konferencji Analiza ryzyka i zarządzanie bezpieczeństwem w systemach technicznych, Gdańsk–Gdynia 2001, s. 33÷52.
- [7] Kosmowski K. T., Metodyka analizy ryzyka w zarządzaniu niezawodnością i bezpieczeństwem elektrowni jądrowych, monografia, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003.
- [8] Kosmowski K. T., An integrated analysis of protection layers in hazardous systems, w mat. The 4th International Conference on Safety and Reliability, Journal of KONBiN, nr 1/2006, Wyd. Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2006, s. 305÷313.
- [9] Markowski A. S., Zapobieganie stratom w przemyśle, cz. 3, Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2000.
- [10] Markowski A.S., Borysiewicz M., Zastosowanie analizy warstwy zabezpieczeń do oceny ryzyka dla rurociągów, w mat. z warsztatów nt. Modele i narzędzia dla oszacowania ryzyka związanego z transportowaniem niebezpiecznych substancji rurociągami, MANHAZ, Instytut Energii Atomowej, Otwock-Swierk 2003 Wersja elektroniczna na stronie internetowej: <http://manhaz.cyf.gov.pl>.
- [11] Szymanek A., Bezpieczeństwo i ryzyko w technice, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2006.
- [12] Szymanek A., Zasada „głębokiej obrony” a zarządzanie bezpieczeństwem transportu. W mat.: VII Konferencji Naukowo-technicznej LOGITRANS nt. Logistyka, Systemy Transportowe, Bezpieczeństwo w Transporcie, Szczyrk, 14-16 kwietnia 2010, wersja CD – Logistyka 2010.
- [13] Valis D., Koucky M., Selected overview of risk assessment techniques, Problemy Eksploatacji, Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2009, zeszyt 4-2009(75), s. 19÷32.