

PROJEKT METODY OBLICZANIA KOSZTÓW RECYKLINGU W FAZIE LIKWIDACJI WYROBU

Ewa DOSTATNI, Marta GRABOWSKA, Joanna BARKOWSKA

Streszczenie: W artykule poruszono problemy związane z kosztami recyklingu. Opisano metodę obliczania kosztów recyklingu dla wyrobów AGD. Metoda została zaimplementowana w oprogramowaniu MS Excel. Przedstawiono podstawowe elementy narzędzia do obliczenia kosztów recyklingu dla wyrobów AGD.

Słowa kluczowe: recykling, wyroby AGD, koszty recyklingu, ekoprojektowanie, komputerowe wspomaganie.

1. Wprowadzenie

Coraz bardziej istotne stają się zagadnienia związane z ochroną środowiska czy ekologią. Bardzo duży wpływ na środowisko ma przemysł wytwórczy. Wprowadzanie automatyzacji i robotyzacji w przedsiębiorstwach produkcyjnych spowodowało wzrost ilości odpadów elektrycznych i elektronicznych w przemyśle. Dodatkowo coraz to nowe technologie stosowane w produkcji, ulepszające funkcjonalność wyrobów sprawiają, że klienci częściej wymieniają stary sprzęt na nowy. Fakt ten również ma ogromny wpływ na zwiększenie ilości różnego rodzaju odpadów.

W związku z występującymi problemami powiązаныmi z zużytymi wyrobami, ważnym obszarem staje się ich zagospodarowanie. Nastąpił wzrost świadomości w zakresie tego tematu. Częściej przeprowadza się procesy prowadzące do zmniejszenia liczby odpadów na składowiskach w sposób zgodny z ochroną środowiska. Jednym z takich procesów jest recykling, który polega na gromadzeniu, demontażu i przetwarzaniu materiałów oraz części z zużytych wyrobów tak, aby nadawały się do ponownego użytku [1]. Dzięki temu procesowi zasoby naturalne są wykorzystywane w mniejszym stopniu. Podejście zorientowane na recykling stało się istotne dla klientów, co spowodowało, że nabrało wartości również dla producentów. Klienci mają wygórowane wymagania co do kupowanych wyrobów, a przedsiębiorstwa produkcyjne chcąc zostać bardziej konkurencyjni, starają się im sprostać. Jednak prowadzenie gospodarki odpadami dla wielu przedsiębiorstw wiąże się ze stratą czasu i ponoszeniem kosztów. Opracowywane są nowe koncepcje produktów, mające na celu stosowanie takich technologii, części, połączeń czy materiałów, które pozwolą na uzyskanie z tych wyrobów surowców wtórnych i ponowne zastosowanie ich w produkcji. Jednak nie da się zaprojektować elementu w 100% z materiałów poddawanych procesowi recyklingu, z powodu wydatków jakie ten wyrób by generował. Każdy produkt powoduje powstawanie kosztów we wszystkich fazach cyklu jego życia, zaczynając od projektowania, a kończąc na likwidacji. W związku z powyższym, już na etapie projektowania należy uwzględniać koszty recyklingu. Im wcześniej producenci uwzględniają w projektowanym wyrobie koszty recyklingu biorąc je pod uwagę, tym mniejszą finalnie mają one wartość. Ważne jest więc ich zdefiniowanie już na etapie powstawania projektu wyrobu. Przemysłany dobór materiałów i połączeń w produkcji nie tylko wpływa pozytywnie na środowisko naturalne, ale także pozwala

firmom stosować już raz wykorzystane materiały co prowadzi do oszczędności. Oszczędności powstają dzięki używaniu przetworzonych surowców pochodzących z odzysku zamiast kupna nowych materiałów na wyroby. Tak więc rozwiązywanie problemów z ilością wytwarzanych odpadów poprzez proces recyklingu jest opłacalnym działaniem dla przedsiębiorstw. Producenci wprowadzają w swoich przedsiębiorstwach ekoprojektowanie (ang. ecodesign), polegające na projektowaniu wyrobów z uwzględnieniem aspektów środowiskowych. Pierwsze działania nazywane ekoprojektowaniem miały miejsce pod koniec XX wieku [2]. Założenia tego zagadnienia sformułowane są w taki sposób, że ich przestrzeganie prowadzi do zmniejszenia kosztów wyrobu w każdej fazie życia, a głównie w fazie likwidacji. Czyli w fazie, w której przeprowadza się recykling wyrobów. Zatem w przemyśle wytwórczym popularność prowadzenia działań w ramach polityki środowiskowej wzrasta. Dodatkowo nie tylko przedsiębiorstwa prowadzą taką politykę. W ramach polityki ekologicznej państwa wprowadzane są wszelkie ustawy, dyrektywy, normy nakładające na producentów pewne obowiązki związane z likwidacją wyeksploatowanych wyrobów. Ustawa z 11 września 2015 r. o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym określa postępowanie z zużytymi produktami i nakłada na producentów obowiązek zbierania rocznie sprzętu nienadającego się do użytku na poziomie nie mniejszym niż 40% średniorocznej masy sprzedanego [3, 4]. Konsumenci także oczekują od producentów i całego przemysłu wytwórczego odpowiedzialności za likwidację zużytych wyrobów. Co więcej, likwidację, która przyczyni się do wyeliminowania ich składowania w przyszłości. Gdyby producenci zdali sobie sprawę, że przeprowadzenie recyklingu produktów nienadających się do użytku w wielu przypadkach znacząco zmniejszy ich koszty i przyczyni się do wzrostu zysku, to poruszony problem ilości odpadów zostałby zminimalizowany. Nakłonić ich do ponoszenia danej odpowiedzialności mogłyby narzędzia czy metody dzięki którym byłoby w stanie sprawdzić opłacalność inwestycji z uwzględnieniem recyklingu, przeprowadzić symulację bądź oszacować cykl życia wyrobu, czy koszty cyklu życia włącznie z fazą likwidacji produktu, bo to ona ma największy wpływ na przedstawione aspekty. Niestety programów czy sposobów, które umożliwiają te działania jest bardzo mało. Korzysta się z analizy LCA (ang. Life Cycle Assessment), będącej analizą cyklu życia wyrobu bądź z metody LCC (ang. Life Cycle Costing) [5, 6] szacującej koszty cyklu życia wyrobu. Jednak obie metody skupiają się na fazach istnienia wyrobu, a nie na recyklingu i jego kosztach.

