

TRZY DEKADY KSZTAŁCENIA INŻYNIERÓW BEZPIECZEŃSTWA. Czy było warto?

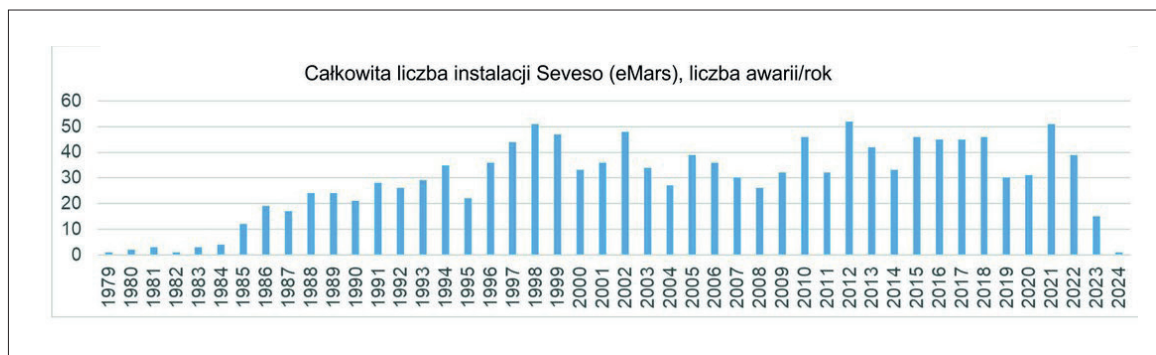
dr hab. inż. Adam S. Markowski
emerytowany prof. Politechniki Łódzkiej

Trzy kluczowe powody zadecydowały o tym, że pod koniec lat 90. XX wieku na Politechnice Łódzkiej uruchomiono unikalny kierunek Studiów Podyplomowych Bezpieczeństwo Procesów Przemysłowych. Dziś studia kończą 30. edycję, a mury uczelni opuściło dotychczas 924 specjalistów, którzy na co dzień czuwają nad bezpieczeństwem zakładów przemysłowych w całej Polsce.

Pierwszym powodem do podjęcia i rozwinięcia procesu kształcenia podyplomowego na Politechnice Łódzkiej były liczne poważne awarie przemysłowe na całym świecie, skutkujące znacznymi stratami ludzkimi, materialnymi i środowiskowymi, co wymagało podniesienia standardów bezpieczeństwa. Drugim – zbliżające się przystąpienie Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku oraz konieczność wdrożenia obowiązujących w tej dziedzinie regulacji prawnych (dyrektywa SEVESO). Ostatnim – szybki rozwój przemysłu procesowego i rosnące znaczenie

studiów podyplomowych w rozwoju kariery zawodowej inżyniera.

Powyższe uwarunkowania wymagały opracowania systemu kształcenia w zakresie zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwem dla zakładów, w których prawdopodobieństwo wystąpienia poważnej awarii przemysłowej jest największe. W tym celu konieczne było stworzenie własnej metodyki analizy i oceny ryzyka procesowego, opartej na metodologii stosowanej na Texas A&M University oraz powszechnie akceptowanych zasadach międzynarodowych.



RYŚ. 1
Całkowita liczba
poważnych awarii
w Europie w latach
1979-2023 [2]

Zadania te podjęła Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa Pracy Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej, która po szerokich konsultacjach z przemysłem opracowała specjalistyczny program kształcenia podyplomowego. Został on skierowany do zakładów podlegających ustawie Prawo Ochrony Środowiska, czyli tzw. Zakładów Dużego Ryzyka (ZDR) oraz Zakładów Zwiększonego Ryzyka (ZZR).

Pierwsza edycja Studiów Podyplomowych Bezpieczeństwo Procesów Przemysłowych odbyła się w 1997 roku – obecnie kończy się już 30. Do tej pory nasze studia ukończyły 924 osoby, głównie z największych zakładów chemicznych, takich jak Grupa ORLEN, Grupa Azoty, Rafineria Gdańska, ANWIL, PCC Rokita, Zachem, Synthos, a także przedstawiciele UDT, PIP i Państwowej Straży Pożarnej. Wśród absolwentów znajdują się również reprezentanci polskich uczelni technicznych (Politechniki: Warszawska, Wrocławska, Gdańska, Poznańska), Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, instytutów badawczych (CIOP, IPO) oraz biur projektów (ASE). Są to jedyne w kraju tego typu studia podyplomowe.

Sukces dydaktyczny programu wynikał z wymienionych powodów, a także z nowego postrzegania statusu zawodowego inżynierów. Obecnie w mniejszym stopniu zależy on od dotychczasowego doświadczenia, a w znacznie większym od aktualnej i nowoczesnej wiedzy odpowiadającej potrzebom współczesnego przemysłu, w tym wdrażającego zasady Przemysłu 4.0. Kompetencje zdobywane podczas studiów umożliwiają elastyczną adaptację do rosnących wymagań przemysłu, administracji państwowej oraz służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej oraz bezpieczeństwo życia i pracy obywateli.

Studia podyplomowe stanowią istotne uzupełnienie wiedzy teoretycznej i praktycznej, która często jest niewystarczająco rozwinięta na studiach inżynierskich o profilu przemysłowym, prowadzonych zwłaszcza na uczelniach technicznych. Uczestnictwo w nich przyczynia się do wzrostu autorytetu zawodowego, stwarza lepsze możliwości rozwoju kariery i przekłada się na atrakcyjniejsze warunki zatrudnienia. Dla wielu uczestników stanowią one punkt zwrotny w ich ścieżce zawodowej.

