

Edward S. Kempa*

MINIMALIZACJA ODPADÓW DROGĄ DO MINIMALIZACJI RYZYKA

Streszczenie

Minimalizacja odpadów będzie szeroko omawiana w innych prezentacjach. Autor tego referatu wskazuje natomiast na istniejące i potencjalne powiązania minimalizacji odpadów z redukcją zagrożeń i ryzyka w tej sferze gospodarki i usług, w której gdy minimalizację odpadów (np. przez recykling odpadów surowcowych) się realizuje. Powiązań tych często się nie dostrzega lub niedocenia.

1. WPROWADZENIE

O potrzebie minimalizacji odpadów mówi się ostatnio bardzo wiele i przy różnych okazjach. Minimalizacja zdaje się być "wyższym stopniem" normalnej czy klasycznej już gospodarki odpadami, przez którą potocznie rozumiemy usuwanie i unieszkodliwianie według znanych reguł współczesnej techniki. Z tym wyższym stopniem zaczynają być wiązane czystsze czyli małoodpadowe technologie. Generalnie zaś, przy wprowadzaniu czystszych technologii i związanej z nimi minimalizacją odpadów, zwraca się już od dawna uwagę nie tylko na to co wchodzi do procesu produkcyjnego (wsad, ang.: input), ale również co, ile i o jakim składzie z niego wychodzi (ang.: output). A ponieważ każdy proces, każda produkcja niesie ze sobą określone zagrożenie i ryzyko, zmniejszenie ryzyka przez zmniejszenie ilości odpadów staje się

* Edward S. KEMPA – Zakład Technologii Wody, Ścieków i Odpadów, Politechnika Zielonogórska

ewidentne. Nie jest to może od razu oczywiste, ale głębsze analizy takie powiązania potwierdzają.

Jedna ze starszych, amerykańskich statystyk wypadkowości wykazała, że wypadkowość w sektorze gospodarki odpadami była najwyższa w porównaniu z innymi działami produkcji i usług. I to zarówno w liczbach bezwzględnych (liczba straconych roboczo-dni), jak i w procentowym udziale. A przecież wiadomo, że sektor gospodarki odpadami nie jest dominujący w globalnej gospodarce USA.

Powiązanie zagadnień minimalizacji odpadów z redukcją ryzyka jest więc uzasadnione.

2. MINIMALIZACJA ODPADÓW

Minimalizacja odpadów to jednocześnie oszczędna gospodarka surowcami, będącymi wsadem w procesie produkcyjnym; to jednocześnie rozważenie oszczędzania surowców pierwotnych przez zawracanie tych frakcji, elementów czy pozostałości procesowych, które się do recyklingu nadają. Niemieckie 3V (Vermeidung, Verminderung, Verwertung) nie brzmi co prawda tak dobrze w języku polskim (gdyż można to przetłumaczyć jako: unikanie powstawania, zmniejszenie ilości i zużytkowanie odpadów), ale sens pozostaje ten sam, ustawiający też w tej kolejności współczesną gospodarkę odpadami zarówno przemysłowymi jak i komunalnymi.

Rzeczywistych i tzw. "czystych" czyli bezodpadowych technologii jest mało, znacznie więcej technologii mało-odpadowych, a ich wzajemne proporcje mają się orientacyjnie jak 1:50 czy nawet 1:100.

Przechodzenie z technologii przestarzałych, w których nie zwracano uwagi na wszelkie pozostałości poprocesowe nie związane z produktem (ang.: *end-of-pipe-technologies*) na nowe, mało-odpadowe jest trudne oraz czaso- i kapitałochłonne. Pozostaje więc alternatywa szerszej recyrkulacji wszelkich pozostałości poprocesowych czy odpadów. Recyrkulacja zaś, według Bundi'ego i Wasmera oznacza: "zawrócenie produktów ubocznych, pośrednich i końcowych, powstających w jakiegokolwiek fazie przepływu materiałów - od źródeł surowcowych do końcowego odbiorcy i to w postaci nowego obiegu: producent - konsument.

Tak zdefiniowana recyrkulacja może odbywać się zatem przez:

- ponowne użycie materiału lub produktu bez jego przetwarzania (zwrotne opakowania szklane, regeneracja spracowanych olejów i in.)
- wtórne wykorzystanie materiałów bez zmiany ich składu do wytwarzania nowych produktów; np. wykorzystanie rozdrobnionego gruzu budowlanego w budownictwie drogowym;
- przetwarzanie materiałów, połączone ze zmianą ich stanu i składu.

Wewnątrz - zakładową recykulację produktów pośrednich i ubocznych stosowano w przemyśle od dawna, jednak współcześnie recykulację tę nasila się.

Pożyteczność recykulacji i odzysku jest w zasadzie bezdyskusyjna. Uzasadnia się ją oszczędnością surowców i energii.

