

Marta JANICKA, Piotr HEWELKE

Międzywydziałowe Studium Ochrony Środowiska SGGW
Interfaculty Study of Environmental Protection WULS

Ekoprojektownie jako ważne narzędzie ochrony środowiska na przykładzie sprzętu elektrycznego i elektronicznego Ecodesign as important instrument of environmental protection on example of electric and electronic equipment

Słowa kluczowe: oddziaływanie na środowisko, ekoprojektowanie, analiza cyklu życia
Key words: environmental impact assessment, ecodesign, life cycle analysis

Wprowadzenie

Koncepcja zrównoważonego rozwoju społeczno-ekonomicznego dokonała fundamentalnych przewartościowań w podejściu do ochrony środowiska. W szczególności w zakresie gospodarowania odpadami zmiany te znajdują szybkie odzwierciedlenie w przepisach prawa, instrumentach ekonomicznych oraz rozwiązaniach systemowych. W ten sposób działania z obszaru oczyszczania i bezpiecznego składowania utraciły bezpowrotnie swój priorytet na rzecz redukcji odpadów u źródła ich powstawania, minimalizacji ich wpływu na środowisko oraz odzysku i recykulacji. Oznacza to zmianę strategii ze skierowanej na usuwanie negatywnych skutków procesów produkcyjnych i konsump-

cyjnych na zapobiegawczą, tj. ukierunkowaną na przyczyny. Takie podejście spowodowało poszukiwanie rozwiązań systemowych z zaangażowaniem teorii zarządzania. Szczególnie dobre efekty ekologiczne uzyskuje się poprzez wykorzystanie systemów zarządzania jakością, wdrażanych w przedsiębiorstwach jako element planowania strategicznego. Jednym z narzędzi rozwiązań systemowych w zarządzaniu środowiskiem jest również ekoprojektowanie, którego założeniem jest dostarczanie na rynek produktów i usług minimalizujących ich obciążenie dla środowiska w całym cyklu życia.

Aspekty środowiskowe i zagrożenia pochodzące od zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego

Urządzenia elektryczne i elektroniczne składają się m.in. z połączeń takich elementów, jak: płytki montażowe,

przewody, tworzywa sztuczne, przełączniki rtęciowe, sprzęt wyświetlający, akumulatory i baterie, urządzenia generujące światło, kondensatory. Część z nich jest niebezpieczna z punktu widzenia ochrony środowiska i zdrowia człowieka, gdyż zawiera metale ciężkie (głównie rtęć, ołów, kadm i chrom), związki chlorowcowe (CFC, PCB, PCV) oraz bromowane substancje przeciwpalne. Niektóre z tych związków są rakotwórcze i ponadto stwarzają ryzyko emisji dioksyn i furanów podczas niekontrolowanego spalania. Niewłaściwe postępowanie ze użytym sprzętem elektrycz-

nym i elektronicznym może powodować zatem poważne problemy środowiskowe i zagrożenia dla życia człowieka. Charakterystyka szkodliwości substancji niebezpiecznych, zawartych w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, została przedstawiona w tabeli 1.

Rozwój technologii w zakresie sprzętu elektrycznego i elektronicznego sprzyja powstawaniu coraz bardziej nowoczesnych generacji tych urządzeń, a tym samym powoduje skrócenie czasu ich użytkowania. Obserwuje się również zjawisko odstępowania od napraw, ponieważ ich koszty niejednokrotnie

TABELA 1. Substancje niebezpieczne w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Seńczuk 2002, Hińcz 2005, Wawrzonek 2006)

TABLE 1. Dangerous substances in electric and electronic equipment (Seńczuk 2002, Hińcz 2005, Wawrzonek 2006)