Bezpieczeństwo procesowe – szczególnie istotne w przemyśle chemicznym

Zagadnienia bezpieczeństwa procesowego mają szczególne znaczenie w przemyśle rafineryjnym, petrochemicznym oraz szeroko pojętym przemyśle chemicznym. Branże te produkują miliony ton substancji chemicznych, które – mimo swojej użyteczności – są często materiałami niebezpiecznymi.

Procesy technologiczne przebiegają zazwyczaj w ekstremalnych warunkach, takich jak wysokie temperatury (nierzadko przekraczające 1000°C) oraz wysokie ciśnienie (sięgające kilkuset, nawet ponad 100 atmosfer), a niekiedy także przy znacznych podciśnieniach. Jako surowce i półprodukty wykorzystuje się substancje łatwopalne, wybuchowe oraz toksyczne, co dodatkowo zwiększa ryzyko procesowe.

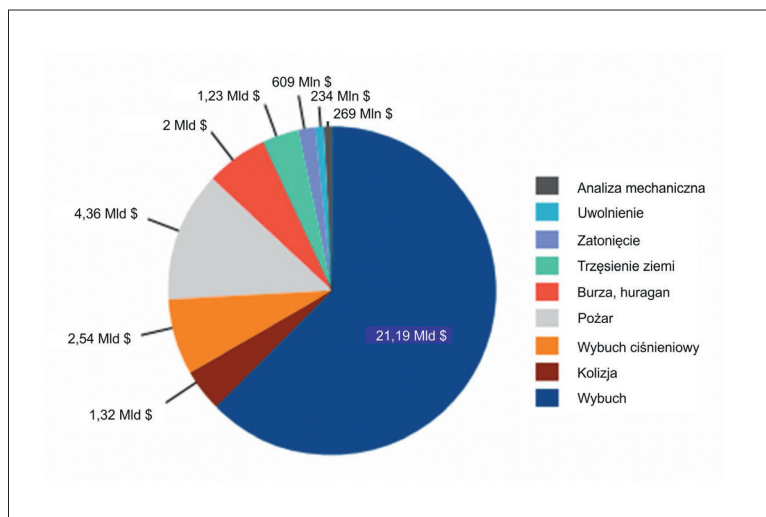
Utrata kontroli nad przebiegiem procesu technologicznego – w szczególności procesów reaktorowych – może prowadzić do emisji niebezpiecznych substancji. Dodatkowo, w wyniku pożaru lub awarii mogą powstawać nowe, wtórne substancje o wysokiej toksyczności lub reaktywności.

Współczesna technologia, z uwagi na wymogi efektywności ekonomicznej i ochrony środowiska, wykorzystuje coraz bardziej złożone i kosztowne instalacje przemysłowe. Ich bezpieczne funkcjonowanie opiera się na zastosowaniu zaawansowanej automatyki procesowej i zabezpieczeniowej, a także nowoczesnych narzędzi informatycznych – w tym coraz częściej rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji (AI).

Na powyższe czynniki nakładają się dodatkowe zagrożenia, takie jak:

- możliwość popełnienia błędu ludzkiego,
- skrajne zjawiska pogodowe (związane m.in. ze zmianami klimatu, burzami, tornadami, powodzią),
- zagrożenia o charakterze terrorystycznym, w tym cyberataki.

W takich warunkach nawet pojedyncza awaria lub błąd człowieka mogą skutkować poważnymi konsekwencjami – zarówno dla zdrowia i życia ludzi, jak i dla środowiska naturalnego oraz infrastruktury przemysłowej [1]. Potwierdzają to liczne dane historyczne. Rysunek 1 przedstawia łączną liczbę poważnych awarii



RYS. 2
Straty w 100
największych
katastrofach w
latach 1974-2015
w mld USD [3]

przemysłowych w Europie, zarejestrowanych w bazie danych EMARS [2].

Innym, a może bardziej przekonującym zagadnieniem, są straty, jakie powstają w wyniku tych zdarzeń. Prezentuje to rys. 2 na podstawie danych publikowanych przez MARSH [3]. Wskazują one, że straty majątkowe w 100 największych katastrofach w latach 1974-2015 wynosiły 33 mld USD. Ogromny udział w tych wielkościach ma przerwanie produkcji i straty biznesowe oraz ekologiczne, których do końca nie znamy. Obecnie rosną również straty ze strony cyberataków, a szereg danych w odniesieniu do przemysłu procesowego przytacza publikacja CCPS [4]. Niektóre dane literaturowe wskazują, że łączne straty spowodowane przez awarie przemysłowe, wypadki przy pracy oraz choroby zawodowe można szacować w większości państw na poziomie 2,5-5% produktu krajowego brutto [5].

Oczywiście istnieje wiele przyczyn poważnych zdarzeń w przemyśle procesowym, jednak najczęściej wskazywane to nie awarie techniczne, lecz błędy ludzkie i organizacyjne. Kluczowe są tu: brak dostatecznej wiedzy o procesach technologicznych, właściwościach materiałów i ich wzajemnych oddziaływaniach oraz niska kultura bezpieczeństwa. W moim przekonaniu najważniejszym narzędziem w zapobieganiu tym przyczynom, a szczególnie w budowaniu kultury bezpieczeństwa w przemyśle procesowym, jest edukacja inżynierów, menedżerów i naukowców – przyszłych liderów technicznych i biznesowych w tej branży.

