

METODY WSPIERAJĄCE ROZWÓJ EKOINNOWACJI TECHNICZNYCH: OCENA CYKLU ŻYCIA (LCA) I ROZWINIĘCIE FUNKCJI JAKOŚCI (QFD)

Aneta MASTERNAK-JANUS

Streszczenie: Celem niniejszego artykułu jest analiza metod wspierających rozwój ekoinnowacji technicznych, które są rozumiane jako nowe lub ulepszone produkty oraz procesy korzystnie wpływające na środowisko naturalne w całym cyklu życia. W związku z powyższym, scharakteryzowano dwie wybrane metody umożliwiające włączenie aspektów środowiskowych w proces rozwoju ekoinnowacji technicznych, tj. ocenę cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) oraz rozwinięcie funkcji jakości (QFD – Quality Function Deployment). Uzupełnieniem prowadzonych rozważań jest przedstawienie definicji i klasyfikacji ekoinnowacji.

Słowa kluczowe: ekoinnowacje produktowe, ekoinnowacje procesowe, ocena cyklu życia (LCA), metoda rozwinięcia funkcji jakości (QFD)

1. Wstęp

W ostatnich latach koncepcja zrównoważonego rozwoju środowiska i gospodarki coraz bardziej zyskuje na popularności wśród władz rządowych i społeczeństw. Skutkuje to naciskami na działalność innowacyjną przedsiębiorstw, które kierowane takimi czynnikami jak normy i regulacje prawne oraz wymagania ekologiczne konsumentów, w coraz większym stopniu są zmuszone uwzględniać aspekty środowiskowe w procesach innowacyjnych. Innowacje przyjazne środowisku prowadzą jednak nie tylko do wzrostu gospodarczego, lepszej jakości środowiska i wyższego poziomu życia społeczeństwa, ale mogą być narzędziem, za pomocą którego przedsiębiorstwa mogą przekształcić ograniczenia środowiskowe w korzyści takie jak: przewaga konkurencyjna, pozytywny wizerunek proekologicznej firmy, a nawet zmniejszenie kosztów operacyjnych. W związku z powyższym, podejmowanie inicjatyw ekoinnowacyjnych staje się kwestią strategiczną, pozwalającą odnieść sukces w długim horyzoncie czasowym.

Przedsiębiorstwa prowadząc działalność ekoinnowacyjną potrzebują metod i technik, za pomocą których różne kwestie bezpieczeństwa środowiskowego zostaną wdrożone w procesy rozwojowe innowacji. Opracowano wiele takich metod i technik wspierających inżynierów i projektantów, a wśród nich można wymienić ocenę cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) oraz metodę rozwinięcia funkcji jakości (QFD – Quality Function Deployment). Metody te wykazują wysoki potencjał w zakresie wprowadzania ekologicznych ulepszeń w produktach i procesach, ponieważ pozwalają na skuteczną identyfikację i hierarchizację zagrożeń środowiskowych (metoda LCA) oraz wymagań technicznych spełniających potrzeby środowiska (metoda QFD), a tym samym tworzą podstawy do identyfikowania obszarów ekoinnowacji.

Celem niniejszego artykułu jest charakterystyka wybranych metod i technik, które mogą być pomocne w rozwoju ekoinnowacji technicznych, tj. metody LCA oraz metody QFD.

Rozważania teoretyczne uzupełnione są przedstawieniem pojęcia i klasyfikacji ekoinnovazioneji.