2. Charakterystyka recyklingu

Recykling to także zagadnienie ukierunkowane na aspekty środowiskowe. Tak jak ekoprojektowanie [7] odnosi do każdego etapu życia wyrobu, tak recykling również może dotyczyć nie tylko etapu wycofania wyrobu z użytku. Ze względu na fazę życia produktu można zatem wymienić jego trzy rodzaje, a każdy z nich różni się nieco celem oraz przebiegiem omawianego procesu. Wspomniane rodzaje to:

- recykling w fazie wytwórczej (celem jest minimalizacja zużycia zasobów naturalnych i energii podczas produkcji),
- recykling w fazie eksploatacyjnej (ma na celu wydłużenie czasu eksploatacji dzięki zastosowaniu części zamiennych),
- recykling w fazie likwidacji (cel to ponowne zastosowanie materiałów z wyeksploatowanych wyrobów).

Natomiast wspomniany przebieg każdego z wyżej wymienionych procesów to kolejno:

- przygotowanie projektu dotyczącego konstrukcji wyrobu – określenie sposobu wytworzenia produktu (pod względem technologicznym),
- eksploatacja – nadzór nad zużyciem – naprawa wyrobu,
- zbieranie – demontaż – przetworzenie wyeksploatowanego wyrobu [1].

Recykling w fazie likwidacji ma na celu odzysk materiałów nadających się do powtórnego zastosowania z odpadów. Inaczej mówiąc, jest procesem obejmującym kolejno: składowanie, sortowanie, przetwarzanie materiałów odpadowych, tak aby można je było powtórnie wykorzystać. Stosowanie go sprawia, że utworzony zostaje zamknięty cykl obiegu danego surowca w środowisku. Produktem recyklingu są surowce wtórne bądź energia uzyskana z odpadów. Termin odpad używany jest tu jako likwidowana lub uwalniana do środowiska substancja, nie nadająca się dłużej do użytku bądź mówiąc inaczej – taka, która straciła cechy funkcjonalne [1, 8].

Głównym założeniem recyklingu są podstawy prawne, ponieważ właśnie podstawy określają sposób postępowania z użytymi wyrobami przeznaczonymi do recyklingu, ale także narzucają przedsiębiorstwom produkcyjnym procent poddawanych recyklingowi wytwarzanych przez nie wyrobów [9]. Jeżeli określona w aktach prawnych wartość procentowa nie zostanie osiągnięta przez przedsiębiorstwa produkcyjne, producent tych wyrobów będzie zmuszony uiścić opłatę nałożoną przez Ministra Środowiska [10]. Zgodnie z wyżej opisanym założeniem, recyklingowi powinny być poddawane wyroby wycofane z eksploatacji, czyli tzw. wyroby poużytkowe. Dla tego typu wyrobów przedstawiany proces jest zakończony wykorzystaniem odpadów z nich pochodzących poprzez:

- wielorazowe ponowne użycie wyrobu do spełniania pierwotnie nadanych funkcji, po przeprowadzeniu procesu odbudowy,
- ponowne wykorzystanie materiału bez zmiany jego stanu i składu do produkcji nowych wyrobów,
- użycie surowca wtórnego związane ze zmianą jego składu i stanu [8].

Istnieje wiele kryteriów pozwalających na dokonanie oceny recyklingu. Podstawowe z nich to przemyślany dobór materiałów, maksymalna ilość tworzyw odtwarzalnych, łatwy dostęp do elementów wymiennalnych, minimalna liczba połączeń i odmian połączeń, maksymalna liczba połączeń rozłącznych, minimalna liczba operacji demontażu i narzędzi niezbędnych do przeprowadzenia demontażu [1]. Spełnienie przez wyrób wymienionych kryteriów w określonym stopniu nie tylko sprawia, że dany wyrób staje się podatny na recykling, ale także znacząco wpływa na koszty ponoszone w tym procesie, a konkretnie na ich minimalizację.

