

19. LOGISTYKA RECYRKULACJI

19.1. Pojęcie logistyki recykulacji

W przemysłowych procesach realizacji powstają nie tylko te produkty, które chcemy, ale także takie, których nie chcemy – nazywane odpadami. Według Ustawy o odpadach (Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach – DzU Nr 62 poz. 628) jest to „...każda substancja lub przedmiot, których posiadacz zamierza się pozbyć, pozbywa się lub jest zobowiązany do ich pozbycia się”.

Innymi słowy, odpady to wszystkie uboczne produkty działalności człowieka (przemysłowej, gospodarczej, usługowej) nieprzydatne w miejscu i czasie, w którym powstały, szkodliwe lub uciążliwe dla środowiska, mogące prowadzić do jego degradacji. W ich zagospodarowaniu uczestniczy podsystem logistyki wtórnej. Obejmuje on procesy transportu, składowania i przeładunki odpadów, a także procesy ich utylizacji.

W literaturze przedmiotu spotyka się dwa pojęcia logistyki wtórnej [2, 4, 49, 53]:

- **green logistics**, tłumaczone jako ekologistyka,
- **reverse logistics**, tłumaczone jako: logistyka zwrotna, odzysku, utylizacji, recykulacji.

Ekologistyka jest nastawiona głównie na niwelowanie negatywnego wpływu odpadów na środowisko naturalne i poszukuje optymalnych rozwiązań logistycznych w tym względzie. Logistyka recykulacji nastawiona jest bardziej na powtórne zagospodarowywanie odpadów, bo:

Logistyka recykulacji, to „proces planowania, implementacji i kontrolowania skutecznego i efektywnego ekonomicznie przepływu surowców, półproduktów i produktów gotowych wraz z powiązanymi z tymi przepływami informacjami od miejsca konsumpcji do miejsc pochodzenia, w celu odzyskania wartości bądź właściwego zagospodarowania” [49].

W USA logistyka recykulacji traktowana jest jako sposób na oszczędności, jako źródło zysków dla firmy. Już obecnie stanowi około 4% kosztów logistyki i odpowiada 1% rocznego PKB [4].

W Polsce, zgodnie z Krajowym Planem Gospodarowania Odpadami, w 2013 r. zamknięte zostaną wszystkie wysypiska śmieci i ich rolę przejmą spalarnie oraz recyklerzy (poziom wyznaczony jest w 2014r. na 60; czyli 6 na 10 opakowań stanie się przedmiotem przepływów związanych z odzyskiem). To wymusi zmianę i znacznie zwiększenie uwagi na działania objęte logistyką recykulacji. Jest ona bowiem podstawowym elementem składowymi nowoczesnej zintegrowanej gospodarki odpadowej. Na szerszą skalę zaczęto wykorzystywać odpady w latach 70. XX w. Znaczący wpływ na zwrócenie się ku temu źródłu surowców miały rosnące ceny paliw, surowców pierwotnych i energii. Nie bez znaczenia był również postęp technologii i nauki, umożliwiający efektywniejsze i ekonomicznie akceptowalne wykorzystanie surowców wtórnych. W rezultacie tych zmian w ostatnich latach w krajach wysoko rozwiniętych tempo wzrostu zużycia surowców wtórnych wyprzedza tempo wzrostu zużycia surowców pierwotnych [48].

19.2. Odpady jako surowiec wtórny

W cywilizacji konsumpcyjnej odpady towarzyszą nam już od chwili narodzenia. Zaczynamy od zużytych pieluszek i opakowań. Potem wyrzucamy zabawki, zużyte baterie do nich, itp. W pewnej chwili przychodzi pora na zmianę komputera, lodówki, samochodu, a to co było – na wysypisko.

Czy wysypisko śmieci (zwane dziś ładniej składowiskiem) może być żyłą złota? Z pewnością tak, jednak do śmieci trzeba podejść z głową i znaleźć sposób na to, co nie jest już przydatne i stało się odpadem. Na rozwiązanie problemu odpadów istnieją trzy sposoby [4]:

- *reduce* – unikanie odpadów,
- *reuse* – wielokrotne wykorzystanie,
- *recykling* – ponowne przetwarzanie.