Powyższe aspekty stanowiły podstawę do wyodrębnienia bezpieczeństwa procesowego jako interdyscyplinarnej dziedziny nauki, integrującej zagadnienia z zakresu: inżynierii chemicznej i aparaturowej, automatyki procesowej, niezawodności technicznej i ludzkiej, inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, informatyki oraz organizacji i zarządzania. Bezpieczeństwo procesowe zajmuje się projektowaniem i wdrażaniem rozwiązań techniczno-organizacyjnych, których celem jest zapobieganie stratom ludzkim, materialnym

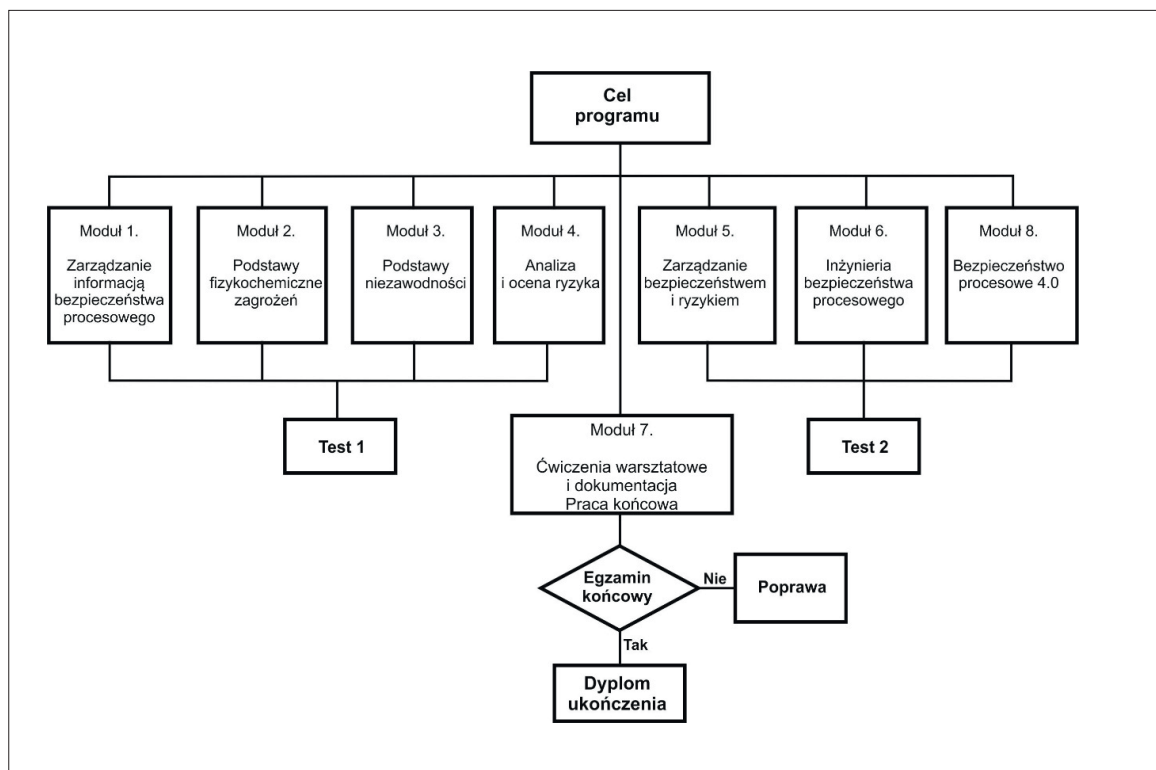
DLACZEGO WARTO?



Argumenty przemawiające za koniecznością kształcenia w zakresie bezpieczeństwa procesowego:

1. Ochrona życia i środowiska: konieczność ograniczenia, a najlepiej eliminacji ryzyka zdarzeń skutkujących ofiarami śmiertelnymi oraz degradacją środowiska, szczególnie w przypadku zdarzeń katastroficznych.
2. Wymogi prawne – klauzula ogólnego obowiązku (General Duty Clause): obowiązek zapewnienia bezpiecznego i zdrowego środowiska pracy, wynikający z przepisów BHP i kodeksu pracy.
3. Spełnianie wymagań szczegółowych regulacji, norm i standardów technicznych: w tym regulacji krajowych i międzynarodowych (np. SEVESO III, dyrektywy UE, ISO, API, CCPS).
4. Zrównoważony rozwój: konieczność zapewnienia harmonijnego rozwoju przemysłu, społeczeństwa i środowiska naturalnego, bez ograniczania przyszłych pokoleń w zaspokajaniu ich potrzeb.
5. Reputacja przedsiębiorstwa: wzmacnianie marki, budowanie zaufania społecznego i minimalizowanie ryzyk wizerunkowych.
6. Przewaga konkurencyjna: skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem procesowym wspiera długoterminową stabilność operacyjną i konkurencyjność.
7. Bezpieczeństwo jako element strategii biznesowej („safety as a business case”): bezpieczeństwo może przynosić realne korzyści biznesowe, takie jak wzrost wydajności, redukcja strat i niższe koszty ubezpieczeń.
8. Wpływ na wyniki finansowe i giełdowe: skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem wpływa na stabilność operacyjną, jakość produktów, terminowość dostaw i koszty, co przekłada się na wycenę rynkową przedsiębiorstwa.

