

Adrian Gill
Politechnika Poznańska

Adam Kadziński
Politechnika Poznańska

KLASYFIKACJE ŚRODKÓW REDUKCJI RYZYKA ZAGROŻEŃ W WARSTWOWYCH MODELACH SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA W TRANSPORCIE

Streszczenie: Artykuł jest wprowadzeniem do analizy funkcjonowania systemów bezpieczeństwa obiektów w systemach transportowych z wykorzystaniem ich warstwowych modeli. Podano definicję systemu bezpieczeństwa. Dokonano przeglądu definicji dotyczących środków redukcji ryzyka zagrożeń jako elementów tych systemów. Przedstawiono klasyfikacje środków redukcji ryzyka zagrożeń. Przedstawiono koncepcję identyfikacji warstw modeli systemów bezpieczeństwa w oparciu o opracowane klasyfikacje.

Słowa kluczowe: ryzyko, środki redukcji ryzyka, systemy bezpieczeństwa, modele systemów bezpieczeństwa.

1. WPROWADZENIE DO ANALIZY FUNKCJONOWANIA SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA

Aby zmniejszyć ryzyko zagrożeń związanych z uszkodzeniami obiektów technicznych stosuje się odpowiednie elementy systemów bezpieczeństwa (*esb*). Są to systemy definiowane przez trzy składowe [20]: cel systemu, elementy systemu (człowiek, elementy materialne, elementy niematerialne), strukturę systemu. Elementy systemów bezpieczeństwa (*esb*) eliminujące źródła zagrożeń lub ograniczające narażenia pochodzące od tych źródeł można nazwać *środkami redukcji ryzyka*. Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji Wspólnot Europejskich w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka [15] (autorzy niniejszej pracy rozumieją ten zakres jako analizę i wartościowanie ryzyka) środki te określa się także *środkami bezpieczeństwa*. Oznaczają one – według wymienionego rozporządzenia – pakiet działań zmniejszających częstotliwość zagrożeń (wg autorów niniejszej pracy – możliwość aktywizacji zagrożeń) albo łagodzących ich skutki, który ma na celu osiągnięcie lub utrzymanie dopuszczalnego (co najmniej tolerowanego) poziomu ryzyka. W normach dotyczących bezpieczeństwa maszyn [1, 2], środki redukcji ryzyka nazywane są *środkami*

ochrony. Rozumie się przez to środki przeznaczone do zmniejszania (redukcji) ryzyka. Środki redukcji ryzyka zagrożeń nazywa się także po prostu *zabezpieczeniami*. Liczba środków redukcji ryzyka, ich rodzaje oraz stopień pewności działania, decydują o skuteczności redukcji ryzyka przez system bezpieczeństwa. System bezpieczeństwa może jednak zawierać nadmierną liczbę środków redukcji ryzyka, które generują często istotne koszty inwestycyjne i koszty związane z ich eksploatacją. Uzasadniona jest więc racjonalizacja doboru środków redukcji ryzyka do występujących źródeł zagrożeń.

Do tego celu, wielu autorów prac – m.in. [5, 7, 10, 11, 12, 13] – proponuje analizować funkcjonowanie systemów bezpieczeństwa w oparciu o wielowarstwowe modele tych systemów. Istotą takich modeli jest podział *esb* na niezależne od siebie grupy zwane warstwami ochronnymi. Wykorzystując definicję warstwy ochronnej podaną przez K.T. Kosmowskiego [8], dalej pod tym pojęciem rozumie się zastosowane *esb*, które sprzyjają redukcji ryzyka poprzez zapobieganie powstawaniu źródeł zagrożeń, lokalizowanie źródeł zagrożeń oraz ograniczanie skutków zdarzeń niepożądanych. Przyjęcie warstwowego modelu środków redukcji ryzyka usystematyzowało tworzenie tych modeli i znacząco ułatwiło ocenę ryzyka – szczególnie opracowywanie scenariuszy rozwoju inicjujących zdarzeń niepożądanych. Na tej podstawie stworzono metodę analizy odpowiadającą tak modelowanym systemom bezpieczeństwa – metodę analizy warstw zabezpieczeń LOPA (*Layer of Protection Analysis*). Koncepcja tej metody jest – według A. Szymanka [17] – związana z tzw. filozofią głębokiej obrony. Filozofia ta zakłada organizację/projektowanie systemu bezpieczeństwa obiektu/systemu w postaci łańcucha zabezpieczeń fizycznych, technicznych, proceduralnych i organizacyjnych. Taka organizacja systemu bezpieczeństwa powoduje, że naruszenie któregokolwiek z ogniw łańcucha jest wykrywane na lokalnym poziomie zabezpieczenia systemu [17]. Podstawą metody LOPA jest zatem zdefiniowanie ogniw łańcucha zabezpieczeń obiektu/systemu czyli tzw. niezależnych warstw zabezpieczeń obiektu/systemu, z których każda powinna w odpowiednim stopniu redukować ryzyko zagrożeń związanych z tym obiektem/systemem [17].