3. Koszty recyklingu

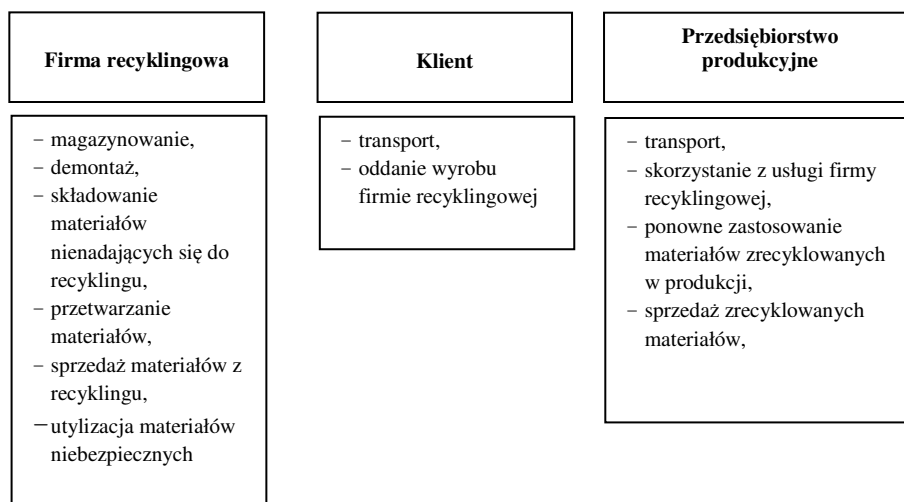
Koszty recyklingu można rozumieć jako wszystkie wydatki, które generuje wyrób w czasie przygotowywania go do procesu recyklingu, ale także w czasie przeprowadzania samego procesu. Inna definicja natomiast mówi, że „koszt recyklingu wyrobu to różnica pomiędzy sumą zysków ze sprzedaży materiałów uzyskanych ze zdemontowanego wyrobu, nadających się do recyklingu i ponownego wykorzystania, a sumą kosztów poniesionych na utylizację bądź składowanie materiałów nienadających się do recyklingu lub niebezpiecznych” [4]. W związku ze zdefiniowanym pojęciem, wynikiem kosztów recyklingu może być strata bądź zysk, głównie w zależności od materiałów jakie w wyrobie zostały zastosowane. Otrzymanie zysku przez przedsiębiorstwo może być skutkiem sprzedaży materiałów pochodzących z recyklingu lub ich powtórnego zastosowania na

potrzeby własnej produkcji. Już na etapie powstawania koncepcji wyrobu, powinien on zostać tak zaprojektowany, aby wydatki związane z jego zagospodarowaniem w fazie likwidacji były jak najmniejsze, ale nie wpływały na zmianę funkcjonalności. Jednak ich określenie na tak wczesnym etapie nie jest możliwe, można je jedynie oszacować na podstawie danych z firm zajmujących się gospodarowaniem zużyтыми wyrobami. Dokładne obliczenie kosztów recyklingu jest trudnym zadaniem ponieważ trzeba uwzględnić wiele składowych mających wpływ na ich finalną wartość. Do głównych składowych zaliczono:

- koszty transportu,
- koszty magazynowania,
- koszty demontażu,
- koszty materiałów.

Omawiane koszty można również podzielić ze względu na podmiot, który je ponosi. Idealnym podejściem byłoby ponoszenie wszelkich wydatków związanych z recyklingiem przez przedsiębiorstwa produkcyjne, producenci wyrobów powinni zajmować się ich zagospodarowaniem w ostatniej fazie ich życia. Nie zawsze jednak firmy postępują w ten sposób, zdarza się, że koszty recyklingu wyrobu ponosi klient, który wyrób ten zakupił. Wśród grup podmiotów, którym można przypisać odpowiednie składowe omawianych kosztów wyróżniono: firmę recyklingową, klienta, przedsiębiorstwo produkcyjne.

Do każdej z tych grup przypisano odpowiednie pozycje czynności generujących wydatki składowe, wynikające z sytuacji w której określona grupa poddaje wyrób recyklingowi (rys. 1). Jednak należy pamiętać, że ponoszenie kosztów recyklingu przez przedsiębiorstwa produkcyjne jest również uzależnione od klientów. Jeśli klient nie zgłosi lub nie odda zużytego wyrobu, producent danego wyrobu nie będzie w stanie go zagospodarować [11, 12].



Rys. 1. Podział składowych kosztów recyklingu ze względu na podmiot

W niniejszym artykule skupiono się na kosztach recyklingu, jako na kosztach jakie musi ponieść przedsiębiorstwo produkcyjne w ramach stosowania polityki ekologicznej i poddawania zużytych wyrobów recyklingowi. Najczęściej występująca sytuacja to taka, w której producent, pomimo zajmowania się zużyтыми odpadami, nie wykonuje tego na terenie przedsiębiorstwa produkcyjnego, tylko zleca proces firmie specjalizującej się w

przewodzeniu gospodarki odpadami. Chcąc omówić koszty recyklingu wyrobów dla przedsiębiorstwa produkcyjnego trzeba przeanalizować ich składowe:

- Transport – koszty transportu to koszty przewiezienia zużytych wyrobów przeznaczonych do recyklingu z miejsca do którego dostarczają je klienci lub z miejsca zbiórki (jeśli firma taką zbiórkę organizuje), wyróżniono tu koszty paliwa, marżę kierowcy.
- Skorzystanie z usługi firmy recyklingowej – tu mieści się wiele czynności składowych w odniesieniu do wszystkich zadań jakie wykonuje firma recyklingowa w celu przeprowadzenia usług.
 - Demontaż – koszt demontażu ma bardzo duży wpływ na koszty recyklingu, ponieważ jego cena zależy od czasu trwania czynności. Jeśli demontaż przeprowadzono ręcznie należy uwzględnić koszt roboczogodziny i koszt narzędzi użytych do wykonania demontażu, jeśli jednak zastosowano demontaż automatyczny lub mechaniczny trzeba liczyć koszty roboczogodziny, koszty amortyzacji maszyn czy koszty zużycia energii [9].
 - Przetwarzanie materiałów – koszt przetworzenia materiałów, wynika z częstej potrzeby zmiany postaci zdemontowanych materiałów poddawanych recyklingowi, np. wykonanie granulatu z fragmentów tworzywa sztucznego.
 - Składowanie materiałów nienadających się do recyklingu – koszt składowania takich materiałów występuje w sytuacji, gdy jakaś część zdemontowanych materiałów nie może zostać poddana procesowi recyklingu, na przykład ze względu na rodzaj, wtedy trzeba ponieść opłatę za oddanie materiałów na składowisko odpadów.
 - Utylizacja materiałów niebezpiecznych – koszt utylizacji występuje w sytuacji, gdy w wyrobie obecne są materiały niebezpieczne. Bardzo często jest składową w przypadku odpadów z wyrobów elektronicznych, które zawierają substancje niebezpieczne takie jak: freon, rtęć, kadm, brom.
- Ponowne zastosowanie materiałów z recyklingu w produkcji – z tej czynności przedsiębiorstwo może pobierać zysk, nie generuje ona straty dla przedsiębiorstwa. Chodzi tu o wykorzystanie materiałów uzyskanych z recyklingu powtórnie na potrzeby własnej produkcji, zamiast kupowania nowych surowców; jako zysk można tu liczyć różnicę pomiędzy wartością materiałów potrzebnych do produkcji danego wyrobu, a wartością materiałów zakupionych (jeśli takie w ogóle wystąpią).
- Sprzedaż z recyklingu materiałów – to również czynność generująca zysk, a nie stratę w przedsiębiorstwie. Jeśli z recyklingu materiały nie są potrzebne do produkcji wewnątrz przedsiębiorstwa, producent może je sprzedać, traktując wartość uzyskaną ze sprzedaży jako zysk.

Dla umożliwienia producentom sprawdzenia czy recykling ich wyrobów jest opłacalny powstały pewne metody służące do obliczania kosztów recyklingu.

4. Metoda obliczania kosztów recyklingu

W literaturze można znaleźć opis metod obliczania kosztów recyklingu. Niektóre z metod dotyczą obliczania kosztów recyklingu na etapie jego demontażu [4, 14], inne natomiast pozwalają oszacować koszty recyklingu już na etapie jego projektowania [9, 10]. Kolejną metodą umożliwiającą obliczenie kosztów recyklingu jest metoda LCC [11, 12]. Metoda LCC – Life Cycle Costing należy do grupy narzędzi wspomagających projektowanie dla środowiska. Dotyczy całego cyklu życia wyrobu. LCC to suma kosztów jakie ponoszone są

od początku do końca okresu istnienia wyrobu. Czyli kosztu nabycia, kosztu posiadania oraz kosztu likwidacji produktu. Częściej jednak dla oszacowania wartości wyrobu stosuje się inne składowe omawianej sumy, a konkretnie wykorzystuje się koszty faz cyklu życia wyrobu, jakie uwzględnia metoda LCC. Mówi się o czterech głównych fazach do których należą: faza przedprodukcyjna, faza produkcyjna, faza eksploatacyjna, faza poprodukcyjna. Ostatnia z wymienionych faz uwzględnia koszty recyklingu i dotyczy demontażu oraz utylizacji wyeksploatowanego wyrobu.

Wymienione powyżej metody nie pozwalają na dokładne obliczenie pożądanej wartości wydatków podczas recyklingu. Metoda szacowania przeprowadzana jest na etapie projektowania wyrobu dlatego też nie uwzględnia wszystkich składowych wpływających na wartość finalną omawianych kosztów, ale ma trafne założenia podstawowe. Natomiast metoda Łebkowskiego [14] skupia się głównie na demontażu, podobnie jak wyżej pomijając istotne wydatki, jednak tu odpowiednio jest nastawienie na maksymalizację zysku. Prezentowana w artykule metoda dotyczy: obliczania kosztów recyklingu, poużytkowych wyrobów AGD, etapu wycofania wyrobu z użytku. Poprzez modyfikację istniejących metod odnoszących się do kosztów recyklingu opracowano sposób obliczania tych kosztów dla wyrobów AGD. Metoda dotyczy wydatków ponoszonych i obliczanych na etapie likwidacji produktów AGD. Jej podstawą jest założenie, że całkowity koszt recyklingu wyrobu AGD to różnica pomiędzy przychodem ze sprzedaży materiałów z recyklingu bądź przekazanych do recyklingu, a całkowitym kosztem powiązanim z przygotowaniem i przeprowadzeniem procesu recyklingu (1) [15].