Substancja Substance	Zastosowanie/lokalizacja Application/localization	Szkodliwość Harmfulness
1	2	3
Ołów (Pb) Lead	Stosowany jest do lutowania elementów elektronicznych w obwodach drukowanych (stanowi spoiwo przy produkcji lamp wyładowczych i płytek drukowanych) oraz w konstrukcji monitorów. Stanowi dobrą barierę antyradiacyjną, wchodzi w skład szkła kineskopu. Znajduje zastosowanie jako składnik płyt akumulatorowych oraz osłon niektórych kabli i przewodów.	Szkodliwe działanie ołowiu przejawia się głównie w zaburzeniach układu krwiotwórczego, w tym inhibicji syntezy hemoglobiny, hamowaniu aktywności enzymów biorących udział w syntezie hemu, a także skróceniu życia czerwonych krwinek i pobudzeniu erytropoezy, co w późniejszych stadiach może powodować m.in. niedokrwistość.
Rtęć (Hg) Mercury	Stosowana jest przy produkcji akumulatorów, przełączników i termostatów. Jest składnikiem wyświetlaczy ciekłokrystalicznych. Stosowana jest w lampach i żarówkach rtęciowych.	Narzędem o największej kumulacji rtęci są nerki. Pary rtęci wchłonięte przez pęcherzyki płucne wykazują powinowactwo do tkanki mózgowej oraz przenikają przez łożysko do płodu. Prowadzi do zaburzeń procesu biosyntezy białek.
Chrom (Cr) Chromium	Używany jest jako powłoka antykorozyjna.	Powoduje uszkodzenie układu oddechowego, przewodu pokarmowego oraz zmiany skórne (zwiększenie silnych reakcji alergicznych). Ma działanie rakotwórcze i mutagenne.

TABELA 1, cd. / TABLE 1, cont.

1	2	3
Kadm (Cd)	Stosowany jest do wyrobu tworzyw sztucznych i barwników. Znajduje się w elektrodach i akumulatorach.	Zakłóca metabolizm węglowodanów, Ogranicza przyswajanie żelaza. Na skutek wypierania cynku i miedzi z połączeń białkowych zwiększa wydalanie wapnia z organizmu. Zmienia metabolizm pierwiastków niezbędnych dla organizmu (Cu, Zn, Fe Mg, Ca), co powoduje zmiany morfologiczne i czynnościowe w narządach.
Beryl (Br)	Stosowany jest w klawiaturach. Wchodzi w skład płyt głównych.	Powoduje zaburzenie fosforylacji kluczowych białek, co może być podstawą jego toksycznego i kancerogennego działania. Wdychany z powietrzem może powodować choroby płuc, w tym także raka płuc.
Bar (Ba)	Używany jest przy produkcji monitorów.	U zwierząt doświadczalnych prowadzi do zmian ciśnienia i pracy serca (brak informacji o wpływie na zdrowie ludzi).
Masy plastyczne w tym plastik PCV	Stosowane są w elementach konstrukcyjnych komputerów, tj. w ramach i obudowie. Używane są do okablowań jako elementy izolacyjne.	Mają działanie mutagenne i inicjujące proces nowotworowy. W wysokiej temperaturze wydzielają toksyczne dioksyny.

przewyższają koszt zakupu nowego urządzenia. Konsekwencją tych zjawisk jest powstawanie coraz większych ilości odpadów. Ilość zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego zwiększa się o 4% rocznie, co jednocześnie czyni go najszybciej rosnącym strumieniem odpadów (trzykrotny wzrost w stosunku do strumienia odpadów komunalnych). Obecnie obywatel UE „wytwarza” średnio 18 kg takich odpadów rocznie (www.europa.eu). Na polski rynek trafia obecnie około 4,5 mln sztuk sprzętu AGD rocznie i jego średni czas użytkowania wynosi około 14 lat. Szacuje się, że aktualnie w Polsce tylko 10% zużytego sprzętu AGD wraca do sklepów, natomiast aż 60% trafia na osiedlowe śmietniki (Wróbel 2005).

Rola ekoprojektowania w rozwoju produktu

Ekoprojektowanie polega na identyfikowaniu aspektów środowiskowych związanych z produktem i włączaniu ich do procesu projektowania już na wczesnym etapie rozwoju tego produktu. W tradycyjnym projektowaniu kluczową rolę pełnią takie aspekty, jak: funkcja, bezpieczeństwo, ergonomika, wytrzymałość, jakość czy koszty. Ekoprojektowanie natomiast wprowadza dodatkowe kryterium, jakim jest ocena danego produktu z punktu widzenia jego oddziaływania na środowisko. Tradycyjne podejście do projektowania koncentruje się na produkcie finalnym. Idea ekoprojektowania ujmuje nato-

