

Alert BHP, kwiecień 2015

Autorzy: Dr inż. Stanisław Kowalewski

Dyrektor ds. Nauki i Techniki, Dyrektor Działu Bezpieczeństwa Maszyn

Mgr inż. Andrzej Oleśkiewicz

Kierownik Działu Studiów i Badań, Certyfikowany Specjalista ds. Bezpieczeństwa Maszyn

PROBLEMY OCENY RYZYKA PRZY OBSŁUDZE MASZYN

Wszelka działalność, zawodowa i prywatna, jest nieodłącznie związana z podejmowaniem ryzyka, czyli liczeniem się z możliwością ponoszenia strat. Wobec ciągłej obecności ryzyka podczas realizacji zadań zawodowych, należy w sposób racjonalny nauczyć się z nim żyć, tzn. przede wszystkim mieć świadomość jego obecności oraz potrafić go zredukować do akceptowalnego i uzasadnionego minimum. Te postulaty stanowią istotę zarządzania ryzykiem. Choć są z pozoru proste, ich spełnienie jest w praktyce warsztatowej trudne, lecz nieodzowne. Współczesna koncepcja kreowania bezpiecznego środowiska pracy opiera się na racjonalizacji ryzyka zawodowego. Pozostaje ono w zasadzie jedynym parametrem umożliwiającym kwantyfikowanie poziomu bezpieczeństwa. Jest kluczem i nieodzownym narzędziem efektywnego zarządzania bezpieczeństwem pracy. *Ryzyko zawodowe* jest definiowane jako *możliwość ponoszenia strat w procesie pracy*, czyli jest prawdopodobieństwem zaistnienia *zdarzenia zagrażającego (szkodliwego)*, powodującego określone *szkody*. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia jest związane z jednoczesnym wystąpieniem dysfunkcji struktury stanowiska pracy i ekspozycji na nią ludzi lub obiektów. W odniesieniu do maszyn produkcyjnych najistotniejsze, zdecydowanie dominujące i decydujące o poziomie bezpieczeństwa, jest *ryzyko wypadkowe (urazowe)*. *Ryzyko zdrowotne*, związane z oddziaływaniem zagrożeń środowiskowych (hałas, zapylenie, oświetlenie itd.), aczkolwiek trudne do nadzorowania, jest dobrze rozpoznane i zazwyczaj nie wynika ze szczególnego charakteru poszczególnych stanowisk pracy. Ryzyko, jakie towarzyszy ludziom w różnych fazach użytkowania maszyn, pomimo zastosowania środków bezpieczeństwa, jest tzw. *ryzykiem resztkowym*. Zarządzanie bezpieczeństwem pracy polega w istocie na świadomym podejmowaniu albo odrzucaniu tegoż właśnie ryzyka. Ryzyko resztkowe powinno pozostawać na poziomie zredukowanym do świadomie akceptowanego i uzasadnionego minimum, którego wartość graniczną wyznacza *ryzyko tolerowalne*, tj. ryzyko, które zostało zaakceptowane w danych okolicznościach w oparciu o bieżące wartości społeczne (aktualny stan wiedzy i techniki, koszty, organizację bezpiecznych procesów pracy, wykształcenie, umiejętności, kulturę, świadomość personelu i in.). Ryzyko tolerowalne to niezwykle ważne pojęcie, wyznacza bowiem poziom podstawowy, poniżej którego zejść nie można. Jest jednocześnie trudne do rozumienia i stosowania, ponieważ jest dość niejednoznaczne. Na nim opiera się współczesna strategia kształtowania bezpieczeństwa, które zdefiniowane jako uwolnienie od nietolerowalnego ryzyka wskazuje, że

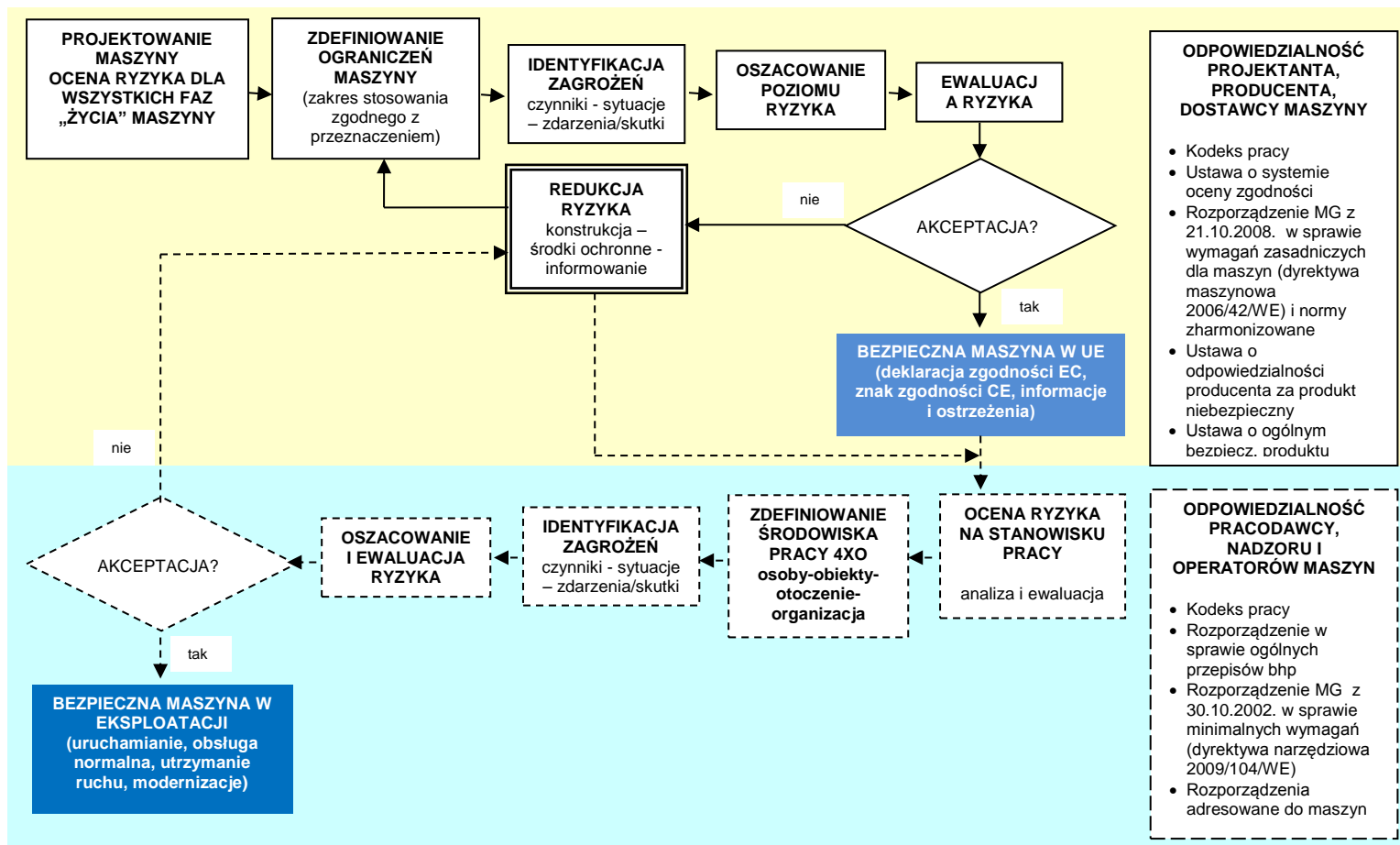
bezpieczeństwo to nie wyidealizowany stan z ryzykiem zredukowanym do zera, ale taki, gdzie zagwarantowane są warunki pracy na poziomie odpowiadającym aktualnemu stanowi wiedzy, możliwości technicznych i organizacyjnych w konkretnych uwarunkowaniach kulturowych. Za poziom ryzyka towarzyszącego obsłudze maszyn i urządzeń odpowiedzialni są przede wszystkim ich producenci (projektanci, dostawcy). Obsługa maszyn nowo-produkowanych, o ile odbywa się zgodnie z zasadami sformułowanymi przez producentów, powinna odbywać się na poziomie tolerowalnym bez stosowania dodatkowych środków bezpieczeństwa przez użytkowników. Szczególna rola w kształtowaniu poziomu ryzyka obsługi maszyn starych, z przestarzałymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, spoczywa na użytkownikach: pracodawcach, kierownictwie, nadzorze, inspekcji oraz osobach bezpośrednio zagrożonych, czyli operatorach maszyn.

