

Bożena ZWOLIŃSKA<sup>1</sup>  
Piotr KISIEL<sup>2</sup>

### SYSTEMY ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH

*Przedsiębiorstwa produkcyjne generujące odpady przemysłowe zgodnie z prawem, prowadzą politykę zagospodarowywania wytwarzanych pozostałości. Projektowanie i modelowanie kompleksowego systemu gospodarki odpadami powinno polegać na agregacji pojedynczych strumieni przepływu odpadów powstających w obrębie jednego zakładu. Wdrożony w każdym przedsiębiorstwie produkcyjnym indywidualny system jest elementem większego układu (systemu) realizującego cele ekologiczne. Złożony charakter modelu uwzględniający wszystkie branże produkcyjne wymaga usystematyzowania go wg ściśle wcześniej zdefiniowanych kryteriów klasyfikacyjnych. Sprawnie funkcjonujące systemy zagospodarowania odpadów wielu przedsiębiorstw będą pierwszym etapem do stworzenia kompleksowego nadrzędnego systemu gospodarki odpadami np. w obrębie branży, sektora lub nawet kraju.*

### INDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT SYSTEMS

*Law abiding manufacturing companies, generating industrial waste, have policies which regulate waste management. Designing and modeling the complex waste management system should encompass the total of all individual waste flow streams which are produced by the whole enterprise. The unique system prepared for each manufacturing company separately is an element of the greater system realizing ecological aims. The complex nature of a model which tries to include all manufacturing branches requires systematization according to precisely defined classification criteria. Well functioning waste management systems within particular manufacturing enterprises will be the first stage of developing a more complex superior waste management system, for example one for a certain line of business, a sector or even a country.*

#### 1. WSTĘP

Każda działalność człowieka generuje pewną ilość odpadów. Środowisko naturalne prócz dostarczania nam surowców i energii obciążane jest generowanymi podczas naszych działań pozostałościami. Wytwarzane odpady są źródłem destrukcyjnego wpływu na otoczenie. W celu minimalizacji negatywnych skutków obciążających środowisko w każdej

<sup>1</sup> Podkarpacka Szkoła Wyższa im. Bł. Ks. Władysława Findysza w Jasle, Wydział Transportu, 38-200 Jasło, ul. Na Kotłynie 8, tel. 13-44-59-513, e-mail: [zwolinska@op.pl](mailto:zwolinska@op.pl)

<sup>2</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, 30 – 059 Kraków, Al. Mickiewicza 30, tel.:12-617-39-61, e-mail: [pikisiel@agh.edu.pl](mailto:pikisiel@agh.edu.pl)

dziedzinie gospodarczej wdraża się systemy zagospodarowania odpadów. Zaimplementowane systemy gospodarki odpadami uwzględniają [1]:

- rodzaj i ilość wytworzonego odpadu,
- obowiązujące normy, ustawy i rozporządzenia,
- istniejące rozwiązania techniczno – technologiczne.

Każdy „wielki” [4] system gospodarczy generujący w swoim zakresie pozostałości przemysłowe zgodnie z ustawą *O odpadach*, zobowiązany jest do prowadzenia „własnego” systemu gospodarki odpadami [5]. Najczęściej są to systemy odosobnione, które w przeważającej większości zagospodarowują tylko te pozostałości, z których uzyskuje się korzyści ekonomiczne. Odosobnione układy (systemy) w swoim zakresie realizują funkcje ekologiczne, jednak stanowią elementarne części całościowego, kompleksowego systemu zagospodarowania odpadów. „Kompleksowe (pełne) zagospodarowanie wytwarzanych odpadów nie zostało wdrożone w żadnym z sektorów gospodarczych.” [1] W każdym funkcjonującym przedsiębiorstwie istnieje strumień odpadów kierowanych na składowisko. Polityka niecałkowitego wykorzystania wytworzonych odpadów w skali makro, prowadzi do nieodwracalnych, destrukcyjnych zniekształceń ekosystemu. Rozwiązania techniczno – technologiczne powinny stanowić elementarne jednostki lub procesy (działania) w kompleksowych systemach gospodarki odpadami w celu całościowego zagospodarowania bieżąco wytwarzanych oraz już istniejących pozostałości, co do ich ilości i rodzaju. Proces stworzenia systemu w pełni wykorzystującego generowane odpady jest żmudny, pochłaniający wiele wkładu, wysiłku, czasu i nakładów finansowych jednak korzyści ekologiczne w długiej perspektywie są niewymierne.