miast jego pełny cykl życia, począwszy od fazy koncepcyjnej aż do utylizacji po utracie właściwości funkcjonalnych. Kryterium minimalizacji oddziaływania wyrobu na środowisko jest tu rozważane w wielu aspektach, z których najważniejsze stanowią energia i materiały. Aspekt nakładów energetycznych stanowi centrum zainteresowań projektanta w każdej fazie powstawania wyrobu, a szczególnie w trakcie jego eksploatacji. Materiały są analizowane zarówno w aspekcie racjonalnego ich wykorzystania, jak i oddziaływania na środowisko. Oszczędność zasobów jest realizowana również poprzez wydłużenie cyklu życia produktu i przystosowanie go do recyklingu poprzez opracowanie odpowiednich procedur demontażu, identyfikacji i segregacji poszczególnych komponentów. Do oceny aspektów środowiskowych i potencjalnych wpływów związanych z produktem stosowana jest metoda oceny cyklu życia (life cycle analysis – LCA).

LCA obejmuje cały okres życia produktu, począwszy od pozyskania surowców, poprzez produkcję, użytkowanie, po unieszkodliwienie w wyniku utraty właściwości funkcjonalnych. Główne kategorie wpływu na środowisko obejmują wykorzystanie zasobów, zdrowie człowieka oraz jakość ekosystemu.

W ciągu ostatnich lat Unia Europejska dokonała wiele zmian w prawodawstwie ochrony środowiska, dotyczącym sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Najważniejsze dokumenty, w których poruszana jest tematyka ekoprojektowania, to: IPP – polityka zintegrowanego wyrobu, dyrektywa EuP – ekoprojektowanie wyrobów zużywających energię,

dyrektywa WEEE – dotycząca zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego, dyrektywa RoHS – ograniczenie stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym.

IPP jest polityką, rysującą ramowy program i filozofię prawodawstwa w odniesieniu do zagadnień środowiskowych, związanych z wyrobem na poziomie europejskim, dyrektywy natomiast podają szczegółowe wymagania, które są istotne dla przedsiębiorstw. Prawo polskie reguluje kwestie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego na mocy Ustawy z dnia 29 lipca 2005 roku o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. Ustawa ta określa wymagania, jakim powinien odpowiadać sprzęt elektryczny i elektroniczny, a także zasady postępowania ze zużytym sprzętem w sposób zapewniający ochronę zdrowia i życia ludzi oraz ochronę środowiska, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. Ma to na celu ograniczenie ilości odpadów powstałych ze sprzętu oraz zapewnienie odpowiedniego poziomu zbierania, odzysku i recyklingu zużytego sprzętu. Przepisy tej ustawy mają za zadanie wdrażanie postanowień unijnej dyrektywy 2002/96/WE z dnia 27 stycznia 2003 roku w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

Rozwojowi ekoprojektowania sprzyja wprowadzenie wielu rozwiązań w sferze legislacyjnej i organizacyjno-technicznej, zorientowanych wprost na proces wytwórczy lub na wyrób. Do najbardziej istotnych należy zaliczyć: system zarządzania środowiskiem (EMAS), którego wymagania dla przedsiębiorstw są skierowane przede wszystkim na proces technologiczny, produktowy podatek

ekologiczny oraz kompleksowe działania normalizacyjne proponowane przez ISO w ramach pakietu norm serii 14000, zorientowane zarówno na wyrób, jak i na proces wytwarzania. Oprócz odpowiedzialności za produkt, wymagań dostawców i wymagań konsumentów stanowią one zespół podstawowych czynników wpływających na ekologiczne projektowanie cyklu życia wyrobu ELCD (Environmental Life Cycle Design). ELCD prezentuje kompleksowe podejście do problemu projektowania, uwzględniające pełny cykl życia wyrobu, na podstawie rozszerzonego zakresu pojęciowego definiowania jakości. Rozpowszechnienie ELCD, jako standardowego podejścia do procesu projektowania, przyczyni się w przyszłości do zaniku terminów „ekoprojektowanie” i „ekoprodukt”, co będzie oznaczało przyjęcie tego stanu za powszechny i tym samym oczywisty (www.odpady.org.pl).

