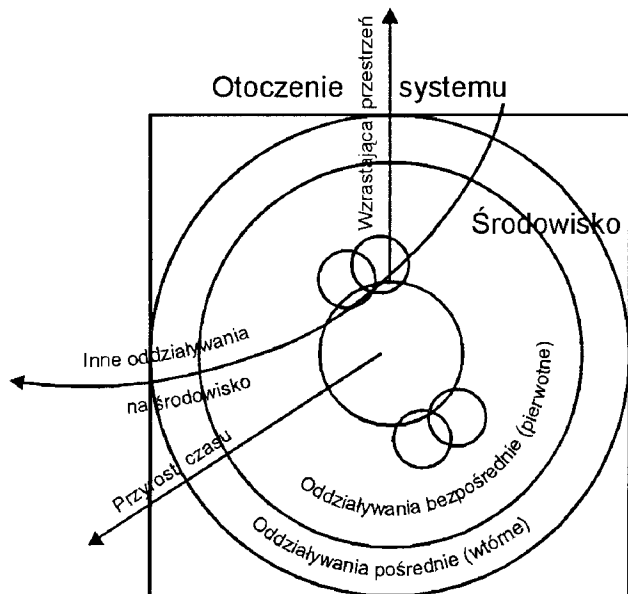


Edward S. Kempa

Niezawodność obiektów i urządzeń oraz bezpieczeństwo i higiena pracy są pojęciami dobrze znanymi od lat, natomiast zagrożenie i ryzyko, szczególnie w odniesieniu do większych zbiorowości ludzi i środowiska, są pojęciami mniej znanymi lub nawet nieznanymi w ogóle, a czasami też niezbyt właściwie utożsamianymi z pojęciami niezawodności i bhp. Zagrożenia, i związane z nimi ryzyko, istniały od zarania dziejów ludzkości. Burze, gradobicia, powodzie czy trzęsienia ziemi są nadal przez człowieka nieujarzmione. Nie sposób je przewidzieć, modelować lub projektować. Wątpliwe jest – przynajmniej przy obecnym stanie wiedzy – czy kiedykolwiek człowiek nad nimi zapanuje.

Ponieważ technika – i to na każdym poziomie rozwoju cywilizacji – jest zbiorem zagrożeń i ryzyka pochodzenia antropogenicznego, dlatego też jesteśmy coraz bardziej społeczeństwem ryzyka, a także społeczeństwem zawodnych technologii i rozwiązań technicznych. Zniszczeniu ulegają nawet najlepiej zaprojektowane i wykonane mosty oraz zapory wodne. Wykoleją się cysterny z substancjami niebezpiecznymi, rozbijają się samoloty, występują awarie w elektrowniach jądrowych. Środowisko – i to niezależnie od tego jak wymiarowane – to system, w którym musimy żyć. Na cały ten system oddziałują bezpośrednio lub pośrednio wielorakie czynniki – pozytywne i zdecydowanie negatywne. Wykraczają one poza rozpatrywany obszar systemu, a poszczególne czynniki wzajemnie się nakładają (rys.1).



Rys. 1. Środowisko jako system

## Ryzyko w procesach i obiektach inżynierii sanitarnej

Nakładają się zatem także czynniki ryzykotwórcze o określonym prawdopodobieństwie zdarzeń. Ponieważ ryzyko jest zawsze powiązane z prawdopodobieństwem, nie sposób go więc całkowicie wyeliminować nawet wówczas, gdy prawdopodobieństwo danego zdarzenia jest rzędu kilku miejsc po przecinku (rys.2).

O istotności problemu ryzyka może świadczyć fakt, że na licznych współczesnych kongresach, konferencjach czy seminariach naukowych, których tematami przewodnimi są uzdatnianie wody, oczyszczanie ścieków lub unieszkodliwianie odpadów, pojawiają się sprawy zagrożenia i ryzyka, związane z różnymi działaniami inżynierii sanitarnej.

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane zagadnienia minimalizacji ryzyka w typowych procesach i obiektach inżynierii sanitarnej.