$$\text{Całkowity koszt recyklingu wyrobu} = P_C - K_C \quad (1)$$

gdzie:

P_C – całkowite przychody ze sprzedaży materiałów zrecyklowanych z wyrobu AGD

K_C – całkowity koszt poniesiony w czasie przygotowania i przeprowadzania procesu recyklingu na wyrobie AGD

$$P_C = \sum P_j = \sum \text{masa} * \text{cena} \quad (2)$$

$$P_C = \sum_{j=1}^n P_j = \sum_{j=1}^n m_j * c_j$$

gdzie:

P_j – przychód jednostkowy ze sprzedaży wybranego materiału składowego danego wyrobu, zrecyklowanego bądź przeznaczonego na recykling.

m_j – masa wybranego materiału składowego analizowanego wyrobu

c_j – cena za jednostkę materiału składowego analizowanego wyrobu

Na przychody jednostkowe ma wpływ masa materiału sprzedanego oraz cena rynkowa skupu tego typu materiału. Wartość wyniku działania, które przedstawiono za pomocą wzoru (2) może być dodatnia lub ujemna. W przypadku dodatniej mamy do czynienia z zyskiem przedsiębiorstwa w wyniku prowadzonej gospodarki odpadami, natomiast wartość ujemna oznacza stratę – koszty ponoszone przez producenta. W sytuacji, gdy otrzymany wynik ma znak ujemny należy korzystać z drugiego podstawowego założenia opracowanej metody, które przedstawia wzór (3). Założenie to jest warunkiem prowadzenia recyklingu przez producenta wyrobów AGD i mówi, że przedsiębiorstwo powinno przeprowadzać

ten proces tylko wtedy, gdy warunek jest spełniony. Czyli, dany wyrób AGD poddaje się recyklingowi jeżeli całkowite koszty poniesione w czasie przygotowania i przeprowadzenia procesu na tym wyrobie są mniejsze niż opłata produktowa ponoszona przez przedsiębiorstwo za dany wyrób w przypadku nie recyklowania go.

$$K_C < O_P \quad (3)$$

gdzie:

K_C - całkowity koszt poniesiony w czasie przygotowania i przeprowadzania procesu recyklingu na wyrobie AGD

O_P - opłata produktowa jaką przedsiębiorstwo ponosi w sytuacji nieprzeprowadzenia recyklingu danego wyrobu AGD

Wartość opłaty produktowej (4) zależna jest od masy niercyklowanego wyrobu AGD, za który należy tę opłatę uiścić, ale także od jej stawki, którą określono z góry w ustawie o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. Gdzie jednostką jej wartości jest zł/kg.

$$O_P = \text{masa} * \text{stawka} \quad (4)$$

Do obliczenia całkowitego kosztu wynikającego z recyklingu (K_C) koniecznego do sprawdzenia warunku (3) opracowano wzór (5) łączący składowe wzoru na KRW przewidziane w metodzie szacowania kosztów recyklingu wyrobu AGD na etapie projektowania [10] i jedną ze składowych kosztów fazy poprodukcyjnej metody LCC [11, 12].

$$K_C = K_T + K_D + \sum K_U + \sum K_S \quad (5)$$

gdzie:

K_T - koszt transportu wyrobu AGD (wliczona marża kierowcy)

K_D - koszt demontażu wyrobu AGD

K_U - koszt utylizacji materiałów niebezpiecznych występujących w wyrobie AGD

K_S - koszt składowania materiałów, które nie są poddawane procesowi recyklingu, a występują w wyrobie AGD

Z równania (5) można obliczyć koszty recyklingu nawet złożonego wyrobu AGD, ponieważ przewidziano tu zastosowanie różnych materiałów. Jako jedną ze składowych uwzględniono również koszty transportu danego wyrobu, ponieważ w przypadku prowadzenia recyklingu one także należą do grupy zobowiązań przedsiębiorcy. Na wartość zmiennych wzoru (5), a konkretnie K_U (6) i K_S (7) ma wpływ masa materiałów utylizowanych czy składowanych oraz cena rynkowa firm, do których zakresu działalności należy wykonywanie tych procesów.

$$\sum K_U = \text{masa} * \text{cena utylizacji} \quad (6)$$

$$\sum K_S = \text{masa} * \text{cena składowania} \quad (7)$$

Inaczej jest w odniesieniu do składowych K_T i K_D . Koszt transportu i koszt demontażu wyrobu AGD są zależne od zupełnie innych czynników. Dla obliczenia kosztu transportu opracowano wzór (8), w którym bierze się pod uwagę stawkę jednostkową, długość trasy

oraz liczbę transportowanych wyrobów.

$$K_T = \frac{\text{stawka jednostkowa firmy transportowej} \cdot \text{długość trasy}}{\text{liczba transportowanych wyrobów}} \quad (8)$$