## 2. KLASYFIKACJA GENEROWANYCH ODPADÓW

Wytwarzane odpady we wszystkich sektorach gospodarczych poddawane są pewnym celowym podziałom. Klasyfikacja wytwarzanych odpadów uzależniona jest od wielu czynników. Najczęściej stosowanymi podziałami generowanych odpadów są:

- klasyfikacja ze względu na stopień obciążenia środowiska;
  - ~ odpady obojętne,
  - ~ odpady niebezpieczne,
- klasyfikacja ze względu na właściwości fizyko – chemiczne;
  - ~ odpady stałe,
  - ~ odpady ciekłe,
  - ~ odpady gazowe,
- klasyfikacja ze względu na miejsce wytworzenia;
  - ~ odpady przemysłowe,
  - ~ odpady komunalne,
- klasyfikacja ze względu na sposób zagospodarowania;
  - ~ odpady przeznaczone do odzysku,
  - ~ odpady przeznaczone do unieszkodliwienia,
  - ~ odpady przeznaczone do składowania.

W systemach gospodarczych w ujęciu logistycznym, każda z wyżej mienionych klasyfikacji stanowi odrębny strumień przepływu produktu logistycznego. Na podstawie kryteriów klasyfikacyjnych tworzymy hierarchiczną strukturę przepływów generowanych pozostałości otrzymując układ (model, system) określający sposób zagospodarowywania

wytwarzanych odpadów. Złożoność tego układu uzależniona będzie od stopnia i ilości dokonanych podziałów. Celem wydzielenia pojedynczych strumieni przepływu odpadów jest stworzenie projektów optymalnych działań w zakresie pełnego wykorzystania powstających pozostałości. Obecnie w pierwszej kolejności optymalizacja opierająca się na triadzie:

1. minimalizacja ilości generowanych odpadów,
2. maksymalne wykorzystanie wytworzonych pozostałości,
3. pełne unieszkodliwienie negatywnego wpływu na otoczenie,

uwzględnia rachunek ekonomiczny, natomiast drugorzędne miejsce zajmują aspekty ekologiczne. W podejściu czysto proekologicznym hierarchia: środowisko / finanse stawia korzyści ekologiczne na pierwszym miejscu. W gospodarce rynkowej rachunek ekonomiczny stanowi nadrzędne miejsce, ponieważ to on decyduje o istnieniu lub nieistnieniu danego przedsiębiorstwa na rynku. Dlatego w zasadach zrównoważonego rozwoju kładzie się nacisk na aspekty ekologiczne uwzględniając rachunek nakładów i zysków w całym łańcuchu procesów logistycznych.