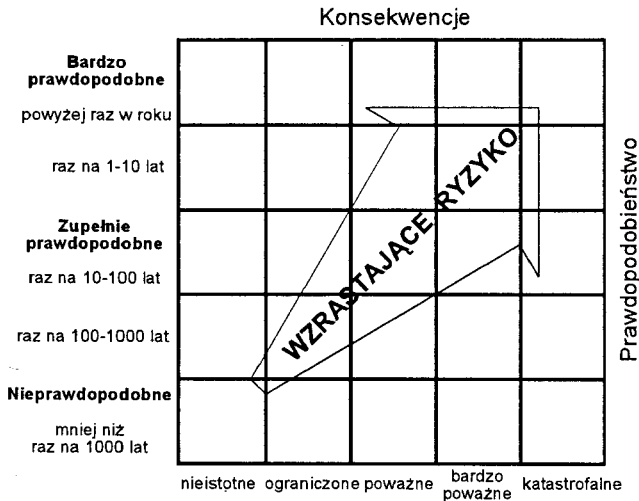
### Społeczeństwo ryzyka

Rozwój cywilizacji, a w szczególności rozwój technik przemysłowych, spowodował również zagrożenia, które ludzkość sama generuje i prowokuje. Jest to skutek niedoskonałości produktów i procesów technologicznych, ale także niedoskonałości, a niejednokrotnie niefrasobliwości ludzkiego działania. Wszystko to stanowi duży zbiór zagrożeń i współczesnego ryzyka. Z wielu z nich nie zdajemy sobie nawet sprawy, gdyż tak bardzo spowodowały.

Z uwagi na fakt, że ryzyko jest wielkością prawdopodobieństwa, nie ma – bo być nie może – stuprocentowego zabezpieczenia przed zagrożeniem. W inżynierii środowiska jest sporo inwestycji kontrowersyjnych i nieudanych (w tym głównie stare wysypiska odpadów – tzw. dzikie), niechętnie przyjmowanych przez społeczeństwo, niemniej jednak są to w wielu przypadkach inwestycje niezbędne.

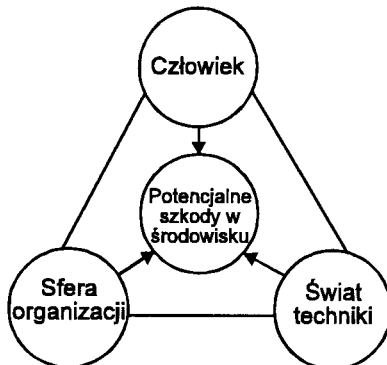
Jeżeli nie ma stuprocentowej pewności, to musi występować tzw. ryzyko resztkowe, które musi być jednocześnie ryzykiem akceptowanym. Powszechnie ryzyko wyraża się w postaci iloczynu prawdopodobieństwa i zakresu (rozmiaru) szkód. Ale nie zawsze można określić prawdopodobieństwo wystąpienia jakiegoś zdarzenia oraz określić rozmiar szkody, gdyż jest regułą, że bardzo rzadkie zdarzenia i wypadki pociągają za sobą duże szkody. Te niezwykle rzadkie zdarzenia trzeba niekiedy zakładać czysto teoretycznie, gdyż jak inaczej można ocenić np. skutki wielkiej wody 1000-letniej w rzekach (rys.2).

Czy zatem zawsze znamy z góry zakres i rodzaj nieszczęść? Ile ludzi może zginąć, byśmy to jeszcze uważali za rzecz naturalną? Czy technolodzy procesu przemysłowego mogą to moralnie uzasadnić poprzez określenie poziomu ryzyka resztkowego?



Rys. 2. Macierz prawdopodobieństwa ryzyka i skutków zdarzeń [11]

Wiadomo, że nie wszyscy obywatele są jednakowo zaangażowani w sprawy społeczeństwa, bezpieczeństwa, ryzyka itp. Choć trójzależność podana na rysunku 3 jest oczywista, to jednak nie wszyscy zdają sobie sprawę, że tak samo ważny jest świat techniki jak i człowiek. Nie można też pominąć sfery organizacji, bo i nią człowiek kieruje.



Rys. 3. Powiązanie zasadniczych sfer współczesnego świata [2]

Wreszcie cały układ społeczny (rys.4). Komentarz do każdego jego elementu mógłby stanowić materiał na oddzielne artykuły.



Rys. 4. Pole semantyczne współczesnych dyskusji nad ryzykiem [7]

Zasygnalizowane tu problemy wymagają głębokiej analizy i nie sposób ich rozstrzygnąć bezkonfliktowo. Jedno stwierdzenie wydaje się jednak oczywiste: należy zrobić wszystko, co jest technicznie możliwe, aby stworzyć produkt (technologię, proces) jak najlepszy. Może to odpowiadać angielskiemu terminowi *best available technology* (BAT), lub też *best managed processes* (BMP), co oznacza najlepiej prowadzony proces eksploatacyjny. Istniejące rozwiązania i zagrożenia muszą być zatem rzetelnie oceniane i – tam, gdzie taka potrzeba zachodzi – odpowiednio poprawiane. Jednocześnie o potencjalnych zagrożeniach muszą być informowani wszyscy zainteresowani, niekiedy więc i szerokie rzesze społeczeństwa.

