

Agnieszka JANIK  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
agnieszka.janik@polsl.pl

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA WYBRANYCH METOD I WSKAŹNIKÓW EKONOMICZNYCH, ŚRODOWISKOWYCH I SPOŁECZNYCH W ZRÓWNOWAŻONEJ OCENIE TECHNOLOGII

**Streszczenie.** W literaturze wymienia się wiele metod, które można zastosować do oceny technologii. Większość z nich ocenia jednak osobno efekty generowane przez technologię i tylko nieliczne pozwalają na ich zintegrowaną ocenę. Z tego względu w niniejszym artykule dokonano charakterystyki wskaźników stosowanych do oceny zrównoważonego rozwoju. Szczególną uwagę zwrócono na metody i wskaźniki pozwalające na zintegrowaną ocenę efektów generowanych przez technologie. Przegląd ten stał się podstawą oceny możliwości zastosowania poszczególnych metod i wskaźników w zrównoważonej ocenie technologii.

**Słowa kluczowe:** ocena technologii, zrównoważona ocena technologii, wskaźniki zrównoważonej oceny technologii

## THE ANALYSIS OF THE POSSIBILITY TO APPLY SELECTED ECONOMIC, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL INDICATORS FOR THE SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGY (SAT)

**Abstract.** The literature lists a number of methods that can be used to technology assessment. Most of them separately evaluate the effects generated by technology and only a few allow their integrated assessment. For this reason, in this paper the characteristic of indicators used for the sustainable development assessment has been presented. Particular attention has been paid to the methods and indicators allowing an integrated assessment of effects generated by technology. This review has become the basis for evaluation of the applicability of indicators for the Sustainability Assessment of the Technology.

**Keywords:** Technology Assessment (TA), Sustainability Assessment of the Technology (SAT), indicators for Sustainability Technology Assessment

## 1. Wprowadzenie

Rozwój nowych technologii od zawsze stanowi kluczowy czynnik rozwoju gospodarczego. Ich wprowadzenie generuje szereg efektów dla gospodarki, ale jednocześnie wpływa na jakość życia ludzi i stan środowiska przyrodniczego. Wpływ ten może być zarówno pozytywny (np. obniżenie zużycia paliwa i emisji spalin w konsekwencji zmniejszenia ciężaru pojazdów dzięki wykorzystywaniu do produkcji nowych kompozytów węglowych), jak i negatywny (np. zubożenie zasobów węgla i wzrost emisji zanieczyszczeń w wyniku zwiększonego zapotrzebowania na produkcję energii elektrycznej zużywanej przez samochody o napędzie elektrycznym). Z tego względu istotne staje się, aby podejmując decyzję o wprowadzeniu lub modyfikacji danej technologii brać pod uwagę nie tylko aspekty techniczne i ekonomiczne, ale uwzględnić także inne efekty generowane przez technologię w całym cyklu życia i na podstawie przeprowadzonej analizy wybrać taką technologię, której działanie będzie zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Koncepcja zrównoważonego rozwoju została zdefiniowana w opublikowanym w 1987 roku raporcie Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju „Nasza Wspólna Przyszłość”. Zgodnie z zapisami tegoż raportu zrównoważony rozwój to taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia nie są zaspokajane kosztem możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń<sup>1</sup>. Jest to możliwe tylko wówczas, gdy rozwój gospodarczy odbywa się z zachowaniem równowagi przyrodniczej i trwałości podstawowych procesów przyrodniczych oraz przy jego pozytywnym wpływie na jakość życia społeczeństwa. Jednocześnie dbałość o rozwój społeczny i stan środowiska przyrodniczego nie powinna spowalniać tempa rozwoju gospodarczego.

Idea zrównoważonego rozwoju jest powszechnie stosowana w różnych dziedzinach życia. Przykładem może być m.in. zrównoważona produkcja (czyli model działalności produkcyjnej, w którym wzrostowi wydajności towarzyszy zmniejszenie ilości surowców zużywanych w procesie produkcyjnym, zmniejszenie kosztów produkcji oraz ograniczenie poziomu zanieczyszczeń emitowanych do środowiska), czy też zrównoważona konsumpcja (czyli styl życia, w którym jednostki i grupy społeczne optymalnie, świadomie i odpowiedzialnie korzystają z dostępnych zasobów naturalnych, dóbr i usług uwzględniając ich oddziaływanie na środowisko w całym cyklu życia)<sup>2</sup>. Pojęcie zrównoważonego rozwoju znalazło również zastosowanie w obszarze oceny technologii wraz z pojawieniem się koncepcji zwanej zrównoważoną oceną technologii (ang. *Sustainability Assessment of Technologies* – SAT). Jej celem jest identyfikacja i ocena aspektów generowanych przez technologię w całym cyklu życia dla wskazania rozwiązania zapewniającego maksymalizację

---

<sup>1</sup> Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>, 10.03.2015.

<sup>2</sup> Komisja Europejska: Racjonalniej i ekologiczniej. Zrównoważona konsumpcja i produkcja. Urząd Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg 2010, s. 5.

efektów osiągniętych w trzech kluczowych wymiarach: gospodarczym, środowiskowym i społecznym.

W literaturze przedmiotu funkcjonuje wiele wskaźników, które można wykorzystywać do oceny efektów powstających w wyniku wdrożenia nowej, czy modyfikacji istniejącej technologii. Większość z nich dokonuje jednak osobnej oceny efektów ekonomicznych, środowiskowych i społecznych, co uniemożliwia ich porównywanie ze sobą. Tylko nieliczne metody oceniają te efekty łącznie i z tego względu ciągle istnieje potrzeba poszukiwania wskaźników, które pozwalałyby na zintegrowaną ocenę efektów generowanych przez technologię i odpowiedź na pytanie, który z wariantów danej technologii w większym stopniu zapewnia realizację zasad zrównoważonego rozwoju. W niniejszym artykule dokonano charakterystyki wskaźników ekonomicznych, środowiskowych i społecznych stosowanych do oceny zrównoważonego rozwoju. Szczególną uwagę zwrócono na metody i wskaźniki pozwalające na zintegrowaną ocenę efektów. Przegląd ten stał się podstawą oceny możliwości zastosowania poszczególnych metod i wskaźników w zrównoważonej ocenie technologii.

## 2. Koncepcja zrównoważonej oceny technologii

Ocena technologii (ang. *Technology Assessment* – TA) jest wielodyscyplinarnym procesem analizy konkretnych technologii i ich skutków z punktu widzenia kryteriów społecznych, politycznych, ekologicznych, itp.<sup>3</sup> Jest procesem badania oddziaływania nowoczesnych technologii i innowacyjnych produktów na obszar „pozatechniczny” tzn. na funkcjonowanie człowieka w wymiarze indywidualnym (jednostkowym), jak i w wymiarze społecznym<sup>4</sup>. Celem wykonania TA jest przede wszystkim ocena skutków generowanych przez technologie pozwalająca na wczesną identyfikację możliwych zagrożeń i niepożądanych efektów ubocznych wynikających z innowacji technologicznych. Ponadto TA może być wykonana dla wskazania oraz oceny zalet i wad technologii, co ma pozwolić na poznanie ich potencjału i opracowywanie innowacji technologicznych, które lepiej będą odpowiadać na potrzeby i oczekiwania różnych grup społecznych. W klasycznym modelu TA, którego koncepcja została opracowana przez amerykańskie Biuro Oceny Technologii, ocena potencjalnych długofalowych zastosowań technologii i ich wpływu na rozwój społeczno-gospodarczy dokonywana jest przez ekspertów, natomiast w partycypacyjnym modelu TA,

---

<sup>3</sup> Karczewska M., Materzok J., Skonieczny J.: Współczesne narzędzia oceny technologii, [w:] Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011, s. 454-462.

<sup>4</sup> Kaźmierczak J.: Ocena oddziaływań społecznych innowacyjnych produktów i technologii („Technology Assessment”), [w:] Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2013, s. 124-137.

stosowanym przez europejskie instytucje oceny technologii, w proces oceny aktywnie angażuje się podmioty zainteresowane wprowadzeniem technologii oraz obywateli<sup>5</sup>.

W obszarze oceny technologii w ostatnich latach pojawiło się wiele różnych koncepcji. Jedną z nich jest zrównoważona ocena technologii (ang. *Sustainability Assessment of Technologies* – SAT), która stanowi rozwinięcie opracowanej w latach 90. koncepcji oceny technologii środowiskowych (ang. *Environmental Technology Assessment* – EnTA) koncentrującej się na identyfikacji i ocenie oddziaływania na środowisko technologii ochrony środowiska. Dążenie do realizacji zasad zrównoważonego rozwoju spowodowało, że zaczęto poszukiwać nowego sposobu oceny, który można byłoby stosować do analizy różnych rodzajów technologii (a nie tylko technologii środowiskowych), a także który pozwoliłby na zintegrowaną ocenę różnych kategorii efektów generowanych przez technologię (a nie tylko ocenę wpływu na środowisko, czy na społeczeństwo). Rezultatem tych poszukiwań było opracowanie koncepcji zrównoważonej oceny technologii (SAT).