RYS. 3
Ogólna struktura programu Studiów Podyplomowych BPP



oraz środowiskowym w procesach przemysłowych, w których istnieje ryzyko uwolnienia niebezpiecznych substancji chemicznych i/lub energii do otoczenia.

Można uznać, że bezpieczeństwo procesowe jest integralną częścią dwóch dziedzin: od strony technicznej – szeroko rozumianej inżynierii chemicznej i procesowej, a od strony regulacyjnej – ochrony środowiska, co znajduje odzwierciedlenie m.in. w tytule IV Ustawy – Prawo ochrony środowiska.

Choć tradycyjnie bezpieczeństwo procesowe kojarzone jest głównie z przemysłem chemicznym oraz sektorem ropy i gazu, jego zasady mają znacznie szersze zastosowanie – m.in. w energetyce, metalurgii, a także w zarządzaniu infrastrukturą krytyczną. Wynika to z faktu, że podstawowe zasady zarządzania ryzykiem są uniwersalne i możliwe do adaptacji w różnych sektorach. Wymaga to jedynie doboru odpowiednich narzędzi analitycznych.

W szczególności warto podkreślić niedoceniane dotąd znaczenie bezpieczeństwa procesowego w zarządzaniu strategicznymi obiektami infrastruktury krytycznej, takimi jak magazyny surowców energetycznych.

Obecny program studiów

Celem obecnego programu studiów jest wykształcenie kadry w zakresie nowoczesnych metod i technik stosowanych w obszarze zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwem. Przewiduje się, że absolwenci będą w stanie wykonać analizy ryzyka dla instalacji chemicznych i procesowych, a na tej podstawie proponować lub ocenić odpowiednie środki bezpieczeństwa. Nasz program pozwala na ocenę zapewnienia

bezpieczeństwa dla instalacji sevesowskich i może być wykorzystany do opracowania: programu zapobiegania poważnym awariom (PZA), raportu o bezpieczeństwie (RoB), wewnętrznego planu operacyjno-ratowniczego (WPOR) oraz dokumentu o zabezpieczeniu przeciwwybuchowym, wymaganych przez odpowiednie przepisy branżowe (ATEX).

Struktura programu

Ogólna struktura programu prowadzonego od prawie 30 lat przedstawia rys.3.

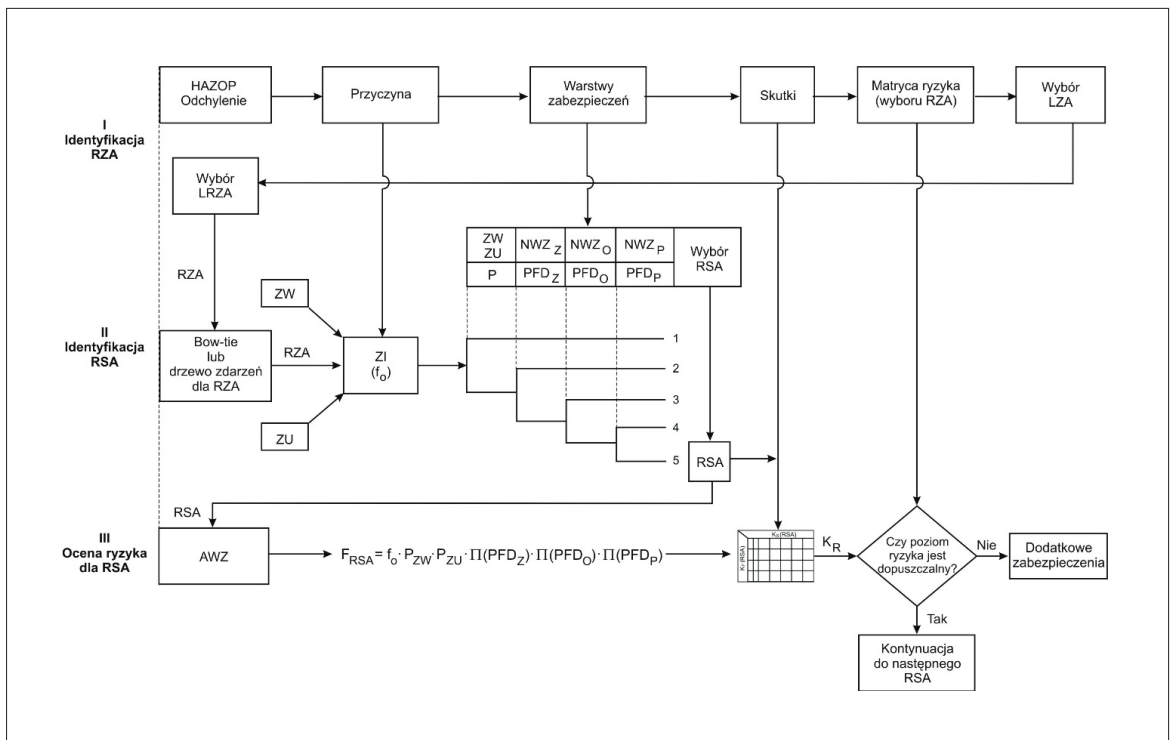
Program studiów składa się z sześciu modułów merytorycznych (M1–M6) oraz modułu M7, obejmującego zajęcia praktyczne, takie jak ćwiczenia, warsztaty i przygotowanie pracy dyplomowej. W celu weryfikacji przyswojonej przez uczestników wiedzy przeprowadzane są dwa testy sprawdzające (T1 i T2), obejmujące materiał z poszczególnych modułów.