Ryzyka w zasadzie nie przyporządkowano jeszcze ściśle do określonego działu nauki. Ostatnio jednak coraz częściej mówi się o inżynierii środowiska jako o tym dziale, który zagrożeniom i ryzyku jest najbliższy. Sprawiły to duże katastrofy ekologiczne (Love Canal, Seveso, Bhopal, Czernobyl i in.), które pociągnęły za sobą takie spustoszenia w środowisku, że uzasadnione jest pytanie postawione przez Harolda Morrisona: „Dlaczego analiza ryzyka i opanowanie ryzyka odnosi się tak bardzo jedynie do wypadków śmiertelnych, a tak mało do środowiska i jego długotrwałego skażenia i zniszczenia wynikającego z katastrof i wypadków ze związkami chemicznymi i niebezpiecznymi?” [7].

Jeżeli nawet nie ma niekiedy tak fatalnych skutków jak w wymienionych wyżej przypadkach, to jednak bardzo częste są ewakuacje mieszkańców na dużą skalę i dłuższe okresy [2]. Już wcześniej wskazano na bardzo liczne wypadki czy nawet katastrofy w Kanadzie [2], choć nie zawsze bardzo nagłośnione przez mass media. Sytuacja w wielu krajach jest bardzo podobna.

Jakkolwiek pierwsze prace z analizy ryzyka dotyczyły głównie przemysłu chemicznego, to lgnie ona jednak coraz bardziej do nauk o środowisku. Tu bowiem widzi się ściślejsze powiązania zachodzące pomiędzy działalnością człowieka a środowiskiem. Ryzyko nie jest obiektywnym stanem rzeczy, istniejącym poza obszarem różnych podejść czy stanowisk członków społeczeństwa. Istniejące i akceptowane ryzyko to rezultat społecznego rozwoju i społecznych procesów definiowania.

Przyporządkowanie ryzyka ma miejsce zawsze w odniesieniu do przynależności do określonych zbiorów wartości (rzeczywistych i abstrakcyjnych), z zawsze zróżnicowanym i specyficznym stosunkiem odczuć społecznych, w odniesieniu do ryzyka znanego i tylko zakładanego.

Ryzyko to wreszcie wielkość regulowana społecznie i finansowo, która przetrada się w dopuszczalne wartości graniczne, ustalane odpowiednimi przepisami, a więc przez właściwe organy polityczne lub administracyjne (rys.5).

Wzrastające ryzyko ↑	ZAPOBIEGAĆ	USZKODZENIA ZAGROŻENIA Granica uciążliwości
	UTRZYMAĆ NA NISKIM POZIOMIE	OBCIĄŻENIE, UCIAŻLIWOŚCI UPRZYKRZANIE Poziom regulacji prawnych
	DAŻYĆ	ZNOŚNOŚĆ PRÓG ODCZUWANIA Neutralność

Rys. 5. Gradacja odczuć w różnych sytuacjach środowiska [2]

Jeżeli staramy się ocenić stopień ryzyka, to metody ocen muszą być jasne i akceptowane, a ich treść musi być możliwa do zrealizowania. Skazani na nieuniknione zagrożenia, chcemy mieć zarówno ich dobre rozpoznanie, jak i świadomość, że pozostałe ryzyko to takie, którego nie możemy – przynajmniej do czasu – wyeliminować. Dochodzimy tu do może niezbyt optymistycznego, ale realnego wniosku, że katastrofy i awarie w sferze techniki są nieuniknione. Stąd i adekwatny do tego stwierdzenia tytuł książki Charlesa Perrowa: „Katastrofy – nieodłączny atrybut współczesnej techniki” [6]. Potencjalne ryzyko przedstawiane jest w postaci znanej trójzależności (rys.3), ale i w tej prostej konfiguracji należy spodziewać się zawsze zakłóceń uporządkowanego układu, a to zwykle odbija się ujemnie na środowisku.

## Ryzyko a odczucia społeczne

Techniczna zawodność, wynikająca z jakości produktu i warunków technicznej eksploatacji, jest zwykle wymierna. Niewymierny, chociaż niezwykle zawodny, jest czynnik ludzki. Różne statystyki podają zawodność czynnika ludzkiego w granicach 20+50%, ale znane są też przypadki, gdy zawodność ta wyniosła i wciąż wynosi 90%! Element „człowiek” jest najtrudniejszy do liczbowego ujęcia, głównie w warunkach nietypowych, krańcowych, czy też działania w stresie. Analizy wypadków w ostatnich latach wykazują przeważnie zawodność różnych elementów złożonego systemu technologicznego, jednak czynnik ludzki również odgrywał we wszystkich tych przypadkach istotną, a niekiedy decydującą rolę. Tak było i tak jest, gdy zakład przemysłowy nie kładzie nacisku na właściwe szkolenie załogi, gdy załoga nie wie z jakimi surowcami (chemikaliami) pracuje, jak bardzo toksyczne są surowce, produkty czy odpady z danego procesu technologicznego. A trzeba tu również wymienić sabotaż!

