

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH METOD ANALIZY I OCENY WPLYWU CYKLU ŻYCIA NA ŚRODOWISKO W PROCESIE EKOPROJEKTOWANIA

Jolanta BARAN, Agnieszka JANIK

Streszczenie: W artykule przedstawiono przesłanki wdrażania ekoprojektowania oraz dokonano ogólnej charakterystyki metod oceny wpływu cyklu życia produktów i procesów na środowisko w kontekście ich zastosowania w procesie ekoprojektowania. Zaprezentowano także przykłady praktycznego wykorzystania wskaźnika MIPS oraz macierzy ERPA.

Słowa kluczowe: ekoprojektowanie, cykl życia produktu, metody oceny wpływu cyklu życia na środowisko, macierz ERPA, wskaźnik zasobochłonności MIPS.

1. Wprowadzenie

Projektowanie i rozwój, według definicji zawartej w raporcie technicznym PKN-ISO/TR 14062:2004, to zbiór procesów, które przekształcają wymagania na określone właściwości lub na specyfikację wyrobu, procesu lub systemu [1]. W procesie projektowania uwzględnia się wiele różnych kryteriów, dzięki czemu można uzyskać pożądane właściwości fizyczne, mechaniczne, chemiczne, związane z bezpieczeństwem i higieną pracy, czy też efektywnością ekonomiczną, estetyką etc. W praktyce projektowania niezbędna jest hierarchizacja tychże kryteriów, będąca czynnikiem rozpoznania istotnych aspektów następstw decyzji. Jest to zarazem jedno z najtrudniejszych zagadnień decyzyjnych (jego naturalny przebieg jest trudny do uchwycenia i opisu), a jednocześnie w istotny sposób determinuje to, jaki efekt końcowy uzyskamy [2].

Rozwój teorii i praktyki w zakresie ochrony środowiska, zarządzania środowiskiem, zrównoważonego rozwoju oraz myślenia w kategoriach cyklu życia stymuluje zmiany w różnych obszarach, w tym w dziedzinie projektowania. Jeśli bowiem do zestawu kryteriów, które są brane pod uwagę w procesie projektowania, włączy się aspekty środowiskowe w ujęciu całego cyklu życia (jeśli nie były one włączone wcześniej) lub jeśli staną się one istotnym kryterium w hierarchii czynników branych pod uwagę w procesie decyzyjnym (jeśli nie odznaczały się wcześniej większym znaczeniem), to rozszerzona perspektywa odpowiedzialności za powstający produkt pozwala w innym świetle zobaczyć priorytety, którymi kierowano się dotychczas. Nowe podejście, które polega na systematycznym włączaniu perspektywy cyklu życia w ujęciu środowiskowym w proces projektowania produktów i procesów określa się mianem ekoprojektowania [3, 4]. Jego celem jest doskonalenie produktów i procesów pod kątem środowiskowym z uwzględnieniem koncepcji rozwoju zrównoważonego oraz myślenia w kategoriach cyklu życia [5]. Potrzebę włączenia do zestawu kryteriów rozważanych w procesie projektowania – kryteriów związanych z aspektami środowiskowymi oraz środowiskowym cyklem życia produktów implikuje m.in. uwzględnienie nowych uwarunkowań prawnych, a także innych przesłanek.

Wśród uwarunkowań prawnych, które wpływają na potrzebę włączenia aspektów środowiskowych w szerszej perspektywie cyklu życia do procesu projektowania i rozwoju wyrobów można wymienić unijne akty prawne (w tym również akty *sui generis*):