Wydaje się, że funkcjonowanie systemów bezpieczeństwa zwykle opiera się na koncepcji wielowarstwowych zabezpieczeń. Współczesne instalacje technologiczne obiektów przemysłowych tzw. podwyższonego ryzyka wyposaża się w wielowarstwowy system zabezpieczeniowy [8]. Jest tak przede wszystkim w przypadku instalacji procesowych (chemicznych). Przykłady rozwiązań opisuje m.in. A.S. Markowski w pracach [11, 12, 13]. Elementy systemów bezpieczeństwa stanowią kolejne warstwy redukujące ryzyko zagrożeń związanych z obiektem.

System bezpieczeństwa obiektów technicznych można budować zgodnie z jego warstwowym modelem. W takim przypadku, każda z warstw modelu posiadałaby swój fizyczny (materialny lub niematerialny) odpowiednik w systemie bezpieczeństwa tj. odpowiedni elementu tego systemu. Elementy te powinny być – podobnie jak warstwy modelu – elementami niezależnymi. W praktyce trudno jest zbudować taki system bezpieczeństwa między innymi dlatego, że zdefiniowane w modelu warstwy zwykle są kombinacją środków redukcji ryzyka zagrożeń. Szczególnym przypadkiem systemu bezpieczeństwa jest system, w którego modelu jedna warstwa to tylko jeden środek redukcji ryzyka.

Warstwa modelu systemu bezpieczeństwa łączy środki redukcji ryzyka podobne ze względu na nazwany stopień klasyfikacji. Założono, że postać modelu systemu bezpieczeństwa będzie zatem zależna od przyjętej klasyfikacji tych środków.

Celem pracy jest przedstawienie klasyfikacji środków redukcji ryzyka zagrożeń w warstwowych modelach systemów bezpieczeństwa w transporcie.

2. KLASYFIKACJE ŚRODKÓW REDUKCJI RYZYKA ZAGROŻEŃ W SYSTEMACH BEZPIECZEŃSTWA W TRANSPORCIE

Przyjęto, że istnieją przynajmniej dwa rodzaje klasyfikacji środków redukcji ryzyka. Pierwszy rodzaj to klasyfikacje utworzone ze względu na funkcje bezpieczeństwa realizowane przez środki redukcji ryzyka. W najprostszej postaci są to klasyfikacje stosunkowo mało rozbudowane (2 lub trzy stopnie klasyfikacji) gdyż powstają z ogólnego podziału funkcji bezpieczeństwa systemów. Jeden z takich podziałów funkcji bezpieczeństwa podają m.in. autorzy pracy [6]. Systemy bezpieczeństwa konstruowane są w taki sposób, że ich elementy w sensie realizacji zadanych funkcji, z punktu widzenia bezpieczeństwa, mogą być podzielone na trzy grupy [6] tj. elementy realizujące zadania w zakresie bezpieczeństwa: czynnego, biernego, powypadkowego. Drugi rodzaj to klasyfikacje ze względu na postać środka redukcji ryzyka. Dalej przedstawiono wybrane z tego rodzaju klasyfikacji. Zaprezentowano podział klasyfikacji na: dwustopniowe, trójstopniowe i wielostopniowe.