Zgodnie z definicją UNEP, SAT to systematyczna procedura, w której technologia jest oceniana pod kątem jej potencjalnego wpływu na trwały rozwój społeczno-gospodarczy w następujących kategoriach: 1) aspekty ekonomiczno-finansowe, (2) postęp techniczny, (3) oddziaływanie środowiskowe (wpływ na zużycie zasobów oraz na jakość środowiska) oraz (4) aspekty społeczno-kulturowe<sup>6</sup>. Analizie poddawany jest cały cykl życia technologii, a nie tylko faza jej użytkowania. Początkowo SAT stosowana była jedynie do oceny funkcjonujących technologii, jednak w ramach projektu PROSUITE (ang. *Prospective Sustainability Assessment of Technologies*) opracowana została metodologia pozwalająca na ocenę potencjalnych skutków projektowanych nowych technologii<sup>7</sup>.

Metodę SAT stosuje się jako narzędzie wspomagające proces podejmowania decyzji na różnych poziomach zarządzania. Może być ona z powodzeniem wykorzystywana na poziomie strategicznym – przy opracowywaniu dokumentów strategicznych i polityk, jak również na poziomie operacyjnym – przy porównaniu alternatywnych rozwiązań technologicznych stosowanych w danym przedsiębiorstwie. Na każdym z tych poziomów jej zadaniem jest ocena i wskazanie rozwiązania, które najlepiej integruje kwestie środowiskowe z akceptacją społeczno-kulturową przy równoczesnym uwzględnieniu techniczno-ekonomicznych możliwości zastosowania danego rozwiązania.

---

<sup>5</sup> Stankiewicz P.: Klasyczna i partycypacyjna ocena technologii. „Studia BAS”, nr 3(43), 2013, s. 35-54.

<sup>6</sup> UNEP: Application of the Sustainability Assessment of Technologies Methodology: Guidance Manual. United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), International Environmental Technology Centre (IETC), Osaka 2012, p. 2-17.

<sup>7</sup> Blok K., Huijbregts M., Patel M., Hertwich E., Hauschild M., Sellke P., Antunes P., Hellweg S., Ciroth A., Mays C., Harmelink M., Ramirez A.: Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies. PROSUITE Project, 2013, p. 64.

W literaturze przedmiotu wymienia się różne metody wykorzystywane do oceny technologii<sup>8</sup>. Z uwagi na brak jednej uniwersalnej metodyki, jak i interdyscyplinarny charakter samej oceny, TA korzysta z metod wywodzących się z różnych dziedzin nauk, w tym przede wszystkim z nauk przyrodniczych, społecznych, ekonomicznych, inżynierskich, itd. Do metod stosowanych przy ocenie technologii zaliczyć można: a) metody strukturalizujące, jak analiza oddziaływań na środowisko, czy analiza wejścia-wyjścia, b) metody prognostyczne, wśród których wyróżnić można metody ekstrapolacyjne, czy metody scenariuszowe, c) metody heurystyczne, których przykładem jest metoda burzy mózgów, czy metoda delficka oraz d) metody ewaluacyjne, jak analiza opłacalności, czy analiza kosztów i korzyści<sup>9</sup>. W zależności od sposobu prezentacji uzyskanych wyników analiz, metody stosowane w TA można podzielić na: a) metody jakościowe (metoda burzy mózgów, czy metody scenariuszowe), b) metody półilościowe (analiza ryzyka, czy metoda krzyżowej analizy wpływów) oraz c) metody ilościowe (metoda wskaźnikowa, czy metody ekstrapolacyjne)<sup>10</sup>.

W odniesieniu do zrównoważonej oceny technologii, gdzie dąży się do łącznej oceny różnych bezpośrednich, jak i pośrednich skutków generowanych przez technologię w całym cyklu życia, najczęściej do oceny wykorzystuje się metodę wskaźnikową, za pomocą której zebrane informacje są wyrażane w postaci jednoznacznych miar<sup>11</sup>. Niestety zazwyczaj poszczególne rodzaje efektów wyrażane są w różnych miarach (np. koszty i korzyści finansowe w wartościach pieniężnych, wpływ na środowisko – w jednostkach naturalnych, natomiast wpływ na społeczeństwo – w skali Likerta), co niewątpliwie utrudnia, a czasem wręcz uniemożliwia, porównywanie ze sobą uzyskanych wyników i zintegrowaną ocenę technologii. Z tego względu, przeprowadzenie zrównoważonej oceny technologii wymaga zastosowania wielokryterialnej analizy decyzyjnej (ang. *multi-criteria desision analysis* – MCDA) pozwalającej na agregowanie wielu kryteriów (również trudnych do porównania z innymi) i tym samym rozwiązującej problem wyboru rankingu sortowania konkurujących alternatyw w różnych dziedzinach. Aby jednak zastosowanie MCDA było możliwe, konieczne jest wskazanie kryteriów i wskaźników, na podstawie których taka analiza ma zostać wykonana.

---

<sup>8</sup> Michalski K.: Przegląd metod i procedur wykorzystywanych w ocenie technologii. „Studia BAS”, nr 3(43), 2015, s. 55-86; Nazarko Ł.: Technology Assessment in Construction Sector as a Strategy towards Sustainability. „Procedia Engineering”, Vol. 122, 2015, p. 290-295; Tran T.A., Daim T.: A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment. “Technological Forecasting & Social Change”, Vol. 75, 2008, p. 1396-1405.

<sup>9</sup> Michalski K.: Przegląd..., op.cit.

<sup>10</sup> Nazarko Ł.: op.cit.

<sup>11</sup> Kaźmierczak J.: Technology Assessment: uwagi na temat metodologii, metodyki i metod, [w:] Karbownik A. (red.): Paradygmat sieciowy: wyzwania dla teorii i praktyki zarządzania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013, s. 279-299.

### 3. Przegląd metod i wskaźników wykorzystywanych do oceny poszczególnych aspektów generowanych przez technologie

Wprowadzenie nowej, czy modyfikacja istniejącej technologii powoduje szereg bezpośrednich i pośrednich skutków, które mogą pozytywnie lub negatywnie wpływać na rozwój poszczególnych komponentów makrosystemu gospodarka-środowisko-społeczeństwo. Efektów generowanych przez daną technologię może być bardzo dużo i z tego względu niezmiernie trudnym zadaniem może okazać się zidentyfikowanie i uwzględnienie ich wszystkich w analizie. Z uwagi na to, że zazwyczaj niektórym skutkom przypisuje się większe znaczenie niż innym, często dokonuje się ograniczenia liczby efektów branych pod uwagę przy ocenie danej technologii poprzez zastosowanie odpowiednich kryteriów oceny istotności aspektów pozwalających na integrację lub wyłączenie z obszaru analizy niektórych skutków<sup>12</sup>.

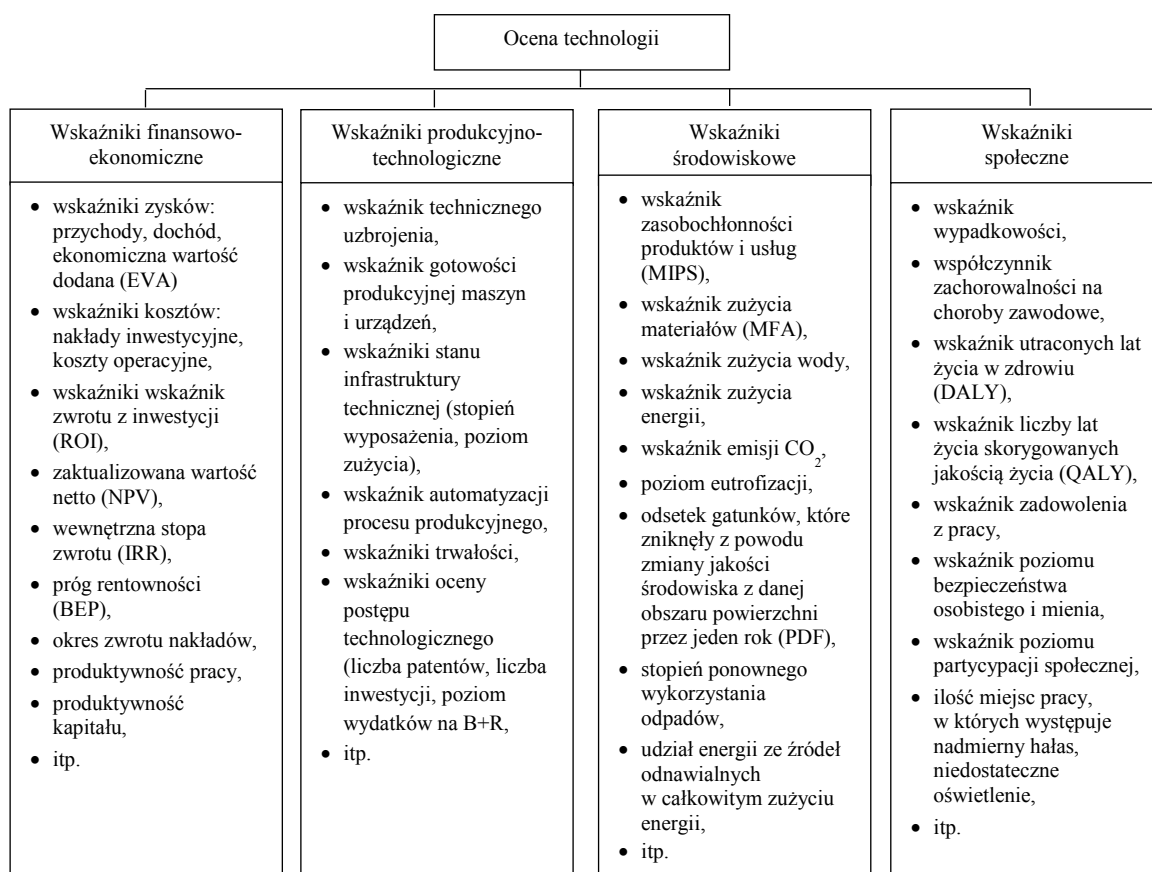
W przypadku zrównoważonej oceny technologii (SAT) efektami, jakie należy uwzględnić w analizie są przede wszystkim efekty finansowo-ekonomiczne, produkcyjno-technologiczne, ekologiczne i społeczne. Zgodnie z zaleceniami UNEP zrównoważona ocena technologii powinna opierać się na metodzie wskaźnikowej, do wykonania której należy zastosować kryteria i wskaźniki zaproponowane w ramach metodyki EnTA rozszerzając je o wskaźniki ekonomiczne i społeczne stosowane w ocenie zrównoważonego rozwoju. Użyte kryteria i wskaźniki powinny umożliwiać ocenę efektów w całej perspektywie cyklu życia technologii. Dodatkowo powinno preferować się wskaźniki ilościowe zapewniające bardziej obiektywną ocenę w porównaniu ze wskaźnikami półilościowymi, czy jakościowymi<sup>13</sup>.