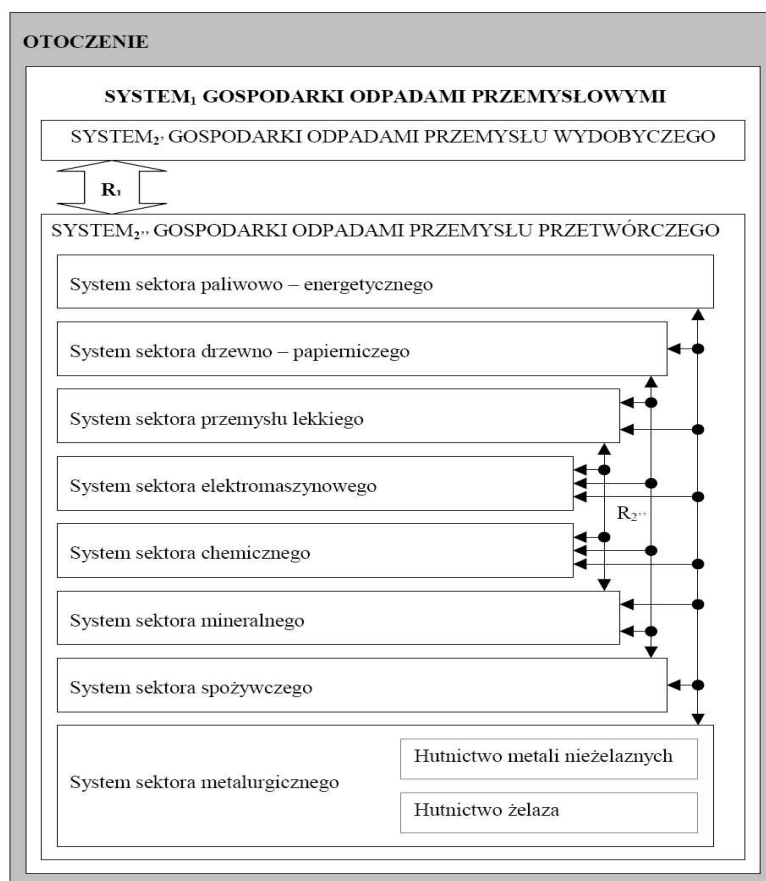
### 2.1 Dekompozycja systemu zagospodarowania odpadów przemysłowych

Proces wydzielenia pojedynczych strumieni przepływu generowanych odpadów o charakterystycznych parametrach, powinien stanowić fundament do stworzenia kompleksowego systemu zagospodarowania wszystkich istniejących oraz wytwarzanych pozostałości. Każdy wydzielony strumień przepływu pojedynczego odpadu może w ujęciu wycinkowym stanowić odosobniony system (układ), jednak w ujęciu kompleksowym będzie on podsystemem większego systemu tj. jego współzależnym składowym elementem. W procesach przemysłowych przy produkcji seryjnej wydzielenie jednorodnych potoków wytwarzanych odpadów jest mniej skomplikowane niż w przypadku produkcji wyrobów jednostkowych. Wydzielone strumienie odpadów z pojedynczych ciągów procesów produkcyjnych charakteryzują się jednorodnym składem a ich właściwości nie wykazują wahań fizyko – chemicznych. Działania takie prowadzą do rozdrobnienia na elementarne potoki całych procesów technologicznych zarówno w zakresie produkcyjnym jak również wytwarzanych w czasie tych działań odpadów. Asortyment produkowanych aktualnie wyrobów jest obszerny, stąd z szerokiego wachlarza ciągów technologicznych trudno znaleźć identyczne co do składu potoki generowanych odpadów. W celu stworzenia w miarę jednolitych sposobów zagospodarowania odpadów nie wykazujących cech odpadów komunalnych, należy w pierwszej kolejności dokonać klasyfikacji na gałąź przemysłową w jakiej zostały one „wyprodukowane”. Zaprezentowaną wcześniej klasyfikację odpadów (w przypadku odpadów przemysłowych) należy uzupełnić o kryterium branżowe, do którego zalicza się:

- przemysł wydobywczy (górnictwo),
- przemysł przetwórczy;
  - ~ przedsiębiorstwa paliwowo – energetyczne,
  - ~ przedsiębiorstwa metalurgiczne (hutnictwo żelaza i metali nieżelaznych),
  - ~ przedsiębiorstwa elektromaszynowe,
  - ~ przedsiębiorstwa chemiczne,
  - ~ przedsiębiorstwa mineralne,