Podstawowe zasady postępowania z odpadami określa rozdz. 2 ustawy o odpadach. (Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach – DzU Nr 62 poz. 628). Zasady te są w szczególności adresowane do posiadaczy odpadów, których podstawowym obowiązkiem jest poddawanie odpadów odzyskowi. Dopiero w sytuacji, gdy odzysk jest niemożliwy, z przyczyn technologicznych, lub jest nieuzasadniony z przyczyn ekologicznych lub ekonomicznych, odpady te należy unieszkodliwiać.

Klasyfikacja odpadów [4]:

1. Podział encyklopedyczny:

- *odpady użytkowe*, tzn. nadające się do wykorzystania jako materiał wyjściowy do produkcji,
- *odpady nieużytkowe*, do wykorzystania jako surowce wtórne do dalszej przeróbki.

2. Podział odpadów ze względu na możliwości ich wykorzystania:

- *odpady przejściowe*, tzn. pozostałości poprodukcyjne, które mogą być ponownie użyte w danym lub innym obiegu produkcyjnym po nieznacznych procesach przetwórczych,
- *odpady końcowe*, tzn. nadające się tylko do unieszkodliwiania.

3. Podział odpadów ze względu na pochodzenie:

- *odpady komunalne*, tzn. pochodzące z gospodarstw domowych, ulic, placów, rzemiosła,
- *odpady przemysłowe*, tzn. pochodzące z technologicznych procesów produkcyjnych,
- *rolnicze*, tzn. pochodzące z zakładów rolniczych, a w szczególności z ferm hodowlanych.

4. Podział odpadów według dominującego składnika:

- *mineralne, niemetaliczne, metaliczne, komunalne.*

5. Podział ze względu na szkodliwość:

- *odpady nieszkodliwe* (ok. 80%),
- *odpady częściowo szkodliwe* (ok. 18%),
- *odpady specjalne*, tzn. szczególnie niebezpieczne i groźne dla środowiska (ok. 2%).

19.3. Podsystem logistyki recykulacji w przedsiębiorstwie

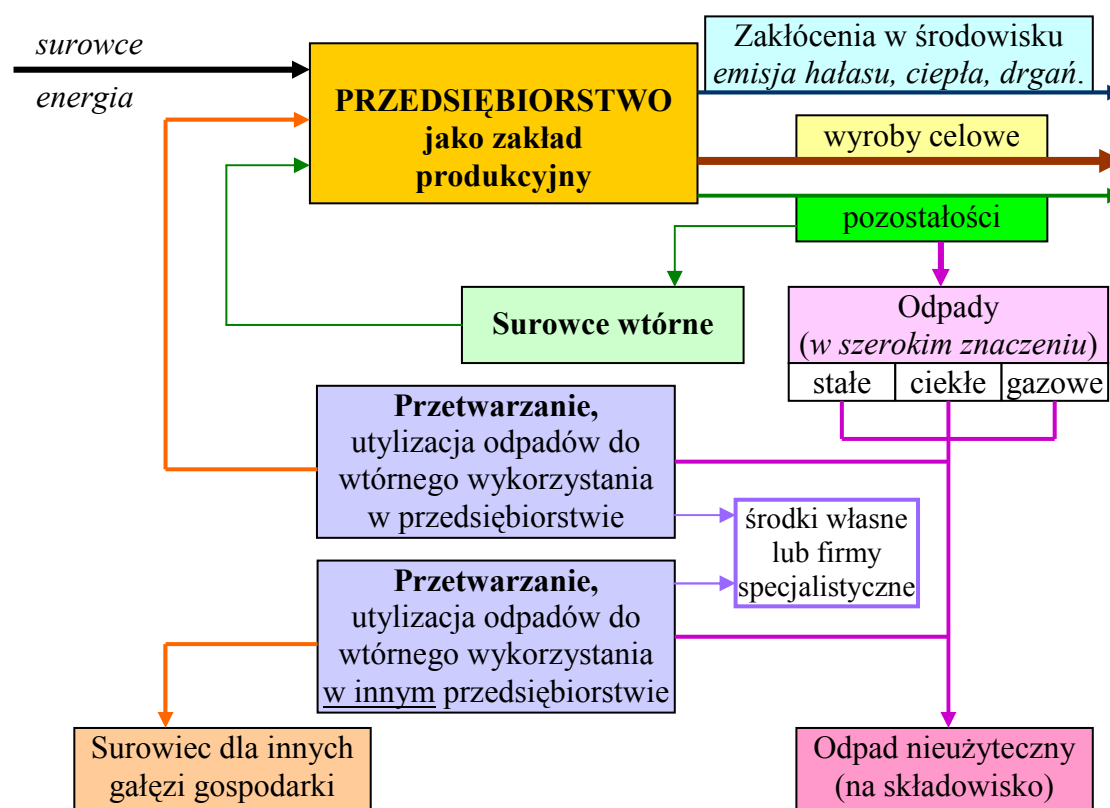
Podsystem logistyki recykulacji w przedsiębiorstwie ma do spełnienia dwa ważne zadania [49]:

1. **ekonomiczne** – obniżanie kosztów logistycznych i poprawa obsługi logistycznej;
2. **ekologiczne** – ochrona zasobów naturalnych i minimalizacja zanieczyszczeń środowiska.

