

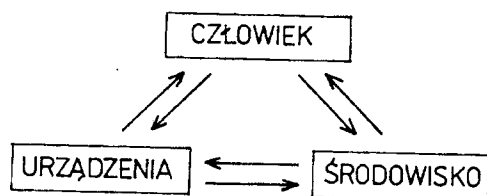
Edward S. Kempa

Analiza ryzyka w systemach oczyszczania wód

Technizacja i uprzemysłowienie, a także ogromny rozwój transportu spowodowały, że jesteśmy społeczeństwem ryzyka, społeczeństwem zagrożonym przez najprzeróżniejsze wypadki i katastrofy o znaczeniu większym niż lokalny. Pierwotnie były to tylko zagrożenia wywołane przez siły natury, jak pożary-samozapłony, trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów, powodzie itp., natomiast później doszły zagrożenia wynikające z działalności człowieka – spowodowane umyślnie lub nieumyślnie. W przeszłości ryzyko i zagrożenia odnoszono w zasadzie do indywidualnego człowieka, zaś znacznie później – w zasadzie dopiero w ostatnich 20 latach – do środowiska. Wzrasta poczucie odpowiedzialności za stan środowiska, gdyż katastrofy w sferze techniki są coraz częstsze, i to ze skutkami coraz mniej akceptowalnymi. Coraz większą uwagę zwraca się też na prewencję. Morrison stawia pytanie: Dlaczego analiza ryzyka odnosi się zbyt często do śmiertelnych wypadków pojedynczych ludzi, a tak rzadko i w małym stopniu do zagrożenia i degradacji środowiska? Bardziej nagłośnione katastrofy ekologiczne (np. Seveso, Bhopal, Czarnobyl), a także i te mniej znane, wymusiły naukowe zajęcie się zagadnieniami zagrożenia, ryzyka, przewidywania awarii technicznych i ich skutków itd. Pionierem w tej nowej dziedzinie wiedzy, uwzględniającej zagrożenia i szkody w środowisku, był amerykański przemysł petrochemiczny.

Człowiek wciąż jeszcze nie potrafi skutecznie zapobiegać zagrożeniom pochodzącym od samej przyrody (wybuchy wulkanów, trzęsienia ziemi, powodzie i in.), może jednak w bardzo wysokim stopniu przewidywać zdarzenia mające swoje źródła w sztucznym świecie techniki. Monteau kreśli podstawowy schemat cybernetyczny (rys.1) stawiając pytanie: Jak powstają wypadki w świecie techniki? Odpowiedź wydaje się prosta:

- z powodu zawodności maszyny (czyli ogólnie wszelkich urządzeń; często wskutek zmęczenia materiału),
- z powodu zawodności człowieka (przyczyn – tak jak w pierwszym przypadku – może być tysiące).



Rys.1. Model cybernetyczny (wg Monteau)

W latach 70. odkryto i zsyntezowano około 4 mln związków chemicznych, z czego około 50 tys. uznano za substancje niebezpieczne. Z 63 mln ton związków organicznych do roku 1970 do środowiska trafiło około 20 mln ton, a przewidywania na rok 1985 wynosiły już około 250 mln ton. Jeżeli do środowiska trafić będzie tylko 500 ton trudno rozkładalnych chemikaliów, wówczas za około 100 lat poziom ich stężeń w środowisku wzrośnie ponad 600-krotnie. Działalność człowieka w przemyśle, usługach i transporcie odbija się ostatecznie w powstawaniu gazów, ścieków i odpadów, z niebezpiecznymi włącznie. Przemysł i środowisko muszą być zatem rozpatrywane jako dwa makrosystemy, powiązane licznymi sprzężeniami zwrotnymi. Przemysł bierze ze środowiska przede wszystkim surowce pierwotne, zaś oddaje odpady we wszelkich postaciach.

Ryzyko wynikające z działalności przemysłowej istnieć będzie zawsze, chodzi jednak o to, by ryzyko wypadków czy katastrof zminimalizować, podobnie jak i ich skutki. Rozpatrywanie ryzyka ma jednak sens tylko wówczas, gdy istnieje możliwość jego zdefiniowania, określenia i pomiaru. Jeśli się uwzględni, że w uprzemysłowionych krajach około 10 % dochodu narodowego wydaje się na zapobieganie zagrożeniom i pokrywanie kosztów skutków wypadków i katastrof, to dopiero wówczas można należycie ocenić wagę omawianego problemu.