Dla określenia kryteriów i wskaźników, które powinno się zastosować do zrównoważonej oceny technologii, w pierwszej kolejności dokonano przeglądu literatury, w wyniku którego zidentyfikowane zostały wskaźniki stosowane powszechnie do oceny efektów finansowo-ekonomicznych, produkcyjno-technologicznych, środowiskowych oraz społecznych generowanych przez technologie. Ich wykaz został zaprezentowany na rys. 1. Należy zaznaczyć, że przedstawiona lista wskaźników wymienia tylko przykładowe wskaźniki i w praktyce jest ich znacznie więcej.

---

<sup>12</sup> Michalski K.: Problemy metodologiczne w zarządzaniu projektami z zakresu oceny technologii. „Modern Management Review”, Vol. 22(3), 2015, s. 113-131.

<sup>13</sup> UNEP: op.cit.



Rys. 1. Przykładowe wskaźniki stosowane do oceny ekonomicznych, środowiskowych i społecznych efektów generowanych przez technologię

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury z zakresu ekonomii, ochrony środowiska oraz nauk społecznych.

Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że oprócz wskaźników zaprezentowanych na rys. 1 często do oceny poszczególnych rodzajów efektów generowanych przez technologie stosuje się metody pozwalające na analizę efektów i ich ocenę w szerszym ujęciu niż zaprezentowane powyżej wskaźniki (często z uwzględnieniem całego cyklu życia). Ich przykłady zostały zaprezentowane w tabeli 1.

Tabela 1

Przykładowe metody stosowane do oceny efektów ekonomicznych, środowiskowych i społecznych generowanych przez technologie

Rodzaj efektu	Nazwa metody	Źródło literaturowe
Efekty ekonomiczne	Rachunek kosztów cyklu życia (ang. <i>Life Cycle Costing – LCC</i> )	M. Wierzbiński (2014)
	Analiza efektywności kosztowej (ang. <i>Cost-Effectiveness Analysis – CEA</i> )	Przewodnik po analizie kosztów (2015)
Efekty produkcyjno-technologicznych	Metody obliczania wskaźnika całkowitej wydajności maszyn (ang. <i>Overall Equipment Effectiveness – OOE</i> )	A. Loska (2013)

cd. tabeli 1

Efekty środowiskowe	Ocena cyklu życia (ang. <i>Life Cycle Assessment – LCA</i> )	PN-EN ISO 14040:2009, J. Baran (2014)
	Macierzowe metody oceny wpływu na środowisko (ERPA, MECO, EBM, MET)	J. Baran i A. Janik (2013)
	Ślad ekologiczny, ślad węglowy, ślad wodny (ang. <i>Ecological, Carbon or Water Footprint</i> )	L. Kłós (2014); J. Kulczycka i M. Wernicka (2015)
	Eco-compass	P. Brzustewicz (2016)
Efekty społeczne	Społeczna ocena cyklu życia (ang. <i>Social Life Cycle Assessment – SLCA</i> )	UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (2009)
	Ocena skutków społecznych (ang. <i>Social Impact Assessment – SIA</i> )	A. Brent, C. Labuschagne (2006)
	Ocena skutków społecznych generowanych przez produkt (ang. <i>Product Social Impact Assessment – PSIA</i> ),	RPSM: Handbook for PSIA (2016)

Źródło: Baran J.: Ilościowe metody oceny wpływu na środowisko wspomagające ekoprojektowanie w ekologii. „Logistyka”, nr 6, 2014, s. 14010-14020; Baran J., Janik A.: Zastosowanie wybranych metod analizy i oceny wpływu cyklu życia na środowisko w procesie ekoprojektowania, [w]: Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2013, s. 22-33; Brent A., Labuschagne C.: Social Indicators for Sustainable Project and Technology Life Cycle Management in the Process Industry. “The International Journal of Life Cycle Assessment”, Vol. 11, Iss. 1, 2006, p. 3-15; Brzustewicz P.: The Application of Eco-Compass Method in Sustainable Product Development. “Acta Scientiarum Polonorum. Oeconomia”, Vol. 15(1), 2016, p. 5-14; Kłós L.: Ślad ekologiczny jako nieekonomiczny miernik jakości życia społeczeństwa. „Studia Ekonomiczne”, nr 166, 2014, s. 67-77; Kulczycka J., Wernicka M.: Metody i wyniki obliczania śladu węglowego działalności wybranych podmiotów branży energetycznej i wydobywczej. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, nr 89, 2015, s. 133-142; Loska A.: Exploitation assessment of selected technical objects using taxonomic methods. „Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”, Vol. 15(1), 2013, p. 1-8; PN-EN ISO 14040:2009 Systemy zarządzania środowiskowego. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura. PKN, Warszawa 2011; Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020. Komisja Europejska, 2014, s. 375-376; Roundtable for Product Social Metrics: Handbook for Product Social Impact Assessment. Version 3.0. PRé Sustainability. Netherlands 2016; UNEP/SETAC Life Cycle Initiative: Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. United Nations Environment Programme, Paris 2009; Wierzbński M.: Istota rachunku kosztów cyklu życia technologii. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego, nr 335. Wrocław 2014, s. 231-239.

Wymienione na rys. 1 oraz w tabeli 1 wskaźniki i metody pozwalają na ocenę każdego rodzaju efektu osobno, czyli są dedykowane albo tylko ocenie efektów finansowo-ekonomicznych, albo efektów produkcyjno-technologicznych, albo efektów środowiskowych, albo efektów społecznych. Dodatkowo wskaźniki wyrażane są za pomocą różnych miar – np. wskaźnik zysków i przychodów, czy wskaźnik NPV jest wyrażany w wartościach pieniężnych, wskaźnik ROI, czy wskaźnik udziału energii z odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii – w wartościach procentowych, natomiast wskaźnik zużycia wody, wskaźnik emisji CO<sub>2</sub>, wskaźnik DALY, wskaźnik zadowolenia z pracy – w wartościach liczbowych przedstawiających odpowiednio ilość zużytych m<sup>3</sup> wody, ilość Mg CO<sub>2</sub> wyemitowanego do atmosfery, liczbę lat życia utraconych w zdrowiu, czy też poziom zadowolenia z pracy wyrażony w skali Likerta. Podobna sytuacja występuje w odniesieniu do



metod wymienionych w tabeli 1, gdzie w metodzie rachunku kosztów cyklu życia ich sumaryczna wartość wyrażona jest w wartościach pieniężnych, natomiast w metodzie oceny cyklu życia prezentującej wyniki LCA w punktach końcowych szkody w zdrowiu ludzkim wyraża się liczbą lat życia utraconych w zdrowiu, szkody w jakości ekosystemu – liczbą potencjalnie utraconych gatunków roślin i zwierząt w wyniku wystąpienia zmian w jakości środowiska, a szkody w zasobach naturalnych – liczbą MJ energii, jaką trzeba będzie w przyszłości zużyć dodatkowo na wydobycie 1kg zasobu. Taki sposób prezentacji wyników nie pozwala na łączną ocenę różnych rodzajów efektów i tym samym na zrównoważoną ocenę technologii.

Z tego względu w kolejnym kroku określenia kryteriów i wskaźników, które powinno się zastosować do zrównoważonej oceny technologii, zidentyfikowano zestawy wskaźników, które zgodnie ze swoją nazwą lub celem, dla jakiego zostały opracowane, mają pozwalać na ocenę z punktu widzenia trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju: wzrostu gospodarczego, wpływu na jakość środowiska przyrodniczego oraz wpływu na dobrobyt społeczny. Zbiorcze zestawienie wskaźników wraz z podaniem źródeł literaturowych, gdzie można znaleźć szczegółowe informacje na temat każdego z nich, zamieszczono w tabeli 2. Należy zaznaczyć, że są tylko przykładowe zestawy wskaźników stosowanych do zrównoważonej oceny, a kolejne przykłady można znaleźć m.in. w innych pozycjach<sup>14</sup>.