Rozpatrując to bardziej szczegółowo, **logistyka recykulacji w przedsiębiorstwie**:

- umożliwia zintegrowane planowanie, zarządzanie i sterowanie przepływem odpadów od miejsc ich powstawania do miejsc składowania, recyklingu lub likwidacji,
- posiada zdolności techniczne do przetwarzania surowców odpadowych na materiały możliwe do wykorzystania w procesach produkcyjnych,
- zapewnia gotowość i zdolność unieszkodliwiania, względnie likwidacji odpadów.

Najważniejsze, pośrednie, korzyści płynące dla przedsiębiorstwa z logistyki recykulacji, to zmiana i doskonalenie procesów oraz generowanie długofalowych korzyści, takich jak przewaga konkurencyjna, umiejętność obsługi klienta w zakresie zwrotów i reklamacji. Podstawowe elementy logistycznego podsystemu zagospodarowania odpadów w przedsiębiorstwie obrazuje rys. 70.



Rys. 70. Schemat zależności w systemie powtórnego zagospodarowania odpadów (wg E. Michłowicza [67])

Rosnące koszty zagospodarowania odpadów, sprawiają, że zmniejszenie strumienia odpadów dla wielu firm staje się koniecznością ekonomiczną. W produkcji przemysłowej jedyną „opcją”, którą należy rozwijać, to **działania na rzecz zmniejszania ilości odpadów**. Tym działaniem mogą być objęte zarówno zmiany surowcowe, jak i przeprojektowanie całego wyrobu [4].

19.4. Recykling jako podstawa logistyki recyrkulacji

Nie wszystkich odpadów można uniknąć, tak jak nie wszystkie rodzaje produktów poddają się wielokrotnemu użyciu. Odpady, których nie da się uniknąć ani używać wielokrotnie, należy poddać segregacji, aby odzyskać te, które nadają się do ponownego przetworzenia, czyli recyklingu.

Recykling (ang. *recycling*) – jedna z kompleksowych metod ochrony środowiska naturalnego, polegająca na powtórnym przetwarzaniu substancji lub materiałów zawartych w odpadach, w celu uzyskania produktów mających takie samo lub inne przeznaczenie [74].

Odpady przemysłowe są produktami ubocznymi działalności gospodarczej. Ich ilość oraz struktura zależy od stopnia rozwoju cywilizacji, struktury przemysłu, technologii i rozwoju gospodarki odpadami jako surowcami wtórnymi. Do odpadów przemysłowych zalicza się m.in. [94].

- odpady poprodukcyjne,
- odpady powstające w gospodarce magazynowej,
- odpady powstające w wyniku oczyszczania ścieków i emitowanych do atmosfery gazów,
- odpady z przemysłu wydobywczego oraz ferm hodowlanych nie wykorzystywane rolniczo.

Z odpadów przemysłowych szczególnie niebezpieczne są te, związane ze sprzętem elektrycznym i elektronicznym, bowiem często zawierają substancje niebezpieczne dla środowiska [4].

Przedmiotem recyklingu, poza odpadami, mogą być wszelkie wyroby wycofane z eksploatacji, urządzenia, maszyny, środki transportu lub inne wybrakowane wyroby nienadające się do użytku. Jeśli nie jest możliwe wykorzystanie odpadów jako surowca wtórnego, do wytwarzania wyrobu analogicznego z pierwotnym, wówczas przeznacza się je do wytwarzania innych produktów. Zadania recyklingu to przede wszystkim zmniejszenie ilości odpadów, zmniejszenie ich szkodliwości dla środowiska oraz oszczędzanie zasobów naturalnych.