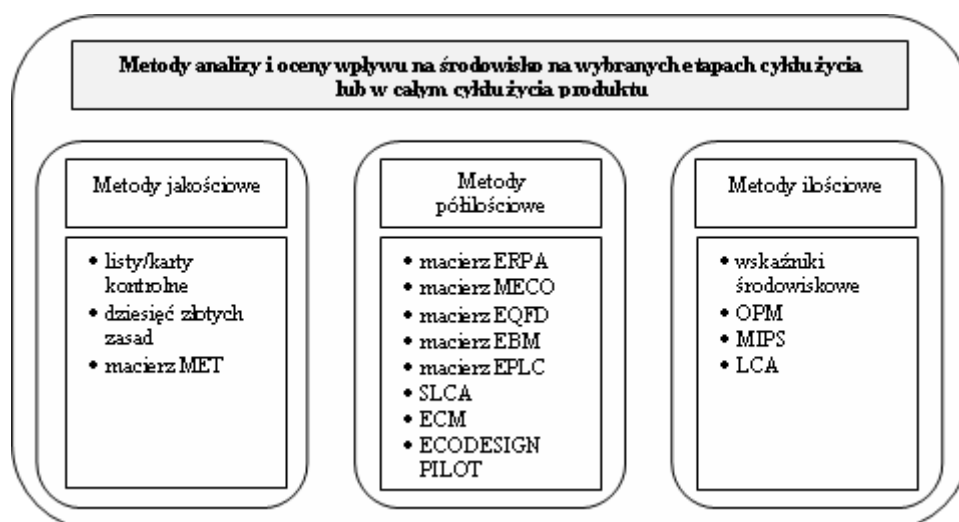
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią [6] – dyrektywa zwana dyrektywą ErP, w której określono warunki i kryteria wprowadzania środków wykonawczych (rozporządzeń) dla określonych produktów, które mają istotny wpływ na środowisko, są sprzedawane na terenie Unii Europejskiej w ilości powyżej 200 tysięcy sztuk rocznie oraz wykazują wyraźny potencjał poprawy efektywności energetycznej, pod warunkiem, że nie pociąga to za sobą nadmiernych kosztów;
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcie, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią [7];
- rozporządzenie Komisji UE nr 1275/2008 w sprawie wymogów dotyczących ekoprojektu dla zużycia energii przez elektryczne i elektroniczne urządzenia gospodarstwa domowego i urządzenia biurowe w trybie czuwania i wyłączenia;
- rozporządzenia Komisji UE w odniesieniu do różnych grup wyrobów takich jak m.in. tzw. set-top boksy (107/2009), lampy fluorescencyjne (245/2009), zasilacze elektryczne zewnętrzne (278/2009), silniki elektryczne (640/2009), urządzenia chłodnicze (643/2009), pralki (1015/2010), zmywarki (1016/2010), wentylatory przemysłowe (327/2011), klimatyzatory i wentylatory przenośne (206/2012), pompy wodne (547/2012), pompy cyrkulacyjne (622/2012), suszarki używane w gospodarstwach domowych (932/2012), lampy kierunkowe i lampy z diodami elektroluminescencyjnymi (1194/2012);
- inne, m.in. komunikaty Komisji UE, np. w odniesieniu do telewizorów (642/2009).

Wśród przesłanek, których uwzględnienie uzasadnia potrzebę ekoprojektowania wymienić można ponadto korzyści związane z ochroną środowiska, jak też korzyści ekonomiczne i społeczne. Ekoprojektowanie jest działaniem, którego podjęcie leży w interesie przedsiębiorstw, bowiem z założenia jest to nieodłączny element tworzenia inteligentnych, bardziej efektywnych (w tym ekonomicznie) rozwiązań w ramach systemu produktu [8]. Znaczenie projektowania z włączeniem perspektywy cyklu życia i jego wpływu na środowisko było i wydaje się, że nadal jeszcze jest niedoceniane. Tymczasem wzrastająca konsumpcja dóbr sprawia, że coraz częściej dostrzega się problemy wynikające z zanieczyszczenia środowiska i ubożenia zasobów naturalnych [9]. Problem zatem nie jest nowy, lecz nowe jest spojrzenie na konsekwencje dotychczasowej praktyki i dostrzeżenie konieczności wprowadzenia zmiany myślenia i działania w ramach projektowania.

Aby sprostać potrzebie uwzględniania aspektów środowiskowych w procesie projektowania konieczne jest dysponowanie odpowiednim "warsztatem badawczym", na który składają się procedury, a także metody analizy i oceny wpływu na środowisko oraz narzędzia i techniki wspomagające tę analizę i ocenę. Poniżej prezentuje się wybór metod analizy i oceny wpływu na środowisko w cyklu życia oraz przykłady ich zastosowania.

2. Metody analizy i oceny wpływu cyklu życia produktów na środowisko

Zadanie włączenia aspektów środowiskowych w jak najwcześniejszej fazie projektowania produktu, a właściwie wkomponowania ich w zestaw hierarchiczny standardowo rozpatrywanych kryteriów, wiąże się z koniecznością zastosowania uporządkowanej procedury. Takim systematycznym ujęciem charakteryzuje się raport techniczny PKN-ISO/TR 14062:2004 [1], w którym zawarto koncepcję i praktyki dotyczące uwzględniania aspektów środowiskowych w procesie projektowania i rozwoju produktów. Jest to zarazem jeden ze sposobów kompleksowego podejścia do ekoprojektowania, bowiem odnosi się do kolejnych etapów projektowania począwszy od planowania, tworzenia projektu koncepcyjnego, następnie projektu szczegółowego, poprzez przeprowadzanie badań w odniesieniu do prototypu, aż po czynności weryfikacyjne towarzyszące produkcji i wprowadzeniu na rynek oraz przeglądowi produktu. Raport techniczny ISO/TR 14062 wprowadza zasady, które umożliwiają skuteczne przełożenie założeń projektowych związanych z aspektami środowiskowymi na konkretne rozwiązania projektowe. Jednak by doprowadzić do wygenerowania tychże rozwiązań, należy za pomocą odpowiednich metod dokonać niezbędnych analiz i oceny wpływu cyklu życia produktów na środowisko.