Przeciętny obywatel nie musi być świadom różnych przyczyn i skutków zagrożeń, a indywidualne odczucia nie muszą być takie same w większej grupie społecznej. Występuje tu bowiem hierarchia przyczyn, tak obiektywnych jak i subiektywnych, a te nie muszą być ze sobą zgodne (bywa, że są przeciwstawne). Także poziom istotności i ustalenie priorytetów działania mogą być zróżnicowane, szczególnie wówczas, gdy potencjalne zagrożenia poszerzymy na cały system środowiska naturalnego. Ostatnio obserwuje się wzrost poczucia odpowiedzialności tzw. przeciętnego obywatela za stan środowiska, co jest wynikiem zarówno wzrastającego poziomu wykształcenia, jak i obserwacji zdegradowanego środowiska. Awaryjne i katastrofy ze skutkami dla środowiska są coraz mniej akceptowane, chociaż są częścią składową dnia codziennego i wszelkiej działalności człowieka.

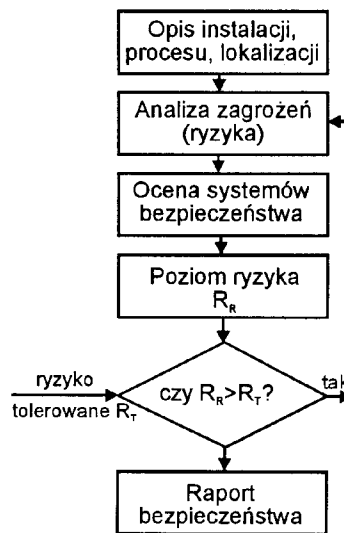
Do zagrożeń i ryzyka można podchodzić emocjonalnie zakładając z góry, że i tak nic się nie wydarzy. Tolerujemy więc niedoskonałe dzieła i produkty, wypierając ze swej świadomości wiedzę o zagrożeniu i ryzyku. Przeciwnieństwem podejścia emocjonalnego jest podejście racjonalne, dążące do poznania źródła zagrożenia, naukowego podejścia do analizy ryzyka oraz do właściwych rozwiązań prewencyjnych. Wynikiem racjonalnego podejścia będą nie tylko odczucia osobiste czy środowiskowe, dotyczące granic uciążliwości opartych na naukowych przesłankach i metodach ocen emisji i imisji, ale i nacisk na czynniki ustawodawcze, by prawnie zagwarantowały możliwie najniższe parametry i stężenia substancji emitowanych do środowiska. Wraz z ustaleniem wartości dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w środowisku, a także wyznaczeniem przeciętnego progu odczuwania, można również doświadczalnie określić obszary tolerancji i akceptacji.

## Ocena ryzyka

Amerykański Instytut Inżynierów Chemików [1] wymienia i zaleca do stosowania kilkanaście metod oceny ryzyka, z których ważniejsze to:

- systemowy przegląd procesów,
- przeglądowa analiza bezpieczeństwa procesów,
- metoda rankingowa z użyciem wskaźników zagrożenia,
- wstępna analiza zagrożenia,
- analiza *what-if*, tzn. co będzie – jeżeli,
- metoda *HazOp* (studium nad zagrożeniem i operacyjnością),
- analiza drzewa błędów,
- analiza drzewa zdarzeń,
- analiza przyczyn i skutków,
- analiza błędów ludzkich.

Szczegółowe omówienie każdej z tych metod przekracza ramy niniejszego artykułu i powinno być raczej przedmiotem szkolenia. Syntetycznie można jednak sformułować względnie prosty algorytm w postaci struktury raportu o bezpieczeństwie danego zakładu (rys.6).

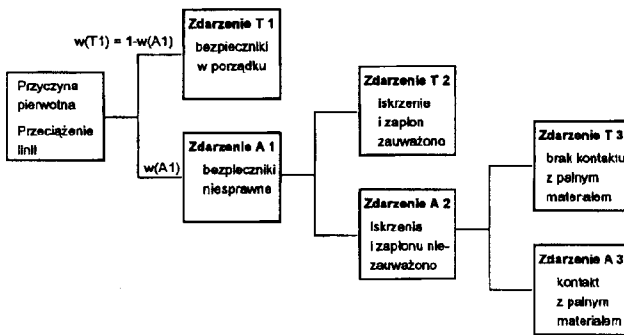


Rys. 6. Syntetyczny algorytm analizy ryzyka [5]

W każdej metodzie zaczyna się od identyfikacji zagrożenia, kończy zaś konkretnymi zaleceniami dotyczącymi działań prewencyjnych, o ile takie są potrzebne. Najczęściej jednak w analizie ryzyka zaleca się zmiany, i to zarówno w fazie projektowania, jak i w istniejących obiektach. Wszystko zależy od tego, w którym momencie zaczyna się zainteresowanie zagrożeniami i ryzykiem. Wytyczne amerykańskie [1] mówią, że raz zapoczątkowana analiza ryzyka w dużym zakładzie przemysłowym trwa w zasadzie nieprzerwanie, chociaż większe przeglądy dotyczące bezpieczeństwa procesów i załogi dokonywane są okresowo. Z analizy ryzyka wiążą się oczywiście określone koszty, są one jednak z reguły wielokrotnie niższe niż zakładane i tylko szacowane szkody.