W Polsce powstaje rocznie 130 000 000 ton odpadów, ale obecnie tylko niewielki procent z nich jest poddawany recyklingowi. Przyczyną tego jest słaba infrastruktura segregacji odpadów. Wykorzystanie surowców odpadowych stale jednak wzrasta i jest spowodowane [48]:

- wzrastającym zapotrzebowaniem na surowce oraz coraz większymi trudnościami w ich pozyskiwaniu ze źródeł naturalnych,
- znacznym zmniejszeniem zużycia energii przy procesach technologicznych, np. uzyskanie stali ze złomu wymaga o 75% mniej energii niż z rudy żelaza,
- wprowadzenie ponownie do działalności gospodarczej surowców odpadowych wiąże się z niskimi kosztami (gromadzenia, transportu, wstępnej przeróbki).

W procesach recyklingu przetwarza się metale, szkło, tworzywa sztuczne, chemikalia, wyroby gumowe. W niektórych procesach powstają przetworzone odpady, które charakteryzują się nowymi właściwościami. Te nowe związki mogą być wykorzystane do wytworzenia innych wyrobów [4].

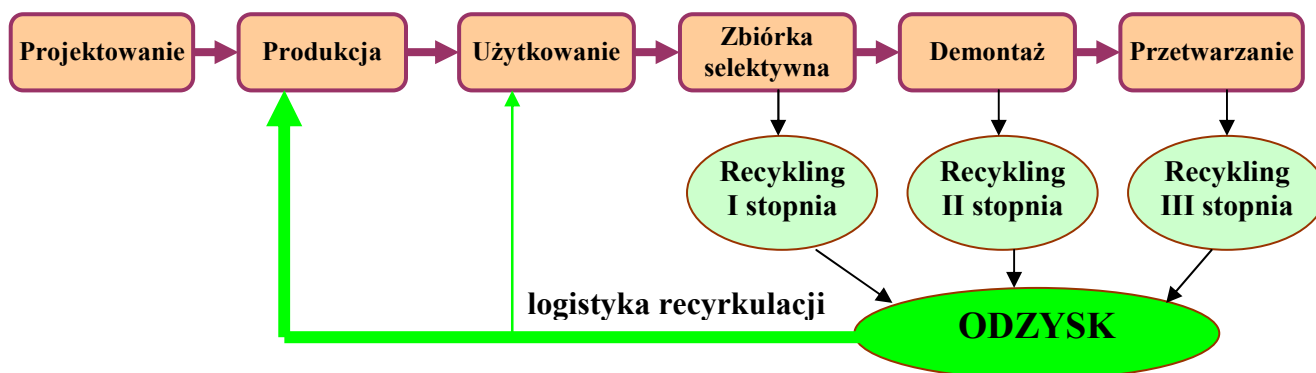
19.5. Rodzaje recyklingu

Współczesne technologie umożliwiają przerób i wykorzystanie wszelkich odpadów przez ich regenerację, odzyskiwanie poszczególnych składników czy wykorzystanie energii cieplnej powstającej podczas spalania. Zgodnie z tymi kryteriami, recykling dzieli się na [4]:

- **materiałowy** – polega na ponownym przetwarzaniu odpadów w produkt użytkowy,
- **surowcowy** – przeprowadza się odzysk surowców użytych do produkcji danego produktu,
- **energetyczny** – jako środek na odzysk energii.