Na tle przedstawionych rozważań ogólnych omówiono niektóre zagrożenia oraz metodykę analizy ryzyka w systemach oczyszczania wód.

Zagrożenie i ryzyko

Analiza ryzyka jest dyscypliną inżynierską, która zajmuje się identyfikacją i kwantyfikacją zagrożeń określonego systemu. Zawiera więc powinna również techniki i metody, które rozwinięto w celu usystematyzowania oraz ułatwienia identyfikacji i oszacowania ryzyka. Przez identyfikację ryzyka, a zatem przez wskazanie obszarów, na których powinny być podjęte właściwe zmiany w projekcie lub inne prewencyjne postępowanie, uzyskuje się zmniejszenie prawdopodobieństwa zagrożenia ludzi i mienia. Tak pojmowana analiza ryzyka może się okazać korzystną inwestycją. Celem analizy ryzyka jest więc liczbowe ujęcie i wartościowanie zagrożeń. W celach może też mieścić się ogólny przegląd możliwych zagrożeń ograniczonych do jednego obiektu lub pewnego obszaru oraz reguły działań w stanie zagrożenia. Analiza ryzyka musi zwykle odpowiadać na następujące pytania:

- co może się zdarzyć?
- jak duże jest prawdopodobieństwo danego zdarzenia?
- jaki może być zakres szkód?

Jeszcze do niedawna problematyka oceny ryzyka wyczerpywała się na tych pytaniach w odniesieniu do bezpieczeństwa i ochro-

ny życia, zdrowia i mienia mieszkańców. Obecnie – gdy do rozważań włączono, jako podmiot, środowisko – zakres analizy ryzyka bardzo się rozszerzył. Sama analiza ryzyka nie wystarcza, by zabezpieczyć ludność i środowisko przed katastrofami i ich skutkami. Nie na miejscu jest wszakże pytanie: “Czy określona katastrofa może zdarzyć się również u nas?” Powinno ono raczej brzmieć: “Co zrobiono, względnie co należy zrobić, tak w przemyśle jak i na różnych szczeblach władzy, by tego rodzaju wypadkom zapobiec?” Jeżeli zaś możliwość zagrożeń i wypadków istnieje i jest realna, wówczas należy postawić dodatkowe pytanie: “Czy są obecnie dostępne takie adekwatne systemy prewencji, by można było takim wypadkom zaradzić od razu, gdy tylko się zdarzą?”

Sama analiza ryzyka nie wystarczy by zabezpieczyć ludność, jej mienie i środowisko. Chociaż określone przedsięwzięcia zmniejszające ryzyko są znane i przynoszą rezultaty, to zarówno dziś jak i w przyszłości, będzie zawsze występowało tzw. ryzyko resztkowe oraz mniejsze lub większe wypadki. Całkowite wykluczenie wypadków nie jest bowiem możliwe.

Morgenstern i von Neumann wprowadzili w roku 1944 pojęcie tzw. oczekiwanej użyteczności. Jest ono obecnie szeroko stosowane w różnych dziedzinach techniki i ekonomii w celu wyjaśnienia i dla uzasadniania decyzji w warunkach niepewności. Podobne rozważania były znane już w XVIII wieku, ale nie stanowiły one centrum teoretycznego zainteresowania aż do lat tuż przed drugą wojną światową. Stąd wzięta swe początki teoria niezawodności (także w odniesieniu do urządzeń technicznych i maszyn), a jej odwrotnością jest teoria ryzyka, tj. prawdopodobnego niezadziałania określonych urządzeń.

Według de Finetti’ego prawdopodobieństwa ani nie istnieją ani nie są obiektywnymi właściwościami systemu; są jedynie zakładanymi wartościami. Jeżeli zaś nie ma “prawdziwego” prawdopodobieństwa, nie ma też “prawdziwego” ryzyka. Ryzyko jest bowiem zakładane, przypisywane, czy wręcz ustalone przez ekspertów przyjmujących pewien konsensus. Potwierdzenie ryzyka, podobnie jak hipoteza naukowa, uzyskuje wiarygodność dopiero wówczas, gdy zapadną odpowiednie decyzje i rozstrzygnięcia.