Meadows proponuje obliczenie krytycznego czasu t_K , po którym nastąpi wyczerpanie nieodwracalnego surowca:

$$t_K = \frac{\ln\left(Q \frac{P}{q_0} + 1\right)}{P} [\text{lata}]$$

gdzie :

- Q - znane zasoby surowca, możliwe do pozyskania w obecnych warunkach techniczno - ekonomicznych
- q_0 - obecny stan (stopień) pozyskiwania surowca
- P - roczny przyrost pozyskiwania

Uwzględniając redukcję w bilansie materiałowym, udział pierwotnego materiału (surowca) w ogólnej masie wyniesie :

$$\frac{1}{1/(1-\rho)} = 1 - \rho$$

gdzie r jest ilością zawracanego materiału.

Przy jednostkowym odzysku :

$$y = 1 - (1 - \rho) - \rho \text{ [kg/kg zużywanego surowca]}$$

Podobnie można mówić o bilansie energetycznym. Upraszczając, że jednostkowe zużycie energii jest :

a - dla pozyskania i przetworzenia surowca pierwotnego, kWh/kg

α - dla przetworzenia materiału recykulowanego, kWh/kg,

wówczas funkcję energii $f(\rho)$ definiujemy :

$$f(\rho = 0) = 1; \quad f(\rho = 1) = \infty$$

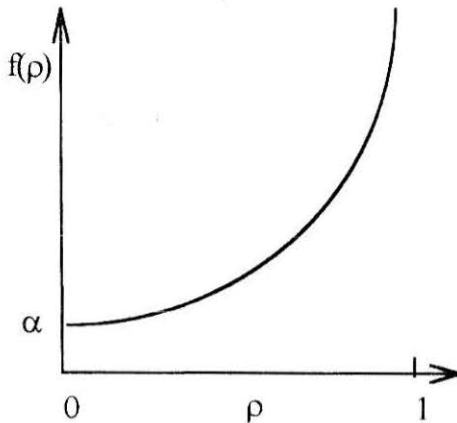
Jednostkowe zużycie energii będzie funkcją :

$$e(\rho) = \alpha f(\rho)$$

Zaś stosunek jednostkowego zużycia energii na recykulację i na pozyskanie materiału pierwotnego jest :

$$A(\rho) = \frac{\alpha}{a} f(\rho) = \frac{e(\rho)}{a}$$

Schematyczny wykres funkcji energii $f(\rho)$ przedstawia rys. 1.



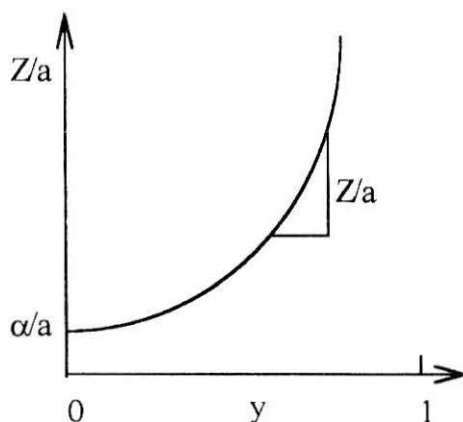
Rys. 1. Schematyczny wykres funkcji energii $f(\rho)$.

Stopień odzysku ρ ($y = \rho$ kg/kg) wiązany jest zwykle z dodatkowym zużyciem energii z .

Jeśli $a < 1$ ($A < 1$), wówczas dla małych wartości ρ uzyskuje się dzięki recykulacji podwójną korzyść wyrażoną zarówno odzyskiem materiałów, jak i zmniejszeniem zużycia energii. Jednakże ze wzrostem stopnia recykulacji (ρ) jednostkowe zużycie energii rośnie progresywnie i podstawowym problemem staje się ustalenie optymalnej wartości ρ . Graniczną wartość osiąga się, gdy wartość odzyskanego materiału $y = R$ będzie równa wartości dodatkowej energii $z = E/a$ wymaganej do uzyskania tego stopnia odzysku.

$\frac{E/a}{R}$ określimy przez różnicowanie funkcji :

$$\frac{z}{a} = \rho \left[\frac{\alpha}{a} f(\rho) - 1 \right] = \rho [A(\rho) - 1]$$



