

Dorota Burchart-Korol¹
Główny Instytut Górnictwa

Paweł Ślaski²
Wojskowa Akademia Techniczna

Analiza ekoefektywności w logistyce produkcji³

Wzrastające wymagania względem przedsiębiorstw dotyczące ochrony środowiska powodują, że analizy efektywności środowiskowej w logistyce stają się równie ważne, jak efektywność kosztowa zarządzania procesami logistycznymi. Logistyka produkcji, jako jeden z podstawowych procesów logistycznych, uwzględnia przepływ surowców, materiałów, energii oraz informacji w sferze produkcji. Bezpośrednio wiąże się z technologią wytwarzania danych wyrobów dla ostatecznego klienta. W artykule przedstawiono istotę oceny aspektów ekonomicznych i środowiskowych w tym procesie logistycznym. Celem artykułu jest przedstawienie znaczenia analizy ekoefektywności w logistyce produkcji. Zapropionowano ocenę cyklu życia (LCA – *Life Cycle Assessment*) dla środowiskowej analizy oraz ocenę kosztów cyklu życia analizę (LCC – *Life Cycle Cost*) dla oceny efektywności ekonomicznej. Ocena cyklu życia LCA umożliwia uwzględnienie aspektów środowiskowych we wszystkich fazach cyklu życia produktu lub technologii, od pozyskania surowców, poprzez fazę produkcji, transportu i użytkowania, aż po likwidację (koniec życia związany z zagospodarowaniem odpadów lub składowaniem). LCC natomiast pozwala na ujęcie kosztów w całym cyklu życia, a granice systemu obejmują ten sam zakres, jak dla analiz LCA. Łącząc analizy środowiskowe i ekonomiczne można określić ekoefektywność wybranych technologii, procesu czy produktu.

Powiązanie ekoefektywności i podejścia logistycznego

Integracja procesów logistycznych w łańcuchu dostaw to domena współczesnej logistyki. Tendencje integracyjne związane z: rozwojem elastycznych systemów produkcyjnych, budową ścisłej współpracy z ogniwami łańcucha dostaw, rozwojem integracji informatycznej w sterowaniu przepływami strumieni popytu, przyczyniają się do zwiększenia efektywności, skuteczności oraz przejrzystości przepływów towarów, usług i informacji. Uzyskanie przewagi konkurencyjnej w szybko zmieniającej się gospodarce rynkowej to również postrzeganie zintegrowanego łańcucha dostaw w aspekcie zrównoważonego rozwoju. Uwzględnienie strumienia zasilającego produkcję pochodzącego z odzyskanych produktów, umożliwia zamknięcie pętli w łańcuchu dostaw przy jednoczesnym zachowaniu równowagi między minimalizacją kosztów logistycznych, a realizacją zadań związanych z ochroną środowiska naturalnego [1,2]. Pomimo tego, obecnie prowadzi się niewiele badań mających na celu zintegrowanie zarządzania procesami logistycznymi z ekoefektywnością, która stanowi miarę równowagi między wpływem na środowisko, a wynikami ekonomicznymi.

Koncepcja ekoefektywności umożliwia dostarczanie konkurencyjnych produktów spełniających potrzeby klientów, przy ograniczonym wpływie na środowisko w całym cyklu życia. Tylko holistyczne podejście do systemów logistycznych umożliwi uzyskanie równowagi między ekonomią, a wpływem na środowisko. Do tej pory większość działań związanych z logistyką skupiała się tylko na ocenie efektywności ekonomicznej. Aspekty środowiskowe były całkowicie pominięte. Z biegiem lat, gdy zaczęto zwracać uwagę na znaczenie wpływu przedsiębiorstw na środowisko, zużycie zasobów i zrównoważony rozwój, aspekty środowiskowe również zostały włączone do logistyki, czego jednym z podstawowych efektów było wdrożenie logistyki odzysku (reverse logistic) [3].

Przeprowadzając kompleksową ocenę każdego procesu produkcyjnego należy uwzględnić jednocześnie kwestie ekonomiczne, technologiczne i środowiskowe. Takie podejście umożliwia analiza ekoefektywności, która została zdefiniowana przez Światową Radę Biznesu do spraw Zrównoważonego Rozwoju (WBCSD) w 1991 roku jako dostarczanie wyrobów i usług w konkurencyjnej cenie, które spełniają potrzeby człowieka i podnoszą jego jakość życia, ograniczając wpływ na środowisko i zużycie zasobów w całym cyklu życia [4]. Natomiast zgodnie z Raportem „US President’s Council on Sustainable Development”, ekoefektywność zdefiniowano jako utrzymanie wzrostu gospodarczego przy minimalnym wpływie na środowisko, stosowanie ograniczonej ilości nieodnawialnych zasobów, ograniczenie ilości odpadów, tworząc zdrowe środowisko do życia dla całej ludzkości [5].

Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*) definiuje natomiast ekoefektywność jako powiązanie efektywności ekonomicznej ze środowiskową w celu zaspokojenia potrzeb klientów i określa ją jako stosunek wartości dla klienta do wskaźników środowiskowych. Według Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska (EEA – *European Environment Agency*), ekoefektywność jest kluczową koncepcją zarządzania przedsiębiorstwem w celu dążenia do zrównoważonego rozwoju.

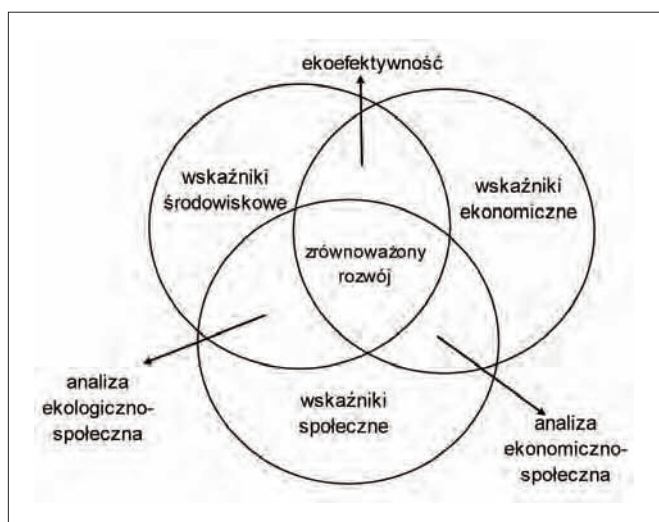
Światowa Rada Biznesu na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju WBCSD zidentyfikowała 7 elementów służących przedsiębiorstwu w celu podwyższenia ekoefektywności: ograniczenie zużycia materiałów; ograniczenie zużycia energii; ograniczenie substancji toksycznych; zwiększenie recyklingu; zwiększenie udziału substancji odnawialnych i odnawialnych źródeł energii; zwiększenie trwałości produktu; wzrost wartości produktu.

¹ D. Burchart-Korol – GIG, Zakład Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza (przyp. red.).

² Plk. dr inż. P. Ślaski – WAT, Wydział Mechaniczny, Katedra Logistyki (przyp. red.).

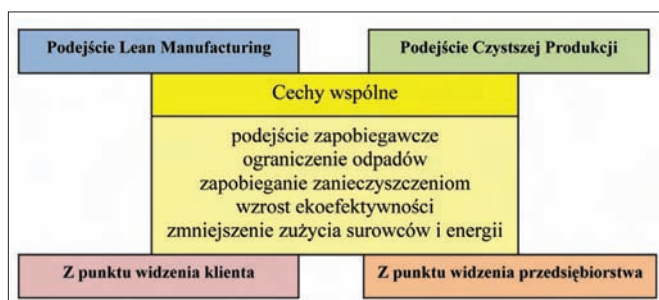
³ Artykuł recenzowany (przyp. red.).

Analiza efektywności integruje dwa spośród trzech elementów zrównoważonego rozwoju – ekonomiczny i środowiskowy (rysunek 1).



Rys. 1. Elementy zrównoważonego rozwoju.
Źródło: opracowanie własne.

Ekoefektywność wiąże główny cel przedsiębiorstw, którym jest zysk i rentowność produkcji, z podejściem środowiskowym, dzięki czemu osoby podejmujące najważniejsze decyzje w przedsiębiorstwie mają możliwość tworzenia innowacyjnych produktów spełniających również kryteria środowiskowe. W ten sposób powstaje nowy obszar w przedsiębiorczości – ekoinnowacyjność. W celu zwiększenia efektywności w przedsiębiorstwie należy już na etapie projektowania uwzględnić aspekty środowiskowe, czym zajmuje się ekoprojektowanie [6]. Projektując nowy produkt, oprócz opracowania technologii należy także przeprowadzić analizę cyklu życia LCA (*Life Cycle Assessment*) [7]. Jednym z głównych założeń techniki LCA jest dążenie do wykazania wszystkich czynników, mających potencjalny wpływ na środowisko i związanych z danym produktem lub technologią. Ocena cyklu życia LCA umożliwia zebranie i ocenę wejść, wyjść oraz potencjalnych wpływów na środowisko systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia. Wynikiem analizy techniki LCA jest określenie wpływu produktu/technologii na środowisko w całym cyklu życia. Przy użyciu LCA można zidentyfikować i ocenić wpływy na środowisko wywołane podczas całego cyklu życia (kolejnych i powiązanych ze sobą etapów systemu wyrobu, od pozyskania lub wytworzenia surowca z zasobów naturalnych do ostatecznej likwidacji) analizowanych produktów/technologii [8-10].