2. Pojęcie i klasyfikacja ekoinnovazioneji

Ekoinnovazioneji określane również jako innowacje środowiskowe (environmental innovation), innowacje zrównoważone (sustainable innovation) lub zielone innowacje są różnie definiowane przez instytucje i naukowców. Ogólnie są rozumiane jako innowacje, które są korzystne dla środowiska naturalnego, a w związku z tym przyczyniają się do zrównoważonego rozwoju [1, 2]. Komisja Europejska definiuje więc ekoinnovazioneji jako „wszelkie formy innowacji, których celem jest znaczący i możliwy do udowodnienia postęp w kierunku zrównoważonego rozwoju, dzięki zredukowaniu wpływu na środowisko lub osiągnięciu bardziej efektywnego i odpowiedzialnego wykorzystania zasobów” [3]. Według definicji opracowanej w projekcie badawczym finansowanym przez Komisję Europejską pt. „Pomiar ekoinnovazioneji” [4] ekoinnovazioneji to „produkcja, asymilacja lub eksploatacja produktu, procesu produkcyjnego, usługi lub metody zarządzania i biznesowej, która jest nowa dla organizacji (została opracowana lub zaadaptowana) i która skutkuje, w całym swoim cyklu życia, zmniejszeniem ryzyka środowiskowego, zanieczyszczeń i innych negatywnych wpływów na wykorzystanie zasobów (w tym zużycie energii) w porównaniu do alternatywnych rozwiązań”. Podobne podejście prezentuje Obserwatorium Ekoinnovazioneji [5], które podaje, że ekoinnovazioneji to „wprowadzanie wszelkich nowych lub znacząco ulepszonych produktów (dobra lub usługi), procesów, zmian organizacyjnych lub rozwiązań marketingowych, które zmniejszają zużycie zasobów naturalnych (w tym materiałów, energii, wody i ziemi) oraz zmniejszają uwalnianie szkodliwych substancji przez cały cykl życia”.

Należy zaznaczyć, że wszystkie zaproponowane dotąd definicje ekoinnovazioneji zwracają uwagę na aspekty środowiskowe i podkreślają ich główny cel jakim jest zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko poprzez zorientowanie na efektywność wykorzystania surowców, efektywność energetyczną, redukcję emisji gazów cieplarnianych, redukcję odpadów, ponowne wykorzystanie materiałów i recykling, tworzenie lub wykorzystanie nowych materiałów. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) uznaje dodatkowo, że ekoinnovazioneji skutkują zmniejszeniem wpływu na środowisko, niezależnie od tego, czy cel ten był zamierzony, czy też nie [6].

Klasyfikacja ekoinnovazioneji może być prowadzona zgodnie z wytycznymi zawartymi w Podręczniku Oslo, a w związku z tym można wyróżnić cztery typy ekoinnovazioneji [7, 8]:

- ekoinnovazioneji produktowe – polegają na wprowadzaniu na rynek nowych lub ulepszonych wyrobów lub usług, których wpływ na środowisko w całym ich cyklu życia jest znacząco zminimalizowany; obejmują zarówno zmiany w materiałach i komponentach, parametrach technicznych, funkcjonalności, jak i wydłużenie czasu użytkowania oraz wykorzystanie surowców wtórnych,
- ekoinnovazioneji procesowe – polegają na wdrożeniu nowych lub ulepszonych metod produkcji lub dystrybucji w celu zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko; obejmują istotne zmiany w zakresie urządzeń, technologii, oprogramowania, które prowadzą do mniejszego zużycia zasobów naturalnych i energii wykorzystywanych w procesie produkcyjnym oraz/lub logistycznym,
- ekoinnovazioneji organizacyjne – dotyczą wdrożenia nowej metody organizacyjnej w praktyce biznesowej, organizacji miejsca pracy oraz relacji ze środowiskiem;

obejmują np. wdrażanie systemów zarządzania środowiskowego (EMS – Environmental Management Systems),

- ekoinnovazione marketingowe – dotyczą wdrożenia nowej metody marketingowej obejmującej znaczące zmiany w zakresie wzornictwa i opakowania, lokowania produktu, promocji lub cenie; mogą obejmować np. działania dotyczące uwzględniania aspektów środowiskowych podczas promocji produktu czy ustalania cen.

Do ekoinnovazione technicznych należą ekoinnovazione w obrębie produktów oraz procesów (TPP – technological product and process) [7]. Innymi słowy, można mówić o wdrożeniu ekoinnovazione technicznej, gdy na rynek został wprowadzony przyjazny dla środowiska produkt lub zostały zastosowane korzystne dla środowiska zmiany w procesie produkcyjnym.