Zakres i metoda badań

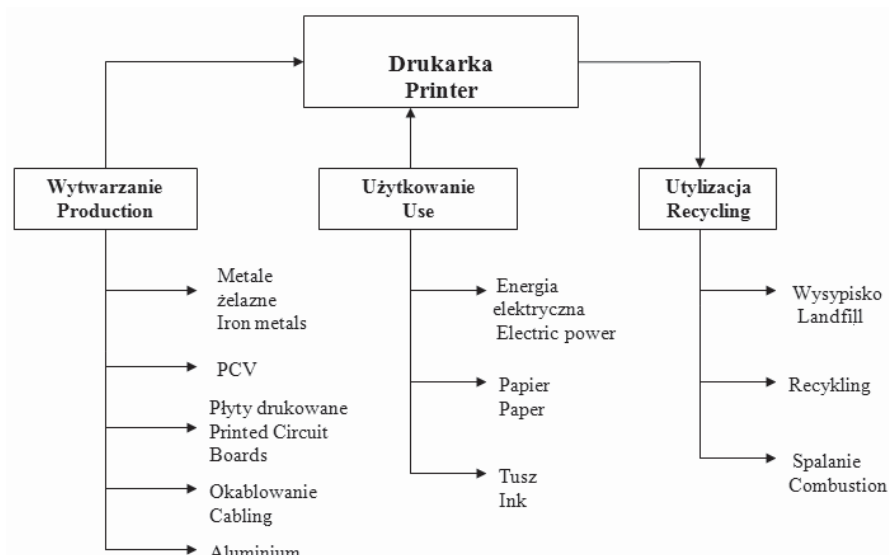
Analiza LCA z zastosowaniem ekowskaźników

Ekowskaźniki odniesione są do materiałów, energii oraz procesów i wskazują na wielkość presji środowiskowej. Wyższy wskaźnik oznacza większy wpływ na środowisko. Znajomość ekowskaźników pozwala projektantowi ustalać wielkość tego wpływu w każdej fazie projektowania danego wyrobu oraz identyfikować te okoliczności, których wpływ jest dominujący. W metodzie ekowskaźnika 99 (Zastosowanie oceny... 2002) wyodrębniono oddziaływanie w trzech kategoriach: ludzkiego zdrowia, jakości ekosystemu i zasobów naturalnych.

W kategorii zdrowia człowieka zawarte jest przesłanie ochrony życia. Kategorię tę charakteryzują m.in. takie wskaźniki, jak: rakotwórczość, radioaktywność, zmiany klimatyczne, warstwa ozonowa. W kategorii jakości ekosystemów zasadniczym kryterium jest zachowanie bioróżnorodności. Jakość ekosystemów charakteryzują m.in. wskaźniki ekotoksyczności, zakwaszenia, eutrofizacji, sposobu użytkowania ziemi. Kategoria zasobów odniesiona jest do racjonalnego i efektywnego wykorzystania minerałów oraz paliw kopalnych.

Obiektywizacja i kwantyfikacja oddziaływania na środowisko w trakcie projektowania produktu pozwala na poszukiwanie rozwiązań środowiskowo najkorzystniejszych w każdej fazie jego życia. Najbardziej zaawansowane innowacje powstają, kiedy aspekty środowiskowe uwzględniane są możliwie najwcześniej w procesie rozwoju produktu. Tego typu podejście może prowadzić do opracowania zupełnie nowych produktów, o istotnie mniejszym oddziaływaniu na środowisko niż funkcjonalne odpowiedniki, lub do zmiany koncepcji zaspokojenia danej potrzeby. Ilościowe ujęcie oddziaływania na środowisko stwarza możliwość wykorzystania omawianej metody do analizy wielokryterialnej i optymalizacji procesu decyzyjnego. Proces projektowania przy zastosowaniu ekowskaźników ułatwia program SimaPro 7.0, należący do firmy Produkt Ecology Consultants (www.pre.nl).

Metodę LCA z zastosowaniem ekowskaźnika 99 analizowano m.in. na przykładzie drukarki komputerowej. Procesy związane z cyklem życia drukarki zostały przedstawione na rysunku 1 w postaci tzw. drzewa życia.