Tabela 2

## Przykładowe zestawy wskaźników stosowanych do oceny zrównoważonego rozwoju

Obszar zastosowania	Nazwa	Liczba wskaźników	Źródło literaturowe
Wskaźniki wykorzystywane do oceny i raportowania osiągnięć w zakresie zrównoważonego rozwoju	Wytyczne do raportowania kwestii zrównoważonego rozwoju (GRI)	ok. 70 wskaźników	<a href="http://www.globalreporting.org/standards">www.globalreporting.org/standards</a>
	Wskaźniki ONZ w zakresie zrównoważonego rozwoju (UN-CSD)	96 wskaźników	<a href="http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf">www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf</a>
	Wskaźniki OECD w zakresie zielonego wzrostu (OECD Green Growth Indicators)	17 grup wskaźników	<a href="http://www.oecd.org/environment/greengrowthindicators.htm">www.oecd.org/environment/greengrowthindicators.htm</a>
	Miernik trwałego dobrobytu ekonomicznego (ISEW)	20 wskaźników	Lawn P.A. (2003) [24]

<sup>14</sup> Należy zaznaczyć, że wymienione w tabeli 2 zestawy wskaźników służą do oceny trzech wymiarów zrównoważonego rozwoju. W literaturze przedmiotu można znaleźć metody, które również opierają się na zestawach wskaźników, jednakże za ich pomocą oceniany jest tylko jeden lub dwa rodzaje efektów – np. wskaźnik efektywności środowiskowej (ang. *Environmental Performance Index* – EPI) oceniający jedynie efekty środowiskowe lub wskaźnik rozwoju społecznego (ang. *Human Development Index* – HDI) łączący ocenę efektów społecznych i ekonomicznych. Singh R.K., Murty H.R., Gupta S.K., Dikshit A.K.: An overview of sustainability assessment methodologies. "Ecological Indicators", Vol. 9, 2009, p. 189-212.

cd. tabeli 2

Wskaźniki stosowane do zrównoważonej oceny rozwoju miast	Circles of Sustainability	28 grup wskaźników	<a href="http://www.circlesofsustainability.org/circles-overview/profile-circles/">www.circlesofsustainability.org/circles-overview/profile-circles/</a>
Wskaźniki stosowane do oceny poziomu zrównoważonego rozwoju organizacji	Dow Jones sustainability group indices (DJSGI)	12 grup wskaźników	<a href="http://www.sustainability-indices.com/library/guidebooks.jsp">www.sustainability-indices.com/library/guidebooks.jsp</a>
Wskaźniki stosowane do oceny poziomu zrównoważonego rozwoju produkcji	NIST Sustainable Manufacturing Repository	212 wskaźników	<a href="http://www.me1.nist.gov/msid/SMIR/Indicator_Repository.html">www.me1.nist.gov/msid/SMIR/Indicator_Repository.html</a>
	OECD Sustainable Manufacturing Toolkit	18 wskaźników	<a href="http://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/">www.oecd.org/innovation/green/toolkit/</a>
Wskaźniki stosowane do oceny zrównoważonego rozwoju produktów	Ford Product Sustainability Index (PSI)	8 wskaźników	<a href="http://www.corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2015-16/doc/sr15-ford-psi.pdf">www.corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2015-16/doc/sr15-ford-psi.pdf</a>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji zamieszczonych w źródłach wymienionych w tabeli.

Zastosowanie większości z wymienionych w tabeli 2 zestawów wskaźników wymaga dużego nakładu czasu pracy, który trzeba poświęcić na zebranie informacji, a następnie na wyznaczenie wartości poszczególnych wskaźników cząstkowych. Wskaźniki te wyrażane są w różnych jednostkach miary, co utrudnia ich porównanie ze sobą. Dodatkowo duża ilość wyników cząstkowych często uniemożliwia wskazanie najlepszego rozwiązania z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju. Z tego względu w praktyce powszechnie stosuje metody ograniczające ilość wskaźników użytych do oceny poszczególnych efektów i pozwalające na agregowanie wyników cząstkowych uzyskiwanych w różnych wymiarach zrównoważonego rozwoju do jednego wskaźnika. Metody te najczęściej oparte są na wielokryterialnej ocenie aspektów, a do agregacji wyników zazwyczaj wykorzystuje się wielokryterialną metodę hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych (ang. *Analytic Hierarchy Process* – AHP). Przykładowy wykaz metod opartych na wielokryterialnej ocenie aspektów został zamieszczony w tabeli 3.

Tabela 3

## Przykłady metod opartych na wielokryterialnej ocenie aspektów

Nazwa metody	Krótką charakterystyka	Źródło literaturowe
Środowiskowe koszty cyklu życia (ang. <i>Environmental LCC</i> – eLCC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny jest wartość konwencjonalnych kosztów cyklu życia oraz środowiskowych efektach zewnętrznych wyrażonych w wartościach pieniężnych,</li> <li>• dane agregowane dzięki wyrażeniu ich w wartościach pieniężnych,</li> <li>• wynik końcowy przedstawiany w formie jednej wartości pieniężnej.</li> </ul>	D. Hunkeler i in. (2008), A. Janik (2016)
Analiza kosztów i korzyści (ang. <i>Cost-Benefits Analysis</i> – CBA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny jest pieniężna wartość efektów generowanych przez technologię,</li> <li>• dane agregowane dzięki wyrażeniu ich w wartościach pieniężnych,</li> <li>• wynik końcowy przedstawiony w postaci FNPV oraz ENPV.</li> </ul>	Przewodnik po analizie kosztów (2015)

cd. tabeli 3

Analiza eko-efektywności (ang. <i>Eco-efficiency Analysis</i> – <b>EEA</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny są efekty środowiskowe wyrażone np. w postaci wyników LCA oraz efekty ekonomiczne wyrażone w postaci np. wartości dodanej lub kosztów cyklu życia,</li> <li>• agregacja danych następuje jedynie w przypadku efektów środowiskowych,</li> <li>• wynik przedstawiany graficznie w postaci środowiskowego śladu (ang. <i>ecological footprint</i>) lub portfolio.</li> </ul>	PN-EN ISO 14045: 2012, M. Kleiber i in. (2011)
Analiza efektywności ekonomiczno-ekologiczno-społecznej ( <b>SEEBalance</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny jest wskaźnik eko-efektywności oraz socjo-efektywności,</li> <li>• wykorzystuje metodę LCC, LCA oraz SLCA,</li> <li>• dokonuje agregacji danych zgodnie z metodologią przyjętą w metodach LCC, LCA oraz SLCA,</li> <li>• wynik przedstawiony graficznie w formie niezagregowanego wykresu słupkowego, a po zagregowaniu wyników - w postaci społecznego śladu (ang. <i>social footprint</i>) lub portfolio SEEcube.</li> </ul>	D. Kolsch i in. (2008)
Zrównoważony Produkt (ang. <i>Product Fit to Sustainability – ProfitS</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny jest ocena poszczególnych rodzajów efektów wykonana przy zastosowaniu narzędzia: (1) EcoGrade łączącego LCA z analizą ryzyka środowiskowego, (2) Life-Cycle Costing, (3) Socio-Grade opierającego się na SLCA i (4) BeneGrade oceniającego korzyści z użytkowania produktu,</li> <li>• każdy efekt jest wyrażany w punktach oddziaływania zgodnie ze swoim wkładem w realizację przyjętych celów w danych wymiarze (10-punktowa skala oceny),</li> <li>• agregacja danych następuje na podstawie wyznaczonych wartości średnich w każdym obszarze,</li> <li>• wynik przedstawiany w formie jednej wartości liczbowej lub w formie graficznej za pomocą wykresu słupkowego lub radarowego.</li> </ul>	R. Griebhammer i in. (2007), <a href="http://www.prosa.org">www.prosa.org</a>
Prospektywna Zrównoważona ocean technologii (ang. <i>Prospective Sustainability Assessment of Technologies – PROSUITE</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą jest ocena wskaźnikowa dokonana w pięciu wymiarach (zdrowie ludzkie, dobrobyt społeczny, dobrobyt gospodarczy, środowisko naturalne, wyczerpywanie się zasobów),</li> <li>• wyniki poszczególnych wskaźników najpierw poddaje się procesowi normalizacji w każdym wymiarze oceny, a później można je poddać procesowi agregacji w celu możliwości wyrażenia ich za pomocą jednego wskaźnika,</li> <li>• wynik przedstawiany w postaci niezagregowanej w różnych jednostkach dla każdego wymiaru osobno lub w formie zagregowanej jako jedna wartość niepieniężna dla wszystkich wymiarów oceny.</li> </ul>	Blok K. i in. (2013)
Life cycle index ( <b>LInX</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą jest ocena wskaźnikowa oparta na 20 wskaźnikach, które w kolejnych etapach oceny są stopniowo agregowane aż do uzyskania jednego wskaźnika,</li> <li>• wynik przedstawiany w postaci jednego zagregowanego wskaźnika wyrażonego liczbowo.</li> </ul>	Khan F.I. i in. (2004)
Metoda wartości zrównoważonej (ang. <i>Sustainable Value – SustV</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny jest wyznaczenie wartości kosztów utraconych możliwości poprzez obliczenie efektywności wykorzystania poszczególnych rodzajów zasobów przedsiębiorstwa i porównania otrzymanej wartości z wartością uzyskaną w tym obszarze przez inne przedsiębiorstwo lub w danym kraju (benchmarking),</li> <li>• wyniki cząstkowe, jak i wynik końcowy przedstawiany w wartościach pieniężnych.</li> </ul>	Figge F. i in. (2006), <a href="http://www.sustainablevalu.com">www.sustainablevalu.com</a>