3. Charakterystyka wybranych metod wspierających rozwój ekoinnovazione technicznych

Można zidentyfikować wiele metod i technik wspierających kreowanie i doskonalenie ekoinnovazioneacyjnych produktów i procesów, np. [9, 10, 11]:

- listy kontrolne – są używane do analizy wybranych obszarów (np. zużycie materiałów i energii, emisje do atmosfery) w całym cyklu życia produktu lub procesu, których ważność jest ustalana w przyjętej skali punktowej; pozwalają wskazać główne problemy środowiskowe,
- metoda MIPS (Material Input Per Service Unit) – polega na obliczaniu wskaźnika zasobochłonności, czyli zasobów materiałowych na jednostkę usługi (tzw. bagaż ekologiczny), co pozwala na opracowanie projektu produktu lub procesu charakteryzującego się mniejszym zużyciem zasobów w całym cyklu życia,
- macierz MECO (Materials, Energy, Chemicals, Others matrix) – szacuje wpływ na środowisko na każdym etapie cyklu życia określając zużycie materiałów, energii, związków chemicznych i innych substancji, co pozwala zidentyfikować etapy najbardziej problematyczne pod względem oddziaływania na środowisko,
- macierz ERPA (Environmentally responsible product/process assessment) – ma na celu ocenę w skali 0-4 pięciu etapów cyklu życia (produkcja wstępna, wytwarzanie, dystrybucja, użytkowanie, odnowienie/recykling/utylicacja) ze względu na pięć kryteriów (materiały, zużycie energii, odpady stałe, odpady ciekłe, emisje gazowe); dostarcza informacji o możliwościach zwiększenia efektywności środowiskowej produktu lub procesu,
- macierz MET (Materials, Energy, Toxic emissions) – klasyfikuje problemy środowiskowe na trzy kategorie: zużycie materiałów, zużycie energii, toksyczne emisje, i na tej podstawie identyfikuje najważniejsze problemy środowiskowe,
- metoda ECM (EcoDesign Checklist) – jest to lista kontrolna zawierające pytania, w celu ustalenia środowiskowych wąskich gardeł,
- metoda FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – identyfikuje potencjalne wady oraz przyczyny uszkodzeń i ma na celu zapewnienie wysokiej jakości ekoinnovazioneacyjnych produktów lub procesów,
- metoda ABC – pozwala na sklasyfikowanie cech i parametrów technicznych produktu lub procesu ze względu na analizowane kryterium środowiskowe na trzy grupy: A – problematyczne dla środowiska i wymagające poprawy, B – średnio

problematyczne dla środowiska, wymagające obserwacji i ewentualnych działań ulepszających, C – nieszkodliwe, nie wymagające żadnych działań,

- ocena cyklu życia (LCA) – zapewnia ilościowe określenie wpływu na środowisko produktu lub procesu w całym cyklu życia,
- metoda rozwinięcia funkcji jakości (QFD) – ustala relacje między wymaganiami dotyczącymi ochrony środowiska a atrybutami technicznymi produktów lub procesów.

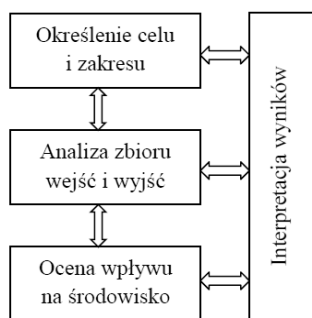
Niektóre z opisanych powyżej metod są dość szybkie i proste w użyciu (np. listy kontrolne, macierz MET, analiza ABC), inne wymagają większych umiejętności do ich właściwego wykorzystania oraz większej ilości danych do analizy (np. analiza LCA, metoda QFD). Ważne jest aby metody te były stosowane na wczesnych etapach procesu rozwoju ekoinnowacji technicznych, ponieważ tylko wówczas będą skuteczne.

4. Charakterystyka oceny cyklu życia (LCA) i metody rozwinięcia funkcji jakości (QFD)

4.1. Analiza LCA

Ocena cyklu życia (LCA) ma na celu ustalenie czynników związanych z danym produktem lub procesem, które mają potencjalny wpływ na środowisko [12]. Analiza ta może być prowadzona na wszystkich etapach cyklu życia, począwszy od wydobycia i pozyskania surowców, poprzez wytwarzanie, transport i dystrybucję, użytkowanie, recykling, aż do ostatecznego unieszkodliwienia. Regulowana przez normy PN-EN ISO 14040:2009 (Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura) [13] oraz PN-EN ISO 14044:2009 (Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne) [14] LCA obejmuje następujące etapy (rys. 1):

- Etap I: określenie celu i zakresu analizy,
- Etap II: analiza zbioru wejść i wyjść (Life Cycle Inventory – LCI),
- Etap III: ocena wpływu na środowisko (Life Cycle Impact Assessment – LCIA),
- Etap IV: interpretacja wyników.