Natomiast przy obliczaniu kosztu demontażu istotne są: czas demontażu, stawka roboczogodziny, stawka maszynogodziny oraz stawka amortyzacji narzędzi. Uwzględniono tu stawkę maszynogodziny w odniesieniu do demontażu automatycznego oraz stawkę amortyzacji narzędzi dla demontażu ręcznego. Wzór opracowano tak, aby podczas stosowania demontażu ręcznego możliwe było pozostawienie wartości kosztu maszynogodziny równej zero. Tak samo w przypadku demontażu automatycznego wartość amortyzacji narzędzi może być równa zero i nie wpłynie to w żaden sposób na poprawność wzoru (9).

$$K_D = \text{czas demontażu} * (\text{roboczogodziny} + \text{maszynogodziny} + \text{amort. narzędzi}) \quad (9)$$

Opisana metoda składa się z wzorów, dzięki którym jest szczegółowym narzędziem pozwalającym producentom na dokładne sprawdzenie opłacalności procesu jakim jest recykling. Metoda powinna służyć przedsiębiorcom do podjęcia decyzji czy przeprowadzać w danej sytuacji recykling czy też nie, na podstawie analizy jego kosztów. Dla ułatwienia tego zadania, powyższą metodę obliczania kosztów recyklingu wyrobów AGD na etapie ich likwidacji postanowiono zaimplementować w narzędziu informatycznym, jakim jest program MS Excel.

5. Implementacja opracowanej metody w programie MS Excel

Na potrzeby implementacji metody do MS Excel, podzielono ją na 3 etapy. Oddzielono dane wejściowe od danych wyjściowych, tak aby trzecia część - obliczeniowa metody była przejrzysta. Implementację metody rozpoczęto więc od utworzenia trzech zakładek w pliku programu MS Excel.

Pierwszą z utworzonych zakładek nazwano dane materiałowe i umieszczono w niej dane wejściowe dotyczące materiałów, drugą nazwano dane ogólne i przedstawia ona dane wejściowe odnoszące się do wyrobu i czynności powiązanych z recyklingiem. Natomiast trzecia zakładka o nazwie obliczenia zawiera dane wyjściowe, które w formie wartości końcowych są realizacją opracowanej metody.

W pierwszej zakładce „dane materiałowe” umieszczono tabelę prezentującą dane związane z materiałami składowymi wyrobu AGD, którego koszty recyklingu są obliczane według omawianej metody. Konkretnie są to nazwy i masy składowanych, utylizowanych oraz sprzedanych materiałów pochodzących z wybranego produktu AGD. W komórce „masa” określono również jednostkę, w której powinny zostać podane wartości wybranego parametru materiału. W przypadku danych materiałowych jedyną obowiązującą jednostką jest kilogram. Wprowadzanie każdego z materiałów należących do którejkolwiek z trzech grup, uwzględnionych w omawianej tabeli, należy rozpocząć od podania jego nazwy pod tak opisaną komórką oraz jego masy w komórce obok. Można uznać, że w odniesieniu do kosztów recyklingu produktów, informacje na temat wykorzystanych materiałów są danymi podstawowymi.

Tabela „dane materiałowe” została przygotowana w taki sposób, aby nie ograniczać liczby materiałów wyrobu dla którego przeprowadzane są obliczenia. Użytkownik

zaimplementowanego w MS Excel narzędzia może wprowadzić dowolną liczbę elementów składowanych, utylizowanych czy sprzedanych. Jednak aby to zrobić należy postępować w określony sposób, przedstawiony w sześciu krokach:

Krok 1: określić liczbę materiałów składowanych, utylizowanych oraz sprzedanych, które zostaną wprowadzone do tabeli.

Krok 2: wybrać największą z określonych w poprzednim kroku liczb.

Krok 3: zaznaczyć cały wiersz zakładki „dane materiałowe”, w którym znajduje się ostatni z wierszy tabeli, poprzez kliknięcie na jego numerze znajdującym się z lewej strony.

Krok 4: kliknąć na wybranym numerze prawym przyciskiem myszy i wybrać z rozwiniętego menu opcję „Insert”. W wyniku tego kroku do tabeli zostanie wstawiony nowy wiersz sformatowany w taki sposób jak wiersz występujący nad nim.

Krok 5: powtórzyć czynność z kroku 4 tyle razy ile jest równa największa z określonych na początku liczb.

Krok 6: rozpocząć wprowadzanie określonych materiałów od pierwszego białego wiersza tabeli „dane materiałowe”.

Kolejna z utworzonych w programie MS Excel zakładek nosi nazwę „dane ogólne” (rys. 2). Zamieszczono w niej odrębne tabele ze wszystkimi parametrami (oprócz danych materiałowych) potrzebnymi do przeprowadzenia obliczeń zgodnych z opracowaną metodą. Dane, które należy tu uzupełnić podzielono ze względu na rodzaj czynności której dotyczą lub podmiot którego dotyczą i pogrupowano w tabelach. Tabele nazwano kolejno: dane transportowe, dane demontażu, dane recyklingowe, opłata produktowa i dane wyrobu.

