

# METODA SZACOWANIA KOSZTÓW RECYKLINGU WYROBÓW AGD NA ETAPIE PROJEKTOWANIA

Ewa DOSTATNI, Anna KARWASZ, Jacek DIAKUN

**Streszczenie:** W artykule opisano metodę szacowania kosztów recyklingu wyrobu na etapie jego projektowania. Przedstawiono założenia projektowe artykułów gospodarstwa domowego uwzględniające recykling po wycofaniu ich z eksploatacji. Opisano dobór materiałów i połączeń ułatwiający demontaż wyrobów na potrzeby recyklingu. Przedstawiono sposoby demontażu wyrobów z podziałem na nieniszczący, częściowo niszczący oraz niszczący.

**Słowa kluczowe:** recykling, koszty recyklingu, ekoprojektowanie.

## 1. Wstęp

Proces projektowania jest procesem stopniowego definiowania cech obiektu, poczynsz od ogólnych aż do coraz bardziej szczegółowych oraz obejmuje czynności i zdarzenia występujące pomiędzy pojawieniem się problemu, a powstaniem dokumentacji opisującej rozwiązanie problemu, zadawalające z punktu widzenia funkcjonalnego, ekonomicznego oraz innych zdefiniowanych wcześniej wymagań [1,2]. Projektowanie jest procesem złożonym, zajmującym w cyklu życia wyrobu znaczące miejsce. Decyzje podjęte w fazie projektowania wpływają na koszty produkcji wyrobu [3] oraz determinują działania, które będą musiały zostać podjęte w ostatniej fazie cyklu życia wyrobu (po jego wycofaniu z użycia). Badania, doświadczenia z praktyki produkcyjnej wykazały [4], że najbardziej znaczące efekty wdrażania nowoczesnych technologii recyklingowych można uzyskać już we wczesnych fazach rozwoju produktu, tzn. w fazie jego projektowania. W związku z powyższym im wcześniej zostaną zidentyfikowane i włączone do cyklu życia wyrobu aspekty środowiskowe, tym lepsze będą efekty tego działania. Coraz częściej stosowane obecnie ekoprojektowanie polega na uwzględnieniu problematyki ekologicznej na etapie wczesnego projektowania w celu obniżenia skutków negatywnego oddziaływania wyrobu na środowisko w dalszych fazach cyklu jego życia. Jest to również związane z aspektami prawnymi, które wymuszają na producentach przestrzeganie określonych norm związanych z odzyskiem materiałów z wyrobów wycofanych z użytkowania. Przedsiębiorstwa produkujące wyroby z uwzględnieniem ekoprojektowania stają się bardziej konkurencyjne na rynku produkując wyroby o lepszej jakości, przyjazne dla środowiska [5]. Prowadzone coraz częściej na szeroką skalę kampanie środowiskowe zachęcają klientów do zakupu wyrobów „przyjaznych” dla środowiska. Sami klienci również wybierają wyroby „ekologiczne”, ponieważ zużywają one np. mniej energii elektrycznej, co powoduje obniżenie kosztów utrzymania gospodarstw domowych. Niestety wyroby zaprojektowane zgodnie z regułami ekoprojektowania są często droższe od tradycyjnych. W większości przypadków, sam koszt wyprodukowania „ekowyrobu” nie jest wyższy, ale na cenę końcową mają wpływ koszty poniesione na prace badawczo-rozwojowe związane z wprowadzeniem nowych rozwiązań do konstrukcji lub produkcji nowego wyrobu.