Warto podkreślić pierwszorzędą wagę problematyki oceny ryzyka także i z tego względu, że analizy z nim związane mają charakter wprost prospektywny. Procesy oceny ryzyka, odnosząc się do zdarzeń przyszłych, tym samym odnoszą się bezpośrednio do zapobiegania wypadkom przy pracy, co stanowi istotę prewencji wypadkowej. Współ z analizami retrospektywnymi związanymi z badaniami wypadków, można tworzyć efektywny system minimalizowania strat. Trzeba też mieć świadomość wagi badań wypadków z punktu widzenia potwierdzenia empirycznego stawianych hipotez badawczych. Przy obecnym stopniu rozwoju nauki o bezpieczeństwie, jedynie badania i analiza wypadków przy pracy umożliwiają weryfikację postawionych hipotez przy tworzeniu systemów bezpieczeństwa z oceną ryzyka włącznie. Praktycznie jest to jedyna metoda weryfikacji, albowiem symulowanie wypadków w warunkach rzeczywistych jest niedopuszczalne z oczywistych względów etycznych. Natomiast wykorzystanie komputerowych technik symulacyjnych, np. kreowanie rzeczywistości wirtualnej, jest wyzwaniem, które już zostało podjęte przez zespoły badawcze, jednakże ich systemowe zastosowania praktyczne to jeszcze dość odległa przyszłość.

Ogólna procedura nadzorowania ryzyka przy obsłudze maszyn

Oczekiwany poziom ryzyka tolerowalnego można osiągnąć przez świadome stosowanie iteracyjnego procesu oceny ryzyka i, w razie potrzeby, jego redukcji. Ocena ryzyka składa się z analizy i ewaluacji ryzyka. Analiza ryzyka to zebranie, rozpoznanie oraz przetworzenie dostępnych informacji koniecznych do dokonania identyfikacji zagrożeń oraz do oszacowania ryzyka. Natomiast ewaluacja ryzyka wieńczy proces oceny. Jest elementem strategicznym tego procesu, w którym na podstawie analizy oraz także uwzględnienia rozmaitych czynników wynikających z kontekstu społecznego, np. socjalnych, ekonomicznych, kulturowych, środowiskowych itd., zostaje wydane orzeczenie o akceptacji bądź dyskwalifikacji wcześniej oszacowanego poziomu ryzyka. Tak sformułowany proces jest bardzo uogólniony, a jego praktyczne zastosowanie wymaga szczegółowego rozwinięcia poszczególnych elementów odpowiednio do specyfiki konkretnych stanowisk pracy i prowadzonych zadań. Ocena

ryzyka jest narzędziem uniwersalnym, które powinni stosować zarówno projektanci nowych maszyn jak również ich użytkownicy, ponieważ wszyscy bezpieczeństwo kształtują i za nie odpowiadają etycznie i prawnie.

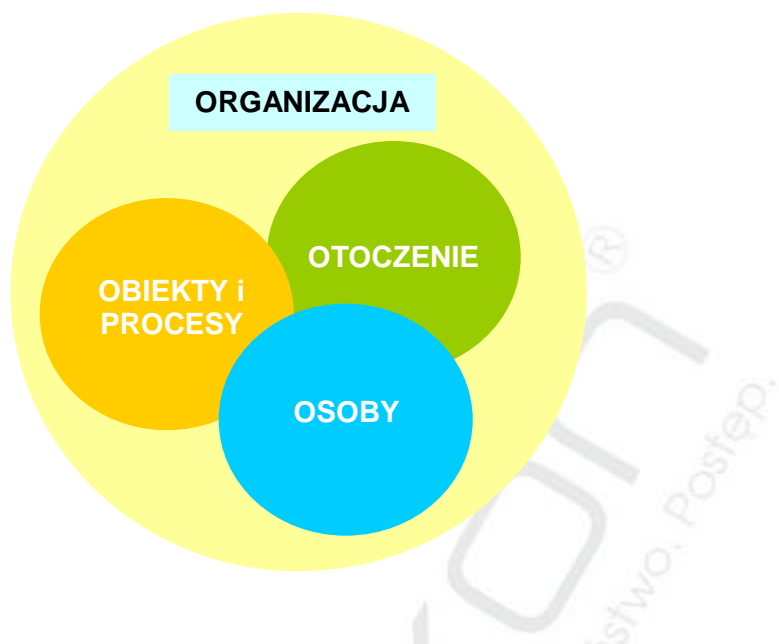


Struktura kształtowania bezpieczeństwa i odpowiedzialności przez nadzorowanie ryzyka przy projektowaniu, budowie i eksploatacji maszyn