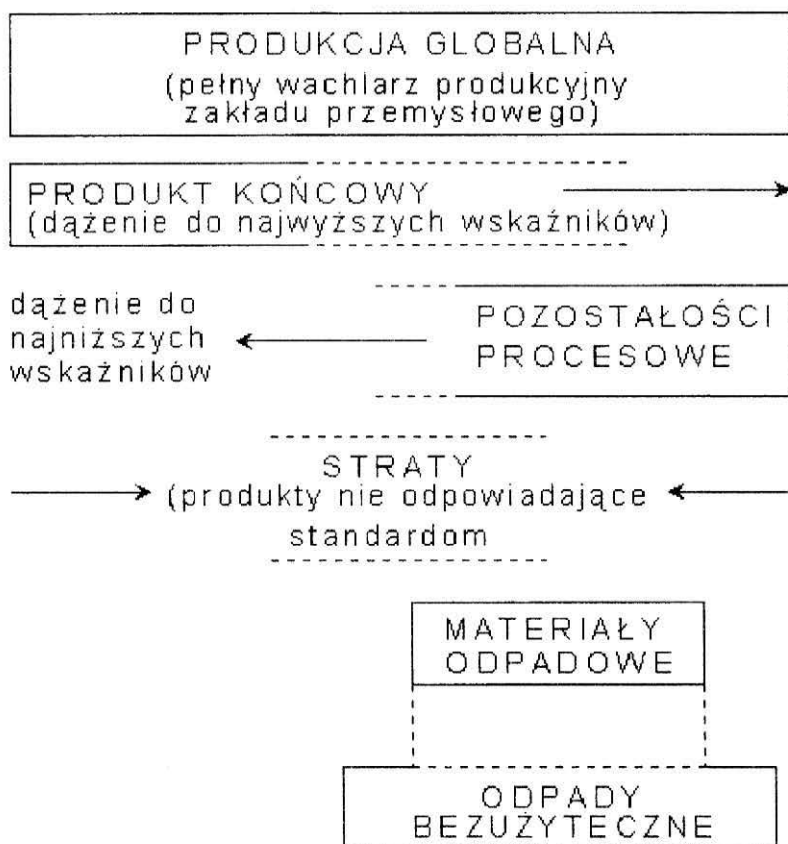
Rys. 2. Zależność między dodatkowym zużyciem energii z/a a odpowiadającą mu wartością odzyskanego materiału.

Optymalny stopień odzysku ρ można określić jako :

$$\frac{d[\rho f(\rho)]}{d\rho} = \frac{a}{\alpha}(1 + \gamma)$$

gdzie γ jest stosunkiem jednostki odzyskanego materiału do jednostki użytej energii.

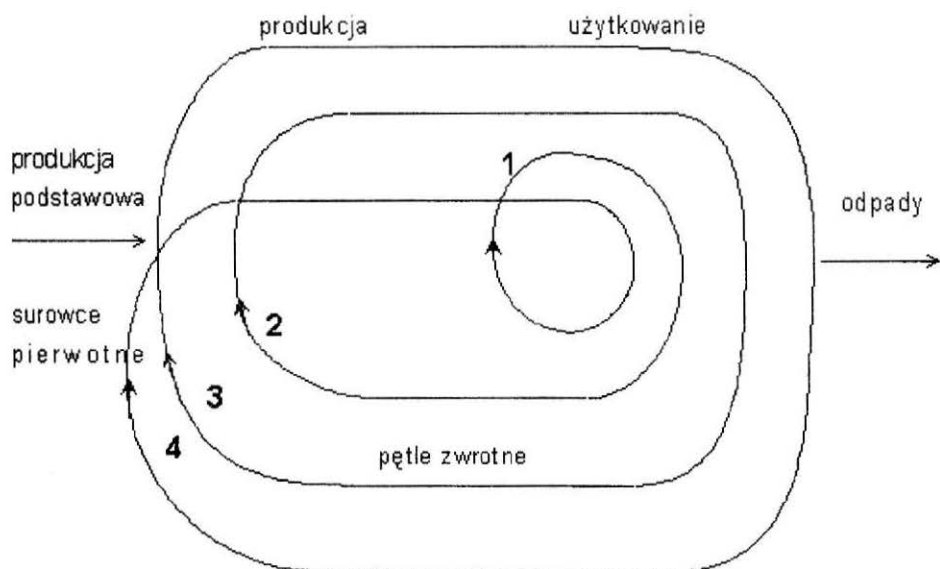
Na efektywność recyrkulacji mają również wpływ energia potrzebna do gromadzenia odpadów i ich transport do stacji odzysku, koszty inwestycyjne stacji odzysku i inne koszty eksploatacyjne.



Rys. 3. Minimalizacja odpadów w procesie produkcji

Syntezyując zagadnienia minimalizacji odpadów w przemyśle, nie można tracić z oczu podstawowych założeń dowolnego procesu produkcyjnego. Można to przedstawić jak na rys. 3.

Dąży się bowiem zwykle do najlepszych ilościowych i jakościowych wskaźników produkcji, przy jednoczesnym obniżaniu pozostałości. Część z nich nadaje się do zawracania, część to materiały odpadowe, część odpady ostateczne, czyli rzeczywiste. Stosunkowo często występują też systemy samouzupniające się - w pełni lub tylko w części - co również przyczynia się do minimalizacji odpadów (rys. 4).