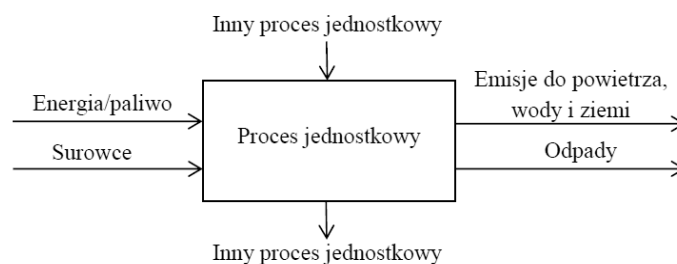
Rys. 1. Model oceny cyklu życia
Źródło: [13, 14]

Cel LCA ustala się indywidualnie dla każdego badania, przy czym powinien on jednoznacznie wskazywać zamierzone zastosowanie ekoinnowacji technicznej, powody prowadzenia badania oraz potencjalnego odbiorcę. W procesie rozwoju ekoinnowacji celem może być ukierunkowane produktów lub procesów na zmniejszenie zużycia

surowców naturalnych, energii, ilości wytwarzanych odpadów itp. Zakres analizy LCA związany jest ze zdefiniowaniem systemu i określeniem jego granic oraz ustaleniem jednostki funkcjonalnej. System ekoinnowacji technicznej powinien być rozumiany jako „jako zbiór materiałowo i energetycznie połączonych procesów jednostkowych” [15], natomiast granice tego systemu powinny stanowić procesy jednostkowe będące przedmiotem badania. Innymi słowy ustala się, które etapy cyklu życia zostaną objęte badaniem oraz jak szczegółowo będą badane [16]. Jednostkę funkcjonalną można zdefiniować jako ilościowy efekt systemu ekoinnowacji stosowany jako jednostka odniesienia do danych wejściowych i wyjściowych wykorzystywanych w badaniu [17]. Powinna być ona ustalana w odniesieniu do cech i funkcji kreowanej ekoinnowacji technicznej.

Drugi etap LCA obejmuje inwentaryzację i alokację danych oraz ich walidację i analizę jakości. Innymi słowy należy zebrać wszystkie dane wejściowe (np. zużycie surowców i energii) i wyjściowe (np. emisje zanieczyszczeń, odpady), które są lub mogą być związane z danym procesem jednostkowym znajdującym się w granicach systemu kreowanej ekoinnowacji technicznej (rys. 2). W tym celu należy wziąć pod uwagę [16]:

- wejścia i wyjścia w procesie wytwarzania,
- transport i dystrybucję,
- produkcję i wykorzystanie paliw i energii,
- wytwarzanie i wykorzystanie materiałów pomocniczych,
- wykorzystanie i konserwację wyrobów,
- wykorzystanie odpadów i surowców wtórnych,
- wytwarzanie, użytkowanie i likwidację wyposażenia podstawowego,
- inne aspekty np. oświetlenie, ogrzewanie.



Rys. 2. Powiązania procesu jednostkowego
Źródło: [17]

Zgromadzone dane należy przeliczyć na obraną jednostkę funkcjonalną. Należy podkreślić, że proces selekcji danych powinien być wykonany z należytą starannością, ponieważ decyduje o wiarygodności całego badania LCA. Najbardziej pożądane są dane uzyskane z własnych badań, jednak w przypadku ich braku dopuszczalnym jest korzystanie np. z baz danych o materiałach, technologiach wytwarzania czy różnych postaciach wytwarzania energii [18]. W przypadku kreowania nowego produktu lub procesu często może być to jedyne dostępne rozwiązanie.