Problemy w zdefiniowaniu stanowiska pracy

Realne środowisko pracy składa się z trzech zasadniczych elementów, które są nieodzowne przy realizowaniu zadań produkcyjnych lub usługowych: ludzi je wykonujących, używanego wyposażenia i środków roboczych (objekty i procesy) oraz otoczenia, w którym są one wykonywane. Te trzy elementy mające bezpośredni wpływ na realizację celów wytwórczych muszą być ze sobą zharmonizowane i działać wedle przyjętych zasad, które tworzą organizację pracy.





Struktura bezpieczeństwa 4xO stanowiska pracy

Struktura środowiska pracy musi być odpowiednia do zadań, jakie mają być podjęte na stanowisku pracy. Zdefiniowanie zadań jest elementem wyjściowym do sformułowania struktury i charakteru stanowiska pracy. Od precyzyjnego i jednoznacznego określenia przedsięwzięcia bezpośrednio zależy określenie specyfiki procesu, sposobów jego realizacji oraz budowy i wymagań stawianych samemu stanowisku pracy, co rodzi bezpośrednio konsekwencje związane ze strukturą bezpieczeństwa: $4xO = f(\text{Osoby}, \text{Obiekty}, \text{Otoczenie}, \text{Organizacja})$. W każdym z tych elementów mogą pojawiać się zakłócenia skutkujące dysfunkcją całego systemu. Kształtowanie bezpieczeństwa na stanowisku pracy jest bezpośrednio związane z określeniem wymagań stawianych poszczególnym elementom tej struktury. Choć nie są one ostro zakreślone, ponieważ wiele cech jest wspólnych, wzajemnie przenikających się, to jednak można je uporządkować wedle czynników i właściwości kształtujących te elementy. Zdefiniowanie stanowiska pracy, czyli określenie wymagań jakie powinno spełniać, jest związane z narzuceniem mu ograniczeń, limitów brzegowych, których przekraczać nie wolno. Powinno ono uwzględniać: prace studialne uwzględniające wszystkie fazy „życia” maszyny, czyli: budowę; transport i przekazanie do eksploatacji tzn. montaż, instalowanie oraz dokonywanie wszelkich regulacji mających wpływ na bezpieczeństwo; użytkowanie - nastawianie, uczenie, normalna praca, czyszczenie, wykrywanie usterek, konserwacja i naprawy; wycofanie z użytkowania, demontaż oraz złomowanie. Zdefiniowanie ograniczeń wiąże się określeniem zakresu stosowania maszyny zgodnego z przeznaczeniem wraz ze zwróceniem uwagi na możliwe do przewidzenia

zastosowania niezgodne, wykraczające poza przewidywany zakres. To powinno być określone w Instrukcji Obsługi w zakresie: zastosowania, przestrzeni i czasu użytkowania maszyny.

Elementy i czynniki struktury bezpieczeństwa stanowiska pracy

Elementy struktury		Czynniki bezpieczeństwa
Osoby		<ul style="list-style-type: none"> - płeć - wiek - cechy psychofizyczne - umiejętności - poziom wykształcenia - kultura - ekspozycja osób trzecich.....
Obiekty i procesy	Źródła energii	<ul style="list-style-type: none"> - mechanicznej (masa, prędkość, wysokość, ciśnienie płynów, stateczność i in.) - elektrycznej (zasilanie, sterowanie, odporność na przebicie, zerowanie i in.) - termicznej (powierzchnie gorące, zimne) - chemicznej (oddziaływanie substancji) - promieniowania - ludzkiej...
	Czas i przestrzeń	<ul style="list-style-type: none"> - trwałość obiektu i elementów - niezawodność - dopuszczalny czas pracy ciągłej - przestrzeń potrzebna na zainstalowanie, eksploatację, obsługę i konserwację...
	Właściwości użytkowania	<ul style="list-style-type: none"> - faza „życia obiektu” (budowa, transport, instalowanie i uruchamianie, eksploatacja, konserwacja, obsługa bieżąca, demontaż i złomowanie), - zastosowanie (przemysłowe, usługowe, domowe i in.) - dokładne określenie prac ręcznych - warunki użytkowania zgodnie z przeznaczeniem - warunki uszkodzenia - transport....
Otoczenie		<ul style="list-style-type: none"> - klimat i mikroklimat - czas (pora dnia, roku) - aranżacja otoczenia - oświetlenie - stosunki międzyludzkie i współpraca - kumulacja zagrożeń (hałas, promieniowanie itd.).....
Organizacja		<ul style="list-style-type: none"> - organizacja i zarządzanie procesami - nadzór - szkolenia - motywowanie - komunikowanie się - ciągłe doskonalenie.....

