

OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW

Anna KARWASZ

Streszczenie: W artykule opisano zagadnienia dotyczące otwartego i zamkniętego cyklu życia wyrobu, recyklingu wyrobów oraz demontażu na potrzeby recyklingu. Opisano demontaż maszyn i urządzeń, jego podział oraz zalety i wady. W dalszej części przedstawiono wyniki przeprowadzonej oceny recyklingowej głośników komputerowych. Rezultat porównano z wytycznymi Dyrektywy WEEE dotyczącymi zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

Słowa kluczowe: demontaż wyrobów, recykling, ocena recyklingowa wyrobów.

1. Wstęp

Działania w zakresie ochrony środowiska, mają na celu zapobieganie zagrożeniom związanym z wytwarzanymi odpadami podczas produkcji, zastępowania materiałów bardziej szkodliwych mniej szkodliwymi. Stosowania odpowiednich technologii produkcyjnych, minimalizujących ilości odpadów, użyciem mniej groźnych dla środowiska materiałów, wdrażaniem technologii odzysku i unieszkodliwiania odpadów.

Ogólne zasady skutecznego systemu gospodarowania odpadami zostały określone w dyrektywie Unii Europejskiej dotyczącej odpadów WEEE i w dyrektywie o odpadach niebezpiecznych RoHS [1, 2].

Obecnie wprowadzanie nowych, coraz bardziej złożonych konstrukcji wyrobów to minimalizacja kosztów i wzrost wydajności pracy, ale również – ochrona środowiska.

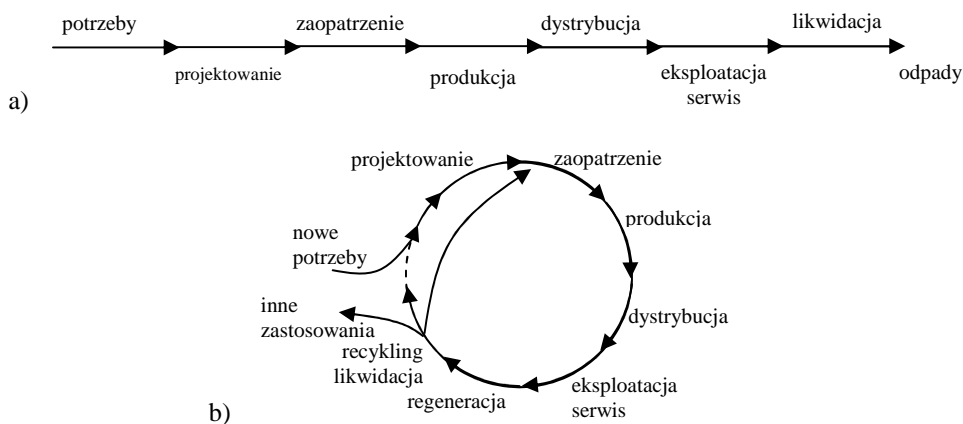
W wielu krajach Europy Zachodniej już na etapie projektowania nakazuje się poszukiwanie sposobów ograniczania ilości odpadów lub ich eliminację, a od producentów wymaga się podejmowania działań umożliwiających ich recykling. Tak więc recykling stał się integralną częścią cyklu życia wyrobu.

2. Cykl życia wyrobów

Cykl życia wyrobu definiuje się jako okres obejmujący czas od jego zaprojektowania (lub nawet od momentu sformułowania potrzeby, którą ów wyrób ma zaspokoić), poprzez jego wytworzenie i eksploatację aż do fizycznej likwidacji.

Analizując cykl życia wyrobu w aspekcie całkowitej odpowiedzialności producenta za produkt, można mówić o cyklu otwartym i zamkniętym, rysunek 1. Ten podział dotyczy nie tyle istnienia wyrobu na rynku, ile problemu, co z nim zrobić po zakończeniu jego funkcjonowania, kiedy klient nie chce lub nie może go dalej eksploatować [3, 6].