RYSUNEK 1. Drzewo życia drukarki komputerowej
FIGURE 1. Process tree of computer printer

W celu opisanego oddziaływań w fazie wytwarzania jako danych wejściowych do programu użyto różnego rodzaju materiałów, potrzebnych do zrobienia analizowanej drukarki, i ich ilości. Są to: elementy żelazne (5,45 kg), tworzywa PCV (1,9 kg), płyty drukowane (0,75 kg), metale nieżelazne w izolacji (0,35 kg), elementy aluminiowe (0,4 kg). W fazie eksploatacji przyjęto biurowy sposób wykorzystania drukarki w trzech

wariantach, różniących się poborem mocy i okresem użytkowania (tab. 2).

Dla fazy utylizacji rozpatrzono trzy warianty, obejmujące w różnych proporcjach recykling, składowanie i spalanie wyeksploatowanych drukarek (tab. 3).

Wprowadzone dane pozwalają na określenie ekowskaźników dla poszczególnych materiałów wykorzystanych do produkcji drukarki, a wielkość wpływu określona jest dla poszczególnych kate-

TABELA 2. Przyjęte warianty zużycia energii przez drukarkę podczas użytkowania biurowego
TABLE 2. Accepted variants of energy consumption by printer for office application

Wyszczególnienie Specification	Wariant 1 Variant 1	Wariant 2 Variant 2	Wariant 3 Variant 3
Okres użytkowania Period of use	5 lat 5 years	5 lat 5 years	3 lata 3 years
Łączny czas drukowania w ciągu dnia Total time of printing within day	1 godzina 1 hour	1 godzina 1 hour	1 godzina 1 hour
Pobór mocy w czasie drukowania Consumption in time of printing	27,7 W	45 W	45 W
Pobór mocy „stand by” Consumption in “stand by”	2,7 W	3,5 W	3,5 W

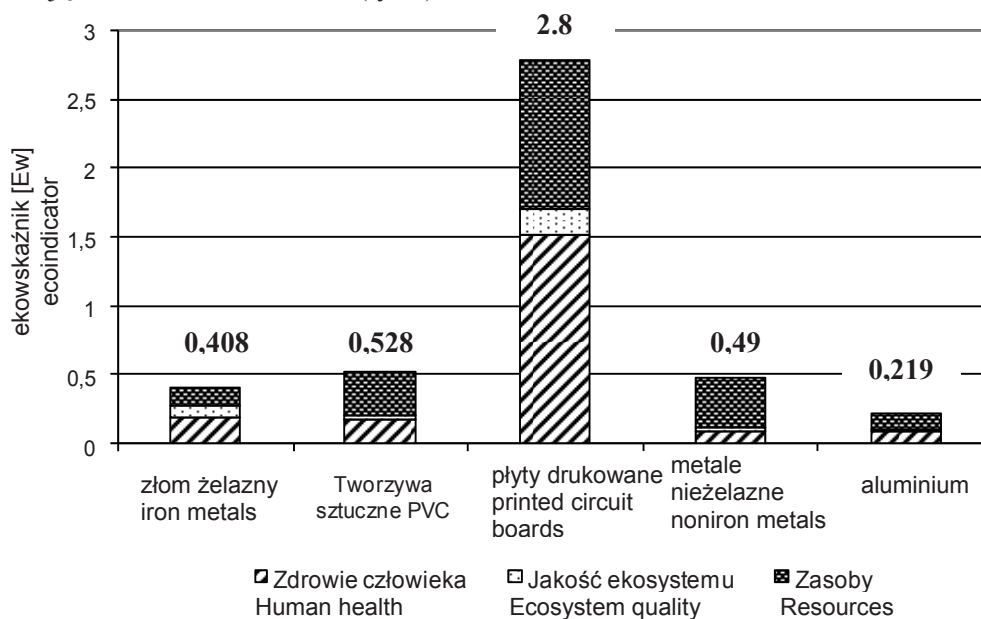
TABELA 3. Warianty utylizacji drukarki
TABLE 3. Variants of printer recycling

Sposób utylizacji Way of recycling	Wariant 1 Variant 1	Wariant 2 Variant 2	Wariant 3 Variant 3
Recykling Recycling	0	30	70
Wysypisko Landfill	70	70	10
Spalanie Combustion	30	0	20

gorii środowiskowych. W rozpatrywanym przykładzie drukarki oddziaływanie płyt drukowanych na zdrowie człowieka i stan zasobów jest kilkakrotnie większe niż pozostałych materiałów (rys. 2).