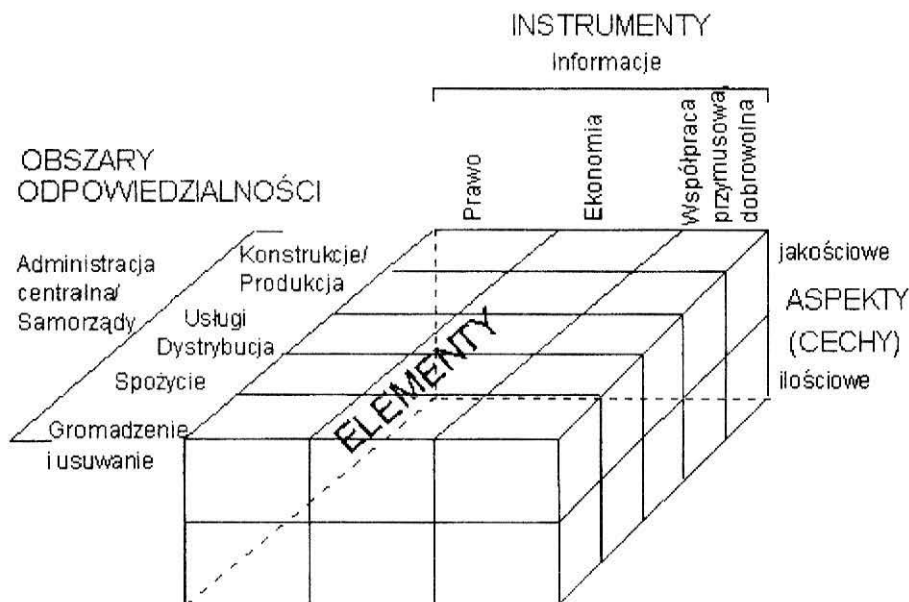


- niezależność od okresu użytkowania
- zróżnicowane systemy produktów i składników

- pętla 1 - wtórne użycie dóbr,
- pętla 2 - naprawa produktów,
- pętla 3 - przetwarzanie dóbr,
- pętla 4 - recykling odzyskanych surowców.

Rys. 4. Systemy samouzupniające się - pełne wykorzystanie produktów oraz minimalizacji odpadów

Jednak prócz ściśle technicznych rozwiązań, mamy przy minimalizacji także sporo innych relacji, z których niektóre pokazano na rys. 5.



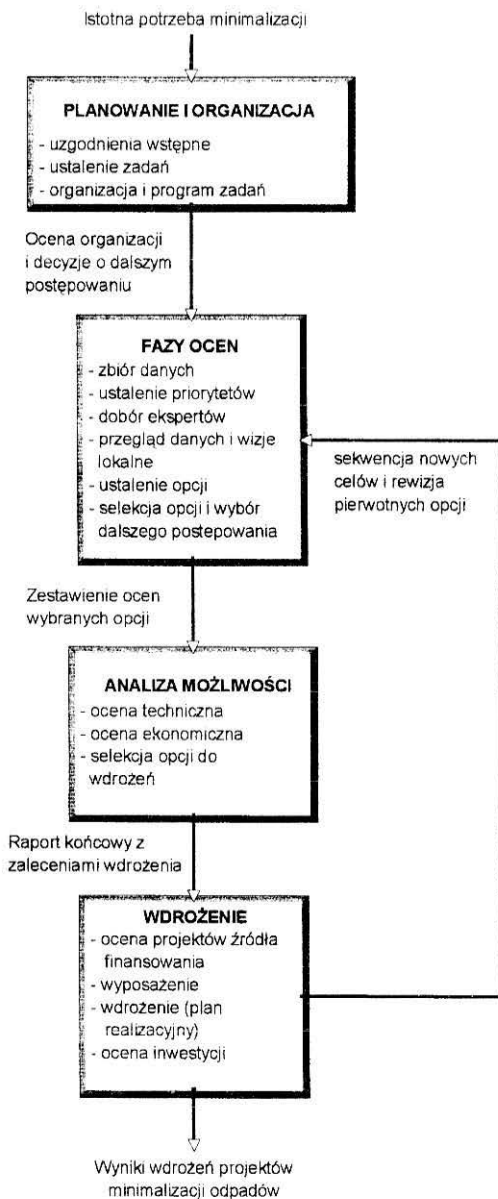
Rys. 5. Elementy unikania i minimalizacji odpadów

Ostatecznie, postępowanie zmierzające do minimalizacji odpadów można przedstawić jak na rys. 6 w postaci algorytmu. Wydaje się on prosty, bo złożony jedynie z 4 członów, jednak każdy bywa w praktyce bardziej rozbudowany niż to pokazano na rysunku.