Ryzyko, pomimo różnych opcji, definiuje się zwykle jako określone straty w jednostce czasu:

$$r = S \cdot Q \quad (1)$$

gdzie:

r – straty w jednostce czasu,

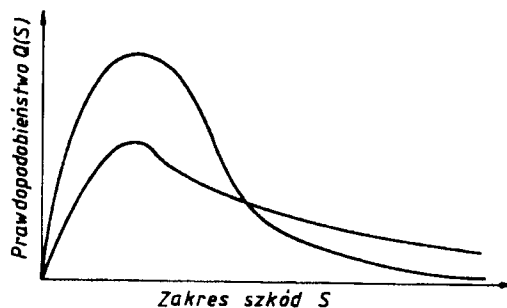
S – wielkość i zakres szkód,

Q – prawdopodobieństwo zdarzenia.

Prosty to zapis i pozornie prosta definicja. Ryzyko (r) jest tu niejako zakładane *a priori* jako ryzyko jednostkowe lub odnoszone do jednostki (np. liczby osobodni po wypadku). W rzeczywistych wypadkach tak najczęściej nie jest. Ryzyko przyjmuje postać ryzyka zbiorowego lub nawet globalnego, na przykład w środowisku naturalnym po awarii w elektrowni jądrowej. Ryzyko zbiorowe będzie więc bardzo często kompleksem, składającym się z licznych i zróżnicowanych ryzyk jednostkowych. Q jest określonym prawdopodobieństwem, że jakiś element systemu zawiedzie. Z dotychczasowej historii wiadomo, że duże szkody wiążą się z małym prawdopodobieństwem i odwrotnie (rys.2).

$$r = \int_S Q \cdot S dS \quad (2)$$

W eksploatacji maszyn i urządzeń, na podstawie znanych statystyk, można obliczyć oczekiwaną częstotliwość niezadziałania określonego urządzenia lub elementu. Wówczas:



Rys.2. Prawdopodobieństwo zawodności urządzenia jako funkcja zakresu szkód (wg Wagnera)

$$\lambda(t) = [1/k(t)] \cdot [dN/dt] \quad (3)$$

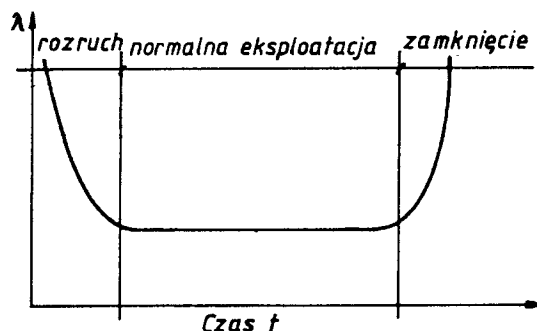
gdzie:

$k(t)$ – liczba elementów działających jeszcze w czasie t ,

dN/dt – liczba wypadnięć na jednostkę czasu.

Zwykle zakłada się, że w okresie eksploatacji, czyli tzw. “życia systemu”, funkcja λ przyjmuje kształt tzw. “wannы kąpielowej” (rys.3). Tego typu funkcję można w przybliżeniu opisać równaniem:

$$y = a \cdot e^{bx+cx^2} \quad (4)$$



Rys.3. Częstotliwość wypadnięcia jako funkcja czasu (wg Wagnera)

Oprócz tzw. normalnej technicznej zawodności, wynikającej z jakości danego produktu i warunków technicznej eksploatacji, bardzo istotny jest tu również czynnik ludzki i jego zawodność. Statystyki różnych procesów produkcyjnych – szczególnie w przemyśle chemicznym – podają zawodność czynnika ludzkiego w granicach 20 + 50 %; w granicznych, choć na szczęście nielicznych przypadkach nawet na poziomie 90 %. Element “człowiek” jest najtrudniejszy do liczbowego ujęcia w sytuacjach krańcowych i stresowych, a przecież także on wpływa w zasadniczy sposób na inne czynniki ryzyka. Postaci czystych hipotez mają wypadki jeszcze nie zasze, a jedynie przewidywane, stąd i rozbieżności w opiniach ekspertów. Przykładami są właśnie: Seveso, Bhopal i – najbardziej – Czarnobyl.