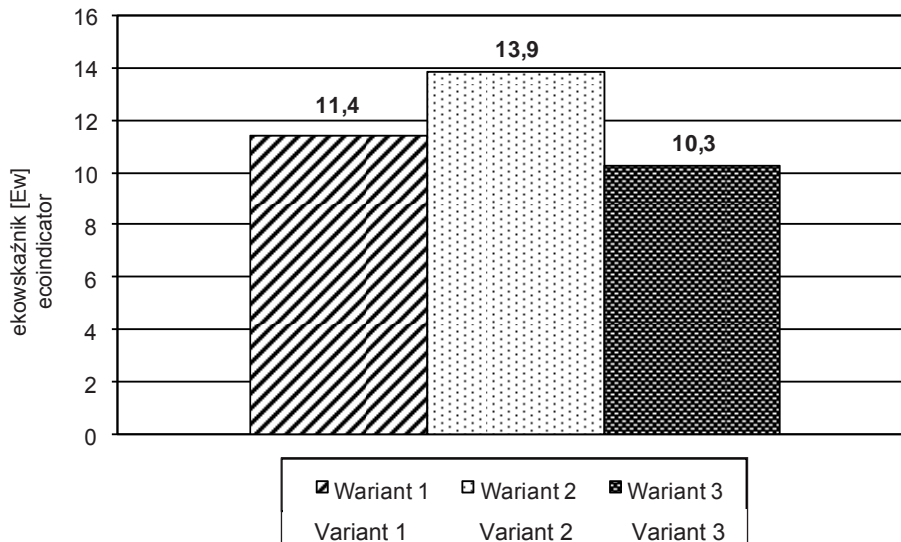
W fazie eksploatacji drukarki o obciążeniu środowiska decyduje zużycie energii. We wszystkich analizowanych wariantach pracy uzyskane wartości ekowskaźników kilkakrotnie przekraczają wskaźniki materiałowe (rys 3).

Obciążenie środowiska w końcowej fazie cyklu życia drukarki zależy od sposobu jej utylizacji (rys. 4). Decydujące znaczenie dla zmniejszenia obciążenia środowiska ma recykling materiałowy. Możliwość efektywnego recyklingu powinna być zapewniona w fazie projektowania produktu, a następnie realizowana poprzez sprawny system zbiórki i odzysku.

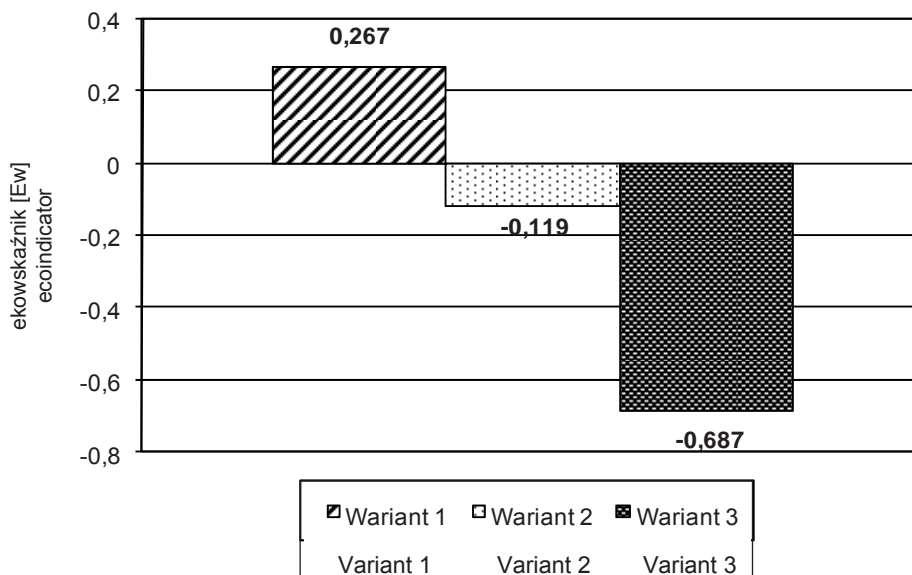


RYSUNEK 2. Obciążenie środowiska w poszczególnych kategoriach wpływu wywołane przez materiały wykorzystane do produkcji drukarki