Rys. 1. Metody analizy i oceny wpływu cyklu życia produktu na środowisko
Źródło: Opracowanie na podstawie: [3, 10, 11, 12, 13, 14]

Do tej pory powstało wiele metod, technik i narzędzi, które umożliwiają metodyczne podejście do analizy i oceny wpływu na środowisko. Metody te są wciąż rozwijane w ośrodkach naukowo-badawczych, jak również w samych przedsiębiorstwach, które mogą przystosowywać je do własnych potrzeb. Wybór odpowiedniej metody zależy od wielu czynników, wśród których można wymienić pożądaną poziom dokładności analizy, stopień szczegółowości analizy, dostępność danych, oczekiwane rezultaty, zastosowania, a także czasochłonność, pracochłonność, koszty i in. Można zatem w zależności od potrzeb stosować proste metody, które nie wymagają dogłębnej analizy, lecz umożliwiają wstępne badanie problemu, a wówczas gdy wymagania co do szczegółowości są większe, należy

korzystać z metod bardziej zaawansowanych jak np. metody macierzowe czy z najbardziej rozwiniętej metody oceny cyklu życia ze wspomaganie stosownych narzędzi komputerowych. Warto również wziąć pod uwagę zasadność stosowania w określonym przypadku kilku metod w zależności od etapu projektowania – np. we wcześniejszych fazach metody prostsze, jakościowe, w późniejszych metody ilościowe oraz ilościowe.

Wobec wielości stosowanych metod analizy i oceny wpływu na środowisko stosowane są różne ich typologie. Na rysunku 1 zaprezentowano jeden z podziałów tych metod, według którego wyodrębnia się metody jakościowe, ilościowe oraz ilościowe.

Lista metod uwzględnionych na rysunku 1 nie wyczerpuje całego zestawu metod i ich wariantów. W tabeli 1 zaprezentowano ogólną charakterystykę wybranych metod.

Tab. 1. Ogólna charakterystyka wybranych metod analizy i oceny wpływu cyklu życia na środowisko

Metoda	Ogólna charakterystyka
METODY JAKOŚCIOWE	
Karty/ listy kontrolne	Proste techniki polegające na opracowaniu serii pytań, które mają wspomagać projektantów w uzyskaniu bardziej systematycznego ujęcia aspektów środowiskowych. Ich zastosowanie wiąże się ze stosunkowo niskimi nakładami w porównaniu z innymi metodami. Wykorzystuje się je w celu identyfikacji obszarów wymagających ulepszenia, jeśli oczekujemy szybkiej, nie pogłębionej informacji, na przykład we wstępnej fazie projektowania. Analizuje się zatem tą metodą np. ogólną wielkość emisji do powietrza, zużycie materiałów, energii na poszczególnych etapach cyklu życia. Wyróżnia się różne typy kart kontrolnych m.in. AT&T, Kodak, Fast Five Philips, Volvo.
Macierz MET (ang. <i>Materials, Energy, Toxic emissions</i>)	Metoda polegająca na zastosowaniu dwóch układów – macierzy. W pierwszej z nich dokonuje się opisu trzech kategorii środowiskowych – zużycia materiałów, zużycia energii oraz toksycznych emisji w odniesieniu do trzech etapów cyklu życia produktu – produkcji, użytkowania i utylizacji. Druga macierz służy oznaczeniu siły oddziaływania na środowisko (mała, średnia, duża) w zakresie zużycia materiałów, zużycia energii oraz toksycznych emisji.
METODY ILOŚCIOWE	
Macierz ERPA (ang. <i>Environmentally Responsible Product/Process Assessment</i>)	Metoda polegająca na utworzeniu macierzy o wymiarach 5x5, w której analizuje się aspekty środowiskowe za pomocą określonych kryteriów środowiskowych. Analizuje się zatem wybór materiałów, zużycie energii, odpady stałe, odpady ciekłe oraz emisje gazowe w odniesieniu do poszczególnych etapów cyklu życia. Ocena wariantów następuje w drodze procedury składającej się z czterech kroków: określenie wskaźników środowiskowych i ich punktacja w zakresie od 0 do 4, dwuwymiarowe ważenie, określenie tzw. odpowiedzialności środowiskowej, ustalenie dalszego rozwoju produktu. W odróżnieniu od metod jakościowych, metoda ERPA wymaga większego nakładu pracy.
Macierz MECO (ang. <i>Materials,</i>	Metoda polegająca na utworzeniu macierzy składającej się z pięciu kolumn (w których określa się etapy cyklu życia) i czterech