3. ZAGROŻENIE I RYZYKO

Niezawodność obiektów i urządzeń oraz bezpieczeństwo i higiena pracy, to pojęcia dobrze znane od lat, natomiast zagrożenie i ryzyko, szczególnie w odniesieniu do większych zbiorowisk ludzkich i środowiska, to pojęcia, które często dopiero od niedawna torują sobie drogę do świadomości społeczeństwa - w tym również do decydentów. Zagrożenia naturalne, występujące w przyrodzie istniały od zarania dziejów i nie nimi mamy zamiar się zajmować. W tym referacie chodzi raczej o zagrożenia

związane z gospodarką odpadami przemysłowymi i komunalnymi. Źródło zagrożeń jest więc związane z techniką i jej zawodnością czy niezawod-



Rys. 6. Postępowanie zmierzające do minimalizacji odpadów

nością. Wykolejają się czy ulegają wypadkom komunikacyjnym cysterny z niebezpiecznymi chemikaliami, mają miejsce wybuchy w spalarniach odpadów chemicznych, uchodzący do gruntu i przemieszczający się w nim biogaz z wysypisk bywa przyczyną zatruć i wybuchów.

Czy zatem, rozważając tylko wybiórczo minimalizację odpadów, możliwa jest ocena ryzyka technologii recyklingu i wykorzystania wyselekcjonowanych odpadów surowcowych? Ograniczmy się tylko do tych kwestii. Techniczna zawodność, wynikająca z jakości produktu i warunków technicznej eksploatacji jest zwykle wymierna.

Niewymierny może być tzw. czynnik ludzki, który zawodzi bardzo często. Człowiek to najtrudniejszy element do liczbowego ujęcia, głównie w warunkach nietypowych, odbiegających od normalnych, w sytuacjach krańcowych czy stresowych. Analizy wypadków wykazują przeważnie zawodność różnych elementów złożonego systemu technologicznego, ale czynnik ludzki odgrywał niejednokrotnie rolę istotną, jeżeli nie decydującą.

Przeciętny obywatel nie musi być świadom różnych przyczyn i skutków zagrożeń, jednak fachowcy muszą podejść do tego z rozwagą, wiedzą i gotowością do rozsądnych decyzji. Sprawy związane z wywozem, unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów, budzą wiele emocji i kontrowersji. Dzieje się tak dlatego, że wciąż jeszcze dominują na świecie (w Polsce też) rozwiązania przestarzałe - owe end - of - pipe - technologies. Spore zagrożenia wynikają ze źle zaprojektowanych (o ile wogóle) lub dzikich wysypisk, nadmiernych i szkodliwych emisji ze spalarni odpadów itd.

Hasło "Minimalizacja odpadów - minimalizacja ryzyka" ma więc swoje uzasadnienie. Oznacza ono, że na każdym etapie postępowania - a zatem począwszy od wyboru surowców, poprzez materiało- i energooszczędne technologie produkcyjne, aż do finałowego etapu z odpadami w minimalnej ilości i o składzie o niskiej klasie toksyczności.

Lepsze opanowanie technologii produkcyjnych jak również technologii przetwórczych odpadów, to siłą rzeczy także lepsze opanowanie zagrożenie. Stąd analiza zagrożeń i ryzyka w gospodarce odpadami powinna być obligatoryjna.

3.1. Zagrożenia i ryzyko w gospodarstwach domowych

Minimalizację odpadów w gospodarstwach domowych można generalnie odnieść do selektywnej zbiórki poszczególnych frakcji rodzajowych. I tak makulaturę zbiera się osobno, szkło osobno, podobnie jak tworzywa sztuczne czy resztki kuchenne. Ale - co u nas jest wciąż jeszcze niedoceniane, lub wręcz niedostrzegane - to odpady niebezpieczne, powstające w domu. Będą to zużyte baterie, przeterminowane lekarstwa i środki spożywcze, igły i strzykawki jednorazowego użycia, opakowania po środkach czyszczących, owadobójczych itd. Jest to lista dość długa. Wymienione odpady niebezpieczne, wymieszane z mniej problematycznymi powodują, że znacznie większa masa odpadów staje się niebezpieczna. Oczywiście jest więc, że selektywna zbiórka przyczynia się do redukcji ryzyka w gospodarstwach domowych. W Szwecji przyczyny ryzyka podsumowano następująco :

- ryzyko wynikające z trzymania substancji niebezpiecznych w domu,
- ryzyko istniejące do czasu przejęcia niebezpiecznego odpadu przez przewoźnika (kontraktora),
- ryzyko występujące w centrach recyklingu (w stacjach segregacji i odzysku),
- zagrożenie i ryzyko indywidualne pracowników w zakładach unieszkodliwiania.