FIGURE 2. Load of environment in individual categories of influences caused by materials used for production of printer



RYSUNEK 3. Obciążenie środowiska związane ze zużyciem energii w różnych scenariuszach użytkowania
 FIGURE 3. Load of environment connected with energy consumption in different variants of use



RYSUNEK 4. Obciążenie środowiska w zależności od przyjętych scenariuszy utylizacji
 FIGURE 4. Load of environment depending on accepted on accepted variants of recycling

Wnioski

1. Metoda szacowania wpływów, wykorzystująca wskaźnik 99, jest przydatnym narzędziem w procesie analizy cyklu życia produktu. Pozwala ona ocenić wpływ zużycia surowców, parametrów eksploatacji i sposobów utylizacji wyrobu na trzy podstawowe kategorie środowiskowe, tj. zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby naturalne. Ilościowe ujęcie oddziaływań ułatwia tworzenie i porównywanie różnych wariantów dla poszczególnych cykli życia produktu. Pozwala to na prowadzenie analizy wielokryterialnej i projektowanie produktów bardziej przyjaznych dla środowiska z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych.
2. W fazie produkcji główny udział w oddziaływaniu na środowisko mają płyty drukowane. W związku z tym należy dążyć do wyeliminowania spoiw SnPb i zastąpienia ich spoiwami bezołowiowymi. Wchodzące w skład płytek obwodów drukowanych metale, takie jak: miedź, srebro, pallad i złoto, powinny być odzyskiwane. W celu ułatwienia recyklingu plastiku należy dążyć do stosowania tworzyw w jak najczystszej postaci, opatrując je stosownymi oznakowaniami.
3. Proekologiczna modernizacja drukarek powinna polegać przede wszystkim na zmniejszeniu zużycia energii w fazie użytkowania. Aspekt energetyczny w fazie eksploatacji ma kluczowe znaczenie w oddziaływaniu tego produktu na środowisko.
4. W celu minimalizacji szkód środowiskowych w fazie końca życia

należy stworzyć taki system zbiórki i utylizacji drukarek, który będzie zapewniał duży udział recyklingu, przewidziany wcześniej w procesie ekoprojektowania.

Literatura

- HIŃCZ M., WIELGOPOLAN A. 2005: Eksport odpadów niebezpiecznych z USA do Azji. *Odpady i Środowisko* 4 (34).
- Toksykologia. Podręcznik dla studentów, lekarzy i farmaceutów, 2002. Red. W. Seńczuk. PWL, Warszawa.
- WAWRZONEK R. 2006: Metale ciężkie w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. *Recykling* 5 (65).
- WRÓBEL J. 2005: Normy nie na nasz poziom. *Gazeta Prawna* 87 (1452).
- Zastosowanie oceny cyklu życia (LCA) w ekobilansie kopalni, 2002. Red. K. Czaplicka. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- www.europa.eu, Bruksela 2005: Pytania i odpowiedzi w związku z polityką UE w zakresie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.
- www.min-pan.krakow.pl, Góralczyk M., Koneczny K.: Przykłady zastosowania LCA w zarządzaniu środowiskiem.
- www.odpady.org.pl, Ekoprojektowanie, a cykl życia wyrobów, za: W. Adamczyk, 2004: Ekologia wyrobów, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- www.polskieradio.pl. Komputer osobisty – arsenał zabójcy.
- www.pre.nl.

Summary

Ecodesign as important instrument of environmental protection on example of electric and electronic equipment. Electric and electronic devices contain different materials which can be dangerous for environment and human's life. These materials

are mainly heavy metals (Hg, Pb, Cd, Cr) and chemical compounds of chlorine (CHC, PCB, PCV). The research was focused on analysis of possibilities of limitation of negative impact on environment by ecodesign. Computer printer was taken as an example. It's impact on environment was estimated by analysis of several variants of exploitation and disposal. The Life Cycle Analysis method with Sima Pro 7.0 program was considered to be very useful. This method allows

to compare different variants and to take into consideration environmental and economical criteria.

Authors' address:

Marta Janicka, Piotr Hewelke
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Międzywydziałowe Studium Ochrony Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: piotr_hewelke@sggw.pl