<i>Energy, Chemicals, Others matrix)</i>	wierszy (w których określa się materiały (surowce), energię, związki chemiczne oraz inne). Za pomocą tej metody można wskazać obszary w cyklu życia produktu lub procesu, które są problematyczne z punktu widzenia zużywanych materiałów, energii, związków chemicznych lub innych substancji.
Macierz EQFD (ang. <i>Environmental Quality Function Deployment</i>)	Grupa metod opartych na metodzie QFD. Polega ona na włączeniu aspektów środowiskowych do analizy, której istotą jest przełożenie potrzeb i oczekiwań zainteresowanych stron na charakterystykę produktu (parametry środowiskowe). W toku analizy tworzy się macierz zwaną domem jakości, lecz w tej wersji w kontekście środowiskowym.
Macierz benchmarkingu środowiskowego EBM (ang. <i>Environmental Benchmarking Matrix</i>)	Celem wykorzystania tej metody jest określenie, jaka jest pozycja analizowanego produktu, czy procesu w porównaniu z ofertą konkurencyjną. Możliwe jest połączenie tej macierzy z macierzą EQFD. W ramach macierzy EBM określa się i ocenia parametry środowiskowe oraz wymagania zaangażowanych stron.
SLCA (ang. <i>Streamlined Life Cycle Assessment</i>)	Narzędzie służące identyfikacji tzw. gorących punktów czyli <i>hot spots</i> i określeniu kluczowych warunków ulepszeń środowiskowych. Metoda szczególnie przydatna przy porównywaniu wpływu na środowisko różnych produktów, wówczas gdy nie jest konieczna szczegółowa informacja w zakresie wpływu na środowisko.
Metoda ECM (ang. <i>Eco-Design Checklist</i>)	Metoda łącząca listy kontrolne z próbą oceny spełniania określonych kryteriów na przykład na poszczególnych etapach cyklu życia produktu, czy też w odniesieniu do części, produktów, funkcji.
Ecodesign Pilot	Narzędzie internetowe [15] oparte na metodzie ECM, które umożliwia systematyczne podejście do analizy wybranych aspektów środowiskowych w cyklu życia produktu. Metoda ta może być pomocna szczególnie w fazie planowania, a jej dodatkowym atutem są wskazówki, które są dostępne w ramach poszczególnych kroków procedury.
METODY ILOŚCIOWE	
Wskaźnik zasobochłonności MIPS (ang. <i>Material Input per Service Unit</i>)	Metoda opracowana w Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. Za jej pomocą bada się zasobochłonność produktów, czyli zużycie zasobów naturalnych (tzw. bagaż ekologiczny) przypadające na określoną jednostkę. Podobnie, jak w przypadku LCA, analizie może podlegać cały cykl życia produktu lub procesu, lecz jest to metoda prostsza niż LCA.
Środowiskowa ocena cyklu życia LCA (ang. <i>Life Cycle Assessment</i>)	Kompleksowa metoda szacowania wpływu na środowisko, oparta na inwentaryzacji aspektów środowiskowych w całym cyklu życia produktów. Analizę przeprowadza się z wykorzystaniem szczegółowych danych dotyczących wybranych etapów cyklu życia lub całego cyklu życia oraz specjalistycznych programów komputerowych i baz danych. Wymaga dużych nakładów, jest najbardziej czaso- i pracochłonna w porównaniu z innymi

	<p>metodami.</p> <p>Badanie z wykorzystaniem LCA przeprowadza się w czterech krokach (według PN-EN ISO 14040-44). W ramach trzeciego kroku – oceny wpływu cyklu życia – rozwinęło się wiele metod szacowania wpływu, które różnią się m.in. zakresem, procedurami obliczeniowymi, zestawem kategorii wpływu cyklu życia. Jest to metoda umożliwiająca uzyskanie całościowego profilu środowiskowego produktu.</p>
--	---

Źródło: Opracowanie na podstawie: [3, 10, 11, 12, 13, 14]

Analiza wpływu na środowisko w ramach ekoprojektowania nie może być oderwana od aspektów ekonomicznych i społecznych, które również można ująć w perspektywie całego cyklu życia. W tabeli 2 zamieszczono ogólną charakterystykę tych dwóch grup metod.

Tab. 2. Metody uwzględniania aspektów ekonomicznych i społecznych w cyklu życia

Metoda	Ogólna charakterystyka
Ocena kosztów cyklu życia LCC (ang. <i>Life Cycle Cost</i>)	<p>Grupa metod szacowania kosztów i korzyści cyklu życia z punktu widzenia producenta, klienta lub społeczeństwa. Umożliwia porównanie i wybór rozwiązania optymalnego pod względem minimalizacji kosztów spośród projektowanych rozwiązań alternatywnych. W ramach tej metody następuje rozszerzenie tradycyjnego rachunku kosztów, opracowywanego w przedsiębiorstwie, o koszty i korzyści związane np. z etapem przedprodukcyjnym, czy różnymi wariantami zagospodarowania odpadów powstałych na końcu życia.</p> <p>Są to metody złożone oparte na wypracowanych scenariuszach, modelach, założeniach i różnych sposobach wyceny wartości.</p>
Społeczna ocena cyklu życia SLCA (ang. <i>Social Life Cycle Assessment</i>)	<p>Grupa metod służących identyfikacji, ocenie wejść i wyjść oraz związanych z nimi konsekwencji społecznych występujących w cyklu życia. Może być stosowana do oceny środowiska pracy, jak również w odniesieniu do różnych zainteresowanych stron. W ramach różnych metod bada się aspekty społeczne określone w formie zestawu wskaźników, takich jak np. występowanie określonych chorób, wypadki, czas pracy, dyskryminacja itd.</p>

Źródło: Opracowanie na podstawie [14]

Poniżej prezentuje się zastosowanie dwóch spośród wyżej wymienionych metod analizy i oceny wpływu na środowisko – szacowanie wskaźnika zasobochłonności oraz macierz ERPA.