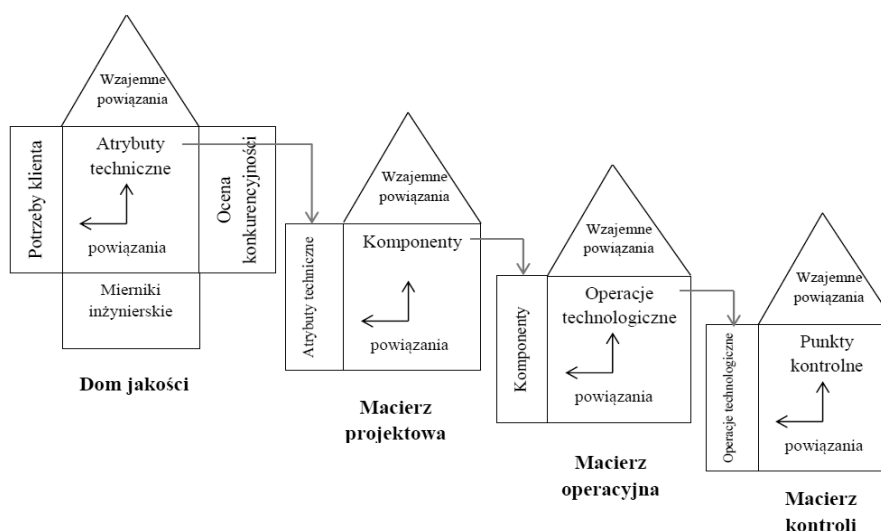
Celem trzeciego etapu LCA jest oszacowanie wielkości wpływu na środowisko wszystkich wejść i wyjść ustalonych w etapie poprzednim. Obowiązkowo należy więc dokonać wyboru kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania, a następnie przypisać zebrane wejścia i wyjścia do poszczególnych kategorii wpływu (tzw.

klasyfikacja) oraz obliczyć wartości wskaźników kategorii (tzw. charakteryzowanie) [14]. W praktyce wiąże się to z wyborem odpowiedniej metody do analizy LCA i związanych z nią kategorii wpływu na środowisko (np. zmiany klimatu, wpływ na układ oddechowy, ekotoksyczność, zużycie terenu, wydobycie paliw kopalnianych) oraz sposobu prezentacji wyników w postaci określonych wskaźników.

Ostatnim etapem LCA jest interpretacja uzyskanych wyników, która powinna prowadzić do sformułowania ostatecznych wniosków i podjęcia decyzji odnośnie rozwiązań technologicznych mających na celu zmniejszenie wpływu na środowisko tworzonego lub modyfikowanego produktu lub procesu. Szczególnie wyznaczenie zadania odwrotnego LCA, co opisują Rybaczewska-Błażejowska, Masternak-Janus i Gierulski [19] może przyspieszyć znalezienie optymalnego z punktu widzenia ochrony środowiska rozwiązania, ponieważ pozwala na obliczanie odpowiednich wartości wejść środowiskowych umożliwiających osiągnięcie pożądanych oddziaływań na środowisko, bez konieczności docierania do nich metodą prób i błędów.

4.2. Metoda QFD

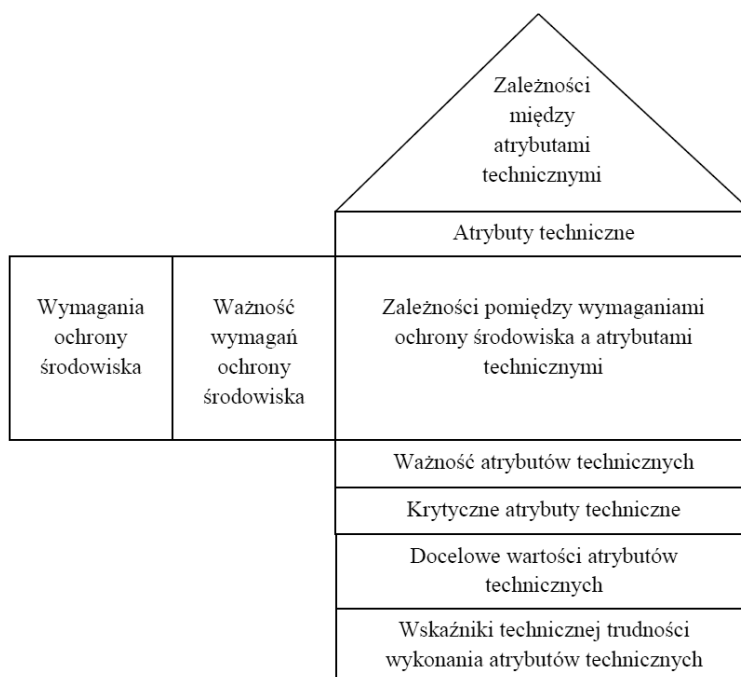
Metoda QFD jest stosowana w procesie planowania nowych produktów i procesów lub modyfikowania już istniejących, gdzie umożliwia tłumaczenie potrzeb i wymagań klienta na określone rozwiązania projektowe, począwszy od etapu generowania pomysłu, poprzez projektowanie, tworzenie prototypu, aż do produkcji i sprzedaży [20, 21]. Stosowanie QFD wymaga tworzenia szeregu macierzy, przy czym w procesie rozwoju produktu stosowane są cztery macierze, tj. pierwsza zwana domem jakości łączy wymagania klienta z atrybutami technicznymi, druga tzw. macierz projektowa łączy atrybuty techniczne z wymaganiami dotyczącymi komponentów produktu, trzecia macierz operacyjna łączy komponenty produktu z parametrami procesu wytwarzania, i wreszcie macierz kontroli łączy decyzje procesowe z decyzjami dotyczącymi planowania i kontroli produkcji (rys. 3). Metoda QFD może być wdrożona do opracowania dowolnych produktów i procesów [21], w tym w ramach działalności innowacyjnej przedsiębiorstw [22].