Problemy identyfikacji zagrożeń

W nauce o bezpieczeństwie zagrożenie jest kategorią najważniejszą i najtrudniejszą do rozpoznania w procesie oceny ryzyka. Odgrywa w nim decydującą rolę, ponieważ po to właśnie należy oceniać ryzyko realizacji poszczególnych zidentyfikowanych zagrożeń, ażeby móc je albo wyeliminować, albo skutecznie nadzorować. Generalnie, z uwagi na charakter skutków, nagłość realizacji, przypadkowość oraz na mierzalność i relacje z ekspozycją, zagrożenia można podzielić na urazowe (wypadkowe) i chorobowe (środowiskowe). Zagrożenia urazowe są słabo mierzalne. Aktywizują się nagle i nieoczekiwanie. Na swe ofiary mogą oddziaływać różnymi rodzajami energii niszczącej, np. mechanicznej, elektrycznej, cieplnej, energii wybuchów i wszelkimi innymi powodującymi szkodliwe zdarzenia nagłe i nieoczekiwane. Powodują bezpośrednie straty ludzkie, materialne i finansowe. Zagrożenia środowiskowe – pomijając rzadkie przypadki nagłego oddziaływania o chwilowych wartościach szczytowych przekraczających odporność ofiary - są przyczyną chorób zawodowych. Są dobrze rozpoznane (np. hałas, drgania, zapylenie) i posiadają tę zaletę, z punktu widzenia ich nadzorowania, że w odróżnieniu od zagrożeń wypadkowych, są mierzalne. To niezwykle ważne, ponieważ do analiz ryzyka związanych z tymi zagrożeniami stosuje się bezpośrednio metody ilościowe. Wiadomo jaki parametr należy mierzyć, czym i w jaki sposób oraz, co najważniejsze, można wartość zmierzoną porównać z wartościami najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) lub najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN). Zagrożenia środowiskowe zazwyczaj oddziałują w długich okresach czasu i nie powodują bezpośrednich strat materialnych. Mechanizmy szkodliwego oddziaływania zagrożeń wypadkowych i środowiskowych są inne. Tę różnicę czyni istota związków pomiędzy zagrożeniami a ekspozycją. W odniesieniu do zagrożeń środowiskowych, o negatywnych długotrwałych oddziaływaniach zdrowotnych, człowiek może być na nie ekspozycyjnie, a mimo to wykonywać swoje zadania. Tutaj ekspozycja jest tożsama z bezpośrednim kontaktem człowieka z czynnikiem szkodliwym. Co więcej, wykonywanie pracy w warunkach ekspozycji na te zagrożenia regulują odpowiednie zasady ujęte w stosownych przepisach i normach (np. relacje pomiędzy czasem ekspozycji a wartościami stężeń czynników szkodliwych). Inaczej rzecz ma się w odniesieniu do zagrożeń wypadkowych, urazowych, gdzie wydarzenia następują nagle i nieoczekiwanie, gdzie każdy bezpośredni kontakt człowieka z czynnikiem, którego energia przewyższa jego odporność, jest równoznaczny z doznaniem urazu i, zazwyczaj, z niemożnością kontynuowania zadań. Tutaj ekspozycja jest tożsama nie z bezpośrednim oddziaływaniem, ale już z samą możliwością oddziaływania.

Zagrożenie – zdefiniowanie pojęcia

Zagrożenie, mimo że jest pojęciem kluczowym dla rozpoznania i rozumienia środowiska pracy oraz zarządzania bezpieczeństwem, nie zostało dotychczas jednoznacznie zdefiniowane. Tylko pozornie to pojęcie jest proste i oczywiste. *Zagrożenie* nie jest jednoznacznie rozumiane w środowisku nauki o bezpieczeństwie, czego ilustracją

niech będzie tylko kilka definicji używanych w podręcznikach, publikacjach krajowych i zagranicznych, w międzynarodowych materiałach normalizacyjnych i innych, obecnych w obiegu na rynku bezpieczeństwa pracy:

Zagrożenie to...

- *potencjalne źródło szkód* – (Przewodnik ISO/IEC 51);
- *źródło możliwego urazu lub pogorszenia stanu zdrowia* – (PN-EN ISO 12100);
- *możliwe źródło lub przyczyna wypadku* – (L. Harm-Ringdal);
- *obiekt lub sytuacja, które stanowią groźbę straty* – (Lees);
- *źródło ryzyka* – (SCRATCH);
- *każdy czynnik mający zdolność spowodowania utraty życia lub zdrowia* - (R. Studenski);
- *warunkowa możliwość powstawania strat, pojawiająca się w wyniku pojedynczego zdarzenia niepożądanego w określonym fragmencie systemu C-T-O* – (T. Szopa);
- *potencjalnie niebezpieczny przepływ energii* – (MORT);
- *fizyczne lub chemiczne cechy materiału, sytemu, procesu lub instalacji mające potencjalną możliwość powodowania szkód ludzkich, dóbr materialnych lub środowiskowych* – (Guidelines for hazard evaluation procedures – AIChE));
- *na tyle niebezpieczne okoliczności, że jeśli są nienadzorowane, mogą przyczyniać się do wypadków* – (Accident Preventional Manual for Business & Industry. Engineering & Technology. NSC);
- *wewnętrzna właściwość lub zdolność czegoś (np. materiału obrabianego, wyposażenia, metod pracy i praktyki) do potencjalnego powodowania szkód* – (Guidelines on pisk assessment At work - ECH&S);
- *stan środowiska mogący spowodować wypadek lub chorobę* (PN-N-18000).

Jak widać, przytoczone definicje rozmaicie wypełniają kategorie: przyczyn (źródło, przyczyna, groźba, czynnik, energia, cechy fizyczne lub chemiczne, obiekt lub sytuacja, zdarzenie niepożądane, okoliczności, właściwość lub zdolność) i skutków (urazy, pogorszenie stanu zdrowia, wypadki, straty, utrata zdrowia lub życia, szkody ludzkie, materialne lub środowiskowe, ryzyko). Z niektórymi definicjami trudno się zgodzić. Jednak poza zróżnicowaniem treści, posiadają one ten sam, w istocie najważniejszy element, mianowicie potencjalność, czyli to, że zagrożenia niosą ze sobą groźbę dopiero przyszłych nieszczęść. Można spotkać niezrozumiałe podejścia. Np. w monografii Centralnego Instytutu Ochrony Pracy zawarto takie: *zagrożenie powstaje wówczas, gdy nastąpi kolizyjne zetknięcie człowieka z przedmiotem pracy, będącym źródłem czynnika niebezpiecznego* – (J. Gierasimiuk i J.