Podręcznik wytycznych ocen zagrożenia (wydany przez Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers) wymienia jedenaście procedur postępowania przy ocenie ryzyka. We wszystkich tych procedurach podkreśla się jako podstawowe następujące elementy:

– czas opracowania – od kilku dni do kilku tygodni, zależnie do złożoności zagadnienia,

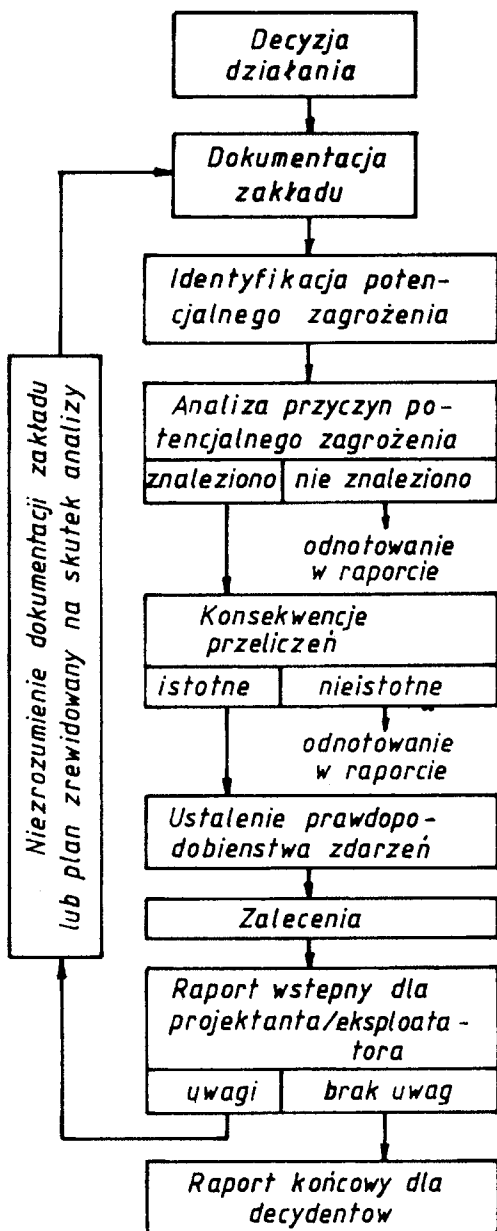
– konieczność wytypowania i posiadania grup rzeczywistych ekspertów dokonujących oceny, w tym również kwalifikowanych robotników, stykających się na codzień z analizowanym zagadnieniem.

Liczebność takiej grupy powinna być ograniczona do kilku osób; w przypadku oceny zagrożenia systemu zaopatrzenia w wodę mogą to być przykładowo: hydrolog, inżynier sanitarny, mikrobiolog lub hydrobiolog, operator urządzeń, dozorca studzien ujmujących wodę itp. Ogólny schemat postępowania przy ocenie ryzyka można przykładowo przedstawić jak na rysunku 4.

Zagrożenia wód

Zagrożenia pochodzenia naturalnego

Zagrożenia tego typu są znane od tysięcy lat. Są to m.in. trzęsienia ziemi i związane z tym uskoki tektoniczne, a także susze



Rys.4. Algorytm analizy ryzyka

i powodzie. Tu można zaszeregować bardzo znaną, a obecnie już nieco zapomnianą katastrofę manganową we Wrocławiu, w początkach tego stulecia; w tej grupie mogą też być okresowe zalewy polderów wrocławskich terenów wodonośnych podczas wysokich stanów w Odrze i Oławie. Katastrofa manganowa to typowy przykład nie przewidzianego zdarzenia, ryzyka i określenia następstw i szkód. Tu też należy wymienić ogromny pożar lasów w rejonie Kuźni Raciborskiej w sierpniu 1992 r.