Wyniki testów, ocena z warsztatów oraz ocena pracy dyplomowej stanowią podstawę do przeprowadzenia egzaminu końcowego. Uzyskanie pozytywnych ocen ze wszystkich wspomnianych elementów jest warunkiem wydania dyplomu ukończenia studiów podyplomowych.

Szczegółowy zakres tematyczny poszczególnych modułów dostępny jest na stronie internetowej programu [6].

Począwszy od XVIII edycji (rok akademicki 2016/2017) program realizowany jest równolegle w dwóch lokalizacjach – w Łodzi oraz w Płocku. Edycje płockie są współorganizowane z Centrum Edukacji ORLEN i przeznaczone dla pracowników koncernu.

RYS. 4
Wiodąca koncepcja
analizy ryzyka
dla zakładów
sewesowskich



W tym systemie kształcenia studia ukończyło dotąd 174 pracowników ORLEN S.A. Tematyka wykonywanych przez nich prac dyplomowych stała się podstawą do organizacji szkoleń wewnętrznych w koncernie, co pozwoliło jeszcze lepiej dostosować program kształcenia do praktycznych potrzeb przemysłu.

Realizacja programu

Program studiów realizowany jest w formie sześciu tygodniowych zjazdów, które odbywają się na terenie Politechniki Łódzkiej. Jeden zjazd – piąty w kolejności – ma charakter warsztatowy i odbywa się w wybranym zakładzie przemysłowym.

W trakcie warsztatów uczestnicy przeprowadzają analizy zagrożeń i oceny ryzyka dla konkretnych węzłów technologicznych z wykorzystaniem metody dominującej obecnie w analizie bezpieczeństwa instalacji objętych dyrektywą Seveso. Efekty analiz są prezentowane i omawiane podczas spotkań z załogą danego zakładu, a prezentacje zawierają również rekomendacje działań służących poprawie poziomu bezpieczeństwa.

Centralnym elementem warsztatów jest praktyczne wykorzystanie schematu zarządzania ryzykiem, zgodnego z normą PN-ISO 31000. Przedstawia go rysunek 4 – jako zintegrowane podejście do oceny ryzyka dla Zakładów Dużego Ryzyka (ZDR), obejmujące m.in. metody HAZOP, FTA/ETA, AWZ oraz przepływ informacji między kolejnymi etapami analizy.

Prace dyplomowe i organizacja zajęć

Tematyka prac dyplomowych najczęściej wynika z propozycji uczestników studiów i jest bezpośrednio

powiązana z ich miejscem pracy. Taki model znacząco wspiera proces weryfikacji nabytej wiedzy, a jednocześnie przyczynia się do praktycznego zastosowania opracowanych rozwiązań w zakładach przemysłowych, np. jako materiał szkoleniowy dla pracowników.

Wykłady realizowane są głównie w tradycyjnej formie stacjonarnej. Jednak w odpowiedzi na doświadczenia związane z pandemią COVID-19 wprowadzono również możliwość zdalnego uczestnictwa w części zajęć – obecnie około 30% prowadzonych jest w formie online. Elastyczność ta zwiększyła dostępność programu oraz umożliwiła lepsze dopasowanie do możliwości uczestników pracujących zawodowo.

W ramach zajęć dydaktycznych wykorzystywane są nowoczesne narzędzia informatyczne, takie jak:

- CARA – do analizy niezawodności i ryzyka,
- PHAST – do modelowania skutków awarii chemicznych,
- SAFETI, AWZ oraz ExAWZ – programy wspomagające analizę ryzyka i ocenę skutków zdarzeń awaryjnych.

Uczestnicy mają również dostęp do materiałów wykładowych oraz obszernej biblioteki literatury fachowej z zakresu bezpieczeństwa procesowego.

Kadra wykładowa i absolwenci

Program Studiów Podyplomowych z Bezpieczeństwa Procesowego (SPBPP) jest realizowany przez szerokie grono wybitnych wykładowców i ekspertów z wielu dziedzin inżynierii i nauk technicznych. Kadra ta wywodzi się zarówno z Politechniki Łódzkiej, jak i zewnętrznych ośrodków akademickich, instytutów

badawczych, urzędów oraz przemysłu. Wyrażam serdeczne podziękowania wszystkim osobom zaangażowanym w realizację programu przez ostatnie 30 lat – za ich profesjonalizm, wkład merytoryczny oraz nieocenione wsparcie organizacyjne i dydaktyczne. W sposób szczególnie pragnę wyróżnić osoby, które przez wiele lat wspierały rozwój i prowadzenie programu:

- prof. dr hab. Kazimierz Kosmowski – Politechnika Gdańska,
- prof. dr hab. Kazimierz Lebecki – GIG, WSOP,
- prof. dr hab. Tadeusz Szopa – Politechnika Warszawska,
- dr Agnieszka Gajek – CIOP-PIB,
- dr inż. Andrzej Kozak – UDT, Vistula,
- dr inż. Jarosław Wiater – Politechnika Białostocka,
- mgr inż. Tomasz Klinkosz – UDT,
- dr Jerzy Karczewski – EVISA,
- mgr inż. Paweł Wąsowicz – BATiP.