Wróbel). Ta definicja warunkuje istnienie zagrożenia od wejścia w kolizję człowieka z czymś niebezpiecznym. Dopóki więc nie pojawi się człowiek, dopóty nie ma zagrożenia. To typowe, często spotykane mylenie pojęć: ryzyka, zagrożenia i wypadku. Nie można utożsamiać ekspozycji człowieka na zagrożenia urazowe z bezpośrednim oddziaływaniem czynnika niebezpiecznego, lecz z samą możliwością takiego oddziaływania. Czyż człowiek nie jest ekspozowany na zagrożenia np. ze strony nieosłoniętego przewodu elektrycznego pod napięciem, albo nieosłoniętej wirującej tarczy ścierniej, dlatego, że ich nie dotyka? *Ekspozycja* na zagrożenia, z punktu widzenia powstawania wypadków, jest tożsama z *sytuacją zagrożenia* tzn. z okolicznościami, w których ludzie (obiekty) mogą mieć kontakt z *czynnikiem zagrażającym*. Tak więc, ekspozycja na zagrożenia środowiskowe jest związana z bezpośrednim oddziaływaniem czynnika zagrażającego na ludzi (obiekty). Natomiast ekspozycja na zagrożenia wypadkowe (urazowe) z możliwością oddziaływania i dopiero wtedy, gdy nastąpi dysfunkcja systemu pracy, tzn. gdy zawiodą bariery neutralizujące przepływ energii od czynnika zagrażającego do człowieka (obektu), dochodzi do oddziaływania bezpośredniego – czyli finalnego *zdarzenia szkodliwego*, którego następstwem są rozmaite straty ludzkie, materialne, finansowe, społeczne i in. Podsumowując, racjonalna wydaje się być definicja szeroka: *zagrożenie wypadkowe to potencjalne źródło szkód - ogół czynników i zjawisk towarzyszących oddziaływaniu energii niszczącej na ludzi, mienie lub środowisko*. Aby w pełni zidentyfikować zagrożenie należy rozpoznać elementy je tworzące związane z:

- naturą źródła energii, czyli *czynniki zagrażające*, którymi mogą być wszelkie media posiadające (lub mogące posiadać) energię przewyższającą próg odporności ofiary (człowiek, mienie, środowisko);
- możliwością oddziaływania na ofiary, czyli *sytuacje zagrożenia*, którymi są okoliczności, w których ludzie, mienie lub środowisko są ekspozowani na zagrożenia;
- formą oddziaływania, czyli *zdarzenia szkodliwe*, którymi są wydarzenia, w których sytuacja zagrożenia przeradza się w szkodę (wypadek lub prawie wypadek).

Czynnik zagrażający i *aktywacja czynnika zagrażającego* (np. niezasterowany, powtórny skok suwaka w prasie) informują o tym co zagraża? *Sytuacja zagrożenia* (np. możliwość pochwycenia dłoni pomiędzy stemplem i matrycą) informuje o tym jak i dlaczego zagraża? Natomiast *zdarzenie szkodliwe* (np. zmiżdżenie dłoni) informuje o tym jakie skutki mogą rodzić sytuacje zagrożenia czyli czym zagraża? Takie podejście tworzy jednocześnie sekwencyjny model wydarzenia wypadkowego, ponieważ tak zdefiniowane *zagrożenie* oraz jego elementy (czynnik, sytuacja i zdarzenie) tworzą łańcuch przyczynowo - skutkowy. Aby mogło dojść do rozwoju nieszczęścia musi być na początku jakiś czynnik mogący osiągnąć ofiary i spowodować jakieś szkody. Takie podejście jest niezwykle ważne zarówno przy tworzeniu systemu badań i analizy wypadków, ale też przy szacowaniu i ocenie ryzyka, ponieważ jedna przyczyna pierwotna - czynnik zagrażający - może tworzyć z

potencjalną ofiarą rozmaite sytuacje zagrożenia, a one z kolei mogą przeradzać się w różnorodne szkody. Podsumowując, identyfikacja zagrożeń wypadkowych jest procesem rozpoznawania jego elementów: czynników zagrażających, sytuacji zagrożeń i zdarzeń szkodliwych. Oczywiście w praktyce zawsze będą stosowane uogólnione pojęcia zagrożenia, które są związane z rodzajem mediów i przenoszonej energii, np. zagrożenia mechaniczne, elektryczne, chemiczne, termiczne, biologiczne, wybuchy, hałas, drgania itd. One dobrze służą jako hasła przy zgrubnych charakterystykach bezpieczeństwa na stanowisku pracy lub przy ich systematyzowaniu i klasyfikowaniu. Natomiast są zbyt uogólnione, aby mogły być wprost wykorzystywane do analiz szczegółowych, zarówno przy badaniach wypadków jak i ocenie ryzyka. Dokonując analiz zagrożeń należy zawsze pamiętać o wszystkich elementach mających wpływ na proces, związkach i relacjach między nimi oraz możliwych scenariuszach wydarzeń. Poszczególne zagrożenia, oceniane jako znikome, mogą w kombinacji z innymi powodować znaczne niebezpieczeństwo na stanowisku pracy. W rzeczywistych warunkach warsztatowych, podczas użytkowania maszyn, pojedyncze, wyabstrahowane zagrożenia prawie nie występują. Zazwyczaj różnym zagrożeniom urazowym towarzyszą zagrożenia środowiskowe, których oddziaływanie nawzajem się wzmacnia.