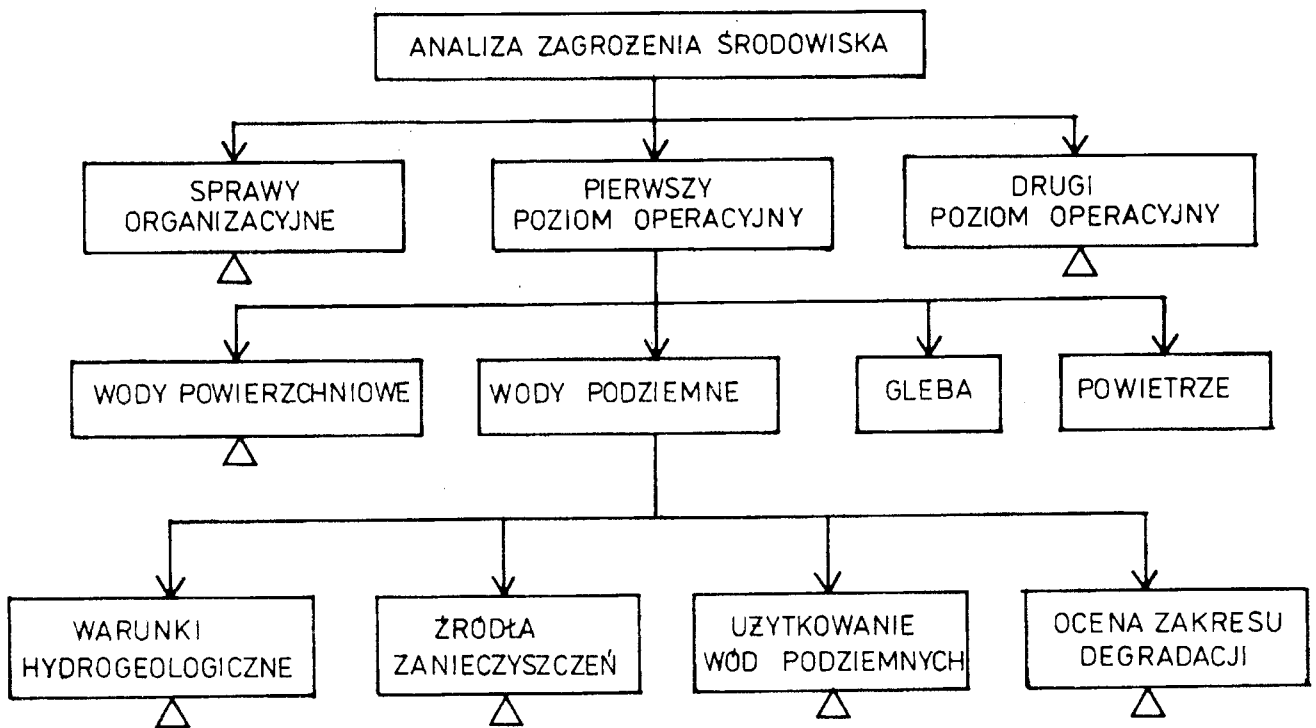
Zagrożenia pochodzenia antropogenicznego

Tu lista zagrożeń, wypadków i awarii oraz ich następstw jest długa. Ettala przytacza stosunkowo prosty schemat analizowania zagrożeń wód (rys.5), natomiast znacznie bardziej dokładnie określone kroki postępowania podają Shih i Riojas, poczynając do bardzo prostego schematu zdarzeń na ścieżce ryzyka:

Zagrożenie	Wyjście	Ekspozycja	Skutek
Rozwój przemysłu na obszarze chronionym ujęć wodociagowych	Usuwanie odpadów	Zanieczyszczenie (skażenie) terenów wodonośnych	Zagrożenie ludności wskutek skażenia wód

Autorzy ci przytaczają drzewo zdarzeń (rys. 6), w oparciu o które można zbudować drzewo błędów (rys.7, 8), przy czym znaczenie poszczególnych symboli logicznych jest następujące:

Symbol	Znaczenie
	i-bramka; mówi o logicznych operacjach uwzględniających wszystkie możliwe wejścia, aby mogło zaistnieć określone wyjście
	priorytetowa i-bramka; mówi o logicznych operacjach, które zachodzą, gdy wszystkie wejścia zostały uruchomione sekwencyjnie, aby spowodować jedno wyjście
	lub-bramka; logiczna operacja wymagająca istnienia jednego zdarzenia wejściowego, aby spowodować jedno zdarzenie wyjściowe
	ekskluzywna lub-bramka; logiczna operacja wymagająca istnienia jednego zdarzenia na wejściu, aby wywołać jedno zdarzenie wyjściowe
	zdarzenie, które nie wymaga dalszego rozwinięcia, czyli tzw. zdarzenie podstawowe
	zdarzenie pośrednie, wynikające z zastosowania bramek logicznych; służy też jako bramka do opisów tekstowych
	bramka nierozwiniętego zdarzenia w drzewie błędów, które dalej nie jest rozwijane z uwagi na nieistotne konsekwencje
	bramka wejściowa przenoszenia
	bramka wyjściowa



Rys.5. Schemat postępowania przy ocenie zagrożenia wód podziemnych (wg Ettai)