Propozycja jednej z dwustopniowych klasyfikacji środków redukcji ryzyka zagrożeń wynika z definicji systemu bezpieczeństwa i podziału elementów tego systemu. Środki redukcji ryzyka zagrożeń – odpowiadające elementom systemu bezpieczeństwa – można podzielić na: materialne i niematerialne. Przez materialne środki redukcji ryzyka proponuje się rozumieć te o charakterze technicznym, nazywane także – zgodnie z polską normą PN-EN ISO 12100-1:2005 [1] – *technicznymi środkami ochronnymi*. Wskazana norma definiuje techniczne środki ochronne (materialne środki redukcji ryzyka) jako osłony lub inne urządzenia ochronne, przy czym *osłona* oznacza – zgodnie z tą normą – fizyczną barierę zaprojektowaną jako część maszyny, której funkcją jest zapewnienie ochrony. Przykładami materialnych środków redukcji ryzyka są: urządzenia alarmowe, osłony fizyczne, układy zabezpieczające, itp.

Niematerialnymi środkami redukcji ryzyka można określić te o charakterze organizacyjnym. Jest to np. zespół ludzi działający według odpowiednio ustalonych procedur postępowania. Do tego typu środków można zaliczyć środki nazywane przez R. Studenskiego (praca [16]) *standardami bezpieczeństwa*. Są to standardy sformułowane w przepisach, normach, regulaminach, itp. W ich ustalaniu wykorzystywana jest wiedza zdobyta przy identyfikowaniu zagrożeń i szacowaniu ryzyka [16]. Cytowany tu autor podaje także, że szczególne znaczenie mają tzw. standardy behawioralne, wśród których wyróżnia się wzorce wykonania oraz wzorce postępowania. Według R. Studenskiego [16] standardy bezpieczeństwa można podzielić na formalne i nieformalne. Formalne są wszystkie wzorce i kryteria zgodne z obowiązującymi przepisami oraz normami bezpieczeństwa. Nieformalnymi standardami są zarówno narzucane sobie – przez

kierownictwo lub uczestników zespołów roboczych – wymagania „ostrzejsze” niż to wynika z przepisów i norm, jak i wymagania niższe od wymaganych [16].

Normy dotyczące bezpieczeństwa obiektów technicznych (np. [1, 2]) podają następujący podział środków redukcji ryzyka (nazywanych w tych normach środkami ochronnymi) [1]: projektanta (rozwiązania konstrukcyjne bezpieczne same w sobie, osłony i inne urządzenia ochronne oraz uzupełniające środki ochronne, informacje dotyczące użytkownika), użytkownika (sposoby bezpiecznej pracy, nadzór, systemy pozwoleń przystąpienia do pracy, stosowanie i używanie dodatkowych technicznych środków ochronnych, używanie środków ochrony indywidualnej, szkolenie).

Autorzy pracy [14] podają, że konstruktor obiektu – aby zapewnić akceptowany poziom ryzyka zagrożeń związanych z tym obiektem – może posłużyć się pewną trójstopniową metodą, która polega na zastosowaniu trzech tzw. technik bezpieczeństwa eksploatacji obiektu. Są to techniki: bezpośrednia, pośrednia i ostrzegawcza.