Rys. 2. Powiązania Lean Manufacturing i Czystszej Produkcji.
Źródło: opracowanie własne.

Analizując podstawowe założenia analizy efektywności można zauważyć ich podobieństwo z podstawowymi zasadami współczesnego zarządzania produkcją – Lean Manufacturing. Zasady ograniczania odpadów (marnotrawstwa) są również celem koncepcji Czystszej Produkcji (rysunek 2). Najlepszą formą Czystszej Produkcji jest produkcja ograniczająca marnotrawstwo, a także stosowanie obiegów zamkniętych, pozwalających na wielokrotne wykorzystanie materiałów [11]. Do podstawowych zasad Czystszej Produkcji należą: prewencyjna strategia ochrony środowiska, stosowanie w procesach produkcyjnych oraz w produktach (wyrobach i usługach) zasad minimalizacji odpadów już u źródła ich powstawania oraz w całym procesie produkcyjnym. Czysta Produkcja polega na oszczędzaniu surowców i energii, eliminacji toksycznych surowców, zmniejszaniu odpadów oraz ograniczaniu negatywnego wpływu na środowisko w całym cyklu życia produktu, od pozyskania materiałów wsadowych do ostatecznego usunięcia.

Cele związane z ochroną środowiska są ważne również z punktu widzenia rozwiązań logistycznych, a w szczególności w logistyce powtórnego zagospodarowania. W tym obszarze cele ekologiczne oraz ekonomiczne przedsiębiorstwa wzajemnie uzupełniają się [12]. Na podstawie przeprowadzonej analizy podejścia logistycznego i analizy efektywności przedstawiono różnice i podobieństwa w tabeli 1.

Tab. 1. Cele analizy efektywności i podejścia logistycznego.

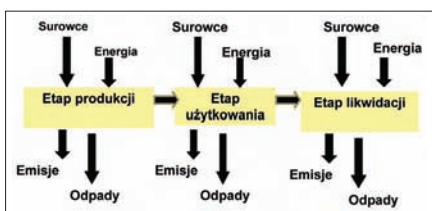
Cele	Ekoefektywność	Podejście logistyczne
Ograniczenie zużycia zasobów (materiałów i energii)	+	+
Ograniczenie wpływu na środowisko	+	-
Zwiększenie wartości dodanej produktu	+	+
Wzrost efektywności ekonomicznej produkcji przy równoczesnym ograniczaniu wpływu na środowisko.	+	-

Źródło: opracowanie własne.

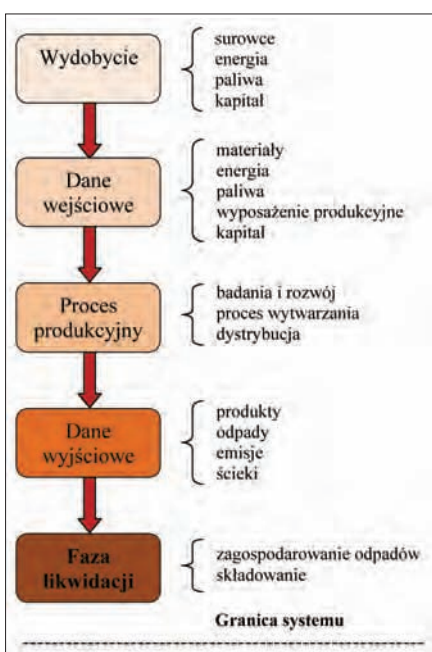
System produkcyjny w ujęciu pełnego cyklu życia

Logistyka rozpatruje cały łańcuch dostaw od zamówienia do przekazania produktu klientowi. W przypadku analizy LCA i LCC (służących analizie efektywności) „cykl życia” oznacza kolejne i powiązane ze sobą etapy systemu wyboru, od projektowania wyrobu, pozyskania lub wytworzenia surowca z zasobów naturalnych, bieżącą eksploatacją do ostatecznej likwidacji. Definicja ta pokazuje, że zakres pojęcia „cykl życia” jest szerszy, niż łańcuch dostaw, co przedstawia rysunek 3. Należy przy tym zwrócić uwagę na rolę, jaką w cyklu życia wyrobu pełni logistyka.