## **2. Założenia ekoprojektowania uwzględniające recykling**

### **2.1. Dobór materiałów**

Ekoprojektowanie ma szczególnie ważne znaczenie w przypadku artykułów gospodarstwa domowego. Są to wyroby zawierające dużo części wykonanych z tworzyw sztucznych. Tworzywa sztuczne po ponownym przetworzeniu mogą zostać ponownie wykorzystane do produkcji nowych wyrobów. W związku z powyższym szczególną uwagę przykładą się do podatności wyrobu AGD na recykling. Wyrób powinien być tak zaprojektowany, aby zawierał jak największą liczbę materiałów standaryzowanych i podatnych na recykling. Ważną rolę odgrywa prawidłowe oznakowanie materiałów, co ułatwia ich rozpoznanie podczas demontażu, a później recyklingu. Wyrób zaprojektowany zgodnie z wymaganiami ekoprojektowania powinien posiadać zwiększone potencjalne zdolności użytkowe, a mianowicie: możliwość wielokrotnego jego zastosowania (lub ponownego zastosowania wybranych części), powinny zostać opracowane procedury postępowania z wyrobem wycofanym z użytku (zebranie i recykling zużytego sprzętu) oraz posiadać instrukcję demontażu. Projektując wyrób, który w przyszłości zostanie poddany recyklingowi należy uwzględnić, że materiały, których odzyskanie z wyrobu jest niezbędne powinny być skoncentrowane blisko siebie, a do elementów demontowanych powinien być zapewniony łatwy dostęp.

Dobór materiałów do produkcji artykułów gospodarstwa domowego powinien również uwzględniać ich kompatybilność. Im więcej zastosowanych w wyrobie materiałów kompatybilnych, tym mniej czasu należy poświęcić na ich rozdzielenie. Materiały niekompatybilne (lub niezgodne), to takie materiały których nie można poddać recyklingowi lub wpływają na obniżenie wartości surowca wtórnego. Podczas tradycyjnego procesu recyklingu przeprowadza się rozdrabnianie materiału, a następnie dzieli się otrzymaną mieszkankę na grupy aż do uzyskania zgodnych frakcji. Jeżeli już na etapie projektowania odpowiednio dobierze się materiały uwzględniające ich kompatybilność, to proces recyklingu zostanie uproszczony i przyspieszony. Strategie projektowania zorientowane na recykling mają na celu rozwój dziedzin związanych z ponownym zastosowaniem wyrobów i jego utylizacją. Ukierunkowane są one m.in. na obniżanie kosztów związanych z recyklingiem wyrobu. Założeniem ekoprojektowania jest również minimalne zużycie surowców. Recykling jest jednym z priorytetowych elementów rozwoju wyrobu. W tabeli nr 1 w sposób schematyczny przedstawiono przegląd różnych aspektów, które powinny zostać uwzględnione podczas projektowania ekologicznych wyrobów.

Jak już wyżej wspomniano na uproszczenie procesów technologicznych recyklingu mają wpływ kombinacje materiałów. Projektant projektując wyrób powinien mieć dostęp i znać materiały kompatybilne. Niezgodne materiały obniżają jakość materiałów wtórnych dlatego, aby ułatwić recykling, należy do produkcji użyć jedynie te materiały, które we wspólnym zestawieniu tworzą zgodną kombinację. Na podstawie tabel (matryce) konstruktor określa jaki materiał połączyć z innym, aby jego recykling był możliwie jak najprostszy. Służą do tego różne matryce dla stopów metali, np. aluminium i stali oraz tworzyw sztucznych, np. termoplastów [6]. Istnieją również matryce dotyczące recyklingu gotowych produktów.

Również bardzo ważnym aspektem jest zastosowanie jak najmniejszej liczby różnych materiałów. Wpływa to na zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia problemów związanych z niezgodnością surowców [7].

Kolejnym elementem jaki należy uwzględnić podczas projektowania jest sposób i rodzaj zastosowanych w wyrobie połączeń. Połączenia powinny być tak zaprojektowane, aby zapewniły szybki i łatwy rozłączenie, zwłaszcza gdy z powodów funkcjonalnych nie można uniknąć zastosowania materiałów niekompatybilnych lub niebezpiecznych.

Tab. 1. Recykling jako część ekologicznego projektowania i rozwoju wyrobów [7,8]

<b>Aspekty ekologicznego produktu</b>		<b>Długowieczność</b> • długowieczność produktu, • trwałe(długowieczne) materiały
<b>Logistyka</b> • optymalizacja logistyki, transportu i opakowania,	<b>Koncepcje użytkowania</b> • leasing- produkt, • sharing – produkt,	<b>Koncepcja serwisowania</b> • konserwacja i naprawa, • odpowiedzialność za produkt,
<b>Produkty wtórne</b> • wsparcie dla rynków z materiałami wtórnymi i używanym sprzętem (secondhand),	<b>Funkcjonalność</b> • wielofunkcyjne urządzenia, • redukcja zbędnych funkcji,	<b>Proces produkcyjny</b> • unikanie odpadów, • redukcja szkodliwych substancji
<b>Wydajność surowca</b> • minimalizacja materiału, • minimalizacja energii, • zastosowanie materiałów wtórnych, • konieczność zastosowania ekologicznych innowacji,	<b>Zamknięcie cyklu (obiegu) surowca</b> • łatwość demontażu, • zastosowanie odnawialnych surowców, • <b>Recykling zużytych materiałów</b>	<b>Ekologiczna ocena i optymalizacja</b> • eko- bilans, • udostępnianie informacji, • zarządzanie projektowaniem,
		