3. Wskaźnik zasobochłonności MIPS

Jak pokazano na rysunku 1 i w tabeli 1, przykładem metody ilościowej, która może być zastosowana do oceny wpływu cyklu życia na środowisko jest szacowanie wskaźnika zasobochłonności MIPS. Przykład praktycznego zastosowania tej metody przedstawiono poniżej dokonując pogładowej oceny wpływu na środowisko metodą szacowania wskaźnika MIPS technologii nakładania powłok antykorozyjnych poprzez bezściekowy proces cynkowania. W procesie tym proponuje się rozwiązanie, w którym ścieki nie

powstają, ponieważ kąpiele krążą w obiegu zamkniętym. Jest to rozwiązanie opracowane jako alternatywa dla procesu, w którym powstające ścieki poddawane są oczyszczaniu. Dodatkowo warto wspomnieć, iż koszt regeneracji kąpeli jest niższy od kosztów oczyszczania ścieków. Wszystkie odpady stałe są wykorzystywane ponownie.

W ramach analizowanego procesu bierze się pod uwagę następujące procesy jednostkowe: formowanie wsadów na stojakach, odtłuszczanie, trawienie w świeżym kwasie solnym, płukanie w rozcieńczonym kwasie solnym, topnikowanie w kąpeli chłorku cynkowego i amonowego, suszenie, cynkowanie zanurzeniowe w ciekłym cynku, chłodzenie w wodzie lub w powietrzu, pasywacja, rozformowanie i kontrola wyrobów, odcynkowanie wadliwych wyrobów poprzez zawrótzenie do wanny z rozcieńczonym kwasem solnym.

Oceny wpływu na środowisko dokonano z wykorzystaniem metody szacowania wskaźnika MIPS, która została wybrana z uwzględnieniem dostępności potrzebnych danych. W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy wpływu wejść związanych z procesem w zakresie zużycia zasobów abiotycznych (wszystkie abiotyczne zasoby naturalne, które zostały bezpośrednio pobrane ze środowiska, takie jak minerały, paliwa kopalne oraz gleba z wyrobisk i wykopów), wody (zużycie wody powierzchniowej, gruntowej oraz głębinowej) oraz powietrza (powietrze zużywane w procesach spalania oraz na drodze przemian fizyko-chemicznych). Dane odnoszą się do jednostki funkcjonalnej, którą jest produkcja 10 000 Mg stalowej blachy ocynkowanej (produkcja roczna).

Tab. 3. Arkusz obliczeniowy MIPS dla technologii nakładania powłok antykorozyjnych poprzez bezściekowy proces cynkowania

Nazwa	Jedno- -stka	Ilość	Zasoby abiotyczne		Woda		Powietrze	
			MI*	Mg/jednostkę produktu	MI*	Mg/jednostkę produktu	MI*	Mg/jednostkę produktu
Cynk	kg	1 000 000	22,18	22 180,00	343,70	343 700,00	2,282	2 282,00
Kwas solny	kg	240 000	3,03	727,20	40,70	9 768,00	0,380	91,20
Amoniak	kg	20 000	1,85	37,00	10,10	202,00	5,044	100,88
Energia elektryczna	kWh	700	2,67	1,87	37,90	26,53	0,640	0,45
Gaz ziemny	m ³	360 000	1,22	439,20	0,50	180,00	0,002	0,72
Całkowite zużycie zasobów w ramach procesu [Mg/jedn.]	-	-	-	23 385,27	-	353 876,53	-	2 475,25

*Wartości MI wyraża się w jednostkach: [kg/kg], [kg/kWh] lub [kg/m³]

Źródło: Opracowanie własne

Szacowanie wskaźnika zasobochłonności MIPS rozpoczyna się od określenia tzw. bagażu ekologicznego związanego z procesem. Do obliczeń wykorzystuje się współczynnik MI (ang. *Material Input*), który można zdefiniować jako łączne zużycie danej kategorii zasobów przypadające na dany proces lub produkt. Wartości współczynnika MI dla poszczególnych materiałów i energii elektrycznej opracowano w Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. W wyniku przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, iż produkcja 10 000 Mg stalowej blachy ocynkowanej (produkcja roczna) wiąże się z wykorzystaniem 23 385,27 Mg zasobów abiotycznych, 353 876,53 Mg wody oraz 2 475,25 Mg powietrza. Otrzymane wyniki mogą być podstawą do realizacji kolejnych kroków w ramach procedury ekoprojektowania. Podobne obliczenia można przeprowadzić dla różnych wariantów, dla których określa się wykorzystanie innych, alternatywnych

materiałów, czy też wprowadzanie zmian, które wiążą się z użyciem określonych nośników energii.