cd. tabeli 3

Model zrównoważonej oceny (ang. <i>Sustainability Assessment Model – SAM</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą oceny jest wyznaczenie całkowitych kosztów generowanych przez dany projekt poprzez obliczenie pełnych kosztów cyklu życia (ang. <i>full life-cycle cost</i>) oraz wykonanie oceny wskaźnikowej opartej na 22 wskaźnikach zgrupowanych w czterech wymiarach: gospodarka, zużycie zasobów, środowisko i społeczeństwo,</li> <li>• zidentyfikowane efekty są przeliczane na wartości pieniężne,</li> <li>• wynik końcowy przedstawiany w formie jednej wartości pieniężnej.</li> </ul>	Cavanagh J-A. i in. (2006)
Złożony indeks zrównoważonego rozwoju (ang. <i>Composite Sustainable Development Index – CSDD</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podstawą jest ocena wskaźnikowa oparta na 38 wskaźnikach, które są agregowane najpierw w trzy sub-wskaźniki (środowisko, społeczeństwo, ekonomia), a następnie w jeden złożony wskaźnik,</li> <li>• wynik przedstawiany w postaci jednego zagregowanego wskaźnika wyrażonego liczbowo.</li> </ul>	D. Krajnc i P. Glavi (2005)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: 1. Blok K., Huijbregts M., Patel M., Hertwich E., Hauschild M., Sellke P., Antunes P., Hellweg S., Citroth A., Mays C., Harmelink M., Ramirez A.: Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies. PROSUITE Project, 2013, p. 64; Cavanagh J-A.E., Frame B., Lennox J.: The Sustainability Assessment Model (SAM): Measuring Sustainable Development Performance. "Australasian Journal of Environmental Management", Vol. 13, 2006, p. 142-145; Figge F., Barkemeyer R., Hahn T., Liesen A.: The ADVANCE Guide to Sustainable Value Calculations. A practitioner handbook on the application of the Sustainable Value. The ADVANCE Project, 2006; Griefhammer R., Buchert M., Gensch C.O., Hochfeld Ch., Manhart A., Reisch L., Rüdener I.: PROSA – Product Sustainability Assessment Guideline. Öko-Institut e.V., Institute for Applied Ecology, Freiburg 2007; Hunkeler D., Lichtenvort K., Rebitzer G.: Environmental life cycle costing. SETAC-CRC Press, London-New York, 2008, p. 1-54; Janik A.: The role of Environmental Life Cycle Costing in Sustainability Assessment of the Technologies. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2016. Conference Proceedings SGEM2016, Vol. 3, Albena, Bulgaria 2016, p. 677-684; Khan F.I., Sadiq R., Veitch B.: Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. "Journal of Cleaner Production", 2004, Vol. 12, p. 59-76; Kleiber M.: Ekoefektywność technologii. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2011, s. 11-25; Kolsch D., Saling P., Kicherer A., Grosse-Sommer A., Schmidt I.: How to measure social impacts? A socio-eco-efficiency analysis by the SEEBALANCE® method. "International Journal of Sustainable Development", Vol. 11, Iss. 1, 2008, p. 1-23; Krajnc D., Glavi P.: A model for integrated assessment of sustainable development resources. "Conservation and Recycling", Vol. 43, 2005, p. 189-208; PN-EN ISO 14045:2012. Zarządzanie środowiskowe. Ocena ekoefektywności systemów wyrobów. Zasady, wymagania i wytyczne. PKN, Warszawa 2012; Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020. Komisja Europejska, 2014, s. 375-376.

Jak wynika z informacji zawartych w tabeli 3, większość z zaprezentowanych w niej metod pozwala na zintegrowaną ocenę ekonomicznych, środowiskowych i społecznych aspektów generowanych przez technologii. Niektóre z nich (jak e-LCC, czy EEA) dokonują oceny tylko wymiaru ekonomicznego i środowiskowego, a inne (jak LInX) rozszerzają analizę o aspekty techniczne jako osobny wymiar oceny. Wszystkie metody pozwalają na agregację wyników uzyskiwanych w każdym z obszarów oceny i ich przedstawienie w formie

jednego wyniku. Należy zaznaczyć, że wskazane w tabeli 3 metody są tylko przykładami tych metod. W literaturze przedmiotu można wskazać wiele dalszych przykładów zastosowania podejścia opartego na wielokryterialnej ocenie aspektów, które można zastosować do oceny efektów generowanych przez technologie. Przykładem mogą być metodologie opracowane przez E. Steina<sup>15</sup>, E. Santoyo-Castelazo i A. Azapagic<sup>16</sup>, czy przez S. Marciniaka<sup>17</sup> oraz A. Kluczek<sup>18</sup>. Metody te opierają się na podobnej metodologii jaka stosowana jest w przypadku wskaźnika LInX, czy wskaźnika CSDI, a głównym celem ich stosowania jest wielokryterialne rangowanie wybranych technologii.

### 3. Możliwość zastosowania wybranych metod i wskaźników do zrównoważonej oceny technologii – próba oceny

W ostatnim kroku określenia kryteriów i wskaźników, które powinno się zastosować do zrównoważonej oceny technologii, podjęto próbę oceny możliwości wykorzystania wybranych metod i wskaźników do zrównoważonej oceny technologii. Dokonano analizy i porównania metod wymienionych w tabeli 3 rozszerzając ich wykaz o metodologie opracowane przez E. Steina<sup>19</sup> oraz A. Kluczek<sup>20</sup>.

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, prawie wszystkie z analizowanych metod oceny efektów generowanych przez technologie pozwalają na ich ocenę w trzech obszarach zrównoważonego rozwoju. Szczegółowo przedstawia to tabela 4.

Tabela 4

Wykaz obszarów, jakie są uwzględniane w ocenie efektów generowanych przez technologie w poszczególnych metodach

Nazwa metody	Obszary oceny
eLCC	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe, w tym wpływ na zdrowie ludzkie,
CBA	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe, (3) aspekty społeczne
EEA	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe
SEEBalance	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe, (3) aspekty społeczne
ProfitS	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe, (3) aspekty społeczne, (4) korzyści wynikające z użyteczności produktu
PROSUITE	(1) zdrowie ludzkie, (2) dobrobyt społeczny, (3) środowisko naturalne (4) wyczerpywanie zasobów, (5) dobrobyt gospodarczy

<sup>15</sup> Stein E.W.: A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies. "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 22, 2013, p. 640-654.

<sup>16</sup> Santoyo-Castelazo E., Azapagic A.: Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. "Journal of Cleaner Production", Vol. 80, 2014, p. 119-138.

<sup>17</sup> Marciniak S.: Zespólna metoda oceny efektywności przedsięwzięć techniczno-organizacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.

<sup>18</sup> Kluczek A.: Application of Multi-Criteria Approach for sustainability assessment of manufacturing processes. "Management and Production Engineering Review", Vol. 7, No. 3, 2016, p. 62-78.

<sup>19</sup> Stein E.W.: op.cit.

<sup>20</sup> Kluczek A.: op.cit.

cd. tabeli 4

LInX,	(1) środowisko, bezpieczeństwo i zdrowie ludzkie, (2) aspekty finansowo-ekonomiczne, (3) aspekty techniczne, (4) aspekty społeczno-polityczne
SustV	(1) zasoby środowiskowe, (2) zasoby ekonomiczne, (3) zasoby społeczne
SAM	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe, (3) aspekty społeczne
CSDI	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty środowiskowe, (3) aspekty społeczne
E. Stein	(1) aspekty finansowe, (2) aspekty techniczne (3) aspekty środowiskowe, (4) aspekty społeczno/ekonomiczno/polityczne
A. Kluczek	(1) aspekty finansowo-ekonomiczne, (2) aspekty techniczne, (3) aspekty środowiskowe, (4) aspekty społeczne

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Blok K., Huijbregts M., Patel M., Hertwich E., Hauschild M., Sellke P., Antunes P., Hellweg S., Ciroth A., Mays C., Harmelink M., Ramirez A.: Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies. PROSUITE Project, 2013, p. 64; Cavanagh J.-A.E., Frame B., Lennox J.: The Sustainability Assessment Model (SAM): Measuring Sustainable Development Performance. "Australasian Journal of Environmental Management", Vol. 13, 2006, p. 142-145; Figge F., Barkemeyer R., Hahn T., Liesen A.: The ADVANCE Guide to Sustainable Value Calculations. A practitioner handbook on the application of the Sustainable Value. The ADVANCE Project, 2006; Grießhammer R., Buchert M., Gensch C.O., Hochfeld Ch., Manhart A., Reisch L., Rüdener I.: PROSA – Product Sustainability Assessment Guideline. Öko-Institut e.V., Institute for Applied Ecology, Freiburg 2007; Hunkeler D., Lichtenwort K., Rebitzer G.: Environmental life cycle costing. SETAC-CRC Press, London-New York, 2008, p. 1-54; Khan F.I., Sadiq R., Veitch B.: Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. "Journal of Cleaner Production", 2004, Vol. 12, p. 59-76; Kluczek A.: Application of Multi-Criteria Approach for sustainability assessment of manufacturing processes. "Management and Production Engineering Review", Vol. 7, No. 3, 2016, p. 62-78; Kolsch D., Saling P., Kicherer A., Grosse-Sommer A., Schmidt I.: How to measure social impacts? A socio-eco-efficiency analysis by the SEEBALANCE® method. "International Journal of Sustainable Development", Vol. 11, Iss. 1, 2008, p. 1-23; Krajnc D., Glavi P.: A model for integrated assessment of sustainable development resources. "Conservation and Recycling", Vol. 43, 2005, p. 189-208; PN-EN ISO 14045:2012. Zarządzanie środowiskowe. Ocena efektywności systemów wyrobów. Zasady, wymagania i wytyczne. PKN, Warszawa 2012; Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020. Komisja Europejska, 2014, s. 375-376; Stein E.W.: A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies. "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 22, 2013, p. 640-654.