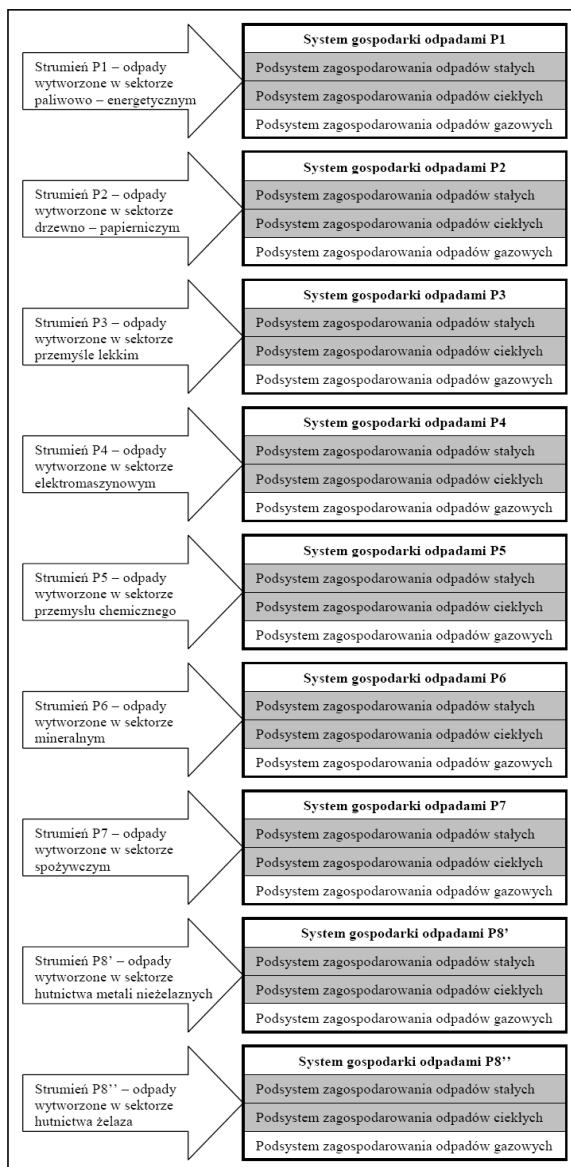
- ~ przedsiębiorstwa przemysłu lekkiego,
- ~ przedsiębiorstwa branży spożywczej,
- ~ przedsiębiorstwa drzewno – papiernicze.

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat podziału odpadów przemysłowych uwzględniający branże w jakiej zostały one wyprodukowane.



Rys.1. Uproszczony schemat systemu gospodarki odpadami przemysłowymi

Na podstawie podziału wytwarzanych pozostałości na sektory przemysłowe, w których powstały, można stworzyć branżowe systemy zagospodarowania pozostałości, które będą podsystemami głównego systemu gospodarki odpadami przemysłowymi. Rys. 2 przedstawia schemat systemu gospodarki odpadami przemysłowymi uwzględniającymi branże w jakiej zostały wygenerowane oraz właściwości fizyko – chemiczne.



Rys.2. Uproszczony schemat branżowych systemów gospodarki odpadami przemysłowymi

## 2.1 Struktura systemu gospodarki odpadami

Zgodnie z teorią systemów złożonych, podział systemu na szereg podsystemów ułatwia identyfikację parametrów całego (dużego) układu. Rozpatrywanie jednego przedsiębiorstwa jako układu wzajemnie powiązanych elementów generujących pewną

ilość odpadów ułatwi stworzenie kompleksowego systemu gospodarki odpadami przemysłowymi. Strukturę całościowego systemu gospodarki odpadami przemysłowymi można ująć następująco:

$$S_1 = \langle S_{2'}, S_{2''}, R_1 \rangle \quad (1)$$

gdzie:

$S_1$ - zbiór elementów należących do systemu gospodarki odpadami przemysłowymi (rys.1)

$S_{2'}$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłu wydobywczego (rys.1)

$S_{2''}$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłu przetwórczego (rys.1)

$R_1$ - relacje zachodzące między elementami systemu  $S_1$  (rys.1)

$$S_{2''} = \langle P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_{8''}, R_{2''} \rangle \quad (2)$$

gdzie:

$S_{2''}$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłu przetwórczego (rys.1), który w kolejnej dekompozycji traktowany jest jak odosobniony system gospodarki odpadami przemysłu przetwórczego o charakterystycznych parametrach wejściowych i wyjściowych,

$P_1$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora paliwowo – energetycznego (rys.2)

$P_2$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora drzewno – papierniczego (rys.2)

$P_3$ - podsystem gospodarki odpadami sektora przemysłu lekkiego (rys.2)

$P_4$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora elektromaszynowego (rys.2)