DANE TRANSPORTOWE			OPŁATA PRODUKTOWA		
stawka jednostkowa firmy transportowej [zł/km]		0,00	sprzęt działający na zasadzie wymiany temperatury [zł]		
długość trasy [km]		0	sprzęt małogabarytowy [zł]		2,00
liczba transportowanych wyrobów [szt]		1	sprzęt wielkogabarytowy [zł]		8,00
DANE DEMONTAŻU			DANE WYROBU		
czas demontażu [godz.]		0	masa składowanych materiałów [kg]		0
stawka roboczogodzinny [zł/godz.]		0,00	masa utylizowanych materiałów [kg]		0
stawka maszynogodzinny [zł/godz.]		0,00	masa sprzedanych materiałów [kg]		0
amortyzacja narzędzi [zł/godz.]		0,00	masa wyrobu [kg]		0
DANE RECYKLINGOWE			rodzaj wyrobu		
cena utylizacji materiału [zł/kg]		0,00			
cena składowania materiału [zł/kg]		0,00			
cena sprzedaży materiału [zł/kg]		0,00			
cena sprzedaży materiału [zł/kg]		0,00			

Rys. 2 Dane zawarte w zakładce „dane ogólne” (opracowanie własne).

Również w przypadku zakładki „dane ogólne” do zdefiniowanych parametrów przyporządkowano jednostki i umieszczono je w komórkach obok nazw danych, których dotyczą. Podczas implementacji metody założono, że cena utylizacji materiału oraz cena składowania materiału jest stała, bez względu na rodzaj materiału jaki ma zostać poddany pierwszemu bądź drugiemu procesowi. Natomiast przewidziano, że cena sprzedaży każdego z rodzajów materiałów jest inna, dlatego w miejsce kropek przy danych o nazwie „cena sprzedaży materiału” należy wpisać nazwę odpowiedniego materiału. Podobnie jak poprzednio, aby zwiększyć liczbę wierszy dotyczących ceny sprzedaży materiału, należy wstawić nowy wiersz.

Zakładkę z danymi wejściowymi przygotowano tak, aby w komórki tabel

w których obecnie występują zera wprowadzono odpowiednie wartości. Pola w których zera zapisano w formie „0.00” to pola oznaczone jako liczbowe, dzięki czemu po podaniu ceny program zaokrągli jej wartość do części setnych. Komórki liczbowe zastosowano wszędzie tam, gdzie parametrem jest cena. W wyniku uzupełnienia wszystkich danych użytkownik uzyska, w zakładce o nazwie obliczenia, wartości końcowe wynikające z przeliczenia wzorów utworzonych w ramach opracowanej metody. Wyjątek stanowi tabela dotycząca opłaty produktowej oraz tabela zawierająca dane wyrobu. W przypadku tabeli „opłata produktowa” wartości danych są uzupełnione dlatego, że są stałe, podane w ustawie z dnia 11 września 2015 roku o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym [16]. W miejscu na rodzaj wyrobu użytkownik zaimplementowanej metody jest zobowiązany określić, czy wyrób AGD, którego koszty recyklingu są obliczane, należy do grupy sprzętów wielkogabarytowych, małogabarytowych bądź działających na zasadzie wymiany temperatury. W programie umieszczono opis do omawianej komórki, który przedstawia, co dokładnie użytkownik może do niej wprowadzić.

W trzeciej i ostatniej zaprojektowanej zakładce o nazwie obliczenia, zamieszczono dane wyjściowe odpowiadające składowym głównym wzorów opracowanych w ramach metody obliczania kosztów recyklingu wyrobów AGD. Czyli zapisano tu utworzoną metodę za pomocą funkcji oferowanych przez program MS Excel.

Plik z zaimplementowaną metodą został zaprojektowany w celu ułatwienia pracy osobom z niej korzystającym. Użytkownik wprowadzając dane w pierwszych dwóch zakładkach, uzyskuje informacje zwrotne w ostatniej z zakładek, dotyczące kosztów recyklingu i zależne od uzupełnionych wcześniej danych. Można więc stwierdzić, że tabela „obliczenia” jest dla użytkownika zaimplementowanej metody w programie MS Excel tabelą informacyjną i najważniejszą, ponieważ właśnie na jej podstawie korzystający z metody powinni podejmować decyzje odnośnie recyklingu.

6. Podsumowanie

W niniejszym artykule omówiono m.in. pojęcie recyklingu oraz koszty realizacji tego procesu. Jest to ważne zagadnienie, ponieważ jako proces prowadzi do zmniejszenia liczby odpadów i zużycia surowców pierwotnych. Stwierdzono, że należy analizować możliwości przeprowadzenia recyklingu już we wczesnym etapie projektowania wyrobów. Wynika to z faktu, że im wcześniej zaczyna brać się go pod uwagę tym mniejsze koszty on później generuje. Dzieje się tak chociażby ze względu na dobór materiałów, będący w fazie likwidacji wyrobu ich główną składową. Dlatego też warto wdrażać ekoprojektowanie, którego podstawowe założenia dotyczą rozważnego doboru materiałów (pod kątem możliwości ich odzyskania), a także połączeń poszczególnych podzespołów (pod kątem możliwości ich demontażu). Postępowanie zgodnie z tymi założeniami sprawia, że recykling wyrobów jest tańszy i łatwiejszy. Dodatkowo dzięki ekoprojektowaniu produkty stają się przyjazne dla środowiska, a firmy bardziej konkurencyjne. Zauważono, że kolejnym czynnikiem mającym ogromny wpływ na koszty procesu recyklingu jest demontaż. Odgrywa on bardzo ważną rolę w tym temacie, ponieważ bez niego przeprowadzenie recyklingu byłoby niemożliwe. Demontaż jest czynnością niepowtarzalną ze względu na różnorodność produktów jakie są demontowane. Tu również główny wpływ mają zastosowane w wyrobie materiały i połączenia. Celem demontażu jest uzyskanie jak największej liczby części przy jak najmniejszym nakładzie pracy. Wzrost czasu czynności wpływa na wzrost jej kosztów, co wiąże się także ze wzrostem kosztów recyklingu.