Do grona wykładowców należeli również eksperci z przemysłu, administracji państwowej (m.in. PSP) oraz sektora prywatnego. W wielu edycjach korzystaliśmy także z wiedzy i doświadczenia wykładowców zagranicznych.

Absolwenci naszych studiów w zdecydowanej większości osiągnęli rozwój zawodowy, a wielu z nich – również awans. Często obejmują oni dziś stanowiska kierownicze w swoich zakładach pracy, co świadczy o praktycznym znaczeniu i wartości oferowanego programu.

Przyszłe trendy w bezpieczeństwie procesowym

Bezpieczeństwo procesowe, jako integralny element przemysłu procesowego, musi nadążać za jego dynamicznym rozwojem i zmianami technologicznymi. Nie może być traktowane jako dodatek do technologii, lecz jako nierozdzielny komponent całego cyklu życia instalacji przemysłowej – od projektu, przez eksploatację, aż po wycofanie z użytkowania. Kluczowe znaczenie w tym zakresie odgrywa projektowanie z uwzględnieniem bezpieczeństwa (ang. *inherent safety*), co wymaga odpowiednio przygotowanej, wysoko wykwalifikowanej kadry inżynierskiej.

Główne determinanty rozwoju

Rozwój bezpieczeństwa procesowego jest kształtowany przede wszystkim przez dwa kluczowe czynniki. To wnioski płynące z analizy danych historycznych dotyczących awarii i incydentów oraz potrzeba realizacji założeń zrównoważonego rozwoju.

Analiza poważnych awarii przemysłowych z ostatnich dwóch dekad (własna oraz dostępna literatura [7]) pozwala wyróżnić sześć głównych czynników decydujących o skuteczności zarządzania bezpieczeństwem:

1. Przewodzenie i kultura bezpieczeństwa.
2. Świadomość ryzyka.
3. Komunikacja i przepływ informacji.

4. Kwalifikacje i kompetencje personelu.
5. Jakość i transparentność procesów decyzyjnych.
6. Uwarunkowania wewnętrzne i zewnętrzne zakładu.

Choć lista ta nie wyczerpuje wszystkich aspektów, wskazane czynniki odgrywają szczególną rolę w strategii bezpieczeństwa na poziomie korporacyjnym.

Strategiczne kierunki rozwoju: SAFER, SMARTER, GREENER

Nowoczesna koncepcja rozwoju przemysłu, promowana m.in. przez DNV, wskazuje na trzy strategiczne priorytety:

- SAFER – dążenie do wyższego poziomu bezpieczeństwa ludzi, środowiska oraz stabilności ekonomicznej produkcji,
- SMARTER – rozwój innowacyjności, cyfryzacja i inwestycje w inteligentne rozwiązania technologiczne,
- GREENER – transformacja energetyczna i środowiskowa (odejście od paliw kopalnych, wykorzystanie OZE, wodoru, biotechnologii, e-mobilności).

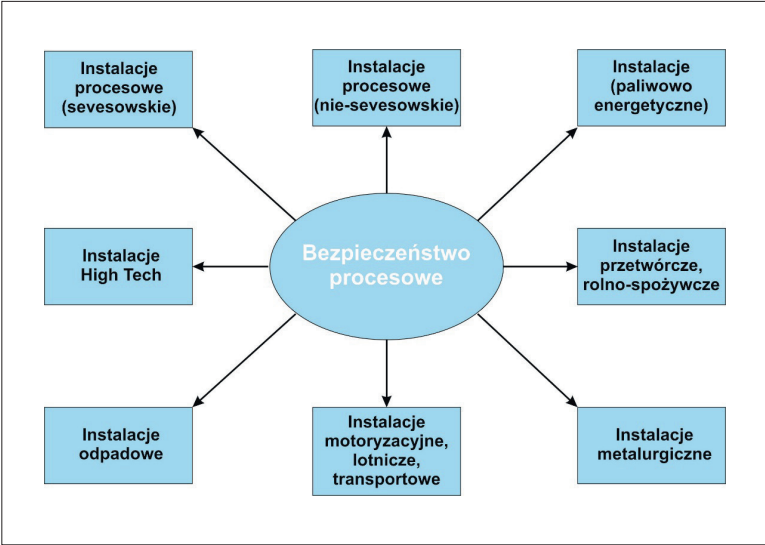
Te kierunki stanowią również ramy dla przyszłego rozwoju technik i narzędzi stosowanych w bezpieczeństwie procesowym.

Nowe uwarunkowania dla bezpieczeństwa procesowego

W perspektywie najbliższych lat rozwój bezpieczeństwa procesowego będzie musiał uwzględniać następujące istotne obszary:

1. Wdrażanie nowych, bezodpadowych i wysokoefektywnych technologii w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju.
2. Dywersyfikacja źródeł energii – przejście z węgla na gaz, LNG, wodór, OZE; rozwój biotechnologii i e-mobilności.
3. Zmiany w technologiach energetycznych, wynikające z regulacji UE (np. udział OZE: 60% do 2030 r., 80% do 2050 r.).
4. Nowe modele logistyki i przepisy w zakresie mobilności, recyklingu, emisji, opakowań i jakości produktów.
5. Cyfryzacja procesów przemysłowych, zgodna z koncepcją Przemysłu 4.0.
6. Nowoczesne podejścia do zarządzania ryzykiem, w tym Dynamiczne Zarządzanie Ryzykiem (DZR) i Dynamiczne Zarządzanie Bezpieczeństwem (DZB).
7. Nowe zagrożenia i konieczność ich przeciwdziałania: cyberbezpieczeństwo, terroryzm, szpiegostwo przemysłowe, ochrona informacji.
8. Integracja bezpieczeństwa procesowego z ochroną fizyczną obiektów przemysłowych.