Wyniki analizy ryzyka powinny być rozpowszechnione. Musi je znać kierownictwo zakładu, różne szczeble władzy (centralne, regionalne, wojewódzkie, samorządowe), w tym policja, straż pożarna, pogotowie chemiczne, pogotowie ratunkowe i służby medyczne. Lista ta może być poszerzona np. o związki zawodowe, społeczną inspekcję pracy, organizacje społeczne. Może zacho- dzić także konieczność zainteresowania całych grup społecznych,

czego przykładem może być program UNEP-u pod nazwą APELL [10]. Jako przykład analizy drzewa zdarzeń może służyć przypadek niesprawnej instalacji elektrycznej będącej przyczyną pożaru (rys.7).



Rys. 7. Przykład drzewa zdarzeń [7]  
( $w(A)$  – uwarunkowane prawdopodobieństwa zdarzenia A)

## Zagrożenia i ryzyko w inżynierii sanitarnej

Autor uznaje od lat wszelkie zakłady w inżynierii sanitarnej za zakłady przemysłowe w ścisłym tego słowa znaczeniu, zaś sieci wodociągowe czy kanalizacyjne – jako sieci przesyłowe, tyle że tak specyficznych mediów jak woda czy ścieki. Od fazy rozpoznawczej, przez fazę projektowania, budowy i eksploatacji, aż do zamknięcia i likwidacji tych obiektów obowiązują takie same zasady jak przy inwestycjach przemysłowych. Zatem już w fazie projektowania muszą być brane pod uwagę aspekty dobrego wykonawstwa, wysokiego stopnia niezawodności i minimalizacji ryzyka. O ryzyku w sferze zaopatrzenia w wodę już pisano [3] i zbędne wydaje się powtarzanie tamtych rozważań. Tu natomiast zostanie zasygnalizowane ryzyko w innych sferach inżynierii sanitarnej, co jednak i tym razem nie może być traktowane jako wyczerpanie tematu.

## Odprowadzanie i oczyszczanie ścieków

Kanalizacja wielu miast jest już stara lub nawet bardzo stara, gdyż została wybudowana jeszcze w ubiegłym stuleciu. Ulega ona ciągłej dekapitalizacji i niszczeniu na skutek starzenia się materiału konstrukcyjnego, korozyjnego działania ścieków i coraz większych obciążeń dynamicznych wywołanych ruchem pojazdów. Wiele odcinków kanałów w dużych miastach jest już zupełnie zniszczonych (koszt pełnego odtworzenia kanałów na terenie byłej RFN szacuje się na 200 mld DM). Można zapytać, co to wszystko ma wspólnego z ryzykiem? Nieszczelności i ubytki w materiale konstrukcyjnym kanałów ściekowych to przede wszystkim infiltracja w dwóch kierunkach: do wód gruntowych i do kanałów, a więc rozcieńczanie ścieków, wymywanie gruntu i tworzenie zapadlisk, ale także przepływ ścieków do gruntu czyli jego zanieczyszczenie oraz skażenie wód gruntowych. Jakkolwiek rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w gruncie jest już dobrze zbadane, to jednak nikt jeszcze nie stwierdził jaka jest skala takiego zagrożenia. Minimalizacji ryzyka w tym zakresie można dokonywać np. przez renowację kanałów (*relining*).

Nie można też zapominać, że do kanalizacji spływają również awaryjnie różne inne ciecze. Spływ wód gaśniczych z pożaru hali produkcyjnej oraz magazynów pestycydów w zakładach Sandoz w Bazylei w roku 1986 do Renu spowodował poważne zatrucie fauny wodnej w tej rzecze. Ostatnio [13] bardziej znamienity wypadek (można go umieścić też w dziale transportu) zdarzył się

w maju 1994 roku na jednej z podmiejskich stacji kolejowych w Zurychu. Oto w pociągu złożonym z samych cystern z paliwem w jednym z wagonów pękło łożysko i podczas hamowania pociągu w rejonie stacji wykołowały się cztery cysterny. Skutkiem tego był pożar 160 ton paliwa, z czego szacunkowo 60 ton wsiądko do ziemi, zaś około 100 ton wraz z wodami gaśniczymi spłynęło do kanalizacji. Pomimo wzorowej akcji ratunkowej i wszelkich możliwych zabezpieczeń, bilans tego zdarzenia był następujący: dwa całkowicie spalone budynki mieszkalne z czterema poparzonymi osobami, wybuch par gazów w jednym ciągu kanałowym i jego całkowite zniszczenie, łącznie z nawierzchnią nad kanałem, a także całkowite wytrucie biocenozy osadu czynnego w oczyszczalni ścieków. Bilans strat wyniósł 10 mln SFr. Przyczyną tego wypadku mogło być niedopatrzanie pracownika kolei sprawdzającego stan łożysk kół lub też niedotrzymanie terminu okresowego przeglądu wagonu. Ewentualną przyczyną była jednak zawodność człowieka.