4. Macierz ERPA

Macierz ERPA jest jedną z metod ilościowych, które mogą być stosowane w procesie ekoprojektowania. Została ona opracowana w roku 1993 na potrzeby koncernu AT&T. Jest używana do określenia potencjalnych możliwości dokonania udoskonaleń w zakresie ochrony środowiska. Macierz ERPA ma wymiary 5x5, a przy jej tworzeniu uwzględnia się kryteria środowiskowe, takie jak wybór materiałów, zużycie energii, odpady stałe, odpady gazowe, emisje gazowe na poszczególnych etapach cyklu życia produktu (etap przedprodukcyjny, produkcja, dystrybucja, używanie, końcowe zagospodarowanie) [16].

Ocena wpływu na środowisko odbywa się w czterech fazach.

W pierwszym kroku dla każdej komórki macierzy określa się wskaźnik środowiskowy. Każdy wskaźnik środowiskowy jest opisywany za pomocą pytań ujętych w kartach kontrolnych. Na każde pytanie odpowiada się stosując punktację od 0 do 4 (gdzie wartość 0 oznacza rozwiązanie najlepsze dla środowiska). Treść pytań, jak i możliwe odpowiedzi można dostosować do krajowych lub międzynarodowych regulacji, czy też np. do wymagań konkurencji [17]. Ostateczną wartość dla danej komórki ustala się jako średnią punktów przyznanych wszystkim pytaniom. Etap pierwszy kończy się wraz z uzupełnieniem komórek macierzy poszczególnymi wartościami wskaźników środowiskowych. Warto podkreślić, że od rzetelnego podejścia do realizacji tego etapu analizy zależy jej ostateczna jakość. Jest to pod tym względem najbardziej wrażliwa część badania.

W drugim kroku określa się ważność etapów cyklu życia (poprzez zastosowanie metody AHP) oraz współczynniki wagowe dla kryteriów środowiskowych (poprzez wykorzystanie metody delfickiej). Metoda AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*) ułatwia podejmowanie optymalnych wyborów odnośnie wielokryterialnych problemów decyzyjnych poprzez redukcję ich do serii porównań parami, natomiast metoda delficka polega na badaniu opinii ekspertów odnośnie danych kwestii czy też zdarzeń. Drugi etap opracowywania macierzy ERPA kończy się wraz z uzupełnieniem komórek macierzy z wykorzystaniem współczynników wagowych otrzymanych poprzez mnożenie współczynnika wagowego przypisanego określonemu kryterium środowiskowego i współczynnika odpowiadającego danemu etapowi cyklu życia produktu [17].

Trzeci etap polega na określeniu wartości tzw. odpowiedzialności środowiskowej. Uzyskuje się ją poprzez mnożenie wartości wskaźników środowiskowych i wartości współczynników wagowych dla konkretnych komórek.

Na ostatnim, czwartym etapie, na podstawie wyników uzyskanych w poprzedniej fazie, ustala się kierunki rozwoju produktu. Na podstawie zestawień wartości odpowiedzialności środowiskowej dla konkretnych komórek wybiera się te, które mają najwyższą wartość. Wyniki można umieścić na wykresie, który składa się z trzech obszarów A, B i C. Numery komórek macierzy, które leżą w obszarze A powinny w pierwszej kolejności być przedmiotem doskonalenia.

Metoda ERPA jest metodą dość złożoną, a przy tym charakteryzuje się subiektywnością, jednak powierzona doświadczonemu projektantowi może być bardzo przydatna [17].

Poniżej przedstawia się przykład zastosowania macierzy ERPA [18]. Wśród analizowanych procesów znajdują się: produkcja tektury falistej, produkcja kleju, przygotowanie farb, produkcja opakowań oraz oczyszczanie ścieków.

W tabeli 4 przedstawiono przykładową kartę kontrolną dla wybranej komórki macierzy ERPA. Jest to komórka o numerze 2.1 (2 oznacza, że jest to drugi analizowany proces, 1 zaś, że dotyczy wyboru materiałów). Każda komórka ma przypisany numer – każdy etap cyklu życia lub proces analizuje się w pięciu kategoriach (tabela 5).

Tab. 4. Karta kontrolna dla wybranej komórki macierzy ERPA (wybór materiałów przy produkcji kleju)

Etap procesu produkcyjnego	Nr komórki macierzy ERPA	Wskaźniki środowiskowe	Pytania z karty kontrolnej	Punktacja
Produkcja kleju	2.1	1. Substancje niebezpieczne w produkowanym kleju	Ile gram substancji niebezpiecznych zawiera 100 g produkowanego kleju skrobiowego?	0: 10g/100g 1: 20g/100g 2: 30gr/100g 3: 50g/100g 4: 70g/100g
		2. Skład wody w kleju	Jaki procent składników w kleju stanowi woda?	0: 80% 1: 60% 2: 40% 3: 20% 4: 0%
		3. Wykorzystanie podczyszczanej wody do produkcji kleju	Jaki procent wody stosowanej do produkcji kleju wykorzystuje się z podczyszczalni ścieków?	0: 100% 1: 60% 2: 40% 3: 20% 4: 0%
Końcowa wartość dla komórki 2.1				1,33

Źródło: [18]

W następnej kolejności dokonano oceny ważności procesów produkcyjnych za pomocą metody AHP. Najistotniejszym procesem produkcyjnym jest produkcja kleju, bowiem uzyskała współczynnik wagowy 0,34, następnie przygotowywanie farb (0,24), produkcja tektury (0,19), oczyszczanie ścieków (0,15) oraz produkcja opakowań (0,07) [18].