W otwartym cyklu życia wyrób wycofany z eksploatacji staje się odpadem trafiającym na złom lub na składowisko odpadów komunalnych. W zamkniętym, czy raczej rozszerzonym cyklu życia wyrób zostaje usunięty z rynku i zagospodarowany przez ponowne użycie, przez użycie jego części lub przez ponowne użycie pozyskanych z niego materiałów [6].



Rys. 1. Cykl życia wyrobu, a) otwarty, b) zamknięty [3, 6]

Do niedawna producent nie ponosił odpowiedzialności za swój wyrób, który po okresie użytkowania stawał się odpadem. Wprowadzenie unijnej legislatury zmusiło producentów do brania odpowiedzialności za swoje wyroby przez prowadzenie odzysku i recyklingu [1].

3. Recykling

Aby ponownie wykorzystać zespoły, części lub materiały, wyrób poddaje się procesowi recyklingu. Proces recyklingu można podzielić na selektywną zbiórkę, demontaż i przetwarzanie, określane jako recykling I, II i III rodzaju [5]. Recykling I rodzaju pozwala na odzyskanie całego wyrobu po wcześniejszej ewentualnej naprawie lub modernizacji. Recykling II rodzaju polega na odzyskaniu materiałów i części składowych wyrobów, takich jak obudowy, elementy elektroniczne lub silniki. Recykling III rodzaju stosuje się wtedy, gdy nie można ponownie danej części zastosować ani odzyskać materiału, z którego jest wykonana. Materiał z wyrobu poddaje się obróbce chemicznej lub energetycznej w celu odzysku energii. Odpowiednie poziomy odzysku i recyklingu oraz informację o tym, ile materiałów należy odzyskać i ponownie zastosować, określają dyrektywy europejskie. Dotyczą one między innymi samochodów wycofanych z eksploatacji, wyrobów opakowaniowych, zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

4. Demontaż wyrobu na potrzeby recyklingu

W celu naprawy lub wymiany niesprawnej części wyrób musi zostać zdemontowany i po dokonaniu czynności naprawczych zmontowany ponownie. W latach osiemdziesiątych XX wieku zaczęto mówić o demontażu w kontekście wyodrębnienia z wyrobu zespołów, części i materiałów celem ponownego ich zastosowania lub poddania materiałów recyklingowi.

Demontaż może być przeprowadzony w sposób nieniszczący, częściowo niszczący lub niszczący i umożliwia:

- separację szkodliwych materiałów i substancji od innych części wyrobu,
- odzysk podzespołów lub części w celu ponownego ich wykorzystania jako części zamiennych,

- rozdzielenie różnych frakcji materiałów w celu przeprowadzenia recyklingu materiałowego (oddzielenie tworzyw sztucznych od metali, papieru, szkła itd.).

Demontaż można również podzielić na manualny, mechaniczny oraz automatyczny.

Manualny demontaż wyrobów jest procesem praco- i czasochłonnym. W zależności od stopnia skomplikowania urządzenia oraz rodzaju użytych w nim materiałów może trwać od kilku (małe urządzenia gospodarstwa domowego, takie jak suszarki do włosów, czajniki elektryczne, wagi) do nawet kilkunastu minut (duże urządzenia AGD, takie jak lodówki, pralki automatyczne, kuchenki). Demontowane podzespoły, zespoły i części segreguje się w celu naprawy bądź w celu wyodrębnienia grup materiałowych. Grupy materiałowe są następnie segregowane i trafiają do różnych pojemników. Wyszczególnia się następujące grupy materiałowe: metale, metale kolorowe, tworzywa sztuczne, szkło, elementy niebezpieczne, płytki drukowane PCB. Duże elementy tnie się na mniejsze części i dostarcza do punktów skupu, na przykład metale kieruje się do punktów skupu złomu, skąd później trafiają do hut. Zaletami demontażu ręcznego są niskie nakłady kapitałowe oraz możliwość stosowania prostych narzędzi (takich jak śrubokręty, młotki, przecinaki), natomiast jego główne wady to czasochłonność oraz ograniczona możliwość swobodnego manipulowania podczas rozbiórki ze względu na wagę niektórych urządzeń.