W projektowaniu oczyszczalni ścieków kładziono zawsze nacisk na stosowanie ominięć urządzeń (*by-pass*), lecz ile oczyszczalni ich nie ma? To samo dotyczy przelewów awaryjnych, gospodarki gazem i zabezpieczenia przeciwwybuchowego w WKF-ach. Z punktu widzenia analizy ryzyka nie jest obojętne, czy ścieki płyną pojedynczą strugą czy też tworzą kilka strug równoległych. Inny jest stopień zawadności tak prostych urządzeń jak zastawki, inny zaś pomp ściekowych, a jeszcze inny pomp osadowych. Częściej zawodzą np. prasy filtracyjne niż poletka do suszenia osadów itd. Są już dostępne dane liczbowe na temat wartości tzw. „wypadnięć” dla pomp, dmuchaw, krat, sit, rurociągów itp. [12]. Stąd też biorą się rozważania dotyczące liczby pomp rezerwowych w głównym ciągu ścieków lub dla osadów przefermentowanych. Czy budować mniej komór większych, czy też większą liczbę mniejszych komór osadu czynnego? Na podobne pytania daje właśnie odpowiedź dobrze przeprowadzona analiza ryzyka.

## Gospodarka odpadami

Sprawy związane z wywozem, unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów budzą w ostatnich latach najwięcej emocji i kontrowersji społecznych. Dzieje się tak dlatego, że w niektórych krajach, w tym również w Polsce, dominują wciąż rozwiązania przestarzałe, chybotliwe lub wręcz złe. Stąd i spore ryzyko wywodzące się głównie ze źle zaprojektowanych lub dzikich wysypisk odpadów. Dzikie wysypiska to nadal bardzo powszechny obraz w wielu krajach. Jednak i w tej dziedzinie notuje się widoczny postęp, i to nie tylko w konkretnych rozwiązaniach, ale też w sferze organizacji.

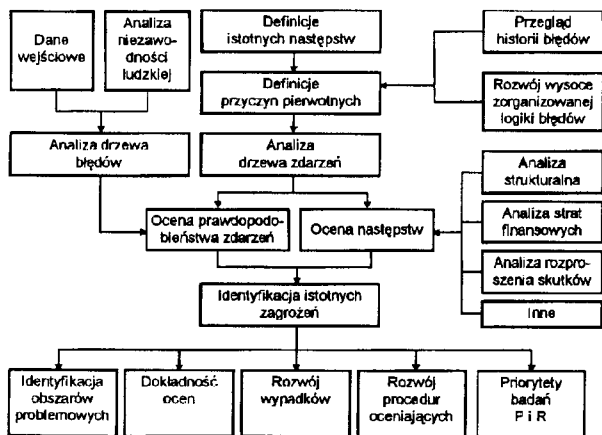
Hasło „Minimalizacja odpadów – minimalizacja ryzyka” ma swoje uzasadnienie [4]. Minimalizacja odpadów oznacza bowiem przede wszystkim zmniejszenie szybkości wydobywania surowców pierwotnych. Minimalizacja odpadów to także takie przestawienie procesów produkcyjnych, aby zminimalizować masę wsadu (surowce, energia, woda), przy jednoczesnym zminimalizowaniu pozostałości poprodukcyjnych (czyste technologie). Produkty powinny być takie, aby po okresie normalnego użytkowania nadawały się jeszcze do odzysku jako odpady surowcowe. Także pozostałości poprodukcyjne powinny znaleźć zastosowanie w różnych procesach technologicznych. Jest to konsekwentne odejście od tzw. „technologii końca rury” (*end-of-pipe technology*), w której dopiero po procesie produkcyjnym analizowało się ilość i skład odpadów i rozważało możliwości ich unieszkodliwiania.

Przedstawione wyżej postępowanie wiąże się z nowymi technologiami, z segregacją rzeczywistych odpadów już u źródeł powstawania, z wyodrębnionymi technologiami zawracania odpadów surowcowych itp., a zatem na każdym etapie z właściwym postępowaniem także w relacjach minimalizacji ryzyka. Dotyczy to także coraz lepiej zabezpieczonych składowisk odpadów, a w szczególności odpadów niebezpiecznych. Minimalizacja odpadów oznacza lepsze opanowanie gospodarki każdą pojedynczą frakcją użytkową [4]. Lepsze opanowanie technologii wykorzystania odpadów, ich przeróbki lub recyklingu, to siłą rzeczy także lepsze opanowanie ryzyka. Analiza zagrożeń i ryzyka w gospodarce odpadami powinna być obligatoryjna. Właściwe wykonanie składowisk odpadów niebezpiecznych – takie, jakie znane są z rozwiązań holenderskich czy węgierskich – minimalizuje rzeczywiste ryzyko skażenia gruntu i wód podziemnych. Właściwie rozwiązane instalacje do ujmowania gazów wysypiskowych, a także dobre oczyszczanie odcieków, czynią temu również zadość. W przyszłości będzie można niektóre z tych rozwiązań pominąć, jeżeli będzie miała miejsce pełna selekcja odpadów.