Problemy szacowanie ryzyka

Po zidentyfikowaniu zagrożeń należy określić, w jakim stopniu możliwy jest kontakt z nimi potencjalnej ofiary i jakie to mogłoby spowodować szkody (urazy, straty materialne, finansowe i inne). Służy temu kolejny element procesu oceny ryzyka, jakim jest jego szacowanie. Ryzyko wypadkowe jest pojęciem stochastycznym. Zatem oszacowanie ryzyka polega na jego skalkulowaniu z pewnym prawdopodobieństwem, na wymaganym poziomie ufności. Ryzyko (R) jest funkcją: możliwości zaistnienia zdarzenia szkodliwego (prawdopodobieństwa realizacji rozpatrywanego zagrożenia) (O), ekspozycji (E), czyli częstości lub czasu trwania narażenia oraz ludzkich i technicznych możliwości uniknięcia lub ograniczenia szkody (A) o określonej ciężkości (S): $R = f(O; E; A; S)$. Znając wartości powyższych elementów, oraz wzajemne relacje pomiędzy nimi, można określić wartość samego ryzyka. Problem tkwi w słabym rozpoznaniu ilościowym elementów składowych. Głównie przyczynia się do tego sam człowiek, który jest obecny w każdym z czterech elementów ryzyka, a którego zachowania najtrudniej poddają się kwantyfikacji i pozostają na najniższym poziomie ufności. Ale także parametry niezawodności elementów struktur maszyn są zazwyczaj nieznanne. Siłą rzeczy, taka sytuacja wymusza bardzo zindywidualizowane podejście do każdej analizy, gdzie należy posiłkować się wiedzą i doświadczeniem, historią wypadków na takich samych i podobnych maszynach, opracowaniami statystycznymi itd. Trzeba od razu powiedzieć, że nie ma standardowych metod szacowania ryzyka. W odniesieniu do maszyn, w normach i przewodnikach EN/ISO, nie ma nawet sugestii, co do zalecanych sposobów szacowania. W dokumentach tych podkreśla się wręcz, że dobór metody jest uzależniony od

cech poszczególnych stanowisk pracy i dlatego też należy dopracować się własnych, najodpowiedniejszych sposobów.

Z punktu widzenia metody badawczej istnieją dwa podstawowe typy analiz ryzyka: dedukcyjna i indukcyjna. W metodzie dedukcyjnej dla założonego zdarzenia końcowego poszukuje się zdarzeń poszczególnych, które do tego zdarzenia wiodą i je powodują. Natomiast metoda indukcyjna odwrotnie, dla założonego pojedynczego uszkodzenia (awarii) elementu składowego, bada dalszy rozwój wydarzeń mogących być skutkiem tego uszkodzenia. Rozwija możliwe scenariusze aż do zdarzeń końcowych. Ze względu na charakter otrzymywanego wyniku, metody szacowania ryzyka można podzielić na jakościowe i ilościowe. W odniesieniu do maszyn lub pojedynczych stanowisk pracy należy dążyć do stosowania metod ilościowych, które pozwalają uzyskiwać wymierne i porównywalne wyniki. Metody ilościowe są oparte na teorii niezawodności struktur. W zależności od postawionego problemu, do szacowania ilościowego stosuje się diagramy logiczne, tzw. drzewa błędów i zdarzeń, w których zależności oparte są najczęściej na dwóch bramkach logicznych: koniunkcji (I (AND)) mówiącej o tym, że zdarzenie nad bramką zachodzi wtedy, gdy jednocześnie zajdą wszystkie zdarzenia pod bramką oraz alternatywy (LUB (OR)) mówiącej z o tym, że zdarzenie nad bramką może zajść gdy wystąpi co najmniej jedno ze zdarzeń pod bramką. Szacowania ilościowe są tym dokładniejsze im bardziej jest rozpoznana struktura niezawodnościowa stanowiska pracy oraz im bardziej rzeczywiste są parametry niezawodności tej struktury. Nie dysponując takimi danymi można popełniać w szacunkach błędy nawet kilku rzędów. Do budowy dużych struktur logicznych jakościowo-ilościowej analizy ryzyka może być przyjęta systematyka stosowana w metodzie *MORT (Management Oversight and Risk Tree)*. W analizie MORT wykorzystuje się takie narzędzia analityczne jak: blokowy schemat przyczynowo skutkowy zdarzenia, analizę przepływu energii i barier (niekontrolowany przepływ energii przy braku szeroko pojętych barier może prowadzić do wypadku) oraz tzw. pozytywne drzewo MORT powstałe z drzewa błędów poprzez zamianę typu bramek logicznych (AND na OR i odwrotnie). Pozytywne drzewa, tzw. drzewa zdarzeń są budowane w odwrotnym kierunku, od zdarzenia inicjującego do finalnego, czyli wypadku. Rozwijane są sekwencje prawdopodobnych zdarzeń wywołanych zdarzeniem elementarnym, np. uszkodzeniem cewki zaworu rozdzielającego, sterującego pracą układu sprzęgłowo – hamulcowego prasy. Metody ilościowe szacowania ryzyka mają coraz większe znaczenie przy projektowaniu maszyn i procesów, gdzie nie tyle chodzi o uzyskanie bezwzględnych wartości ryzyka, a bardziej o wykorzystanie struktur niezawodnościowych maszyn do minimalizowania ryzyka poprzez modelowanie elementów tych struktur. W tzw. triadzie zapewnienia bezpieczeństwa maszyn powinny być wykorzystywane na samej górze hierarchii tzn. na etapie ich projektowania.

Podstawowym celem prowadzenia systemowej oceny ryzyka jest optymalny dobór środków bezpieczeństwa, zarówno przez producentów jak i użytkowników maszyn. Metody ilościowe okazują się tu mało przydatne. O wiele praktyczniejsze są metody jakościowe oraz ich rozwinięcie tzw. metody mieszane. Metody czysto jakościowe są

bardziej przydatne do bardziej ogólnych analiz rozpoznawczych większych obiektów i struktur procesowych niż do szacowania ryzyka na poszczególnych stanowiskach pracy. Do oceny ryzyka stwarzanego przez maszyny warto stosować metody mieszane, które obejmują wszystkie elementy ryzyka i nadają im kwantyfikatory, które pozwalają wyznaczać wartości wagowe ryzyka. Przy tym są to metody proste i przyjazne do stosowania w praktyce warsztatowej przez personel bez specjalistycznej wiedzy z teorii niezawodności, z których wyniki szacowania można dość łatwo transponować na dobór urządzeń ochronnych odpowiednich klas bezpieczeństwa. Ważniejsze metody szacowania jakościowego:

Wstępna Analiza Zagrożeń (PHA – preliminary hazard analysis) - polega na zidentyfikowaniu zagrożeń, sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych mogących powstawać we wszystkich składnikach rozpatrywanego systemu a następnie przypisanie każdemu z zagrożeń stopnia możliwej szkody i prawdopodobieństwa wystąpienia. Iloczyn otrzymanych poziomów daje wynik jakościowej estymacji ryzyka. Wynik iloczynu służy jako podstawa podjęcia działań zmierzających do redukcji ryzyka. Jest to metoda zgrubna. Nie uwzględnia istotnych parametrów ryzyka takich jak ekspozycja i możliwość uniknięcia lub ograniczenia szkody. Czyli nie uwzględnia charakteru procesu pracy i stanu bezpieczeństwa stanowiska pracy. Może służyć do analiz zagregowanych danych statystycznych.