Oprócz demontażu ręcznego z użyciem prostych narzędzi przeprowadza się również demontaż mechaniczny i automatyczny. Demontaż mechaniczny stosowany jest przez przedsiębiorstwa specjalizujące się w przemysłowym recyklingu urządzeń elektronicznych. Obsługujący linię demontażu segregują i czyszczą urządzenia oraz umieszczają wyselekcjonowany materiał w odpowiednich pojemnikach [8].

Demontaż automatyczny zwiększa wydajność i opłacalność recyklingu urządzeń poddawanych temu procesowi. Automatyzacja stanowisk demontażu eliminuje konieczność wykonywania ciężkich prac przez obsługę, zmniejsza możliwość wystąpienia urazów i skaleczeń oraz kontaktu z uwalniającymi się substancjami szkodliwymi. Linie demontażu automatycznego stosowane są między innymi po to, aby przyspieszyć przemieszczanie zdemontowanych części i materiałów. Demontaż automatyczny przeprowadzany jest za pomocą robotów, które w zaprogramowanej kolejności rozkładają urządzenie na podzespoły i elementy konstrukcyjne. Rozłączone podzespoły są transportowane przenośnikiem taśmowym do urządzeń mechanicznej, suchej obróbki [8]. Wadami demontażu mechanicznego i automatycznego są duże nakłady finansowe na specjalistyczne maszyny oraz powstawanie dodatkowych zanieczyszczeń w wyniku mycia lub separacji materiałów.

Ze względu na zakres wykonywanych prac demontaż można podzielić na wstępny, częściowy i pełny czyli rozłączenie wszystkich możliwych i koniecznych połączeń.

Właściwe czynności demontażowe polegają na rozkładaniu, tj. na odwrotności składania (montażu) zespołów. W przypadku większych zespołów i całych wyrobów rozkładanie nie zawsze jest odwrotnością montażu [9]. Demontaż niektórych połączeń może być bardzo trudny z uwagi na zużycie wyrobu podczas użytkowania. Urządzenia gospodarstwa domowego używane są przez wiele lat, małe urządzenia AGD średnio od roku do trzech lat, duże urządzenia AGD średnio od pięciu do piętnastu lat. Urządzenia te, w zależności od przeznaczenia, pracują w różnych warunkach, często mają styczność z wilgocią oraz ze środkami chemicznymi (pralki, kuchenki, lodówki, czajniki). Dlatego czynnikami utrudniającymi demontaż mogą być korozja, zanieczyszczenie, zużycie lub uszkodzenie geometrii podzespołów.

Problemy związane z demontażem wynikają z różnorodności wyrobów w danej grupie przeznaczonej do demontażu, a także z nieuwzględnienia przyszłego demontażu w fazie

projektowania. Różnorodność wyrobów sprawia, że ich demontaż nie jest powtarzalny. Wyroby różnych producentów mają różną konstrukcję i różnią się liczbą części, są składane z różnych materiałów i mają nietypowe łączenia. Należy również pamiętać, że nie wszystkie połączenia można rozdzielić, np. połączenia nitowe lub klejone są nierozłączne. Połączenia wtlaczone z dużym wciskiem oraz połączenia skurczowe wymagają zastosowania przy demontażu bardzo dużej siły lub dodatkowych przyrządów, takich jak ściągacze, co wydłuża cały proces [4, 9].