<b>Polepszenie możliwości zastosowania</b> • polepszenie możliwości demontażu, • polepszenie możliwości napraw, • naprawa, technologiczne przygotowanie,	<b>Utylizacja materiałów</b> • oznakowanie materiałów, • ograniczenie różnorodności materiałów, • produkty wykonane z jednego materiału, • unikanie starych „zakazanych” materiałów,	<b>Unikanie odpadów</b> • ostrożność podczas usuwania szkodliwych substancji, • maksymalne wykorzystanie materiałów z recyklingu,

Materiały zgodne przy całościowej utylizacji tworzą jeden materiał wtórny o określonych właściwościach fizycznych i chemicznych. W przypadku metali, takie zestawienie jest określone przez normy. Natomiast materiały niezgodne, podczas utylizacji, obniżają cenne właściwości materiału wtórnego. Gdy jakość materiału wtórnego jest za niska i materiał nie nadaje się do ponownego wykorzystania, zostaje on usunięty (nierzadko na wysypisko odpadów komunalnych). Zatem wyrób powinien zawierać jak największą liczbę materiałów zgodnych. W przypadku wystąpienia innej grupy materiałów, projektant powinien tak zaprojektować wyrób, aby możliwe było w jak najprostszy sposób rozdzielenie dwóch różnych grup materiału np. stosując połączenia rozłączne [8].

## 2.2. Recykling wyrobu

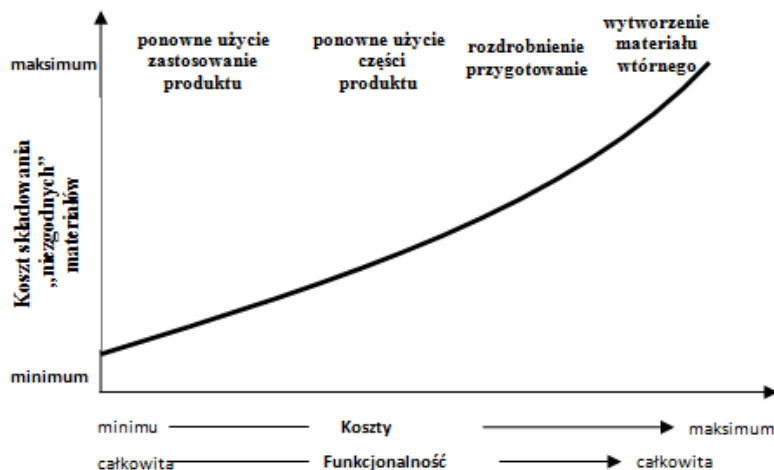
Recykling wyrobu uwarunkowany jest kilkoma aspektami. To czy dany wyrób będzie podlegał recyklingowi zależy od ramowych założeń recyklingu. W tabeli 2 przedstawiono ramowe założenia dla recyklingu wyrobów.

Tab. 2. Założenia ramowe dla recyklingu wyrobów wycofanych z eksploatacji [7,8]

<b>Prawne założenia</b>	Prawo, przepisy, zarządzanie przepisami i standardami, które mogą ułatwiać lub utrudniać recykling.
<b>Czynnik ekonomiczny</b>	W przypadku braku obowiązku recyklingu konkretnego produktu lub materiału, recykling jest uzależniony od czynników ekonomicznych.
<b>Czynnik procesów technologicznych</b>	Recykling wyrobów i materiałów jest uzależniony od możliwości technologicznych. Materiały, które nie mają opracowanej technologii recyklingu albo zawierają szkodliwe substancje, zostają usuwane.
<b>Logistyka</b>	Urządzenia i materiały poddawane recyklingowi powinny być w sposób odpowiedni do dalszego przetwarzania zbierane, transportowane i magazynowane.