Przeprowadzona analiza wykazała, że część z analizowanych metod (PROSUITE, LInX, SustV, SAM, CSDI, Stein, Kluczek) dokonuje oceny efektów generowanych przez technologię w każdym z obszarów w oparciu o jednostkowe wskaźniki, natomiast część (eLCC, SEEBalance oraz ProfitS) wykorzystuje do tego celu metody uwzględniające perspektywę całego cyklu życia tzn.: ocenę kosztów cyklu życia – LCC, środowiskową ocenę cyklu życia – LCA oraz społeczną ocenę cyklu życia – SLCA. Należy zaznaczyć, że zarówno w przypadku LCA, jak i SLCA ocena oparta jest na inwentaryzacji poszczególnych wpływów, które następnie przekształca się we wskaźniki kategorii wpływów lub kategorii szkód na podstawie przyjętych modeli charakteryzowania, więc i w tych przypadkach mamy do czynienia z oceną wskaźnikową. Wprawdzie metody LCC, LCA, SLCA wymagają analizy

większej ilości danych, jednakże coraz szerzej dostępne są bazy danych oraz programy komputerowe (jak SimaPro, czy openLCA) ułatwiające przeprowadzenie takich ocen<sup>21</sup>.

Dla analizy przydatności poszczególnych metod i wskaźników do zrównoważonej oceny technologii, w tabeli 5 wskazano, którą z metod uwzględniających perspektywę cyklu życia stosuje się w danej metodzie oceny efektów generowanych przez technologię, natomiast w tabeli 6 – wskaźniki, jakie są stosowane do oceny poszczególnych rodzajów efektów w analizowanych metodach.

Tabela 5

Metody uwzględniające perspektywę cyklu życia stosowane w poszczególnych metodach oceny efektów generowanych przez technologię

	eLCC	CBA	EEA	SEEBalance	PROFITS
LCC	+	o	o	+	+
LCA	o	o	o	+	+
SLCA	-	o	-	+	+

Legenda: „+” – metoda jest stosowana, „o” – metoda może być zastosowana, „-” – metoda nie jest stosowana.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Grießhammer R., Buchert M., Gensch C.O., Hochfeld Ch., Manhart A., Reisch L., Rüdener I.: PROSA – Product Sustainability Assessment Guideline. Öko-Institut e.V., Institute for Applied Ecology, Freiburg 2007; Hunkeler D., Lichtenvort K., Rebitzer G.: Environmental life cycle costing. SETAC-CRC Press, London-New York, 2008, p. 1-54; Kolsch D., Saling P., Kicherer A., Grosse-Sommer A., Schmidt I.: How to measure social impacts? A socio-eco-efficiency analysis by the SEEBALANCE® method. “International Journal of Sustainable Development”, Vol. 11, Iss. 1, 2008, p. 1-23; PN-EN ISO 14045:2012. Zarządzanie środowiskowe. Ocena ekoefektywności systemów wyrobów. Zasady, wymagania i wytyczne. PKN, Warszawa 2012; Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020. Komisja Europejska, 2014, s. 375-376.

<sup>21</sup> Należy zaznaczyć, że dostępność programów komputerowych i baz danych ułatwiających zastosowanie metod opartych na perspektywie cyklu życia dotyczy przede wszystkim metody LCC oraz LCA. Metoda SLCA ciągle jest w fazie rozwoju. Więcej informacji na temat możliwości komputerowego wspomaganie analizy generowanych efektów można znaleźć w: Szafraniec M.: Kierunki rozwoju narzędzi informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji w procesach tworzenia ekoinnowacji technicznych, [w]: Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 2. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2016, s. 148-159.

Tabela 6

## Wskaźniki stosowane do oceny poszczególnych obszarów przez analizowane metody oceny efektów generowanych przez technologie

PROSUITE	LInX	SustV	SAM	CSDI	E. Stein	A. Kluczek
<i>Wskaźniki ekonomiczno-finansowe</i>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nakłady inwestycyjne,</li> <li>• koszty operacyjne,</li> <li>• wydatki ponoszone w fazie wyjścia z użycia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• koszty zmienne</li> <li>• koszty utrzymania i remontów</li> <li>• koszty szkód spowodowanych w środowisku i zdrowiu ludzi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nakłady inwestycyjne,</li> <li>• poziom zysku,</li> <li>• koszty pracy,</li> <li>• wartość dodana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• koszty cyklu życia</li> <li>• całkowite korzyści ekonomiczne.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wielkość sprzedaży,</li> <li>• zysk z działalności operacyjnej,</li> <li>• nakłady inwestycyjne,</li> <li>• koszty badań i rozwoju,</li> <li>• liczba pracowników,</li> <li>• zarobki netto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nakłady inwestycyjne bez kosztów finansowych,</li> <li>• zmienne koszty operacyjne,</li> <li>• stałe koszty operacyjne,</li> <li>• koszt zużycia paliwa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nakłady inwestycyjne,</li> <li>• efektywność energetyczna,</li> <li>• koszty pracy,</li> <li>• koszty utrzymania systemu zarządzania środowiskowego (koszt audytu, opłaty środowiskowe, koszt działań naprawczych).</li> </ul>
<i>Wskaźniki środowiskowe</i>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zmiany klimatu,</li> <li>• uszczuplenie warstwy ozonowej,</li> <li>• toksyczność dla człowieka,</li> <li>• choroby układu oddechowego,</li> <li>• promieniowanie jonizujące,</li> <li>• tworzenie ozonu fotochemicznego,</li> <li>• zakwaszenie,</li> <li>• eutrofizacja,</li> <li>• ekotoksyczność,</li> <li>• zużycie wody,</li> <li>• wykorzystanie terenu</li> <li>• zużycie zasobów mineralnych,</li> <li>• zużycie zasobów paliw kopalnych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zużycie zasobów,</li> <li>• emisja gazów cieplarnianych,</li> <li>• zubożenie warstwy ozonowej,</li> <li>• zakwaszenie</li> <li>• potencjał utleniania,</li> <li>• poziom zanieczyszczenia powietrza,</li> <li>• poziom zanieczyszczenia wód,</li> <li>• masa składowanych odpadów stałych,</li> <li>• ryzyko wpływu na zdrowie i życie ludzkie,</li> <li>• ryzyko zanieczyszczenia środowiska,</li> <li>• ryzyko wpływu na bezpieczeństwo ludzi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• emisja dwutlenku węgla,</li> <li>• emisja metanu,</li> <li>• emisja gazów cieplarnianych,</li> <li>• zużycie energii,</li> <li>• emisja substancji powodujących ubytek warstwy ozonowej,</li> <li>• emisja tlenków siarki,</li> <li>• emisja tlenków azotu,</li> <li>• zużycie wody,</li> <li>• emisja LZO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zużycie zasobów,</li> <li>• emisja zanieczyszczeń do atmosfery,</li> <li>• poziom hałasu, nieprzyjemny zapach lub przekształcenie krajobrazu wpływające na wartość nieruchomości,</li> <li>• wykorzystanie terenu,</li> <li>• wytwarzanie odpadów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zużycie wody,</li> <li>• emisja CO<sub>2</sub>,</li> <li>• emisja NO<sub>x</sub>,</li> <li>• emisja SO<sub>2</sub>,</li> <li>• emisja pyłu,</li> <li>• emisje LZO,</li> <li>• wytworzone ścieki,</li> <li>• poziom ChZT,</li> <li>• emisja metali ciężkich do wód powierzchniowych,</li> <li>• stężenie metali ciężkich,</li> <li>• ilość odpadów do utylizacji,</li> <li>• ilość odpadów do recyklingu,</li> <li>• ilość odpadów niebezpiecznych do składowania.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• średni koszt efektów zewnętrznych przeliczony na jednostkę produkcji,</li> <li>• utracone lata życia w wyniku pogorszenia jakości środowiska.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• emisja LZO,</li> <li>• emisja CO<sub>2</sub>,</li> <li>• emisja CO,</li> <li>• emisja NO<sub>x</sub>,</li> <li>• zużycie surowców i materiałów,</li> <li>• energochłonność,</li> <li>• ilość powstających odpadów.</li> </ul>