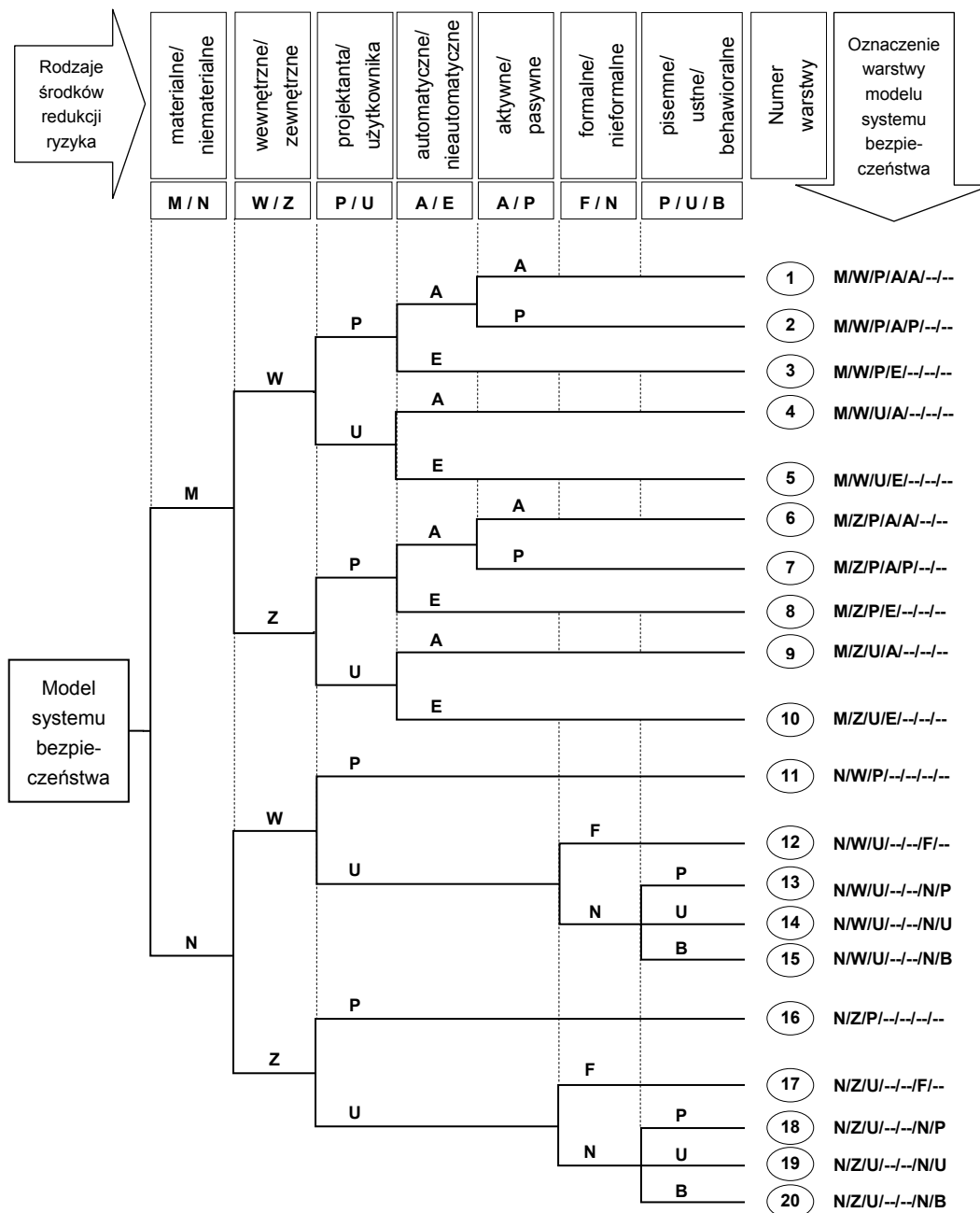
Trójstopniową klasyfikację środków redukcji ryzyka można także zbudować w oparciu o – przeprowadzoną przez A.S. Markowskiego w pracy [12] – analizę ryzyka dla instalacji magazynowych gazów skroplonych. Autor wyróżnia trzy warstwy systemu bezpieczeństwa:

- warstwę zapobiegania, która zapobiega powstawaniu warunków do uwolnienia substancji niebezpiecznej z aparatury procesowej,
- warstwa ochrony, która chroni obiekt procesowy i pracowników przed skutkami uwolnienia,
- warstwa przeciwdziałania, która minimalizuje skutki powstałych uwolnień.

J. Wicher [19] podaje, że przyjęto rozróżniać dwa podstawowe rodzaje bezpieczeństwa samochodu: czynne (aktywne) i bierne (pasywne). Wskazuje jednak na inne kryterium podziału bezpieczeństwa środków transportu i wyróżnia następujące jego rodzaje [19]: czynne, bierne, powypadkowe, ekologiczne, konstrukcyjne. Dodatkowo dzieli bezpieczeństwo bierne na wewnętrzne i zewnętrzne.

Klasyfikację elementów systemów bezpieczeństwa podają także autorzy pracy [6]. Według tych autorów wyróżnić można następujące rodzaje elementów systemów bezpieczeństwa [6]: autonomiczne/nieautonomiczne, wewnętrzne/zewnętrzne, przyporządkowane/nieprzyporządkowane, zautomatyzowane/niezautomatyzowane.