Rys. 3. Kolejność macierzy w metodzie QFD

Źródło: [21]

Zastosowanie metody QFD w procesie rozwoju ekoinnovazione technicznych wymaga uwzględnienia aspektów środowiskowych w całej procedurze postępowania. Przykładowo, tworzenie pierwszej macierzy, czyli domu jakości (rys. 4) należy rozpocząć od ustalenia wymagań dotyczących ochrony środowiska, które powinien spełniać projektowany produkt lub proces (np. zastosowanie materiałów podatnych na recykling, zmniejszenie wagi, niskie zużycie energii). Dla wymagań tych powinna zostać ustalona ich ważność, np. poprzez badania ankietowe lub metodą oceny eksperckiej [23]. Następnym krokiem jest przekształcenie wymagań środowiskowych na atrybuty techniczne, które pozwolą je spełnić. Kolejno należy przeprowadzić analizę zależności między atrybutami technicznymi oraz analizę zależności między wymaganiami środowiskowymi a atrybutami technicznymi. Po obliczeniu ważności atrybutów technicznych można ustalić atrybuty krytyczne, czyli takie, które szczególnie przyczynią się do spełnienia wymagań dotyczących ochrony środowiska, a w związku z tym będą wymagać szczególnej uwagi podczas projektowania. Ostatnimi działaniami przy tworzeniu domu jakości są ustalenie przyjaznych dla środowiska docelowych wartości atrybutów technicznych oraz określenie wskaźników technicznej trudności ich wykonania. Należy zaznaczyć, że liczba macierzy oraz pól w macierzach powinna zawsze zostać dostosowana do charakteru i złożoności zadania rozwojowego. W przypadku rozpatrywania różnych wariantów produktu lub procesu dodatkowymi polami mogą być np. benchmarking w zakresie wymagań ochrony środowiska (porównanie produktów lub procesów ze względu na spełnianie tych wymagań) oraz benchmarking techniczny (porównanie produktów lub procesów ze względu na wartość atrybutów technicznych).



Rys. 4. Struktura domu jakości w procesie rozwoju ekoinnovazione technicznych
Źródło: [23, 24]

5. Zakończenie

Obecnie coraz więcej przedsiębiorstw jest zainteresowanych kreowaniem i wdrażaniem ekoinnowacji technicznych, czyli produktów i procesów, które pozwalają ograniczać bezpośrednio i pośrednio szkody środowiskowe w całym ich cyklu życia. Aby działalność ekoinnowacyjna przynosiła efekty musi być wspierana odpowiednimi metodami i technikami. Do metod, które mogą wspomagać procesy decyzyjne zarówno w zakresie wyboru najistotniejszych priorytetów rozwojowych zgodnych z potrzebami środowiska jak i najlepszego wariantu ekoinnowacyjnego produktu lub procesu zaliczyć można analizę LCA oraz metodę QFD. Obie metody są uniwersalne i mogą być stosowane w wielu różnych branżach przemysłowych i usługowych. Jednocześnie posiadają pewne ograniczenia, które wpływają na możliwość ich adaptacji do ekoinnowacyjnych celów. W przypadku analizy LCA konieczne jest zastosowanie specjalistycznego, często kosztownego oprogramowania, co może stanowić istotną barierę wdrażania tej metody, zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP). Natomiast metoda QFD jest czaso- i pracochłonna, co wynika z konieczności gromadzenia i matematycznego przetwarzania wielu danych, a w efekcie często uzależniona od komputerowego wspomaganie. Niemniej jednak, zarówno LCA jak i QFD mogą być rekomendowane jako użyteczne narzędzia do poszukiwania rozwiązań zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Literatura