<i>Wskaźniki społeczne</i>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• liczba zatrudnionych,</li> <li>• liczba stanowisk pracy wymagających specjalistycznej wiedzy,</li> <li>• poziom autonomii (praca pod przymusem oraz liczba młodocianych pracowników),</li> <li>• bezpieczeństwo osób,</li> <li>• bezpieczeństwo mienia,</li> <li>• sytuacje powodujące nadmierny stres,</li> <li>• równość szans,</li> <li>• poziom partycypacji społecznej,</li> <li>• wypadki przy pracy,</li> <li>• choroby zawodowe,</li> <li>• zagrożenia powstające podczas użytkowania produktów.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• akceptacja społeczno-polityczna,</li> <li>• poziom zabezpieczenia przed klęskami naturalnymi oraz możliwością zamieszek społecznych,</li> <li>• wpływ na rozwój społeczny.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• liczba wypadków przy pracy,</li> <li>• liczba zatrudnionych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• koszty wypadków przy pracy,</li> <li>• kwota wypłaconych odszkodowań,</li> <li>• poziom ubóstwa i wykluczenia społecznego,</li> <li>• poziom przestępczości,</li> <li>• poziom bezpieczeństwa,</li> <li>• wartość, jaką ludzie przypisują cechom użytecznym produktu,</li> <li>• koszty szkód spowodowanych użytkowaniem produktu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• liczba wypadków przy pracy,</li> <li>• liczba wypadków poza miejscem pracy,</li> <li>• liczba projektów typu non-profit,</li> <li>• liczba skarg od sąsiadów,</li> <li>• liczba skarg ze względu na przekroczenie dopuszczalnych norm zanieczyszczenia,</li> <li>• liczba podjętych działań naprawczych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tworzenie miejsc pracy,</li> <li>• rezerwa paliwowa,</li> <li>• import netto energii.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• liczba zatrudnionych,</li> <li>• liczba szkoleń pozwalających na rozwój umiejętności i wiedzy pracowników,</li> <li>• odpowiednie warunki pracy.</li> </ul>
<i>Wskaźniki technologiczno-organizacyjne</i>						
brak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• łatwość obsługi wynikająca z wieku technologii,</li> <li>• warunki realizacji procesu produkcji,</li> <li>• efektywność energetyczna procesu produkcji,</li> <li>• czas pracy maszyn.</li> </ul>	brak	brak	brak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wydajność technologii,</li> <li>• zdolność produkcyjna technologii.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• poziom wyposażenia,</li> <li>• stopień zużycia urządzeń,</li> <li>• niezawodność maszyn i urządzeń;</li> <li>• stosowane technologie,</li> <li>• trwałość urządzenia/ trwałość produktu.</li> </ul>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Blok K., Huijbregts M., Patel M., Hertwich E., Hauschild M., Sellke P., Antunes P., Hellweg S., Citroth A., Mays C., Harmelink M., Ramirez A.: Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies. PROSUITE Project, 2013, p. 64; Cavanagh J-A.E., Frame B., Lennox J.: The Sustainability Assessment Model (SAM): Measuring Sustainable Development Performance. "Australasian Journal of Environmental Management", Vol. 13, 2006, p. 142-145; Figge F., Barkemeyer R., Hahn T., Liesen A.: The ADVANCE Guide to Sustainable Value Calculations. A practitioner handbook on the application of the Sustainable Value. The ADVANCE Project, 2006; Khan F.I., Sadiq R., Veitch B.: Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. "Journal of Cleaner Production", 2004, Vol. 12, p. 59-76; Kluczek A.: Application of Multi-Criteria Approach for sustainability assessment of manufacturing processes. "Management and Production Engineering Review", Vol. 7, No. 3, 2016, p. 62-78; Krajnc D., Glavi P.: A model for integrated assessment of sustainable development resources. "Conservation and Recycling", Vol. 43, 2005, p. 189-208; Stein E.W.: A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies. "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 22, 2013, p. 640-654.

Z informacji przedstawionych w tabeli 5 wynika, że spośród metod uwzględniających perspektywę cyklu życia najczęściej wykorzystywana jest metoda środowiskowej oceny cyklu życia (LCA). Najbardziej stosowana jest metoda społecznej oceny cyklu życia (SLCA), co wynika z faktu ciągłego poszukiwania sposobu agregacji wyników cząstkowych tej oceny.

W odniesieniu do informacji zaprezentowanych w tabeli 6 należy stwierdzić, że wszystkie analizowane metody wykorzystują wskaźnik nakładów inwestycyjnych do oceny efektów finansowo-ekonomicznych. Pięć z tych metod stosuje także wskaźnik kosztów operacyjnych, a dwie szacują koszty w całym cyklu życia. W przypadku efektów środowiskowych każda z metod ocenia je na podstawie innego zestawu wskaźników jednostkowych, jednakże wiele wskaźników powiela się w znacznej części metod (jak np. emisja poszczególnych zanieczyszczeń do środowiska, zmiany klimatu, zużycie zasobów, wytwarzanie odpadów). Zastosowane wskaźniki często są tożsame ze wskaźnikami stosowanymi w metodzie LCA, różnica występuje jedynie w ilości wskaźników jakie są brane pod uwagę przy ocenie. Największa różnica w ilości i rodzaju wskaźników uwzględnianych w ocenie efektów generowanych przez technologie występuje w przypadku efektów społecznych, gdyż każda z analizowanych metod stosuje inny zestaw wskaźników jednostkowych do oceny tego wymiaru zrównoważonego rozwoju. Zestawy te różnią się zarówno pod względem liczby zastosowanych wskaźników (od 2 w SustV do 11 w PROSUITE), jak i pod względem tematyki użytych wskaźników. Należy zaznaczyć, że im większa liczba wskaźników społecznych i szerszy ich zakres tematyczny tym z jednej strony pełniejsza ocena efektów społecznych, ale z drugiej strony tym większa trudność ich późniejszej agregacji w jeden wskaźnik. W przypadku efektów technicznych tylko trzy metody uwzględniają je w analizie.

Na podstawie przeprowadzonej analizy danych zamieszczonych w tabeli 5 i 6 można stwierdzić, że ocena efektów finansowo-ekonomicznych powinna być oparta na kosztach, jakie generuje dana technologia. Najlepszym rozwiązaniem wydaje się uwzględnienie w analizie kosztów całego cyklu życia przy zastosowaniu metody LCC. W przypadku efektów środowiskowych również warto dokonać identyfikacji efektów w całym cyklu życia stosując albo metodę LCA, albo wykonując tę ocenę w oparciu o szeroki zestaw wskaźników jednostkowych i oceniając efekty w całym cyklu życia. W przypadku efektów społecznych należy dokonać ich oceny uwzględniając wpływ technologii na pracowników, na osoby korzystające z produktów wytworzonych dzięki zastosowaniu danej technologii, jak i w aspekcie lokalnej społeczności. Należy jednak pamiętać, by wybierać takie wskaźniki, które będą mierzalne i pozwolą na późniejsze ich grupowanie.

Każda z analizowanych metod pozwala na agregację wyników cząstkowych do jednej wartości. W przypadku metody eLCC, CBA, SustV, SAM wynik końcowy prezentowany jest w jednostkach pieniężnych (również wyniki cząstkowe w poszczególnych obszarach oceny są wyrażane w jednostkach pieniężnych), natomiast w przypadku pozostałych metod wynik

końcowy jest agregowany do jednego wskaźnika liczbowego<sup>22</sup>. Należy zaznaczyć, że proces agregacji danych często budzi wiele zastrzeżeń ze względu na to, że jest on wykorzystywany do połączenia wyników oceny tak różnych aspektów, jak aspekty finansowo-ekonomiczne, środowiskowe, społeczne i produkcyjno-technologiczne. Z tego względu wydaje się, że dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie do zrównoważonej oceny technologii metod pozwalających na wyrażenie wyników cząstkowych i wyniku końcowego w wartościach pieniężnych. Jednocześnie metody te powinny pozwalać na ocenę wszystkich rodzajów efektów generowanych przez technologię w całym cyklu życia.

Dokonując przeglądu analizowanych metod należy stwierdzić, że żadna z zaprezentowanych metod nie spełnia wszystkich przedstawionych powyżej założeń. Najbliżej ich spełnienia są dwie metody:

- metoda eLCC, która przy ocenie bierze pod uwagę perspektywę cyklu życia oraz prezentuje wynik końcowy w wartościach pieniężnych, jednakże nie uwzględnia w ocenie efektów społecznych (poza wpływem na zdrowie ludzkie),
- metoda SAM, która wyraża zarówno efekty ekonomiczne, środowiskowe i społeczne w wartościach pieniężnych, jednakże w przypadku efektów środowiskowych nie uwzględnia w ocenie perspektywy cyklu życia.

## Zakończenie

Jak wykazały wyniki przeprowadzonej analizy, w praktyce stosowanych jest wiele wskaźników ekonomicznych, środowiskowych i społecznych, które można wykorzystać do oceny technologii. Najwięcej wskaźników i metod występuje w obszarze oceny aspektów środowiskowych, co może być konsekwencją tworzenia wskaźników na potrzeby obowiązkowego raportowania przez organizacje różnych zagadnień środowiskowych<sup>23</sup>. Najmniej dopracowane są wskaźniki społeczne, co wynika przede wszystkim z problemów w kwantyfikowaniu tego rodzaju efektów.

W literaturze przedmiotu można doszukać się wielu wskaźników jednostkowych, które są stosowane do oceny tylko jednego rodzaju efektów generowanych przez technologię. Opracowane zostały również zestawy wskaźników, które mają pozwolić na ocenę efektów

---

<sup>22</sup> W przypadku metody PROSUITE wskaźniki dobrobytu gospodarczego oraz zużycia zasobów są również wyrażane w wartościach pieniężnych, jednakże dla zintegrowanej oceny wszystkich wymiarów wyniki te są normalizowane i zamienia się je na wartość niepieniężną. Podobna sytuacja występuje w przypadku metodologii opracowanej przez E. Steina, gdzie wskaźniki środowiskowe również są wyrażane w wartościach pieniężnych jako wartość efektów zewnętrznych przeliczonych na jednostkę produkcji.

<sup>23</sup> Baran J., Janik A., Ryszko A., Szafraniec M.: Selected environmental methods and tools supporting eco-innovation implementation within national smart specialisations in Poland. 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM2016, SGEM2016 Conference Proceedings, Book 2, Vol. 3. Albena, Bulgaria 2016.

osiąganych w trzech wymiarach zrównoważonego rozwoju. Zestawy te składają się z wielu wskaźników cząstkowych wyrażanych w różnych jednostkach, więc często trudno na ich podstawie dokonać zrównoważonej oceny technologii. W praktyce stosowane są również metody oparte na wielokryterialnej ocenie aspektów, które przedstawiają wynik oceny za pomocą jednego wskaźnika. Metody te pozwalają zatem na zrównoważoną ocenę technologii.