„Co - gdy” - stosowana przy ocenie wpływu możliwych awarii urządzeń lub błędów technologicznych stawiane są pytania: *co się stanie gdy...?* i opracowywane są odpowiedzi na zadane pytania. W większych i bardziej złożonych procesach stosuje się „listy kontrolne” ułatwiające opracowanie odpowiedzi na stawiane pytania. Są one pomocne do prowadzenia bieżących obserwacji i kontroli stanowisk roboczych przez operatorów maszyn. Przy tworzeniu list kontrolnych wykorzystuje się wiedzę ekspercką osób mających duże doświadczenie i umiejętności oceny badanego obiektu. Zwykle metoda przy pomocy listy kontrolnej jest metodą poprzedzającą bardziej złożone metody oceny bezpieczeństwa procesów przemysłowych. Służy bardziej do identyfikacji zagrożeń w procesie oceny niż samej ocenie ryzyka.

Rodzaje Awarii i ich Skutków (FMEA - Failure Mode and Effect Analysis) - w metodzie tej przypisuje się składowym elementom systemu możliwe defekty (awarie), a następnie określa się częstość i analizuje skutki i konsekwencje defektu. Metoda ta może być prowadzona na trzech poziomach: wysoki - analizuje awarie systemu; średni - analizuje podsystemy; niski - analizuje elementy składowe. Metoda FMEA jest metodą czasochłonną i drogą, ponieważ dla każdego elementu składowego trzeba określać wszystkie możliwe awarie, co powoduje, że należy rozpatrywać także nieistotne i technicznie nieuzasadnione. Awarie w metodzie FMEA określane są przez nagłość (stopniowe lub nagłe) i stopień ich występowania (częściowy lub całkowity), skutki (małe, ważne, krytyczne, katastrofalne) oraz przez przyczyny (pierwotne, wtórne lub polecenia). Większość analiz FMEA prowadzona jest od rozpatrywania poszczególnych elementów „w górę” do poziomu całego systemu. Analiza FMEA koncentruje się na awariach urządzeń i systemów technicznych, nie stosuje się jej do oceny błędów ludzkich, jednakże

uwzględnia ona błędy człowieka w klasyfikacji przyczyn. Metoda ta daje się łatwo skomputeryzować i istnieją programy ułatwiające prowadzenie oceny FMEA i wypełnienie Karty FMEA identyfikującej elementy systemu i ich funkcje, rodzaje i mechanizmy awarii oraz sposoby ich oddziaływania na inne elementy czy funkcje systemu. Odmianą FMEA jest tzw. FMECA (*Failure Mode and Effect Critical Analysis*) - krytyczna analiza rodzajów awarii i ich skutków, gdzie poddaje się klasyfikacji skutki awarii dzieląc je na grupy o różnym charakterze krytyczności. FMECA może oprócz oceny jakościowej podawać ocenę ilościową po przez przypisanie każdej awarii odpowiedniego stanu krytycznego i częstości występowania. Wg. MIL-STD-1629 rozróżnia się 4 kategorie częstości względnej (ilość awarii w jednostce czasu do całkowitej ilości awarii): bardzo niska (<1%), niska (1 - 10%), średnia (10 - 20%), wysoka (> 20%). Przypisując każdej awarii stan krytyczny i częstotliwość tworzy się tzw. matryce ryzyka, w których współrzędnymi są krytyczność i częstość awarii. Służą one do określania poziomu ryzyka i podejmowania decyzji o jego redukcji.

Metoda Studium Zagrożeń i Zdolności Operacyjnych (HAZOP) - jest to usystematyzowana technika służąca do identyfikacji zagrożeń w dużych instalacjach, zakładach przemysłowych i badania zdolności operacyjnych. Identyfikuje się główne zagrożenia i problemy funkcjonowania związane z nowym procesem. HAZOP stosuje usystematyzowany zespół słów kluczowych (haseł), nad którymi prowadzona jest dyskusja, której wynikiem jest postawienie zadań poprawiających stan i wyznaczenie osób odpowiedzialnych za wykonanie tych zadań. Metoda niepraktyczna do zastosowań stanowiskowych.

Metoda Wskaźnika Poziomu Ryzyka (WPR) - jest to metoda jakościowych należąca do grupy metod mieszanych, polegających na przyporządkowaniu wskaźników wagi czynnikom składającym się na ryzyko. Iloczyn wskaźników wag daje poszukiwany wskaźnik poziomu ryzyka (WPR). Np. zakłada się, że wskaźnik poziomu ryzyka jest iloczynem czterech czynników: prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia (A); częstości ekspozycji na zagrożenie (B); największej spodziewanej straty (C); liczby osób narażonych na zagrożenie (D): $WPR = A \times B \times C \times D$. Metoda nie uwzględnia niezwykle ważnego elementu ryzyka przy obsłudze maszyn eksploatowanych, jakim jest możliwość unikania lub ograniczania szkód. Metoda może być wykorzystywana przy projektowaniu nowych stanowisk pracy, jeszcze nieuzbrojonych w środki bezpieczeństwa.

Metoda Analizy Bezpieczeństwa Pracy (JSA – Job Safety Analysis) - polega na rozbiciu zadania na elementarne kroki, którym przypisuje się zagrożenia i szacuje ryzyko podobnie jak w metodzie WPR, jednak zamiast parametru określającego liczbę osób narażonych, szacuje się możliwość unikania lub ograniczania szkód. Ryzyko jest sumą wag ciężkości szkód S i prawdopodobieństwa zaistnienia P : $R = S + P$. W tej metodzie budzą zastrzeżenia narzucone, zbyt ogólne wagi, bez jasnych kryteriów doboru. Może ona jednak stanowić bazę do opracowania własnych kryteriów, uwzględniających specyfikę analizowanych stanowisk pracy.