Rozpatrywane zagrożenia i ich przyczyny to :

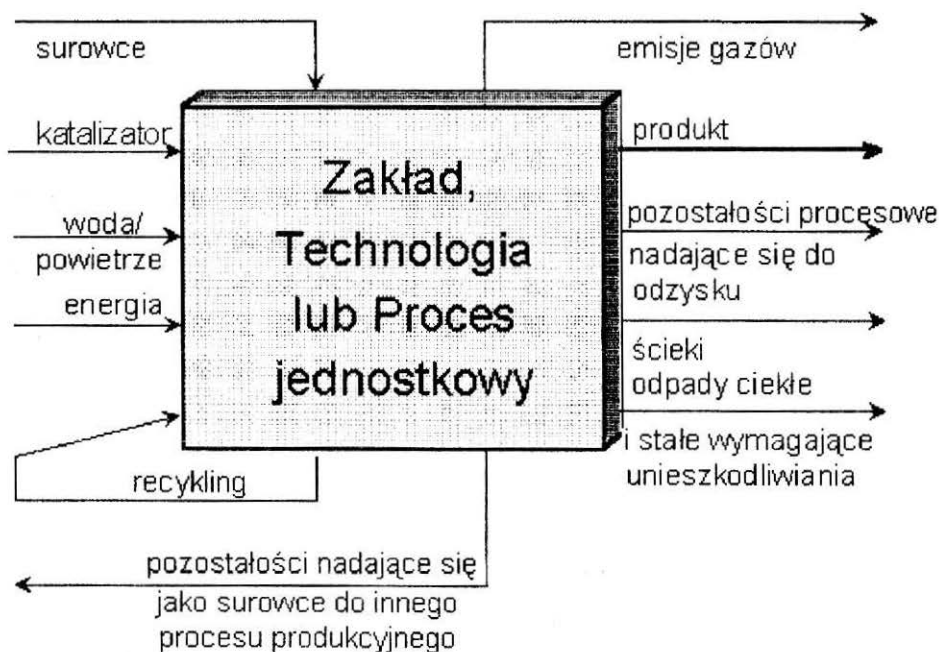
samozapłony (pożary) lub wybuchy,
wycieki ze skorodowanych pojemników,
wycieki z przemarzniętych pojemników,
wycieki i emisje do otoczenia z pojemników eksplodujących.

Selektywne zebrane odpady niebezpieczne, pochodzące z gospodarstw domowych, unieszkodliwia się w podobny sposób co odpady przemysłowe danego rodzaju czy klasy toksyczności; często też jest to unieszkodliwianie wspólne, np. spalanie czy procesy pirolityczne.

3.2. Zagrożenie odpadami przemysłowymi

Autor tego referatu jest przekonany, że pierwszym krokiem do poprawy gospodarki odpadami w zakładach przemysłowych musi być tzw. "audit" czyli pełny przegląd procesów produkcyjnych pod kątem ich energo- i materiałochłonności oraz emisji zanieczyszczeń do środowiska. Warunkiem wstępnym takiego przeglądu - zalecanego zresztą przez takie międzynarodowe organizacje jak UNEP, UNIDO i ILO - jest zespół (komisja) o bardzo wysokich kwalifikacjach zawodowych.

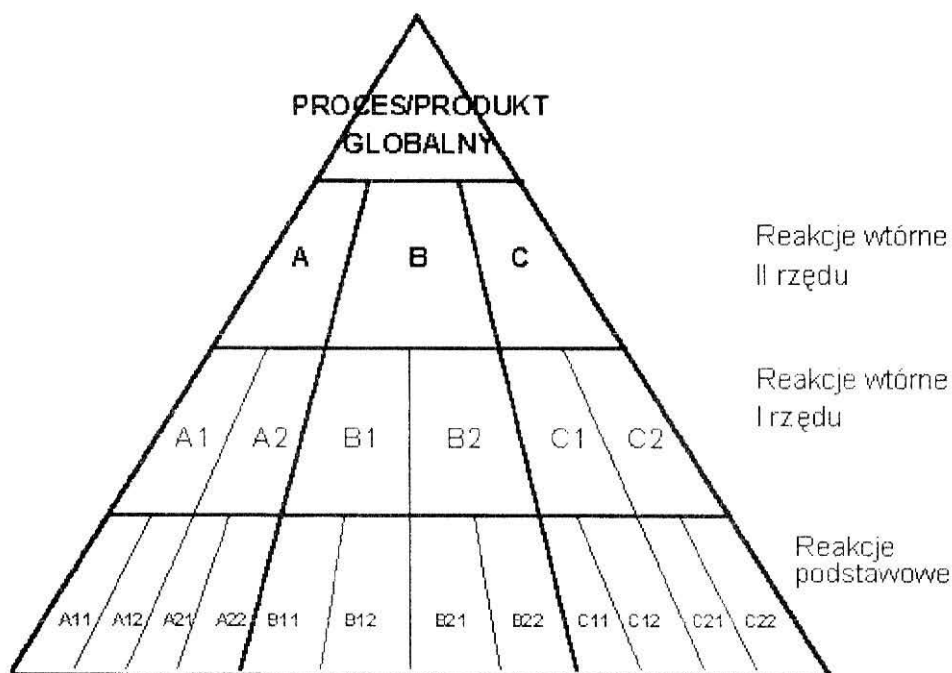
Ogólny zarys postępowania można by przedstawić jak na rys. 7, chociaż nacisk jest tu położony na bilans materiałowy.