Następnie poprzez zastosowanie metody delfickiej określono współczynniki wagowe dla poszczególnych kryteriów środowiskowych. Najistotniejszym kryterium środowiskowym według ekspertów jest zużycie energii, bowiem uzyskano w tym przypadku współczynnik wagowy 0,41, następnie wybór materiałów 0,31, odpady ciekłe 0,13 oraz odpady stałe i emisja do powietrza - 0,07 [18].

W tabeli 5 zestawiono końcowe wartości dla poszczególnych komórek macierzy ERPA.

Mnożenie wartości wskaźników środowiskowych i wartości współczynników wagowych dla konkretnych komórek daje wynik w postaci macierzy odpowiedzialności środowiskowej, którą przedstawiono w tabeli 6.

Tab. 5. Macierz wskaźników środowiskowych

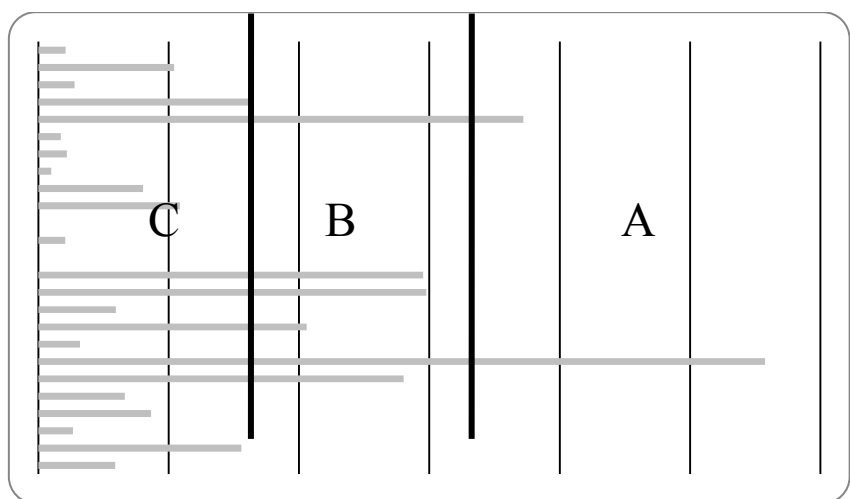
Analizowany proces	Wybór materiałów	Zużycie energii	Odpady stałe	Odpady ciekłe	Emisje do powietrza	Suma
Produkcja tektury falistej	0,50	1,00	1,00	1,75	2,50	6,75/20
Produkcja kleju	1,33	2,00	0,67	2,33	1,25	7,25/20
Przygotowanie farb	2,00	1,50	0,00	0,33	0,00	3,08/20
Produkcja opakowań	2,50	1,40	1,00	1,20	1,75	7,85/20
Oczyszczanie ścieków	4,00	1,33	1,33	2,67	1,00	10,33/20
Suma	9,25/20	7,23/20	4/20	8,28/20	6,5/20	36,34/100

Zródło: [18]

Tab. 6. Macierz odpowiedzialności środowiskowej

Analizowany proces	Wybór materiałów	Zużycie energii	Odpady stałe	Odpady ciekłe	Emisje do powietrza
Produkcja tektury falistej	0,0295	0,0779	0,0133	0,0432	0,0333
Produkcja kleju	0,1402	0,2788	0,0159	0,1030	0,0298
Przygotowanie farb	0,1488	0,1476	0,0000	0,0103	0,0000
Produkcja opakowań	0,0543	0,0402	0,0049	0,0109	0,0086
Oczyszczanie ścieków	0,1860	0,0818	0,0140	0,0521	0,0105

Zródło: [18]



Rys. 2. Hierarchizacja elementów macierzy według wartości odpowiedzialności środowiskowej Zródło: [18]

Rysunek 2 przedstawia hierarchizację elementów macierzy według wartości odpowiedzialności środowiskowej. Na osi pionowej zaznaczono numery poszczególnych komórek macierzy ERPA, natomiast na osi poziomej wartości odpowiedzialności środowiskowej dla poszczególnych komórek.

W wyniku przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że najbardziej pożądane obszary doskonalenia to [18]:

- proces produkcji kleju w obszarze zużycia energii,
- proces oczyszczania wody w zakresie wyboru materiałów.

Wynik ten może być podstawą do dalszych analiz i modelowania rozwiązań.