$P_5$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora chemicznego (rys.2)

$P_6$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora mineralnego (rys.2)

$P_7$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora spożywczego (rys.2)

$P_8$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora metali nieżelaznych (rys.2)

$P_{8''}$ - podsystem gospodarki odpadami przemysłowymi sektora hutnictwa żelaza i stali (rys.2)

$R_{2''}$ - relacje zachodzące między elementami systemu  $S_{2''}$  (rys.1)

Rozpatrywanie przepływu produktu logistycznego, którym jest odpad w obrębie jednego przedsiębiorstwa umożliwi użycie sprawdzonych praktyk z obszaru logistyki do optymalizacji procesów, strumieni przepływów i kosztów związanych z generowanymi pozostałościami. Modelowanie całego większego systemu odgrywa nadrzędną rolę a implementacja kompleksowego systemu gospodarki odpadami powinna zacząć się od projektu i określenia funkcji celu i składowych elementów należących do modelu, bez względu jak bardzo złożony jest nadrzędny układ (system). Elementarne części systemu – podsystemy, wpływają na realizację celu całego dużego układu. Pojedyncze podsystemy zachowywać się mogą jak cały układ pozostając we wzajemnych relacjach z innymi elementami systemu nadrzędnego. Przy względnie dużej ilości elementów i/lub wysokiego stopnia złożoności relacji między elementami całego systemu, pojedyncze podsystemy można rozpatrywać jako odosobnione systemy. W obrębie przedsiębiorstwa w systemie gospodarki odpadami przemysłowymi analiza podsystemów traktowanych jako wydzielone osobne układy doprowadzi do rozdrobnienia procesów zagospodarowania pozostałości na pojedyncze ciągi przepływu produktu (odpadu). Należy zaznaczyć, że to co w obrębie jednego przedsiębiorstwa zgodnie z definicją odpadów nieprzydatności i nieużyteczności w miejscu i/lub czasie będzie dla innej jednostki organizacyjnej pełnowartościowym produktem. Oprócz zaprojektowania całej struktury kompleksowego systemu gospodarki

odpadami ważne jest określenie strumieni ich przepływu pomiędzy „wieloma” przedsiębiorstwami. Ilość strumieni wyjściowych dla odpadów w przypadku jednego przedsiębiorstwa uzależniona jest od ilości generowanych różnego rodzaju pozostałości oraz od wielkości produkcji zarówno tego rozpatrywanego przedsiębiorstwa jak również jego partnerów będących odbiorcami wytwarzanych odpadów. Im większa produkcja tym: więcej odpadów oraz większe zapotrzebowanie na materiały wejściowe, którymi mogą być odpady z innego przedsiębiorstwa. Przy optymalizacji kosztów produkcyjnych dąży się do minimalizacji ilości przepływów strumieni produktów logistycznych oraz ograniczania ilość magazynowanych materiałów. W wielu zakładach wytwórczych struktura produkcyjna ma charakter dywergencyjny. Układy takie charakteryzują się mnogością przepływów pomiędzy wieloma gniazdami, punktami produkcyjno – montażowymi, w których realizacja poszczególnych procesów wytwórczych odbywa się niezależnie od pozostałych. W takich przedsiębiorstwach na różnych etapach produkcji generowane są różnego rodzaju odpady, w różnych ilościach, dlatego analizowanie strumieni powstających odpadów powinno być rozpatrywane oddzielnie dla każdego ciągu technologicznego.

Skomplikowany i złożony charakter systemu gospodarki odpadami przemysłowymi wymaga ustąpienia go według ściśle ustalonych kryteriów hierarchii. Wymienione kryteria klasyfikacyjne mogą być pomocne w utworzeniu kolejności podziału na szereg współzależnych układów kompleksowego systemu zagospodarowania odpadów. Podejście systemowe polegające na dokonywaniu stopniowej dekompozycji systemu złożonego na szereg podsystemów, i kolejnym rozpatrywaniu wydzielonego podsystemu jako osobnego systemu, umożliwia wydzielenie pojedynczych układów realizujących założoną funkcję celu. Dekompozycji można dokonywać aż do momentu „ostatecznego” tj. do chwili, w której kolejny poziom rozdrobnienia na mniejsze układy w ujęciu ochrony środowiska jest nie przydatny, nie celowy, nie przynoszący efektów ekologicznych i zbyt kosztowny. Rachunek nakładów finansowych i zysków powinien rozpatrywany być nie z poziomu przedsiębiorstwa ale z poziomu systemu nadrzędnego.