Innym problemem w demontażu wyrobów jest długi czas trwania tego procesu. Często jest to spowodowane zwiększeniem przez producentów liczby typów łączy w celu zapobiegania rozkręcaniu wyrobu przez osoby do tego niepowołane (ochrona utrudniająca dostęp do wnętrza wyrobu). Przykładowo, czajnik bezprzewodowy zmontowany jest za pomocą jedenastu śrub, w tym trzech śrub torx, czterech krzyżakowych i czterech płaskich chronionych. Taka różnorodność śrub powoduje konieczność użycia trzech narzędzi, co wydłuża czas rozbiórki.

Na czas demontażu wpływa również jego kierunek oraz umiejscowienie elementu łączącego. Przykładowo, umiejscowienie wkrętów lub zaczepów wzdłuż różnych (wszystkich) osi x, y i z wydłuża czas demontażu, ponieważ wyrób musi być wielokrotnie obracany w celu dotarcia do każdej demontowanej części.

Gdy śruby lub zaczepy są niewidoczne lub zasłonięte przez inne części, demontaż również jest wydłużony i utrudniony. Demontujący koncentruje się wówczas na odnalezieniu mocowania, a nie na samym procesie podziału wyrobu.

Demontaż jest nieodłączną częścią recyklingu. Jego dobre zaplanowanie może skrócić czas podziału wyrobu, a to z kolei może zmniejszyć związane z nim nakłady. W tradycyjnym podejściu do cyklu życia wyrobu demontaż przeprowadzano w sposób częściowy – zgodnie z wymaganiami serwisu – i nie był wymagany podział całego wyrobu. Toteż pierwotnie od projektanta nie wymagano projektowania zorientowanego na demontaż, a tylko zorientowanego na montaż.

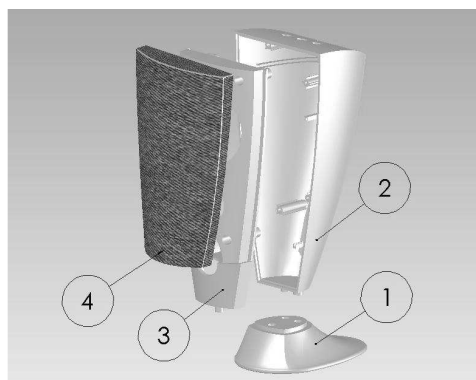
5. Ocena recyklingowa wyrobu

Przykładową ocenę recyklingową przeprowadzono na zestawie dwóch głośników Magic Speaker SMS 8320 [7]. Ocena dotyczyła demontażu i zgodności wyrobu z dyrektywą 2002/96/WE. W skład zestawu wchodziły głośniki o bardzo zbliżonej do siebie budowie i parametrach. Zgodnie z załącznikiem I B dyrektywy 2002/96/WE głośniki należą do kategorii 3: sprzęt IT i telekomunikacyjny.

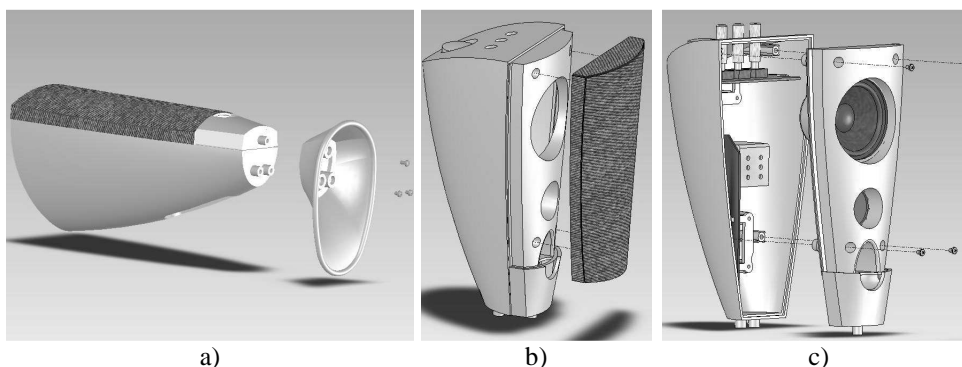
Głośnik składał się z czterech głównych części: podstawy, obudowy, panelu i osłony, rysunek 2. Oznakowanie materiałowe posiadała tylko obudowa, która wykonana była z tworzywa HIPS. Pozostałe części obudowy czyli podstawa, panel przedni i osłona panelu nie posiadały żadnych oznaczeń materiałowych.