1. Rennings K.: Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32, 2000, 319-332.
2. Olejniczak K.: Innowacje ekologiczne jako narzędzie wspierania zrównoważonego rozwoju. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 19, 2005, 54-62.
3. CIP Eco-innovation first application and market replication projects. European Commission, 2013, <http://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/files/docs/faq/faq-call-2013.pdf>
4. Kemp R., Pearson P.: Final report MEI project about measuring eco-innovation. 2007, <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>.
5. Eco-Innovation Observatory: Methodological report. European Commission, Brussels, 2010.
6. Sustainable manufacturing and eco-innovation: towards a green economy. Policy Brief June 2009. OECD, 2009, <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/42957785.pdf>
7. Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd edition, OECD and Eurostat, 2005.
8. Reid A., Miedzinski M.: Eco-innovation. Final report for sectoral innovation watch. Technopolis Group, 2008.
9. Nowosielski R., Spilka M., Kania A.: Methodology and tools of ecodesign. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 23,1, 2007, 91-94.
10. Rossi M., Germani M., Zamagni A.: Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, 129, 2006, 361-373.

11. Hochschorner E.: Assessment of tools for Environmentally Preferable Procurement with a Life Cycle Perspective - The case of acquisition in Swedish Defence, Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Center for Environmental Strategies Research, Stockholm, 2004.
12. Burchart-Korol D.: Środowiskowa ocena technologii hutnictwa żelaza i stali na podstawie LCA, Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, 3, 2010, 5-13.
13. PN-EN 14040:2009, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.
14. PN-EN 14044:2009, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne.
15. Iwaniuk K., Buchwald T.: Przegląd zastosowań LCA dla oczyszczalni ścieków. Ekologia i Technika, 21, 5, 2013, s. 222-229.
16. Lesiuk A., Oleszczuk P., Kuśmierz M.: Zastosowanie techniki LCA w ekologicznej ocenie produktów, technologii i gospodarce odpadami [w:] Ryczkowski J. (red.): Adsorbenty i katalizatory. Wybrane technologie a środowisko. Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów, 2012, 453-466.
17. Masternak-Janus A., Rybaczevska-Błażejowska M.: Ocena cyklu życia (LCA) – metodologia i możliwości zastosowania [w:] Maciąg A. (red.): Współczesne uwarunkowania rozwoju społeczno-gospodarczego Świat-Polska-Region Świętokrzyski. Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2014, 506-517.
18. Samson-Bręk I.: Zastosowanie metody oceny cyklu życia LCA do oszacowania wpływu na środowisko wytwarzania paliwa biogazowego do silników spalinowych. Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Zakład Odnawialnych Zasobów Energii, Warszawa, 2011.
19. Rybaczevska-Błażejowska M., Masternak-Janus A., Gierulski W.: Inverse problem of LCA technique: An application in designing for environment (DfE). Management, 20, 2, 2016, 224-241.
20. Sullivan L.P.: Quality function deployment. Quality Progress 19, 6, 1986, 39–50.
21. Verma R., Maher T., Pullman M.: Effective Product and Process Development Using Quality Function Deployment. Cornell University, School of Hotel Administration, 1998, <http://scholarship.sha.cornell.edu/articles/561>.
22. Wolniak R.: The role of QFD method in creating innovation. Review of Problems and Solutions, 3, 15, 2016, 127-134.
23. Wolniak R., Sędek A.: Wykorzystanie metody QFD do projektowania proekologicznych produktów i usług. Problemy ekologii, 12, 4, 2008, 179-182.
24. Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością – teoria i praktyka, PWN, 2002.

Dr inż. Aneta MASTERNAK-JANUS
 Katedra Inżynierii Produkcji
 Politechnika Świętokrzyska
 25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
 tel./fax: (0-41) 342 42 52
 e-mail: amasternak@tu.kielce.pl