Powyższe zagadnienia wymagają strategicznego i holistycznego podejścia do bezpieczeństwa, które będzie sukcesywnie wdrażane również w ramach ko-



RYS. 5
Potencjalne możliwości zastosowania bezpieczeństwa procesowego w innych branżach przemysłu i gospodarki

lejších edycji studiów. Naszym celem jest nie tylko przekazywanie wiedzy, ale także kształtowanie postaw inżynierów przyszłości – liderów, którzy będą potrafili łączyć nowoczesne technologie z odpowiedzialnym i efektywnym zarządzaniem bezpieczeństwem.

Zastosowanie zarządzania ryzykiem procesowym do innych obszarów przemysłu i gospodarki

Zarządzanie ryzykiem procesowym zostało szczególnie rozwinięte w wyniku wprowadzenia dyrektyw SEVESO (I, II, III), które objęły wybrane instalacje chemiczne i procesowe o podwyższonym ryzyku wystąpienia poważnych awarii. W efekcie powstały dobrze ugruntowane wytyczne i systemy zarządza-

nia ryzykiem i bezpieczeństwem, które stanowiły podstawę programu dydaktycznego naszych studiów przez ostatnie 30 lat.

Pojawia się zatem pytanie, czy metody i rozwiązania z zakresu bezpieczeństwa procesowego można skutecznie zaadaptować i zastosować w innych branżach przemysłowych oraz sektorach gospodarki, które również charakteryzują się potencjałem wystąpienia poważnych awarii? Potencjalne możliwości zastosowania zarządzania ryzykiem procesowym w różnych dziedzinach gospodarki i przemysłu zostały przedstawione na rys. 5.

W większości wskazanych zakładów mamy do czynienia z niebezpiecznymi substancjami chemicznymi, które mogą powodować ryzyko wystąpienia poważnej awarii związanej z uwolnieniem tych substancji. Dla takich instalacji celowe jest zastosowanie odpowiednich metod identyfikacji zagrożeń oraz oceny ryzyka. Szczególnie dotyczy to tzw. zakładów „niesewesowskich”, które magazynują niebezpieczne substancje chemiczne, ale w ilościach poniżej wartości progowych określonych dla instalacji sewesowskich (ZDR i ZZR). Do tej grupy zaliczamy między innymi zakłady farmaceutyczne, biotechnologiczne, informatyczne – klasyfikowane jako High-Tech – a także magazyny rozpuszczalników i tworzyw sztucznych. Zagadnienie to, wraz z propozycjami uregulowań prawnych, zostało szczegółowo omówione przez A. Gajek [8]. W publikacji tej przedstawiono dane liczbowe dotyczące liczby instalacji w Polsce, w których znajdują się niebezpieczne substancje sewesowskie, np. 531 instalacji zawierających amoniak oraz 169 instalacji z LPG. Proponowane są również określone rozwiązania systemowe dotyczące MAPP oraz SMS.

TAB. 1
Proponowane metody analizy ryzyka procesowego dla wybranych branż przemysłowych

Zakłady	Zakłady sewesowskie	Zakłady niesewesowskie	Zakłady („high-tech” (bio, farmaceutyczne, informatyczne)	Zakłady infrastruktury krytycznej (zakłady paliwowo energetyczne, odpadowe)	Zakłady metalurgiczne
Zarządzanie ryzykiem					
Identyfikacja zagrożeń, RZA	HAZOP/PHA CyberHAZOP	OZ-ChI/PHA lub What IF ExSys AWZ	HAZOP lub PHA WHAT IF	PHA lub HAZOP	PHA/What IF FEMA
Scenariusze awaryjne RSA	Bow-Tie	IA/ExSys AWZ lub FTA/ETA	IA/Ex Sys lub FTA/ETA	IA/Ex Sys lub FTA/ETA	IA/Ex Sys lub FTA/ETA
Ocena prawdopodobieństwa RSA	FTA/ETA HRA	Dane generyczne	FTA/ETA	Analiza niezawodności- Dane generyczne	Ex Sys lub FTA/ETA
Ocena wielkości skutków – strefy zagrożeń	PhE&C An. Sym. CFD	Ekspert półilościowe kategorie	Ekspert –półilościowe Kategorie PhE&C An.	Ekspert – półilościowe kategorie, PhE&C An., Sym. CFD	Ekspert półilościowe kategorie
Ocena ryzyka procesowego	QRA/AWZ	AWZ lub Matryca ryzyka Graf ryzyka	AWZ lub Matryca ryzyka	AWZ lub Matryca ryzyka	AWZ lub Matryca ryzyka Graf ryzyka

Obecnie instalacje takie podlegają jedynie ogólnym wymaganiom BHP, jednak mogą stwarzać realne zagrożenie wystąpienia poważnej awarii.

Dobór metod proponowanych do przeprowadzenia analizy i oceny ryzyka procesowego, w zależności od rodzaju zakładu i charakteru występujących zagrożeń, przedstawia tabela.