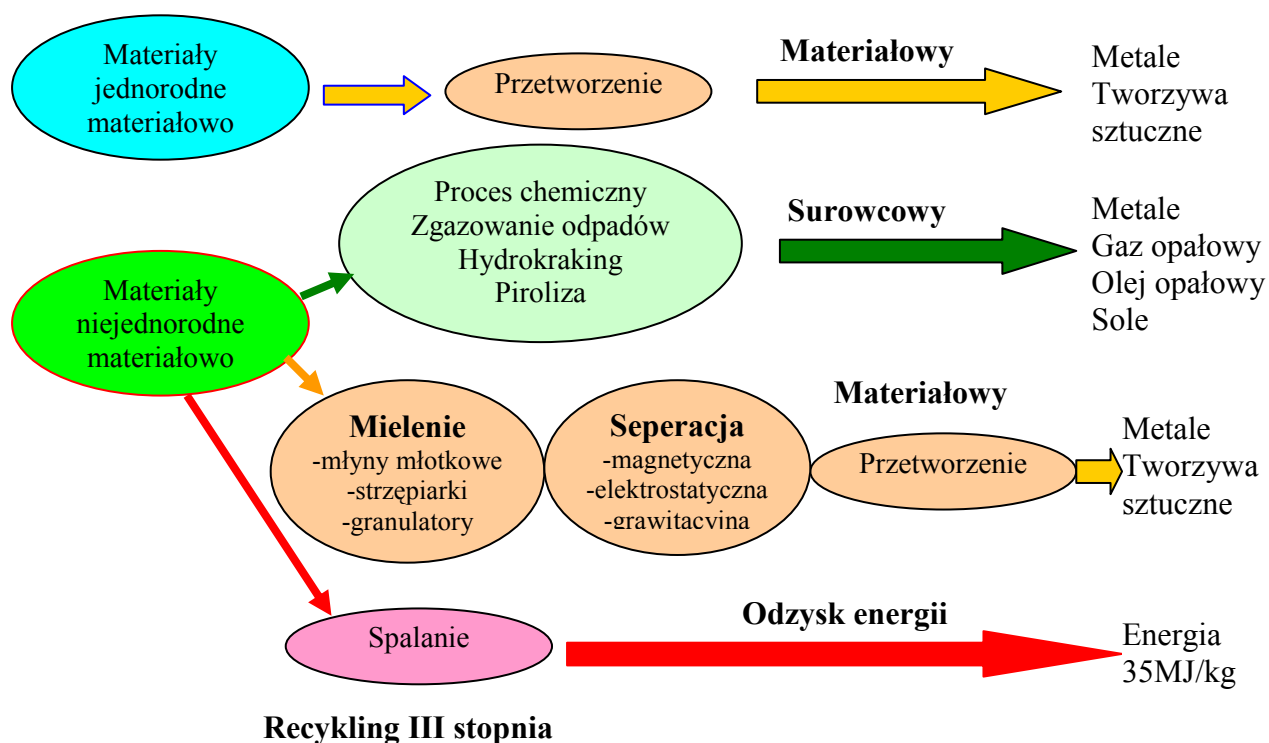
Ze względu na dekompozycję obiektu wyróżnia się recykling – rys. 71 [49]:

- I stopnia – odzysk całych obiektów, np. butelki,
- II stopnia – odzysk części i podzespołów, np. części samochodowe,
- III stopnia – odzysk materiałów.



Rys. 71. Zintegrowana gospodarka odpadami (wg Z. Korzenia [49])

Najbardziej rozwinięty i zróżnicowany technologicznie jest recykling III stopnia – rys. 72.



Rys. 72. Operacje technologiczne recyklingu III stopnia (wg Z. Korzenia [49])

19.6. System recyklingu

Recykling to coś więcej, niż tylko wykorzystywanie surowców wtórnych. Jest to system pełnej organizacji obiegu takich materiałów, które mogą być wielokrotnie przetwarzane. Zasadą działania recyklingu jest maksymalizacja wykorzystania tych samych materiałów w kolejnych dobrach materialnych i użytkowych, z uwzględnieniem minimalizacji nakładów na ich przetworzenie, przez co chronione są surowce naturalne. Na **system recyklingu** składają się następujące elementy [49]:

- właściwa polityka państwa sprzyjająca recyklingowi,
- odpowiednie projektowanie dóbr (możliwie najszersze wykorzystanie w nich materiałów podatnych do recyklingu, używanie jednorodnych materiałów, co upraszcza segregację, łączenie różnych materiałów tak, aby ich późniejsze rozłączenie było jak najprostsze),
- rozwój technologii przetwarzania odpadów w celu wykorzystania jak największej ich części,
- szerzenie oświaty proekologicznej oraz promowanie zachowań proekologicznych,
- logistyka sortowania, gromadzenia, transportu i odbioru zużytych odpadów – rys. 73.



Rys. 73. System zbierania, transportu i segregacji odpadów (wg stron WWW)

System recyklingu przemysłowego obejmuje cztery podstawowe etapy [74]:

- **sortowanie** – polega na rozdzieleniu różnych rodzajów odpadów. Najkorzystniejsze jest, gdy sortowanie odbywa się na etapie selektywnej zbiórki odpadów. Dokonywane jest ono przez użytkowników, a więc odbywa się na etapie najbliższym powstawania odpadów. Odpady ze zbiórek są mniej zanieczyszczone i bardziej przydatne do obróbki;
- **rozdrabnianie** – odpady gromadzone w pojemnikach do zbiórki selektywnej są zazwyczaj w formie nieprzydatnej do bezpośredniego przetwórstwa. Rozdrabnianie tworzyw sztucznych odbywa się w młynach wyposażonych w noże tnące oraz sita separujące odpady o wymaganej wielkości. Rozdrobnienie odpadów ułatwia ich transport;
- **mycie** – odpady ze szkła i tworzyw sztucznych są z reguły zanieczyszczone i wymagają mycia. W tym celu stosuje się wanny myjące, zawierające kąpiele wodne z detergentami. Po myciu konieczne jest odwirowanie i osuszenie odpadów;
- **wytłaczanie** – stanowi zasadniczy element linii technologicznej recyklingu mechanicznego. W tym etapie wytwarzany jest produkt końcowy, który może być granulatem lub, w przypadku szkła, wyrób finalny o formie użytkowej.

19.7. Urządzenia do recyklingu przemysłowego

Metoda kompleksowego recyklingu jest niczym innym, jak normalnym procesem produkcyjnym, tylko na surowcu odpadowym. Do głównych operacji uzyskania „nowego surowca” poprzez recykling strumienia odpadów przemysłowych zalicza się: kruszenie, rozdrabnianie, rozdzielanie, separowanie, sortowanie, rozdrabnianie, czyszczenie, suszenie, topienie, filtrowanie, granulowanie oraz prasowanie [4]. Aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie tego procesu, potrzebne są odpowiednie maszyny i urządzenia. Poniżej podano przykłady takich urządzeń – rys. 74.

		
strzepiarka do korpusów samochodowych	pulweryzator do proszkowania gumy	kruszaraka do części metalowych
		
oddzielacz kabli elektrycznych	rozdrabniarka urządzeń elektronicznych	młyn młotowy
		
elektrostatyczny seperator tworzywo-metal	elektrostatyczny seperator tworzywo-tworzywo	przesiewacz materiałów sypkich
		
prasy belujące do złomu	prasonożyce do złomu	prasy brykietujące

Rys. 74. Przykłady urządzeń technicznych wykorzystywanych w recyklingu (wg stron WWW)

19.8. Opakowania w aspekcie recyklingu

Postanowienia ustawy o odpadach uzupełniają wytyczne, dotyczące funkcji opakowań w aspekcie recyklingu (*Rozporządzenie RM z 30 czerwca 2001 r. w sprawie rocznych poziomów odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i użytkowych* – DzU Nr69, poz. 719). Rozporządzenie to określa, że właściwe przygotowanie opakowań należy do obowiązków producenta (lub importera) tego typu wyrobów. Najbardziej ogólnie biorąc wynika z niego, że producent ma obowiązek zapewnienia odpowiedniej jakości opakowań, określanej z punktu widzenia ewentualnego wpływu na środowisko odpadów z tych opakowań powstałych. W rozporządzeniu ustala się hierarchię pożądanych metod postępowania, zapobieganie powstawaniu lub ograniczanie ilości powstających odpadów, odzysk i unieszkodliwianie. W tych ramach **producent opakowań obowiązany jest do:**

1. Zapewnienia takiego zaprojektowania i wykonania opakowania, aby umożliwiło to jego wielokrotny użytek, a następnie recykling.
2. Ograniczania masy i objętości opakowań.
3. Ograniczania w składzie opakowania ilości substancji i materiałów zagrażających życiu i zdrowiu człowieka lub środowisku, zwłaszcza w zakresie kadmu, ołowiu, rtęci i chromu.

W dokonany wyżej wyliczeniu szczególnie ważny wydaje się być obowiązek takiego zaprojektowania i wykonania opakowania, aby był możliwy jego wielokrotny użytek i późniejszy recykling. Trudno mówić o innych celach ilościowych w logistyce recyklingu, niż cele określone zapisami odnośnie progów odzysku. Jedną z najważniejszych chyba nowości wprowadzanego systemu, związanej z obowiązkami w zakresie odzysku i recyklingu, jest **obowiązek osiągnięcia wskazanych poziomów odzysku**, będący podstawowym elementem Rozporządzenia. Wynika z niego, że np. 50% masy wszystkich wprowadzanych na rynek opakowań musi być odzyskane, a 40% opakowań szklanych wprowadzonych na rynek winno być poddawane recyklingowi. Przy okazji warto przybliżyć sam proces recyklingu opakowań ze szkła, polegający na ich przetopieniu. Ważne są tu standardy zbierania, dlatego że ich nieprzestrzeganie, to znaczy brak rozdzielenia szkła bezbarwnego od kolorowego sprawia, iż nie będzie żadnej możliwości poddania zebranych opakowań recyklingowi (blisko 80% produkowanych w Polsce opakowań szklanych jest bezbarwne, a szkła bezbarwnego nie da się zrobić z kolorowej stłuczki) [4].