Podstawowym założeniem są aspekty prawne, które wymuszają określony sposób postępowania z urządzeniami wycofanymi z użytku. To one wymuszają na producentach wyrobów (szczególnie AGD) odpowiedni procent odzysku materiałów oraz sposób zagospodarowania odpadów. W związku z powyższym już na etapie projektowania uwzględnia się założenia ramowe dla recyklingu, aby koszty związane z późniejszymi działaniami recyklingowymi były jak najniższe.

Na rysunku 1 przedstawiono zależność między zachowaniem funkcjonalności wyrobu, kosztami recyklingu oraz kosztami, jakie należy ponieść na składowanie niezgodnych materiałów.



Rys. 1 Krzywa kosztów recykling gotowego wyrobu [7,8]

W przypadku, gdy wyrób został tak zaprojektowany, że może zostać wielokrotnie wykorzystany (np. po renowacji) materiały nie muszą być usuwane. Koszty poniesione z tytułu przystosowania wyrobu do recyklingu, zmniejszają koszty utrzymania całego wyrobu. W momencie demontażu (rozbiórki) produkt traci swoją funkcję. Przy utylizacji

demontowane części wyrobu i ich grupowanie jest mało znaczące, dopiero przy bezpośrednim przetwarzaniu określa się jego zgodność z frakcją i dokonuje przegrupowania. W przypadku, gdy urządzenia nie są poddawane rozbiórce, tylko rozdrobnieniu, ograniczona jest możliwość wykorzystania własności materiałowych. Takie materiały identyfikuje się na podstawie spektrum grubości ziarna. Niezgodne surowce porządkuje się w klasy wielkości ziaren, a następnie zgodnie z tymi klasami, usuwa. W momencie, gdy niemożliwe jest pogrupowanie materiałów pod kątem wielkości ziarna, należy wrócić do etapu początkowego i rozdzielić od siebie niekompatybilne materiały.

Biorąc pod uwagę koszty wytworzenia wyrobu oraz jego funkcjonalność nie ma możliwości zaprojektowania, a następnie wyprodukowania kompleksowego wyrobu, składającego się w 100% z materiału wysoce nadającego się do recyklingu. Każdy wyrób AGD zbudowany jest z co najmniej kilku rodzajów materiałów. Dlatego należy oprócz zasad związanych z doborem odpowiedniego materiału również stosować jak najprostsze połączenia, ułatwiające oraz zmniejszające czas oraz koszty demontażu i recyklingu.

### 2.3. Funkcje połączeń w wyrobie

Jednym z podstawowych zadań projektanta zajmującego się konstruowaniem wyrobów jest m.in. dobór odpowiednich połączeń. Każdy projektowany wyrób składa się z szeregu pojedynczych części, które wraz z odpowiednimi połączeniami tworzą funkcjonalną całość. Połączenia nie tylko muszą zostać dobrane ze względu na łatwy demontaż, ale pełnią one również inne funkcje. Mają wpływ na kształt wyrobu, dobór procesów technologicznych, kosztów, technicznych zdolności, niezawodności, wytrzymałości i bezpieczeństwa. Połączenia obok mechanicznych właściwości posiadają inne cechy takie jak: przewodność elektryczną, gęstość itp. Połączenia wyrobów dobierane są pod kątem pełnionych funkcji. Wymogi związane z ekoprojektowaniem wymuszają, aby połączenie między elementami, które powinny zostać rozłączone (ze względu na recyklingu), były jak najprostsze (łatwy dostęp do połączenia, użycie znormalizowanych narzędzi do demontażu itp.). Połączenia zastosowane w wyrobie, będą miały wpływ na rodzaj demontażu jaki zostanie zastosowany w odniesieniu do wyrobu. W tabeli nr 3 zestawiono trzy podstawowe rodzaje demontażu wraz z ich charakterystyką.