W artykule przybliżono metody obliczania kosztów recyklingu. Szczególnie skupiono się na obliczaniu kosztów recyklingu na etapie likwidacji wyrobu, co jest trudnym zadaniem, ponieważ wpływ na nie ma wiele czynników. Aby wziąć je wszystkie pod uwagę opracowano metodę łączącą w sobie elementy metody znane z literatury: szacowania wydatków na etapie projektowania, metody Łebkowskiego oraz metody LCC. Zaproponowana metoda dedykowana jest przedsiębiorstwom produkującym wyroby AGD i pozwala na obliczenie na etapie likwidacji opłacalności recyklingu. Utworzona metoda wskazuje jak krok po kroku postępować aby wyliczyć wszystkie te wydatki i uzyskać informację ile wynosi całkowity koszt recyklingu danego wyrobu. Metodę zaimplementowano w taki sposób do programu MS Excel, aby użytkownik był zobligowany tylko do wpisania niezbędnych danych. Przy opracowywaniu metody ważne było nastawienie na maksymalizację zysku przedsiębiorstw, ponieważ to możliwość zwiększenia zysku nakłoni przedsiębiorców do recyklowania produkowanych wyrobów.

Literatura

1. Korzeń Z., *Ekologistyka*, Biblioteka Logistyka, Poznań, 2001.
2. Kłós Z., Kurczewski P., Lewandowska A., Lewicki R.: *Ekoprojektowanie na przykładzie sprzętu chłodniczego. Część I. Cele i procedura.*, http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/2009/2009-2/InzApChem_2009_2_084-085.pdf, dostęp: 12.12.2016 r.
3. <http://www.gios.gov.pl/pl/gospodarka-odpadami/zuzyty-sprzet-elektryczny-i-elektroniczny>, dostęp: 12.12.2016 r.
4. Dostatni E. (red): *Proekologiczne projektowanie wyrobów w środowisku CAD 3D z zastosowaniem technologii agentowej. Monografia naukowa.*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2014.
5. Finnveden, G.; Moberg, A. Environmental systems analysis tools—an overview. *Journal of Cleaner Production*. 13 (2005), pp. 1165–1173, 2005.
6. Rodrigues, V.P., Pigosso, D.C.A, McAloone, T.C.: Measuring the implementation of ecodesign management practices: A review and consolidation of process-oriented performance indicators. *J. Clean. Prod.* 156, 293-309. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.049>, 2017.
7. Ammenberg, J., Sundin, E.: Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences, *J. Clean. Prod.* 13, 405-415. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.12.005>, 2005.
8. Górczyński J.: *Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne Warszawa, Warszawa, 2007.
9. Dostatni E., Diakun J., Karwasz A.: *Metoda szacowania kosztów recyklingu wyrobów AGD na etapie projektowania*, www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kz/z/artyk_pdf_2013/p027.pdf, dostęp: 12.12.2016 r.
10. Karwasz A., Dostatni E., Diakun J., Grajewski D., Wichniarek R., Stachura M.: *Estimating the cost of product recycling with the use of ecodesign support system*, volume 7, number 1, march 2016, *Management and Production Engineering*, 2016.
11. Kurczewski P., Selech J.: *Metoda szacowania kosztu cyklu życia (LCC) i jej zastosowanie w dziedzinie budowy i eksploatacji obiektów technicznych*, http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/2010/2010-5/InzApChem_2010_5_105-106.pdf, dostęp: 12.12.2016 r.

12. Kurczewski P., Selech J.: Life Cycle Costing (LCC) jako nowoczesny model zarządzania kosztami cyklu życia na przykładzie obiektów technicznych, Politechnika Poznańska, http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR0-00630031/c/httpwww_bg_utp_edu_plartpe12012pe12012099_108.pdf, dostęp: 12.12.2016 r.
13. Burchart-Korol D.: Ekoprojektowanie – holistyczne podejście do projektowania, http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR8-0005-0016/c/httpwww_bg_utp_edu_plartpe1-32010burchart.pdf, dostęp: 12.12.2016 r.
14. Łebkowski P.: Dwupoziomowy model planowania demontażu, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka, T.3. Gliwice, 1999.
15. Barkowska J.: Opracowanie narzędzia do obliczania kosztów recyklingu wyrobów AGD, praca dyplomowa, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, promotor E. Dostatni, Poznań, 2017.
16. Ustawa z dnia 11 września 2015 r. o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20150001688>, dostęp: 18.12.2016 r.

Dr inż. Ewa DOSTATNI
Dr inż. Marta GRABOWSKA
Inż. Joanna BARKOWSKA
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Politechnika Poznańska
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel.: 61 665 27 31
fax: 61 665 27 74
e-mail: ewa.dostatni@put.poznan.pl
marta.grabowska@put.poznan.pl
joanna.barkowska@student.put.poznan.pl