Kolor podstawy jak i panelu był taki sam jak kolor materiału z którego została wykonana obudowa tylna, co może sugerować iż jest to, to samo tworzywo. Osłona panelu nie posiadała opisu a jej kolor był inny niż kolor obudowy, co może sugerować inny materiał.

Demontaż głośnika rozpoczęto od wykręcenia trzech wkrętów M4 X 9, za pomocą wkrętaka z końcówką PH 2, łączących podstawę z obudową za pomocą dwóch wkrętów i podstawę z panelem za pomocą jednego wkręta. Po zdemontowaniu podstawy wypięto osłonę za pomocą wkrętaka płaskiego, która była osadzona na czterech walcowych końcówkach wpasowanych na wcisk, rysunek 3 b.



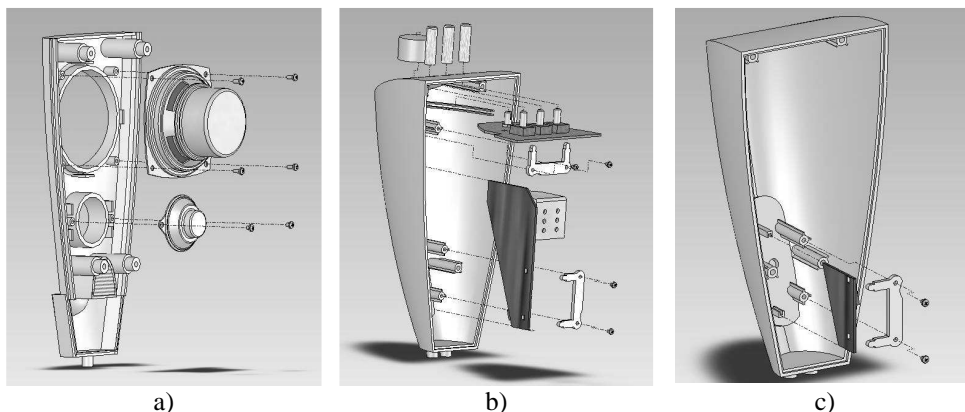
Rys. 2. Głośnik Magic Speaker SMS 8320, 1-podstawa, 2-obudowa, 3-panel, 4-osłona



Rys. 3. a) Demontaż podstawy głośnika b) demontaż osłony panelu, c) demontaż panelu od obudowy

Kolejnym krokiem było rozkręcenie obudowy i panelu, rysunek 3c. Dokonano demontażu czterech wkrętów M4 X 17, które również należało wykręcić wkrętakiem z nacięciem krzyżowym PH 2, dostęp do nich był możliwy tylko po uprzednim wypięciu osłony. Na tym etapie demontażu zostały dwa oddzielne elementy do rozdzielenia na poszczególne części. Proszym elementem do demontażu był panel, do którego przykręcono dwa głośniki wkrętami M3 X 8, rysunek 4 a, natomiast obudowa, w której znajdowały się dwie płytki drukowane PCB a także pokrętła potencjometru, balansu, i korektora wymagały większego nakładu pracy. Cały zestaw składał się z dwóch głośników, a różnica między głośnikami polegała na dodatkowych pokrętkach w części obudowy oraz części wewnętrznej – dodatkowe złącze z płytkami PCB, rysunek 4 b. Pozostałe elementy

demontażu głośnika drugiego jak i etapy demontażu przebiegały podobnie jak w przypadku głośnika pierwszego.