W najnowszej ustawie niemieckiej o zamykaniu obiegów surowców i odpadów [9] jest już mowa tylko o odpadach nadających się do wykorzystania, i takie procesy będą miały bezwzględny priorytet, jak również o odpadach, których wykorzystać nie można i które nadają się tylko do składowania, czyli są całkowicie nieaktywne. W ustawie tej mówi się o następującej kolejności w gospodarce odpadami:

- unikanie powstawania odpadów, głównie przez zmniejszenie ich ilości i szkodliwości,
- materiałowe i energetyczne wykorzystanie odpadów, przy czym priorytet mają metody proekologiczne, czyli mniej uciążliwe dla środowiska.

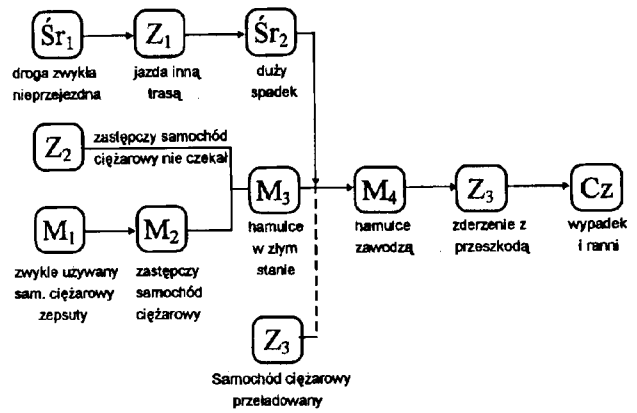
Prawidłowa gospodarka materiałowo-odpadowa ma więc bezwzględne pierwszeństwo przed zwykłym usuwaniem odpadów na wysypiska. Przymierzając się do problematyki analizy ryzyka w gospodarce odpadami można skorzystać z algorytmu podanego na rysunku 8.



Rys. 8. Postępowanie przy ocenie ryzyka zakładów

### Transport substancji niebezpiecznych

Wypadków samochodów–cystern, zderzeń i wycieków niebezpiecznych chemikaliów notuje się codziennie w Europie co najmniej kilkanaście. Wiele z nich pociąga za sobą poważne skutki i zagrożenia dla środowiska. Czy również w transporcie można ryzyko minimalizować? Z pewnością tak, a za przykład może posłużyć względnie proste drzewo przyczyn i skutków (rys.9).



Rys. 9. Przykład drzewa następstw [7] (Cz – człowiek, Z – zadanie, M – materiał, Śr – środowisko)

Gdy zamiast obszerniejszego komentarza powtórzy się w tym miejscu, że przyczyną sprawczą wszelkich zdarzeń awaryjnych jest zawadność człowieka, a więc błąd ludzki, to i w odniesieniu do powyższego przykładu można zastosować co najmniej dwie lub trzy podane wcześniej klasyczne metody oceny ryzyka.

### Awarie w przemyśle

Przemysł ogólnie pojmowany to ogromny poligon procesów technologicznych, doświadczeń i zdarzeń bezpośrednio związanych z ryzykiem. Przemysł chemiczny był tym, który jako pierwszy wprowadził metodologię usystematyzowanych badań nad zagrożeniami i ryzykiem, wywodzących się z procesów produkcyjnych.

Na szerszą skalę zaczęto ją realizować dopiero po kilku większych katastrofach o dużych skutkach ekologicznych, a właściwie po katastrofie w Seveso (Włochy, czerwiec 1976 r.). Formalnym zaleceniem była tzw. „Dyrektywa Seveso” EWG z roku 1978. Przodujący w systemowym podejściu do ryzyka i w opracowywaniu metodyki badań okazał się amerykański przemysł petrochemiczny.

Od początku lat 80. dokonał się ogromny postęp w omawianej dziedzinie, ale też za przykład częstotliwości awarii w przemyśle może służyć krótka notatka z literatury kanadyjskiej [8].

W latach 1974–1983 w Kanadzie miało miejsce około 3,5 tys. wypadków z chemikaliami, które pociągnęły za sobą skażenie środowiska. Wypadki te były na tyle znaczące, że zdokumentowano ilość utraconych chemikaliów, miejsca skażeń, liczbę ewakuowanych mieszkańców i okres trwania ewakuacji itp. Dało to przeciętnie jeden taki wypadek dziennie.