Kalkulator Ryzyka - metoda opracowana przez H. Raafat'a, polega ona na umieszczeniu na przygotowanym nomogramie punktów dla przyjętego prawdopodobieństwa zdarzenia, częstości dostępu do strefy niebezpiecznej oraz czasu przebywania w tej strefie by dla założonych skutków zdarzenia wyjść na poziom ryzyka. Metoda ustala cztery poziomy ryzyka.

Grafy ryzyka – należą do najpopularniejszych metod szacowania poziomu ryzyka. W literaturze, normach i przewodnikach można spotkać rozmaicie skonstruowane grafy. Odegrały poważną rolę w rozwoju przekładania oszacowanych poziomów ryzyka z cechami jakościowymi i niezawodnościowymi urządzeń odpowiedzialnych za bezpieczeństwo. Wykorzystane zostały w pierwszej normie dotyczącej elementów sterowania związanych z bezpieczeństwem PN-EN 954-1 i jej kontynuatorce PN-EN ISO 13849. Grafy szacowania ryzyka adresowane do maszyn powinny uwzględniać podstawowe elementy szacowania: ciężkość urazu (S); ekspozycję (E); częstość występowania zdarzeń z winy rozpatrywanego zagrożenia (O) oraz możliwości ograniczania szkód (A).

Problemy wyboru metody analizy ryzyka

Dla wybrania odpowiedniej metody analizy ryzyka należy ustalić zakres prowadzenia analizy i stopień jej szczegółowości oraz charakter wyników, które chce się osiągnąć. Wybrana metoda powinna być adekwatna dla rozważanego obiektu (stanowiska pracy, maszyny). Należy wziąć pod uwagę takie cechy obiektu jak: wielkość i typ, faza rozwoju (życia), charakter zagrożeń, liczbę osób narażonych na zagrożenia. Ustalenie zakresu analizy i charakteru oczekiwanych wyników pozwoli na wybór metody z grupy metod ilościowych lub jakościowych. Duże obiekty przemysłowe wymagają metod oceny globalnej, dających najczęściej wyniki o charakterze jakościowym np. HAZOP, FMEA, CCA, listy kontrolne. Dla poszczególnych fragmentów instalacji czy urządzeń technicznych bardziej odpowiednie są ilościowe metody oparte na strukturach drzewiastych pozwalające w sposób liczbowy określić wartość ryzyka. W analizie ryzyka na stanowiskach pracy przy maszynach powinno się stosować metody ilościowe podczas projektowania i budowy stanowisk pracy. Dla maszyn już używanych jako najbardziej adekwatne do tego typu obiektów ze względu na charakter zagrożeń są metody mieszane, zwłaszcza grafy ryzyka. Analiza ryzyka w oparciu o metody drzewiaste lub stosujące metodologię MORT uzupełnione o modelowanie zachowań człowieka lub oceny niezawodności ludzkiej są najbardziej odpowiednie dla stanowisk pracy. Dla szybkiego oszacowania ryzyka mogą być tu zastosowane metody kalkulatora ryzyka, różne metody wskaźnikowe lub listy kontrolne. Ważna przy doborze metody jest wstępna znajomość zagrożeń występujących w rozpatrywanym obiekcie, liczba osób narażonych na dane zagrożenia oraz ocena przewidywany poziom strat w razie realizacji wydarzenia wypadkowego. To pozwala określić szczegółowość prowadzonej analizy i ukierunkować jej prowadzenie. Analizę ryzyka dla obiektów technicznych powinny uzupełniać metody oceny niezawodności ludzkiej. Ze względu na złożoność i wielowymiarowość natury ludzkiej jest to zagadnienie trudne. Przyjęte oszacowanie może znacznie odbiegać od rzeczywistości. Analiza ryzyka prowadzona w uporządkowany sposób

zgodnie z wymaganiami norm europejskich uzupełniona o ocenę niezawodności ludzkiej stanowi punkt wyjścia do oceny i podejmowania decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu ryzyka, czyli do ewaluacji ryzyka.

Problemy ewaluacji i akceptowalności ryzyka

Ewaluacja ryzyka wieńczy proces oceny ryzyka. Ten element to odpowiedź na pytanie, czy oczekiwane cele zostały osiągnięte i czy nie. To element strategiczny dla przedsiębiorstwa. Czy można wziąć odpowiedzialność i zaakceptować, czy zdyskwalifikować stan bezpieczeństwa. Świadoma akceptacja ryzyka resztkowego, czyli ryzyka, które pozostaje obecne w procesie pracy mimo zastosowanych środków bezpieczeństwa, decyduje o tym czy zadanie produkcyjne zostanie podjęte czy nie. Jest to zatem proces decyzyjny mający bezpośredni związek z zarządzaniem przedsiębiorstwem. Ewaluacja to akceptacja, bądź odrzucenie, jest decyzją strategiczną i dlatego, że może być świadomie podjęta nawet przy negatywnej ocenie poziomu ryzyka lub odwrotnie, zadowolający poziom ryzyka może, z różnych względów, nie być zaakceptowany np. ze względu na koszty.

Zagadnienia akceptacji ryzyka można rozpatrywać z rozmaitych miejsc odniesienia. Inną perspektywę mają decydenci, podejmujący decyzje globalne w skali kraju, inną kierownictwo zakładu produkcyjnego a jeszcze inną osoby bezpośrednio zagrożone. Ryzyko i jego akceptacja w skali makro, dla całych branż, jest rozpatrywane w ujęciu statystycznym i posiuguje się rozmaitymi wskaźnikami np. wypadkowości lub śmiertelności. Akceptacja ryzyka, z punktu widzenia pracodawcy lub kierownictwa przedsiębiorstwa, jest podejmowana zarówno ze względu wymagania prawne jak też na koszty. Oczywiście kryterium humanitarne odgrywa też. niebagatelną rolę. Osobne zagadnienie stanowi akceptacja ryzyka przez ludzi bezpośrednio zagrożonych. Dla nich kryterium kosztów jest mniej interesujące. Podejmowanie ryzyka związanego z realizacją zadania produkcyjnego, uwarunkowane rozmaitymi czynnikami psychologicznymi, stosunkami z przełożonymi, lękiem przed utratą pracy itd.