Poniżej przedstawiono wyjaśnienie zestawu najczęściej stosowanych metod analizy ryzyka i identyfikacji zagrożeń, stosowanych w różnych branżach przemysłowych:

- HAZOP – analiza zagrożeń i zdolności operacyjnych,
- Cyber HAZOP – identyfikacja zagrożeń cybernetycznych,
- PHA – wstępna analiza zagrożeń,
- WHAT-IF – metoda identyfikacji zagrożeń na zasadzie pytania: „co będzie, jeśli?”,
- Oz-ChL (ocena zgodności – lista kontrolna),
- FMEA – analiza rodzajów awarii i uszkodzeń,
- Bow-Tie – kombinacja metod FTA (drzewo błędów) oraz ETA (drzewo zdarzeń),
- FTA/ETA – drzewo błędów / drzewo zdarzeń,
- HRA – analiza błędów ludzkich,
- IA/ExSys – sztuczna inteligencja stosowana w eksperckich metodach generowania scenariuszy awaryjnych,
- PhE&C-An – analiza efektów fizycznych i skutków,
- Sym. CFD – symulacje komputerowe oparte na obliczeniowej mechanice płynów,
- QRA – ilościowa analiza ryzyka,
- AWZ (LOPA) – analiza warstw zabezpieczeń,
- Matryca ryzyka – metoda półilościowa określająca kategorię ryzyka,
- Graf ryzyka – czteroparametrowa metoda oceny ryzyka zawodowego.

Warto także zwrócić uwagę na mniej znaną metodę systemu eksperckiego ExSysAWZ, służącą do generowania scenariuszy awaryjnych na podstawie specyfikacji badanego procesu [9]. System ten wykorzystuje przygotowane bazy wiedzy oraz algorytmy wnioskowania wspomagające proces selekcji zdarzeń awaryjnych i mechanizmów ich powstawania dla wybranej instalacji procesowej. Program ten można zakwalifikować do obszaru sztucznej inteligencji (AI).

Metody przedstawione w tabeli nie wyczerpują wszystkich dostępnych technik, jednak wskazują na te najczęściej stosowane i najbardziej użyteczne dla określonych branż przemysłowych. Dobór odpowiednich metod analizy ryzyka jest istotnym zadaniem realizowanym w trakcie studiów podyplomowych.

Wnioski

1. Studia Podyplomowe BPP PŁ odegrały istotną rolę w kształtowaniu procesów zapewnienia bezpieczeństwa w polskim przemyśle chemicznym oraz umożliwiły organom państwowym efektywne

sprawowanie nadzoru. Potwierdzają to m.in. statystyki dotyczące poważnych awarii w Polsce.

2. Sukces Studiów Podyplomowych BPP PŁ wynika z ogromnego zaangażowania kadry wykładowców oraz dobrej współpracy i wsparcia ze strony zakładów przemysłu chemicznego (m.in. ORLEN, LOTOS, Grupa Azoty, PCC Rokita) oraz organizacji nadzoru (szczególnie PSP i UDT). Kompetencje uzyskiwane na studiach są wysoko cenione przez pracodawców.
3. Obecna struktura kształcenia, choć dostosowana do zmian w przemyśle procesowym, jest niewystarczająca i wymaga rozszerzenia o nowe czynniki rozwojowe.

”

Naszym celem jest nie tylko przekazywanie wiedzy, ale także kształtowanie postaw inżynierów przyszłości

4. Konieczne są zmiany w programie polegające na zwiększeniu udziału zajęć praktycznych. W zakładach znajduje się wielu wybitnych specjalistów, którzy mogliby wesprzeć modernizację programu.
5. Wykorzystanie wiedzy z bezpieczeństwa procesowego ma duży potencjał do zastosowania w innych zakładach, zwłaszcza infrastrukturze krytycznej i zakładach niesevesowskich.
6. Problem zapewnienia bezpieczeństwa nie powinien być rozwiązywany przez okazjonalne studia podyplomowe. Lepszym rozwiązaniem byłoby utworzenie jednolitych, pięcioletnich studiów, które po trzech wspólnych latach umożliwiłyby podział na specjalizacje: bezpieczeństwo i higiena pracy, bezpieczeństwo procesowe oraz zarządzanie kryzysowe.

Literatura

1. EMARS - European Major Accident Reporting System.
2. MARSH, The 100 Largest Losses 1974-2015, 2016.
3. Managing Cybersecurity in the Process Industries: A Risk-based Approach, CCPS, 2022, ISBN: 978-1-119-86180-5.
4. Mannan S., Lee's Loss Prevention in the Process Industries, Elsevier Butterworth-Heinemann (2005).
5. Studia Podyplomowe Bezpieczeństwo Procesów Przemysłowych – PŁ.
6. Markowski A.S., Krasławski A., Vairo T., Fabiano B., „Process Safety Management Quality in Industrial Corporation for Sustainable Development”, Sustainability, 2021, 13(16), 9001; <https://doi.org/10.3390/su13169001>.
7. Gajek A., „Regulatory proposals for non-Seveso establishments”, Chemical Engineering Transactions, Vol. XXX, 2025.
8. Markowski A.S., Mannan M.S., „ExSys-LOPA for the chemical process industry”, J. of Loss Prevention in the Process Industries, 23 (2010), 688-696. ■