Przeprowadzona analiza metod opartych na wielokryterialnej ocenie aspektów wykazała, że metody te opierają się na ocenie wskaźnikowej, z tymże część z nich wykorzystuje do oceny różne zestawy jednostkowych wskaźników, a część stosuje metody uwzględniające perspektywę cyklu życia, jak LCC, LCA oraz SLCA. Biorąc pod uwagę fakt, że zrównoważona ocena technologii powinna obejmować efekty generowane w całym cyklu życia, do jej wykonania należy wykorzystać metody oparte na perspektywie cyklu życia.

Wykonanie zrównoważonej oceny technologii wymaga agregacji wyników uzyskiwanych w poszczególnych wymiarach zrównoważonego rozwoju. Jak pokazała przeprowadzona analiza, większość z metod agreguje wyniki cząstkowe do jednego niepieniężnego wskaźnika. Część z nich nadaje wagi poszczególnym aspektom/kryteriom, a część pomija ten etap. Z tego względu sposób agregacji wyników często budzi wiele kontrowersji z uwagi na brak obiektywizmu. Wydaje się, że rozwiązaniem, które pozwoliłoby na ograniczenie w znacznej mierze zastrzeżeń odnośnie sposobu agregacji wyników cząstkowych jest wyrażenie wyników oceny w wartościach pieniężnych. Wymaga to jednak przeliczenia efektów środowiskowych i społecznych na wartości pieniężne. Należy zaznaczyć, że wycena efektów środowiskowych jest powszechnie stosowana i opracowanych zostało wiele metod pozwalających na wyrażanie efektów środowiskowych w wartościach pieniężnych<sup>24</sup>, natomiast ciągle jeszcze poszukuje się sposobów przeliczania na wartości pieniężne aspektów społecznych.

Podsumowując przedstawione w niniejszej pracy rozważania, należy stwierdzić, że zrównoważona ocena technologii wymaga zastosowania takiej metody oceny, która pozwalałaby na ocenę efektów w całym cyklu życia i za pomocą której można byłoby przedstawić wyniki analizy w postaci jednej wartości pieniężnej. Istniejące metody nie pozwalają na to w pełni, stąd konieczność dalszego ich rozwoju.

*Artykuł jest wynikiem badań realizowanych w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej w ramach pracy statutowej pt. »Środki i sposoby doskonalenia produktów i usług na wybranych przykładach« oznaczonej symbolem 13/030/BK\_17/0027.*

---

<sup>24</sup> Więcej informacji na temat metod wyceny efektów środowiskowych można znaleźć w: Janik A., Łączny M.J., Ryszko A.: Ekonomiczne podstawy ochrony środowiska. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009, s. 87-110..

## Bibliografia

1. Baran J.: Ilościowe metody oceny wpływu na środowisko wspomagające ekoprojektowanie w ekologii. „Logistyka”, nr 6, 2014.
2. Baran J., Janik A.: Zastosowanie wybranych metod analizy i oceny wpływu cyklu życia na środowisko w procesie ekoprojektowania, [w]: Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2013.
3. Baran J., Janik A., Ryszko A., Szafraniec M.: Selected environmental methods and tools supporting eco-innovation implementation within national smart specialisations in Poland. 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM2016, SGEM2016 Conference Proceedings, Book 2, Vol. 3. Albena, Bulgaria 2016.
4. Blok K., Huijbregts M., Patel M., Hertwich E., Hauschild M., Sellke P., Antunes P., Hellweg S., Cirolin A., Mays C., Harmelink M., Ramirez A.: Handbook on a novel methodology for the sustainability impact assessment of new technologies. PROSUITE Project, 2013.
5. Brent A., Labuschagne C.: Social Indicators for Sustainable Project and Technology Life Cycle Management in the Process Industry. “The International Journal of Life Cycle Assessment”, Vol. 11, Iss. 1, 2006.
6. Brzustewicz P.: The Application of Eco-Compass Method in Sustainable Product Development. “Acta Scientiarum Polonorum. Oeconomia”, Vol. 15(1), 2016.
7. Cavanagh J-A.E., Frame B., Lennox J.: The Sustainability Assessment Model (SAM): Measuring Sustainable Development Performance. “Australasian Journal of Environmental Management”, Vol. 13, 2006.
8. Figge F., Barkemeyer R., Hahn T., Liesen A.: The ADVANCE Guide to Sustainable Value Calculations. A practitioner handbook on the application of the Sustainable Value. The ADVANCE Project, 2006.
9. Griebhammer R., Buchert M., Gensch C.O., Hochfeld Ch., Manhart A., Reisch L., Rüdener I.: PROSA – Product Sustainability Assessment Guideline. Öko-Institut e.V., Institute for Applied Ecology, Freiburg 2007.
10. Hunkeler D., Lichtenvort K., Rebitzer G.: Environmental life cycle costing. SETAC-CRC Press, London-New York, 2008.
11. Janik A.: The role of Environmental Life Cycle Costing in Sustainability Assessment of the Technologies. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2016. Conference Proceedings SGEM2016, Vol. 3, Albena, Bulgaria 2016.
12. Janik A., Łączny M.J., Ryszko A.: Ekonomiczne podstawy ochrony środowiska. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.

13. Karczewska M., Materzok J., Skonieczny J.: Współczesne narzędzia oceny technologii, [w:] Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011.
14. Kaźmierczak J.: Ocena oddziaływań społecznych innowacyjnych produktów i technologii („Technology Assessment”), [w:] Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2013.
15. Kaźmierczak J.: Technology Assessment: uwagi na temat metodologii, metodyki i metod, [w:] Karbownik A. (red.): Paradygmat sieciowy: wyzwania dla teorii i praktyki zarządzania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
16. Khan F.I., Sadiq R., Veitch B.: Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. “Journal of Cleaner Production”, 2004, Vol. 12.
17. Kleiber M.: Ekoefektywność technologii. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2011.
18. Kluczek A.: Application of Multi-Criteria Approach for sustainability assessment of manufacturing processes. “Management and Production Engineering Review”, Vol. 7, No. 3, 2016.
19. Kłos L.: Ślad ekologiczny jako nieekonomiczny miernik jakości życia społeczeństwa. „Studia Ekonomiczne”, nr 166, 2014.
20. Kolsch D., Saling P., Kicherer A., Grosse-Sommer A., Schmidt I.: How to measure social impacts? A socio-eco-efficiency analysis by the SEEBALANCE® method. “International Journal of Sustainable Development”, Vol. 11, Iss. 1, 2008.
21. Komisja Europejska: Racjonalniej i ekologiczniej. Zrównowazona konsumpcja i produkcja. Urząd Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg 2010.
22. Krajnc D., Glavi P.: A model for integrated assessment of sustainable development resources. “Conservation and Recycling”, Vol. 43, 2005.
23. Kulczycka J., Wernicka M.: Metody i wyniki obliczania śladu węglowego działalności wybranych podmiotów branży energetycznej i wydobywczej. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, nr 89, 2015.
24. Lawn P.A.: A theoretical foundation to support the Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW), Genuine Progress Indicator (GPI), and other related indexes. “Ecological Economics”, Vol. 44, 2003.
25. Loska A.: Exploitation assessment of selected technical objects using taxonomic methods. „Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability”, Vol. 15(1), 2013.
26. Marciniak S.: Zespolona metoda oceny efektywności przedsięwzięć techniczno-organizacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
27. Michalski K.: Przegląd metod i procedur wykorzystywanych w ocenie technologii. „Studia BAS”, nr 3(43), 2015.

28. Michalski K.: Problemy metodologiczne w zarządzaniu projektami z zakresu oceny technologii. „Modern Management Review”, Vol. 22(3), 2015.
29. Nazarko Ł.: Technology Assessment in Construction Sector as a Strategy towards Sustainability. „Procedia Engineering”, Vol. 122, 2015.
30. PN-EN ISO 14040:2009 Systemy zarządzania środowiskowego. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura. PKN, Warszawa 2011.
31. PN-EN ISO 14045:2012. Zarządzanie środowiskowe. Ocena efektywności systemów wyrobów. Zasady, wymagania i wytyczne. PKN, Warszawa 2012.
32. Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020. Komisja Europejska, 2014.
33. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>, 10.03.2015.
34. Roundtable for Product Social Metrics: Handbook for Product Social Impact Assessment. Version 3.0. PRé Sustainability. Netherlands 2016.
35. Santoyo-Castelazo E., Azapagic A.: Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. “Journal of Cleaner Production”, Vol. 80, 2014.
36. Singh R.K, Murty H.R., Gupta S.K., Dikshit A.K.: An overview of sustainability assessment methodologies. “Ecological Indicators”, Vol. 9, 2009.
37. Stankiewicz P.: Klasyczna i partycypacyjna ocena technologii. „Studia BAS”, nr 3(43), 2013.
38. Stein E.W.: A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies. “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Vol. 22, 2013.
39. Szafraniec M.: Kierunki rozwoju narzędzi informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji w procesach tworzenia ekoinnowacji technicznych, [w]: Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 2. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2016.
40. Tran T.A., Daim T.: A taxonomic review of methods and tools applied in technology assessment. “Technological Forecasting & Social Change”, Vol. 75, 2008.
41. UNEP: Application of the Sustainability Assessment of Technologies Methodology: Guidance Manual. United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), International Environmental Technology Centre (IETC), Osaka 2012.
42. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative: Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. United Nations Environment Programme, Paris 2009.
43. Wierzbński M.: Istota rachunku kosztów cyklu życia technologii. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego, nr 335. Wrocław 2014.