Tab. 3. Rodzaje demontażu wyrobów [7,8]

Rodzaj demontażu	Opis
<b>Demontaż nieniszczący</b>	Rozłączanie elementów czasochłonne, najczęściej ręczne. Możliwa częściowa automatyzacja (odwrotność montażu), ale dla niewielkiej ilości produktów.
<b>Demontaż częściowo niszczący</b>	Zniszczenie elementów łączących przy zachowaniu całych części np. odlutowanie, rozwiercenie śrub itp.
<b>Demontaż niszczący</b>	Określenie innych – poza łączeniami, nowych miejsc umożliwiających rozłączenie materiałów do utylizacji, najczęściej przez rozdrobnienie.

Projektowanie urządzeń i części, które po renowacji będą ponownie użytkowane, muszą posiadać takie połączenia, które po rozłączeniu będą mogły zostać ponownie połączone np. śruby. Natomiast chemiczne i termiczne rozłączanie materiałów wynika z konkretnych właściwości materiałowych. Nie wszystkie łączenia materiałów mogą zostać rozerwane. Taka sytuacja zmusza do wprowadzenia odpowiedniej strategii recyklingu.

### 3. Szacownie kosztów recyklingu na etapie projektowania wyrobu

Wymienione powyżej aspekty związane z recyklingiem wyrobów uwarunkowane są niewątpliwie z możliwością ponoszenia wielu różnych kosztów rodzajowych. Po pierwsze, uwzględnianie podatności na recykling na etapie projektowania generuje koszty ponoszone na opracowanie ulepszonych wyrobów, po drugie, sam recykling związany jest z pewnymi kosztami. Wyrób powinien być tak zaprojektowany, aby koszty związane z jego recyklingiem były jak najmniejsze. Działania pro-recyklingowe nie muszą zawsze wiązać się z kosztami. Przedsiębiorstwo zagospodarowując własne, wyeksploatowane wyroby może zyskać, na przykład dzięki sprzedaży zreCYKLOWANYCH materiałów, jako surowców służących do dalszej działalności, również produkcyjnej, bądź poprzez ponowne ich użycie (mniejsze koszty zakupu surowców pierwotnych lub wtórnych od dostawców) [9].

Na etapie projektowania nie można dokładnie obliczyć pełnych przyszłych kosztów recyklingu wyrobu, natomiast można je oszacować. Koszty te związane są z sytuacją jaka aktualnie panuje na rynku materiałów wtórnych, a mianowicie jakie są ceny skupu surowców wtórnych. Koszty jakie ponoszą recyklerzy demontując wyroby pozyskując materiał nadający się do ponownego wykorzystania. Wpływ na koszty związane z recyklingiem ma również transport wycofanych z użycia wyrobów (np. koszty paliwa), ich magazynowanie oraz magazynowanie wyselekcjonowanych po demontażu materiałów. W związku z powyższym szacując koszty recyklingu na etapie projektowania należy je porównywać dla różnych wariantów tego samego wyrobu i wybrać rozwiązanie najlepsze (najtańsze). Należy jednak pamiętać, że obniżanie kosztów recyklingu nie może mieć wpływu na zmianę funkcjonalności wyrobu, interes konsumenta czy bezpieczeństwo użytkownika. W ramach prac prowadzonych przez autorów niniejszego artykułu opracowano metodę szacowania kosztów recyklingu na etapie projektowania wyrobu.

#### 3.1. Koszt demontażu

Koszt demontażu jest jednym z elementów składowych całkowitego kosztu recyklingu wyrobu. Jednym z kluczowych czynników mających wpływ na wysokość kosztów demontażu jest czas jego trwania, który zależy od rodzaju demontażu oraz jednolitości zastosowanych połączeń.

W przypadku jednolitych technik łączenia zastosowanych w wyrobie, potrzebnych jest mniej narzędzi do demontażu, co zaoszczędza zarówno czas jak i zmniejsza koszty. Z uwagi, iż demontaż może być zarówno ręczny, automatyczny lub mechaniczny, wyróżniono dwa rodzaje kosztów demontażu:

- koszt demontażu ręcznego - jednym z najważniejszych czynników jest tu czas demontażu, który wpływa na wysokość wynagrodzenia pracownika, będącego jedynym kosztem w tym przypadku. Gdy pracownik korzysta z narzędzi np. elektrycznych lub pneumatycznych, to do kosztu całkowitego dochodzi jeszcze koszt zużytej przez narzędzia energii. Jednakże są to na tyle niskie wartości, że najczęściej zostają pomijane przy szacowaniu kosztu całkowitego,
- koszt demontażu mechanicznego i automatycznego - jest to bardziej złożony przypadek, który najczęściej traktowany jest w sposób indywidualny. Oznacza to, że istnieje jedynie możliwość obliczenia kosztów dla konkretnej linii demontażowej, której struktura zależna jest od demontowanych, konkretnego typu wyrobów oraz zasobów przedsiębiorstwa. Dlatego też, do kosztów wynagrodzenia pracownika, dochodzą także koszty amortyzacji maszyn i urządzeń, koszty zużycia

energii i inne koszty infrastruktury, których oszacowanie przy braku konkretnej linii demontażowej są bardzo trudne.

### 3.2. Koszty recyklingu

Koszty recyklingu są drugą składową, obok kosztów demontażu mającą wpływ na całkowite koszty recyklingu wyrobu. Czynniki mającymi wpływ na jego wysokość jest masa materiałów oraz dochód ze sprzedaży, w przypadku recyklingu materiałów lub koszt utylizacji, bądź składowania, w przypadku utylizacji lub składowania. Recykling, zgodnie z prawodawstwem, rozumiany jest jako recykling materiałowy, bądź surowcowy z wyłączeniem recyklingu energetycznego. Dlatego też, można dokonać pewnych założeń:

- połączenia nierozłączne są niedemontowalne, z uwagi na zbyt wysokie koszty i niedokładność wydzielenia czystych materiałowo składników,
- zespoły, bądź części wykonane z materiałów, które poddawane są procesowi recyklingu generują zysk, pochodzący z ich sprzedaży do zakładów zajmujących się recyklingiem. Do tych zespołów należą:
  - zespoły połączone w sposób nierozłączny, w skład których wchodzi choćby jedna część wykonana z materiału o ograniczonej kompatybilności w stosunku do pozostałych z zastrzeżeniem, iż nie wpływa on negatywnie na proces odzysku surowców,
  - zespoły połączone w sposób nierozłączny, w skład których wchodzi części wykonane z materiałów kompatybilnych względem siebie,
  - zespoły połączone w sposób rozłączny, w których niezależnie od stopnia kompatybilności materiałów, można poprzez demontaż wydzielić części wykonane z jednolitych materiałów,
- zespoły lub części wykonane z materiałów, które poddawane są utylizacji, bądź składowaniu generują straty, wynikające z opłat pobieranych przez firmy recyklingowe. Do tych zespołów należą:
  - zespoły połączone w sposób nierozłączny, w skład których wchodzi choćby jedna część wykonana z materiału o ograniczonej kompatybilności w stosunku do pozostałych z zastrzeżeniem, iż wpływa ona negatywnie na proces odzysku surowców,
  - zespoły połączone w sposób nierozłączny, w skład których wchodzi choćby jedna część wykonana z materiału niekompatybilnego z pozostałymi,
  - części wykonane z materiałów szkodliwych.

### 3.3. Metoda oszacowania całkowitych kosztów recyklingu wyrobu

Zysk ze sprzedaży, bądź koszt utylizacji/składowania jest iloczynem masy materiałów oraz stawki, odpowiednio sprzedaży, bądź utylizacji/składowania.

Ogólnie można przyjąć, że koszt recyklingu jest różnicą pomiędzy sumą zysków uzyskanych ze sprzedaży materiałów nadających się do recyklingu i ponownego wykorzystania, a sumą kosztów poniesionych wyniku konieczności utylizacji, bądź składowania, co pokazuje wzór 1. Wynik ujemny oznacza stratę, natomiast dodatni zysk.

$$\text{KOSZT RECYKLINGU} = \sum_{i=1}^n \text{ZYSKÓW} - \sum_{i=1}^n \text{KOSZTÓW} \quad (1)$$

Ogólnie można przyjąć, że całkowity koszt recyklingu to suma zysku z materiałów, które po wymontowaniu możemy sprzedać natomiast koszt to suma kosztu, który musimy przeznaczyć na demontaż, unieszkodliwienie odpadów niebezpiecznych, wywóz odpadów na składowisko, wzór 2. Wartość ujemna oznacza stratę (koszt) (przedsiębiorstwo musi dopłacić), natomiast dodatnia oznacza zysk.