Rys. 7. Globalny bilans materiałowy

Przegląd ten jest łatwy w przypadku prostych procesów - jak chociażby mokre sortowanie węgla i zwracanie (osobno) do obiegu wód technologicznych i miazgi węglowej do spalania. Procesy chemiczne, szczególnie te tzw. "wielkiej chemii" są bardzo złożone. Przegląd taki jak to przedstawiono na rysunku 7 jest wręcz niemożliwy. Musi się proces

rozcłunkowywać na "czynniki pierwsze", a dopiero te można analizować jak wyżej. Posuwając się stopniowo od podstawowych reakcji do gotowego produktu będzie można ocenić poszczególne operacje i procesy jednostkowe także od strony zawodności, zagrożeń i ryzyka.



Rys. 8. Podział technologii na procesy cząstkowe

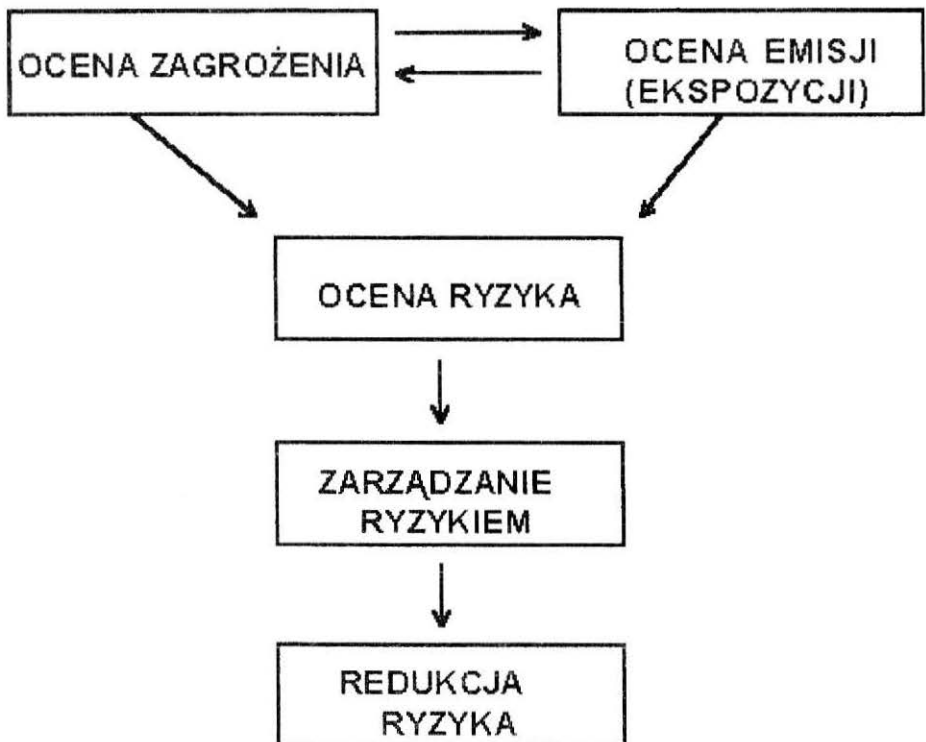
Złożoność procesu technologicznego można zatem schematycznie przedstawić jak na rysunku 8, a co za tym idzie - tyle będzie schematów "audit" wg. rysunku 7, ile procesów jednostkowych, zaś matematycznie, ryzyko całkowite będzie bądź to sumą pojedynczych ryzyk w postaci :

$$R = \sum_{i=1}^n r_i a_i$$

bądź też ich iloczynem :