Zakładając, że postać modelu systemu bezpieczeństwa 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. Schemat ideowy jednego z etapów identyfikacji uwzględniającej przyjętą klasyfikację rodzajów środków redukcji ryzyka zagrożeń pokazano na rys. 1. Na etapie kwalifikowania środków redukcji ryzyka zagrożeń do odpowiednich warstw modelu systemu bezpieczeństwa pomocne jest korzystanie z pełnych – opisowych nazw warstw tego modelu. Nazwy takie uzyskuje się na podstawie oznaczeń sformułowanych zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów systemów transportowych według przyjętej klasyfikacji rodzajów środków redukcji ryzyka zagrożeń

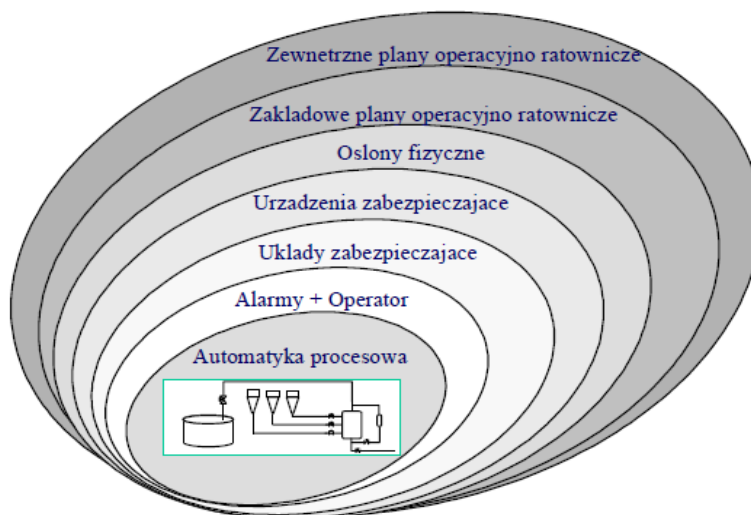
Przykładowo, warstwa systemu bezpieczeństwa oznaczona na rys. 1 numerem warstwy 1, (M/W/P/A/A/--/--) to warstwa materialnych (technicznych), aktywnych środków redukcji ryzyka zagrożeń wprowadzonych przez projektanta wewnątrz obiektu, które to zaczynają funkcjonować automatycznie. Przykładem takich środków są różnego rodzaju bezpieczniki, zawory bezpieczeństwa, wyłączniki automatyczne, itp.

3. WARSTWOWE MODELE SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA OBIEKTÓW W SYSTEMACH TRANSPORTOWYCH

Jednym z przykładów warstwowego modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w systemach transportowych jest – przedstawiony przez autorów niniejszej pracy (w [3, 4]) – model systemu bezpieczeństwa pojazdów szynowych. Zaproponowano tam ogólny, dwustopniowy podział warstw modelu na: *warstwę zapobiegania*, której zadaniem jest nie dopuszczać do wystąpienia uszkodzenia obiektu oraz *warstwę przeciwdziałania poważnym skutkom uszkodzeń*, której zadaniem jest zabezpieczenie systemu przed poważnymi następstwami uszkodzenia obiektu.

Niewielka liczba warstw modelu systemu bezpieczeństwa powoduje trudności 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. Na wstępnym etapie analiz proponuje się przyjmować najbardziej rozbudowaną postać modelu systemu bezpieczeństwa (taką jak to pokazano to na rys. 1) i dokonywać ewentualnych uproszczeń tego modelu przez „wyłączanie” stosownych warstw.

Według przedstawionego schematu tworzenia warstwowego modelu systemu bezpieczeństwa można opisać modele systemów bezpieczeństwa obiektów innych niż transportowe. Przykład takiej adaptacji (tabela 1) opracowano dla wielowarstwowego modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w przemyśle procesowym (rys. 2) podanego w pracy [5].