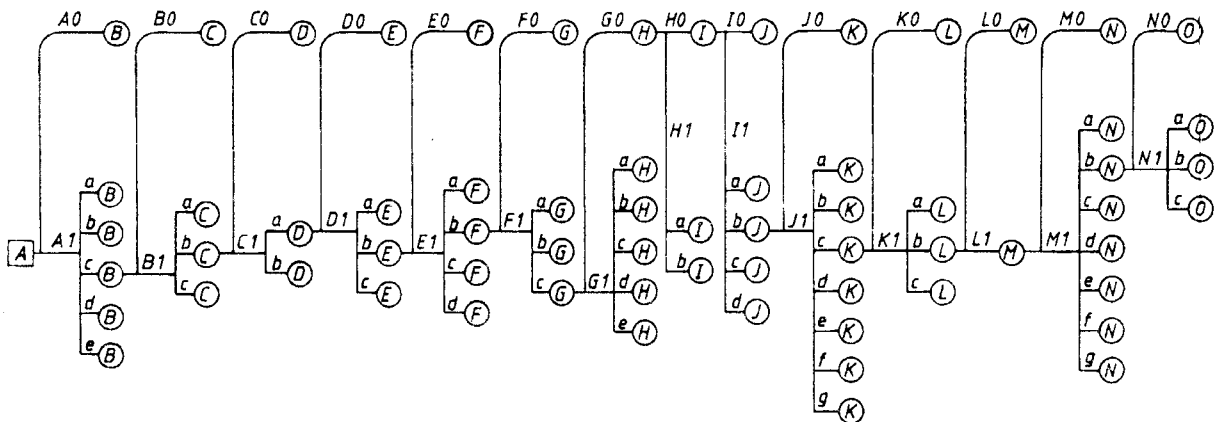
Z przedstawionych programów wynika, że analiza zdarzeń, błędów i ryzyka jest procesem bardzo złożonym. Można tu wykorzystać także swoje własne doświadczenia, jak też sformułować własne pytania typu "co się stanie, jeżeli", mając zawsze na uwadze przyczyny i skutki, czas, zasięg i prawdopodobieństwo zdarzeń awaryjnych. Dla przykładu:

♦ co się stanie w systemach zaopatrzenia w wodę w przypadku wielogodzinnego braku zasilania w energię elektryczną:

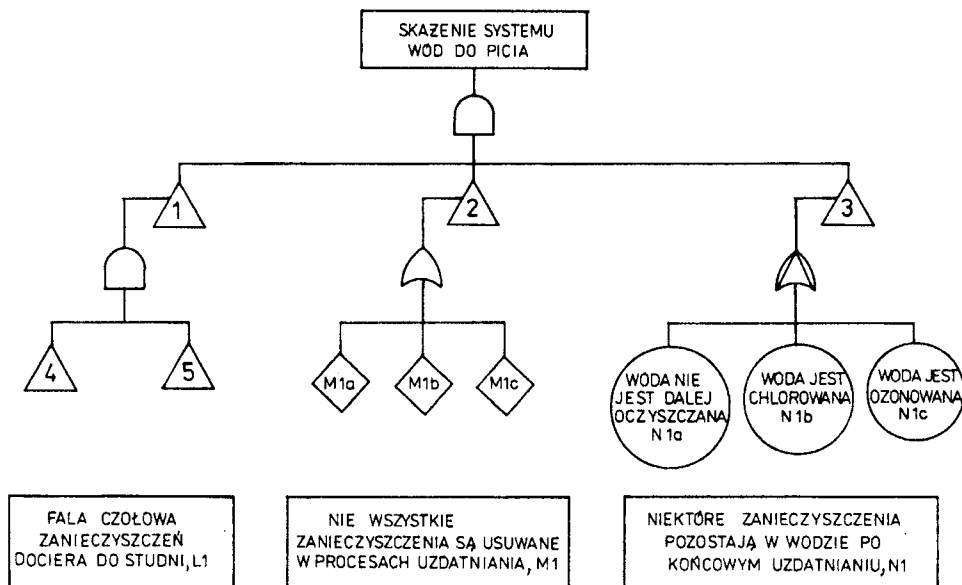
- na ujęciach wód z pompami głębinowymi,
- w stacjach pomp II stopnia,

- w sieci rozdzielczej małych, lokalnych wodociągów, lub też w dużych systemach wodociągowych typu Goczałkowice, Wrocław, czy Przybków;