Rys. 4. a) Demontaż głośników z panelu, b) demontaż płytek PCB i pokręteł z głośnika pierwszego, c) demontaż płytki PCB drugiego głośnika

Wynik analizy zestawu głośników przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wynik analizy zestawu głośników Magic Speaker SMS 8320

Parametr	Ocena
Liczba materiałów	7
Liczba narzędzi demontażu	2
Poziom recyklingu [%]	87,9
Poziom odzysku [%]	90
Czas demontażu [min]	12

Dostępność i widoczność wszystkich połączeń była dobra, stąd też możliwe krótki czas demontażu każdego elementu. W przypadku skomplikowanego poszukiwania części łącznych czas ten byłby znacznie dłuższy. W analizowanym przypadku większości są to połączenia rozłączne – gwintowe. W przypadku konieczności naprawy bądź wymiany, umożliwiony jest łatwy i szybki dostęp do każdego elementu. Wszystkie części głośnika można zdemontować w sposób nieniszczący, co jest warunkiem najkorzystniejszej przeprowadzonego recyklingu i umożliwia ponowne wykorzystanie poszczególnych części. W przypadku uszkodzenia części podczas demontażu, jedynie materiał może być poddany recyklingowi, co przynosi mniej korzyści, niż ponowne wykorzystanie części.

Zgodnie z Artykułem 7 punkt 2 podpunktu b dyrektywy 2002/96/WE wskaźnik odzysku dla zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego zamieszczonego w kategorii 3 powinien wynosić minimum 75% średniej wagi sprzętu oraz ponowne użycie i recykling części składowych, materiału i substancji minimum 65% średniej wagi sprzętu.

Średnia waga głośników wynosi 1,4 kg więc odzysk powinien być minimum na poziomie 1,05 kg. natomiast waga materiałów nadających się do recyklingu powinna wynosić minimum 0,91 kg. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyrób spełnia

wymagania dotyczące odzysku i recyklingu z nadwyżką, ponieważ odzysk jest na wysokim poziomie 90 %, natomiast recyklingowi można poddać 87,9 % wagi wyrobu.

6. Podsumowanie

Projektując wyrób powinno się już na etapie jego projektowania zwracać uwagę co się będzie z nim działo po wycofaniu z eksploatacji. Dokonując demontażu urządzenia w fazie jego likwidacji dostajemy informacje zwrotne o trudnościach związanych z ustaleniem materiału z jakiego składają się poszczególne części wyrobu, trudnościach z odnalezieniem miejsc łączenia poszczególnych części, długim czasie demontażu wyrobu. Informacje te są wskazówką do udoskonalenia wyrobu pod kątem jego demontażu i w efekcie recyklingu.

Literatura

1. Dyrektywa 2002/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 lipca 2005 w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE).
2. Dyrektywa 2002/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003 w sprawie ograniczenia stosowania substancji niebezpiecznych w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (RoHS).
3. Herrmann Ch.: Unterstützung der Entwicklung recyclinggerechter Produkte. Vulkan-Verlag, Essen 2003.
4. Klett J., Blessing L.: Systematic design of connections. 13 CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven 2006.
5. Matkowski P., Friedel K., Kozłowski M.: Recykling zużytego sprzętu elektronicznego, technologia i stopnie recyklingu. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w Elektronice”, Warszawa 2006.
6. Reay E.: Resorce Sustainment. PAWS, Multis Ltd, Galway 1995.
7. Szczęsny R.: Opracowanie modelu wyrobu AGD w aspekcie jego demontażu. Praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Poznań 2009
8. Tyszkiewicz J.: Recykling złomowanych urządzeń elektronicznych powszechnego użytku. I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w Elektronice”, Warszawa 2000.
9. Wrotkowski J.: Demontaż i montaż maszyn. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971.

Dr inż. Anna KARWASZ
Instytut Technologii Mechanicznej
Politechnika Poznańska
61-138 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel./fax.: (61) 665 27 74
e-mail: anna.karwasz@put.poznan.pl