$$K_{RW} = \sum_{i=1}^n K_{MD} - \left( \sum_{i=1}^n K_{UMN} + \sum_{i=1}^n K_{Odpad} + \sum_{i=1}^n K_{Dem} \right) \quad (2)$$

gdzie:  $K_{RW}$  – koszt recyklingu wyrobu

$K_{MD}$  – koszt materiałów dobrych (nadających się ponownie przetworzyć i wykorzystać)

$K_{UMN}$  – koszt unieszkodliwiania materiałów niebezpiecznych

$K_{Odpad}$  – koszt odpadu

$K_{Dem}$  – koszt demontażu wyrobu

$n$  – liczba materiałów w danym wyrobie

$$\sum_{i=1}^n K_{MD} = masa \times cena \text{ [kg} \times \text{zl]} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n K_{UMN} = masa \times cena \text{ [kg} \times \text{zl]} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n K_{Odpad} = masa \times cena \text{ [kg} \times \text{zl]} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n K_{Dem} = czas \text{ _demontazu} \times koszt \text{ _jednostkowy _demontazu} \text{ [stawka} \times \text{h]} \quad (6)$$

Im dłużej będą demontowane wyroby gospodarstwa domowego wycofane z eksploatacji, tym większe koszty recyklingu poniosą zakłady zajmujące się odzyskiem. Tak więc korzystniej byłoby tak projektować wyroby aby ich demontaż był efektywny oraz maksymalnie krótki.

#### 4. Podsumowanie

Szacowanie kosztów recyklingu wyrobów, które w przyszłości będą wycofane z eksploatacji, już na etapie ich projektowania jest przedsięwzięciem nietrywialnym. Wiąże się to z prognozowaniem jak dużo materiałów można odzyskać z wyrobów, i jaki koszty to za sobą pociąga. Oszacowaniem wydatku związanego nie tylko z pozyskaniem wyrobów z rynku, ale i ich demontażem, magazynowaniem pozyskanych materiałów, utylizacją materiałów niebezpiecznych czy kosztów związanych z usunięciem odpadów.

Opracowany tok postępowania szacowania kosztów recyklingu zostanie zaimplementowany w systemie komputerowym wspomagającym ocenę recyklingową wyrobów gospodarstwa domowego.



## Literatura

1. Sielicki A., Jeleniewski T., Elementy metodologii projektowania technicznego, WNT, Warszawa, 1980
2. Krick E.V., An introduction to engineering and engineering design, John Wiley & Sons Ltd, New York, 1965
3. Dostatni E., Zarządzanie procesem projektowania z wykorzystaniem metod rozproszonej sztucznej inteligencji, rozprawa doktorska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań, 2004
4. Weiss Z. i inni, Współbieżne projektowanie konstrukcyjne i technologiczne obrotowych elementów maszyn, Sprawozdanie z projektu KBN nr 7 T07D003 08, Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Poznań, 1998
5. Dostatni E., Karwasz A., Dobór materiałów i połączeń projektowanych wyrobów AGD z uwzględnieniem recyklingu, Zeszyty Naukowe Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, seria: Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją, Poznań, 2008 nr 9
6. Norma VDI 2248: Planning of spot sampling measurements of stationary source emissions, 1991
7. Burakowska K., Zarządzanie procesem proekologicznego projektowania wyrobów ukierunkowanych na recykling, praca dyplomowa, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, promotor E. Dostatni, Poznań, 2007
8. Stewart L.H., Recyclingpotentiale unverträglicher Werkstoffe – Trennung von Stoffschlußverbindungen, Diplomarbeit, Berlin 2000,
9. Beyl J., Aplikacja wspomagająca dobór materiałów oraz połączeń w wyrobach AGD, praca dyplomowa, promotor Ewa Dostatni, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania 2008

Dr inż. Ewa Dostatni  
Dr inż. Anna Karwasz  
Mgr inż. Jacek Diakun  
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji  
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania  
Politechnika Poznańska  
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3  
tel.: (0-61) 6652731, fax: (061) 6652774  
e-mail: ewa.dostatni@put.poznan.pl  
anna.karwasz@put.poznan.pl  
jacek.diakun@put.poznan.pl

Prace przedstawione w artykule są współfinansowane w ramach projektu przyznanego przez MNiSW nr 2423/B/T02/2010/38