5. Podsumowanie i wnioski

Dotychczas powstało wiele metod, technik i narzędzi, które umożliwiają metodyczne podejście do analizy i oceny wpływu na środowisko, a ponadto są one wciąż rozwijane w ośrodkach naukowo-badawczych, jak również w samych przedsiębiorstwach, które mogą przystosowywać je do własnych potrzeb. Wybór odpowiedniej metody zależy od wielu czynników, wśród których można wymienić pożądany poziom dokładności analizy, stopień szczegółowości analizy, dostępność danych, oczekiwane rezultaty, zastosowania, a także czasochłonność, pracochłonność, koszty i in. Można zatem w zależności od potrzeb stosować proste metody, które nie wymagają dogłębnej analizy, lecz umożliwiają stworzenie szkicu problemu, a wówczas gdy wymagania co do szczegółowości są większe, należy korzystać z metod bardziej zaawansowanych jak np. metody macierzowe czy z najbardziej rozwiniętej metody oceny cyklu życia ze wspomaganie stosownych narzędzi komputerowych.

Przedstawione przykłady zastosowania metod takich jak szacowanie wskaźnika zasobochłonności, czy macierz ERPA pokazują w jaki sposób można podejść do analizy konkretnych zagadnień. Warto pamiętać przy tym o znacznej elastyczności tych metod, co oznacza możliwość ich dostosowania do określonych potrzeb. Nie powinien przy tym zniechęcać pewien stopień subiektywności rozwiązań, bowiem nie wydaje się on być większy niż w innych obszarach decyzyjnych projektowania.

Literatura

1. PKN-ISO/TR 14062 Zarządzanie środowiskowe. Włączenie aspektów środowiskowych do projektowania i rozwoju wyrobu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2004.
2. Gasparski W. (red.): Projektoznawstwo. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1988.
3. Baran J.: Ekoprojektowanie jako narzędzie opracowywania innowacyjnych technologii środowiskowych. (w:) Łączny J.M., Baran J., Ryszko A. (red.): Opracowywanie i wdrażanie innowacyjnych technologii środowiskowych stosowanych na zwałowiskach odpadów powęglowych. Podstawy teoretyczno-metodyczne i przykłady praktyczne. Wydawnictwo Naukowe ITE-PIB, Radom 2012.
4. Segarr-Oña M. del Val, De-Miguel-Molina M.: A review of the literature on eco-design in manufacturing industry: Are the institutions focusing on the key aspects? Review of Business Information Systems - Special Edition 2011, Vol. 15, s. 61-68.
5. Pigozzo D., Zanette E.T., Filho A.G., Ometto A.R., Rozenfeld H.: Ecodesign methods focused on remanufacturing. Journal of Cleaner Production, Vol. 18, 2010, s. 21-31.

6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią (Dz.Urz.UE L 285 z 31.10.2009, s. 10-35).
7. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcji, zużycia energii oraz innych zasobów przez produkty związane z energią (Dz.Urz.UE L 153 z 18.06.2010, s. 1-12).
8. Karlsson R., Luttrupp C.: EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, 2006, s. 1291-1298.
9. Zarządzanie środowiskowe. Komentarz do norm z serii ISO 14000. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007.
10. Bovea M.D., Pérez-Belis V.: A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 20, 2012, s. 61-71.
11. Masui K., Sakao T., Inaba A.: Quality Function Deployment for Environment: QFDE (1st Report). A Methodology in Early Stage of DFE). (w:) *International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokio 2001, s. 852-857.
12. Puglieri N., Ometto A., Miguel P.A.C.: Eco-design methods for developing new products based on QFD: a literature analysis. *Product: Management & Development*, Vol. 9, 2011, s. 23-29.
13. Hochschorner E., Finnveden G.: Evaluation of two simplified life cycle assessment methods. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 8, 2003, s. 119-128.
14. Kurczewski P., Lewandowska A. (red.): *Zasady prośrodowiskowego projektowania obiektów technicznych dla potrzeb zarządzania ich cyklem życia*. Wydawnictwo KMB DRUK, Poznań 2008.
15. Ecodesign Pilot <http://www.ecodesign.at/pilot/ONLINE/POLISH/INDEX.HTM>.
16. Beggeth S., Hochschorner E.: Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, 2006, s. 1420-1430.
17. Hur T., Lee J., Ryu J., Kwon E.: Simplified LCA and matrix methods in indentifying the environmental aspects of a product system. *Journal of Environmental Management*, Vol. 75, 2005, s. 229-237.
18. Pyter A.: *Proekologiczne kształtowanie opakowań z tektury falistej*. Praca magisterska napisana pod kierunkiem dr inż. Jolanty Baran (praca niepublikowana). Politechnika Śląska, Katowice 2011.

Dr inż. Jolanta BARAN
 Dr inż. Agnieszka JANIK
 Instytut Inżynierii Produkcji
 Politechnika Śląska
 41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28
 tel. (32) 277 73 88
 fax.: (32) 277 73 62
 e-mail: Jolanta.Baran@polsl.pl
 Agnieszka.Janik@polsl.pl