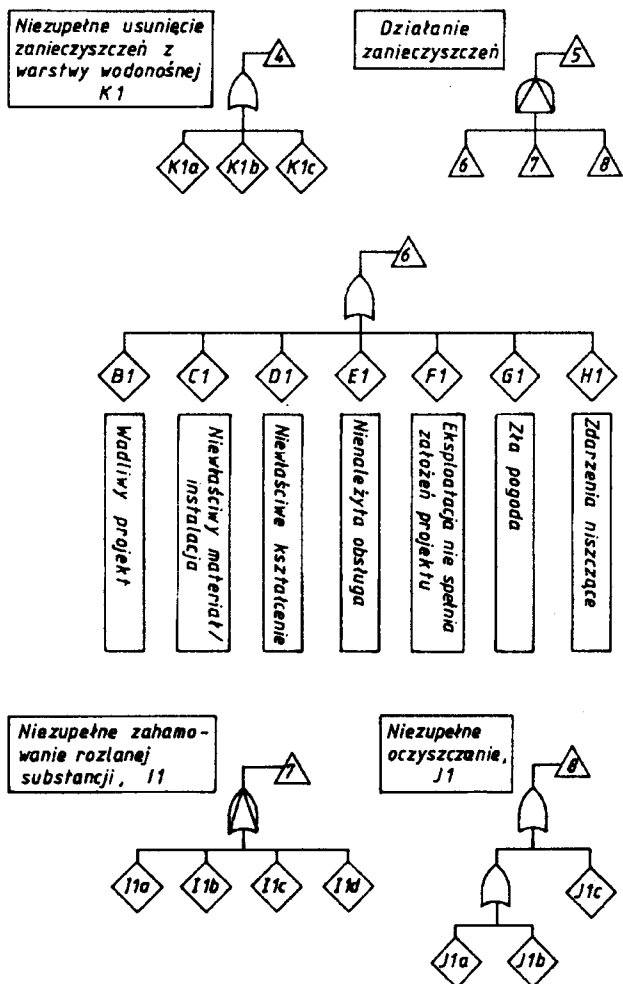
- ♦ co będzie w przypadku skażenia ujęć wodociągowych substancjami ropopochodnymi,
- ♦ jakie są prawdopodobieństwa i skutki zakażenia płytkich ujęć wodociągowych bakteriami chorobotwórczymi,
- ♦ co spowoduje wielokrotne pęknięcie rur wodociągowych na magistralach przesyłowych, np. wskutek trzęsienia ziemi lub działań wojennych (tragiczna sytuacja Sarajewa),



Rys.6. Przykład gałęzi drzewa zdarzeń w przypadku zanieczyszczenia wód podziemnych (wg Shiha i Riojasa) (A - zasadnicze decyzje wstępne typu administracyjnego, B - projektowane rozwiązania, C - zbudowane obiekty i zainstalowane urządzenia, D - sprawna i wykształcona załoga, E - postępujące utrzymanie w ruchu urządzeń, F - postępujący proces operacji jednostkowych, G - zdarzenia naturalne w przyrodzie, H - zdarzenia wywołane złym działaniem i niszczeniem, I - splukiwanie niebezpiecznych substancji do gruntu, J - splukiwane niebezpieczne substancje są oczyszczane, K - zanieczyszczenia reagują z materiałem górotworu, L - zanieczyszczone wody przepływają przez warstwę wodonośną, M - oczyszczanie wód w celu usunięcia zanieczyszczeń, N - przygotowanie wód do celów pitnych, O - tłoczenie oczyszczonej wody do sieci wodociągowej)



Rys.7. Drzewo błędów zanieczyszczeń wód gruntowych (wg Shiha i Riojasa)



Rys.8. Ciąg dalszy drzewa błędów

◆ brak środków dezynfekcyjnych w zakładach uzdatniania wody, w których dezynfekcja musi być prowadzona.

W klasycznej analizie ryzyka wypadki się zakłada, a w założeniach występuje zarówno prawdopodobieństwo jak i skutki. Jasność przewidywania będzie wystarczająca wówczas, gdy zgromadzi się odpowiednią ilość danych wejściowych. To zaś nie zawsze jest możliwe, gdyż często w scenariuszach symulacyjnych zakłada się całkowicie *a priori* taki lub inny wypadek, który dotychczas nie miał miejsca. Na wyjściu zakłada się prawie zawsze albo ryzyko indywidualne (np. śmierć jednej osoby) albo ryzyko grupowe z fatalnymi skutkami dla większej grupy ludzi lub środowiska.