Rys. 2. Schemat warstwowego modelu systemu bezpieczeństwa w przemyśle procesowym [5]

Tabela 1

**Przykład adaptacji idei identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów
w transporcie dla wielowarstwowego modelu systemu bezpieczeństwa obiektów
w przemyśle procesowym**

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

¹ – nazwy warstw modelu systemu bezpieczeństwa przedstawionego w pracy [5]

² – oznaczenia zgodnie z klasyfikacją środków redukcji ryzyka zagrożeń przyjętej w niniejszej pracy (rys. 1)

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono klasyfikacje rodzajów środków redukcji ryzyka zagrożeń. Są to elementy systemów bezpieczeństwa eliminujące źródła zagrożeń lub ograniczające narażenia pochodzące od tych źródeł. Liczba środków redukcji ryzyka, ich rodzaje oraz stopień pewności działania, decydują o skuteczności funkcjonowania systemu bezpieczeństwa. Analizę funkcjonowania systemów bezpieczeństwa wykonuje się zwykle w oparciu o tzw. wielowarstwowe modele tych systemów. Przyjęto założenie, że postać takich modeli zależy od przyjętej klasyfikacji rodzajów środków redukcji ryzyka zagrożeń. Przedstawiono zatem koncepcję identyfikacji warstw modeli systemów bezpieczeństwa w oparciu o opracowane klasyfikacje. Przedstawiono przykład adaptacji idei identyfikacji warstw modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w transporcie dla wielowarstwowego modelu systemu bezpieczeństwa obiektów w przemyśle procesowym.

Literatura

1. Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 1: Podstawowa terminologia, metodyka. PN-EN ISO 12100-1:2005.
2. Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 2: Zasady techniczne. PN-EN ISO 12100-2:2005.
3. Gill A., Kadziński A., System obsługi pojazdów szynowych jako element w warstwowym modelu ich systemów bezpieczeństwa, Pojazdy Szynowe, 2006, nr 4, s. 31÷38.
4. Gill A., Procedury decyzyjne w obsłudze obiektów systemów technicznych uwzględniające analizę ryzyka, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań 2007.
5. 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.glodekw.pdf>.
6. Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K., Bezpieczeństwo systemów. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1993.

7. 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.
8. Kosmowski K. T., Metodyka analizy ryzyka w zarządzaniu niezawodnością i bezpieczeństwem elektrowni jądrowych, monografia, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003.
9. Kosmowski K. T., Rozwój techniki i problemy zarządzania bezpieczeństwem, w mat. konferencji naukowo-technicznej z sesjami warsztatowymi Zarządzanie bezpieczeństwem funkcjonalnym, Jurata 2004, s. 21÷46.
10. 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.
11. Markowski A. S., Zapobieganie stratom w przemyśle, cz. 3, Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2000.
12. Markowski A. S., Ilościowa analiza ryzyka dla instalacji magazynowych gazów skroplonych, w mat. Konferencji Analiza ryzyka i zarządzanie bezpieczeństwem w systemach technicznych, Gdańsk–Gdynia, 2001, s. 121÷137.
13. 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>.
14. Pahl G., Beitz W., Nauka konstruowania, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1984.
15. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 352/2009 z dnia 24 kwietnia 2009 r w sprawie przyjęcia wspólnej metody oceny bezpieczeństwa w zakresie wyceny i oceny ryzyka, o której mowa w art. 6 ust. 3 lit. a) dyrektywy 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, wersja elektroniczna.
16. Studenski R., Organizacja bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996.
17. Szymanek A., Bezpieczeństwo i ryzyko w technice, Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2006.
18. 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.
19. Wicher J., Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego, WKŁ, Warszawa 2002.
20. Zintegrowany System Bezpieczeństwem Transportu. II Tom. Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu. Praca zbiorowa red. R. Krystek, Politechnika Gdańska. Podrozdział 7.3.2. Kadziński A., Gill A., Integracja pojęć, s. 285÷288, WKŁ, Warszawa 2009.

CLASSIFICATIONS OF THE RISK REDUCTION MEASURES IN THE LAYERED SAFETY SYSTEMS IN TRANSPORT

Abstract: The article is an introduction to the analysis of the functioning of the safety of transport systems with the use of layered models. A definition of the safety system is presented. A review of the definition of hazard risk reduction measures as part of those systems. The classification of risk reduction measures is presented. The concept of the identification layer safety system models based on classifications is developed.

Keywords: risk, risk reduction measures, safety systems, models of safety systems