Kolejną grupą podmiotów obciążanych przez Rozporządzenie o opakowaniach określonymi obowiązkami są sprzedawcy produktów w opakowaniach. Wszystkie te jednostki zostały zobowiązane do przyjmowania na wymianę opakowań wielokrotnego użytku, jednak tylko po produktach w takich opakowaniach, jakie znajdują się w ich ofercie handlowej. Natomiast duże jednostki handlu detalicznego (o powierzchni handlowej powyżej 2000 m²), mają obowiązek prowadzić na własny koszt selektywną zbiórkę odpadów opakowaniowych po ich produktach [48].

19.9. Korzyści z recyklingu

Recykling może się odbywać przez ponowne użycie produktu do pełnienia funkcji pierwotnej (np. regeneracja podzespołów czy części zamiennych), wtórne wykorzystanie surowca do analogicznych celów (np. powtórne wykorzystanie stłuczki szklanej do produkcji butelek), wtórne wykorzystanie surowca do innych celów (np. produkcja waty szklanej ze stłuczki), przez wykorzystanie surowca wtórnego połączone ze zmianą stanu i składu (rozłożenie tworzyw sztucznych na produkty proste, przydatne do dalszego przetwarzania) lub poprzez uzyskanie energii (głównie cieplnej).

Przykładowe oszczędności z recyklingu [4]:

- **metale** – produkcja 1 tony stali ze złomu zmniejsza zużycie surowców pierwotnych o 90% (113 kg rudy żelaza, 453,5 kg węgla i 18 kg wapienia, odpadów górniczych o 97%), energii o 74%; dla innych metali oszczędności te wynoszą: aluminium – 95%, miedzi – 85%, cynku 60%, ołowiu – 65%. Zużycie wody jest mniejsze o 40%; ścieków przemysłowych mniej o 76%, zanieczyszczeń powietrza o 86%;
- **papier** – recykling 1 tony papieru pozwala na zaoszczędzenie: od 2,3 m³ do 7 m³ miejsca na składowisku; 26500 litrów wody; 1476 litrów ropy; 4200 kWh energii wystarczającej do ogrzania przeciętnego mieszkania przez pół roku. Wyprodukowanie – 1 tony papieru, z makulatury chroni 17 drzew przed wycięciem, a także zmniejsza zużycie energii o 75%; zanieczyszczeń powietrza o 74%; ścieków przemysłowych o 35%;
- **szkło** – może być przetwarzane praktycznie nieograniczoną ilość razy. Recykling 1 tony szkła pozwala na zaoszczędzenie: 603 kg piasku; 196 kg sody kalcynowanej; 196 kg wapienia i 68,5 kg skalenia - co zmniejsza degradację krajobrazu. Ogranicza ilość zużycia energii o 25-32%; wody o 50%; zanieczyszczeń powietrza o 97%;
- **tworzywa sztuczne** – są one inne dla każdego procesu chemicznego. Podstawowym zyskiem jest tu ochrona środowiska, jako że tworzywa te – najczęściej trudne do przetworzenia – nie ulegają łatwo degradacji, zaśmiecając krajobraz, a np. spalenie 2 ton zużytych opakowań po sokach daje tyle samo energii co jedna tona ropy!

Przykładem korzyści z recyklingu niech będzie zestawienie surowców wtórnych, które można uzyskać np. ze starego telewizora kineskopowego (tabl. 7), lub komputera (tabl. 8) [4].

Tabl. 7. Surowce zawarte w podzespołach typowego telewizora kineskopowego

Rodzaj materiału	Zawartość [g]
Miedź	420
Ołów	120,7
Dimetyloformamid	do 40
Dimetyloacetamid	do 40
Żywice fenolo-formaldehyd	30
Cyna	20
Nikiel	2,5

Tabl. 8. Surowce zawarte w podzespołach standardowego komputera

Rodzaj materiału	Zawartość [kg]
Złom żelazny	9,3
Aluminium	0,6
Metale nieżelazne	1,1
Płyty drukowane	0,5
Kineskopy	1,0
Tworzywa sztuczne	1,3
Odpady specjalne	0,1