### 3. WNIOSKI

„Wraz z postępowaniem techniczno – cywilizacyjnym tempo procesów degradujących środowisko wyraźnie wzrasta. (...) Jeżeli populacja ludzka ma skutecznie przewyciężyć zagrożenie środowiskowe i w konsekwencji przetrwać, wręcz konieczne jest ukształtowanie właściwej etyki proekologicznej.” [2] Istotą logistycznego podejścia do gospodarki odpadami z sektora przemysłowego jest kształtowanie strumieni przepływu wytworzonych pozostałości na każdym etapie łańcucha dostaw tak aby w maksymalnym stopniu ograniczać ilość masy odpadów kierowanych na składowiska. Skuteczne zarządzanie i gospodarowanie odpadami zgodnie z zasadami proekologicznymi zapewni efektywne wykorzystanie zasobów naturalnych na każdym etapie procesu produkcyjnego. Działania ekologii (logistyki gospodarki odpadami, logistyki zwrotnej, green logistics, itd.) skupiają się na maksymalnym wykorzystaniu powstających odpadów w sektorze przemysłowym ale również w jednostkach konsumpcyjnych. Logistyczne systemy gospodarki odpadami można podzielić wg kryterium:

- instytucjonalnego – liczby i rodzaju elementów składających się na strukturę systemu,

- funkcjonalnego – zakresy i rodzaju realizowanych działań (funkcji) w obrębie elementarnego (wydzielonego) systemu lub w skali całego łańcucha logistycznego.

Projektując kompleksowy system gospodarki odpadami przemysłowymi w pierwszej kolejności należy dokonać dekompozycji struktury produkcyjnej przedsiębiorstwa. Pojedyncze ciągi techniczno – technologiczne przy stałych parametrach wejściowych generują odpady, które nie wykazują zmienności jakościowo – ilościowej w cyklach: tygodniowych, miesięcznych, kwartalnych i rocznych. Do tak wydzielonego pojedynczego strumienia generowanych odpadów możemy przyporządkować z zakresu logistyki:

- funkcje pierwotne tj. kompleks zadań przedmiotowo – rzeczowych, [3]
- funkcje zarządzania tj. decyzyjne (sprawcze) kreujące i koordynujące funkcje rzeczowe. [3]

System gospodarki odpadami jest układem wieloelementowym tworzącym pewną złożoną całość. Projektując kompleksowy funkcjonalny układ w pełni zagospodarowujący wytwarzane odpady należy dokonywać agregacji od stopnia najniższego na poziomie przedsiębiorstwa czyli pojedynczych linii technologicznych. Dopiero w kolejnym etapie tworzyć model nadrzędny realizujący cele proekologiczne współpracujący (będący w relacjach) z systemem gospodarki odpadami innej organizacji, innego przedsiębiorstwa.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Zwolińska B., Kisiel P.: Systemowe ujęcie zagospodarowywania wytwarzanych odpadów, XIV Międzynarodowa Konferencja – TRANSCOMP, Zakopane 2010.
- [2] Strzała J., Mosso – Pietraszewska T.: *Kompendium wiedzy o ekologii*, Warszawa PWN 2006.
- [3] Blaik P.: *Logistyka*, Warszawa, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne 2001.
- [4] Jodłowski W., Karwat B. Michłowicz E.: *Analiza czynników determinujących zmiany struktury wielkich systemów na przykładzie hutnictwa stali*, Materiały Konferencji Naukowo – Technicznej nt. „Problemy utylizacji odpadów w hutnictwie żelaza i stali”, Wyd. PiT 2000.
- [5] Ustawa o odpadach, Dz. U. 2001 nr 62 poz. 628.