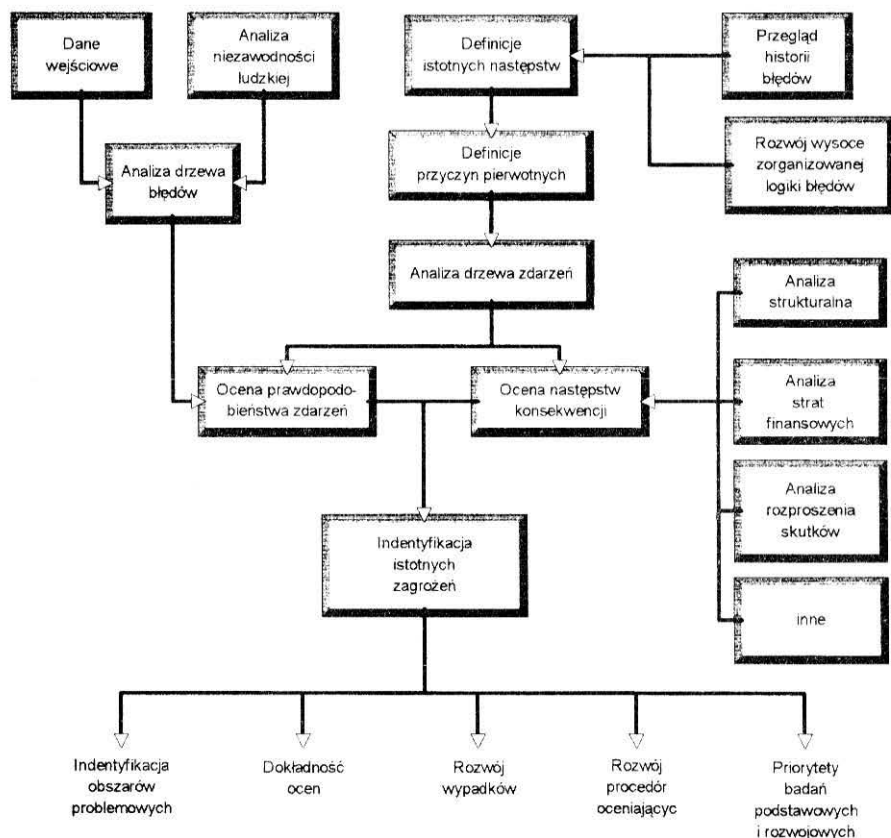
$$R = \prod_{i=1}^n r_i a_i$$

zresztą analogicznie do sformułowanej przez Wesołowskiego funkcji jakości kompleksowej. Jeżeli poszczególne cechy zagrożeń i ryzyka nie oddziałują wzajemnie na siebie wówczas preferuje się postać addytywną, jeżeli jest przeciwnie - postać iloczynową. Symbol a_i jest wyrazem współczynnika rangi i - tego ryzyka (często - dla uproszczenia przyjmuje się tylko trzy wartości liczbowe dla "a", mianowicie 0.5, 1.0 i 1.5, przyporządkowując jeden z nich poszczególnym "r" według uznania oceniającej komisji). Po takich analizach cząstkowych łatwo już docieramy do sformułowania zarządzania ryzykiem - jak chociażby według przykładowego algorytmu jak na rysunku 9.



Rys. 9. Algorytm zarządzania ryzykiem

Bardziej rozbudowane schematy są również znane jak przykładowo pokazano na rysunku 10.



Rys. 10. Postępowanie przy ocenie ryzyka zakładów

4. PODSUMOWANIE

Odchodząc od technologii "końca rury", wprowadzanie czystych technologii, technik odzysku, recyklingu i minimalizacji odpadów wymaga dokładnego przeanalizowania zarówno tych starych jak i nowych - także pod kątem niezawodności urządzeń, zagrożeń obywateli i środowiska oraz wynikającego stąd (zredukowanego) ryzyka. Analiza zagrożeń

i ryzyka w gospodarce odpadami nie jest jeszcze rozpowszechniona. Wiązanie minimalizacji odpadów z minimalizacją ryzyka jest również pewną nowością. Takie wiązanie relacji zostało w niniejszym referacie podjęte przez Autora po raz pierwszy, nie licząc krótkiego komunikatu wygłoszonego na międzynarodowej konferencji ISWA w czerwcu 1995 r. w Barcelonie. Autor zdaje sobie sprawę z niedostatków tego referatu - tak to bowiem bywa ze wszystkimi pierwocinami - ale jednocześnie jest przekonany, że już w niedalekiej przyszłości takie analizy staną się standardowym wymaganiami omawianych wyżej przedsięwzięć, podobnie jak stało się to już z analizą uciążliwości inwestycji.

LITERATURA

- [1] **ASANTE-DUAH, D.K.:** *Hazardous Waste Risk Assessment*. Lewis Publishers, Boca Raton - Ann Arbor, 1993.
- [2] **KEMPA, E.S.:** *Gospodarka odpadami miejskimi*. ARKADY Warszawa, 1983.
- [3] **KEMPA, E.S.:** (Red.) *Gospodarka odpadami na wysypiskach*. Wyd. ARKA Konsorcjum Poznań, ss. 149 - 158, 1993.
- [4] **KEMPA, E.S.:** *Ryzyko w procesach i obiektach inżynierii sanitarnej*: Ochrona Środowiska, PZITS Wrocław, nr 2 (57), ss. 43-48 1995.
- [5] **MALTEZOU, S.:** et al. *Hazardous Waste Management*. Tycooly Publ., London - New York 1989.
- [6] **UNEP - UNIDO;** (pr. zbior) *Audit and Reduction Manual for Industrial Emissions and Wastes*. Techn. Report No. 7, UNEP Paris 1991.
- [7] **UNEP;** (pr. zbior.)(1992): *Hazard Identification and Evaluation in a Local Community*. Techn. Report No. 12, UNEP Paris
- [8] **WHO;** (pr. zbior) *Risk Assessment*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Chemical Safety Interim Document No. 6 1982.