Przytoczone rozważania są zaledwie zarysem analizy ryzyka, która w ochronie środowiska stawia dopiero pierwsze kroki. Zakres przyszłościowych prac, ukierunkowanych na zagrożenie innych elementów środowiska, zdaje się więc być ogromny.

Podsumowanie

Należy podkreślić, że technika kwantyfikująca ryzyko ma swe granice pewności. Im mniej danych wejściowych, tym mniejsza dokładność przewidywania prawdopodobieństwa zdarzeń katastroficznych i ich skutków. Jest to bowiem prognozowanie w warunkach niepewności. Nie oznacza to jednak, by rezygnować z tej metody, gdy brak innej do wyboru. Innej, może tu oznaczać bardziej dokładnej.

Analiza ryzyka stawia w ochronie środowiska dopiero pierwsze kroki, a obszerniejsze publikacje na ten temat pochodzą mniej więcej sprzed 8+10 lat. Zasygnalizowane tu zagadnienia muszą być poszerzone i pogłębione, także w oparciu o nauki podstawowe. Uznając ogromną wagę tych problemów, ujmowanych w naszym kraju w tzw. analizie uciążliwości inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska, można ocenić, że rola tak pojmowanej analizy ryzyka będzie coraz większa. Nie ulega bowiem wątpliwości, że jest to nowy dział w szeroko pojmowanej sferze ochrony środowiska.

Przedmiot ANALIZA RYZYKA jest wykładany przez Autora w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze na kierunku "Inżynieria Sanitarna" (sem. IX, 30 godz.). Przedmiot ten obejmuje następujące zagadnienia: Definicje; Analiza i ocena ryzyka w kryteriach prawdopodobieństwa; Zwyczajne i nadzwyczajne zagrożenia (generalny opis i kategorie zagrożeń); Wytyczne dotyczące wyboru procedury oraz stosowania procedur ocen ryzyka (wstępna ocena ryzyka, drzewo błędów, drzewo następstw, analiza błędów ludzkich itp.); Zagrożenie środowiska przez niebezpieczne odpady; Makrozanieczyszczenia środowiska; Analiza awarii i katastrof; Możliwości oceny zagrożeń przy użyciu symulacji komputerowych.

LITERATURA

1. R. A. CONWAY: Environmental Risk Analysis for Chemicals. Van Nostrand Reinhold Comp., New York 1982.
2. M. O. ETTALA: Application of environmental risk analysis to groundwater protection. Wat. Sci. Techn., 1988, Vol. 20, No. 3, pp. 87-93.
3. L. R. G. MARTIN, G. LAFOND [Eds.]: Risk, Assessment and Management: Emergency Planning Perspectives. University of Waterloo Press, Waterloo 1988.
4. M. SCHMIDT: Leben in der Risikogesellschaft. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1989.
5. C. S. SHIH, A. H. RIOJAS: Integrated risk/decision analysis for hazardous waste management. Conf.Proc. "International Conference on Industrial Risk Management and Clean Technologies". UNIDO, Vienna 1988.
6. UNEP-Industry & Environment Guidelines Series: Guidelines in Risk Management in the Chemical Industry. UNEP, Paris 1982.
7. W. WAGNER: Risikobetrachtungen mit dem Ziel der Vorbeugungen gegen Störungen in der Abwassertechnik. Berichte ATV, 1990, 40, Gessellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, St. Augustin, s. 441-471.
8. E. S. KEMPA: Analiza ryzyka. Mat. do wykładów. WSI, Zielona Góra 1992 (materiały nie publikowane).

RISK ANALYSIS IN WATER TREATMENT SYSTEMS

Risk analysis is only beginning to find acceptance in environment pollution control. Hazards and risks are, in fact, closely associated with pollution control in general, so we should not confine ourselves to risk analysis comprising man alone. We are exposed to hazards coming from the action of natural forces or the occurrence of natural phenomena, but the risks we are exposed to, are anthropogenic – they are concomitant with the wide spectrum of man's activity. In terms of probability, risk is defined as the product of the quantity of damage and the frequency of re-

levant events. A real risk potential may consist of n elements, but in fact a single event may become the root cause of successive episodes, thus producing certain effects. Such behavioral pattern can be represented in the form of a relevance tree (a tree of events and errors). These days many more methods of risk assessment are available. The present paper concentrates on the general principles of risk analysis and their applicability to water supply systems.