W roku 1984, w samej tylko prowincji Ontario, straż pożarna w charakterze pogotowia chemicznego wyjeżdżała do 6,4 tys. różnych wypadków z chemikaliami, podczas których łączne straty tych substancji wyniosły około 3 mln ton. Oczywiście niecała masa wycieków to chlor czy amoniak, często były to także inne substancje niebezpieczne [8].

Sytuacja w innych krajach jest podobna i proporcjonalna do stopnia uprzemysłowienia.

W Polsce awarie w przemyśle i transporcie są równie częste, chociaż nie zawsze nagłaśniane przez środki przekazu. Jednak i u nas coś się zmienia na lepsze, w czym duża zasługa m.in. Centrum Szkoleniowego Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej, a także państwowej sieci ratownictwa chemicznego i niektórych jednostek zawodowej straży pożarnej.

## Podsumowanie

Sprawy zagrożeń i ryzyka są formalnie przyporządkowane Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska oraz Zawodowym Strażom Pożarnym. Naukowe przyporządkowanie ryzyka do określonej dziedziny nauki wiąże się nie tyle z przyczynami zagrożeń, co z ich skutkami. Z uwagi na fakt, iż są to skutki groźne dla środowiska – niejako byłby to ciąg dalszy niezawodności urzędzeń i bhp – zaczęto od strony metodologicznej ryzyko przypisywać inżynierii sanitarnej i ochronie środowiska.

Ponieważ niniejszy artykuł nie może wyczerpać wszystkich zagadnień, dlatego też starano się jedynie zasygnalizować fakt, iż zagrożenia i ryzyko w zakładach gospodarki komunalnej należy słusznie przyporządkować inżynierii sanitarnej. Techniczne opanowanie procesów w tych zakładach – w tym może najbardziej w gospodarce odpadami przemysłowymi i niebezpiecznymi – zbliża nas do minimalizacji ryzyka do akceptowanego poziomu.

## LITERATURA

1. Battelle Institute: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. American Institute of Chemical Engineers, New York 1985.
2. E.S. KEMPA, A. JĘDRZAK: O ryzyku zagrożeń środowiska naturalnego. Mat. symp. „Nadzwyczajne zagrożenia środowiska – katastrofy ekologiczne”. ARKA, PZITS, Poznań 1993.

3. E.S. KEMPA: Analiza ryzyka w systemach oczyszczania wód. Ochrona Środowiska, 1993, nr 3(50), ss. 5-10.
4. E.S. KEMPA: Waste minimization – risk minimization: the advantage of reducing wastes. Proc. conf. „Sobre minimització de residus i producció neta”. Vol. 1, Barcelona 1995.
5. A. MARKOWSKI: Bezpieczeństwo procesów przemysłowych. Mat. symp. szkol., PŁ, Łódź 1993.
6. C. PERROW: Normale Katastrophen – Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik. Campus Verlag, Frankfurt/New York 1989.
7. M. SCHMIDT: Leben in der Risikogesellschaft. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1989.
8. J.H. SHORTREED: Risk Management for Dangerous Goods. University of Waterloo Press, Waterloo 1989.
9. O. TABASARAN: Das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz und Folgerungen für die Praxis der Abfallwirtschaft. Mat. X symp. „Ochrona Środowiska”. PZITS, WSI, Zielona Góra 1995, ss. 35-42.
10. APELL – Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level. UNEP IE, No. E.88.III.D.3, Paris 1992.
11. W. WAGNER: Risikobetrachtungen mit dem Ziel der Vorbeugungen gegen Störungen in der Abwassertechnik. Berichte ATV Nr. 40, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, St. Augustin 1990, S. 441-471.
12. J. WIESMANN: Die Benzinkatastrophe vom 8. März 1994 im Bahnhoff Zürich-Affoltern und die Konsequenzen auf die Abwasseranlagen. Korrespondenz Abwasser, 1995, 42, Nr. 3, S. 388-402.

## Risk in Environmental Engineering Processes and Devices (Plants)

*Reliability theory does not include the effects of eliminating a device due to maloperation or failure. But risk analysis pointed the way forward in that it took notice of the potential environmental damage which would result from the failure of processes, objects or devices. In this case, use is made of such methods as the what-if-approach, fault-tree-analysis, or cause-and-effect-analysis. In risk analysis (which is continually performed in large industrial plants, specifically when sophisticated technological processes are involved) the human factor has an important part. This is so, because failures due to human interference account for as much as 90% of the total*

*number of failures. In the present paper consideration is given to the role of risk analysis in environmental engineering and in related objects, processes or devices. In many instances trivial causes produce far-reaching effects, and insignificant decisions have serious and detrimental implications (health hazards, increase in mortality, environmental contamination). For these reasons, risk analysis not only has become an important theme in technical inspector training by workshops, but also has been introduced into the curricula of more and more universities.*