Etap projektowania to analiza wymagań i oczekiwań klientów oraz planowanie logistycznego systemu produkcji. Wytworzenie to planowanie i organizacja przepływów materiałowych, integracja zaopatrzenia materiałowego ze sterowaniem zapasami produkcji w toku, dystrybucja wyrobu oraz serwis i posprzedażna obsługa klienta. Z kolei eksploatacja wyrobu to zasilanie w materiały eksploatacyjne, gospodarka remontowa, magazynowanie i dystrybucja towarów oraz czynności konserwacyjne. Natomiast etap likwidacji związany jest z transportem i składowaniem odpadów oraz zapewnieniem powrotu odzyskanych materiałów do produkcji [1].



Rys. 3. Zakres analizy LCA i LCA oraz ekoefektywności w całym cyklu życia.
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. System produkcyjny w ujęciu pełnego cyklu życia. Źródło: opracowanie własne.

W celu wykonania kompleksowej oceny efektywności środowiskowej systemu produkcji można wykorzystać holistyczną technikę oceny cyklu życia LCA, natomiast do oceny efektywności ekonomicznej w artykule proponuje się technikę LCC, ze względu na uwzględnienie wszystkich elementów w całym cyklu życia w celu analizy kosztów (w fazie budowy, użytkowania i likwidacji). W celu przeprowadzenia oceny środowiskowej i ekonomicznej technikami LCA i LCC należy w pierwszej kolejności zdefiniować system produkcji i granice systemu, a także określić czynniki otoczenia. Na rysunku 4 przedstawiono system produkcyjny w ujęciu cyklu życia. Perspektywa oceny cyklu życia LCA, jak i kosztów cyklu życia LCC, obejmuje cały cykl życia wyrobu – od wydobycia surowca i jego pozyskania, przez produkcję energii i materiałów oraz wytwarzanie, po eksploatację i przetwarzanie po zakończeniu eksploatacji oraz końcową likwidację.

Zarządzanie produkcją obejmuje całokształt zagadnień do-

tyczących projektowania systemów produkcyjnych, organizacji procesów produkcyjnych, ich planowania i sterowania. Należy podkreślić, że do tej pory niewiele uwagi w obszarze zarządzania produkcją i logistyki produkcji poświęcano zagadnieniom wpływu systemu produkcyjnego na środowisko naturalne. Również w samej definicji systemu produkcyjnego w ujęciu tradycyjnym⁴ podkreśla się aspekt ekonomiczny; brakuje natomiast aspektów środowiskowych.

Do tej pory w literaturze przedmiotu podaje się, iż do głównych celów działania systemu produkcyjnego należą: jakość i nowoczesność produktów, wzrost produktywności oraz obniżka kosztów wytwarzania [13]. Wraz ze zwróceniem uwagi na aspekty środowiskowe w systemie produkcyjnym sugeruje się uwzględnienie kolejnego nowego celu, a mianowicie – wzrost ekoefektywności produktów czy technologii, co wiąże się z jednoczesnym zwiększeniem efektywności ekonomicznej i środowiskowej określonych technologii czy produktów. Biorąc pod uwagę czynnik środowiskowy w zakresie działania systemu produkcyjnego, ma to również wpływ na kryterium oceny funkcjonowania systemu produkcyjnego. Obecnie tym kryterium jest najczęściej podawana produktywność. Uwzględniając jednocześnie aspekty ekonomiczne i środowiskowe proponuje się nowe kryterium,

⁴ System produkcyjny jest celowo zaprojektowanym i zorganizowanym układem materialnym, energetycznym i informacyjnym eksploatowanym przez człowieka, służącym do produkowania określonych produktów (wyrobów i usług) w celu zaspokojenia różnorodnych potrzeb klientów.

Tab. 2. Analiza porównawcza ujęcia cyklu życia i logistyki produkcji.

Cechy	Ujęcie cyklu życia	Logistyka produkcji
Zakres analiz	Od wydobycia surowców do końca życia tzw. „cradle-to-grave”	Od zaopatrzenia procesu produkcyjnego do wyrobu gotowego do magazynu
Dane w systemie	Zasilanie energetyczne i materiałowe bez ujęcia przepływu informacji	Zasilanie materiałowe, informacyjne i energetyczne
Elementy wejściowe:		
▪ Dane techniczne produktu	+	+
▪ Przedmioty pracy	+	+
▪ Czynniki energetyczne	+	+
▪ Czynniki materiałowe	+	+
▪ Czynniki ludzkie	-	+
▪ Informacje	-	+
▪ kapitał	+(LCC)	+
Elementy wyjściowe:		
▪ Produkty	+	+
▪ Odpady (surowce wtórne)	+	+
▪ Ścieki	+	+
▪ Hałas	-	+
▪ Informacje	-	+

Źródło: opracowanie własne.

którym może być efektywność. To kryterium jest miernikiem zawierającym produktywność i uwzględnia również nowy element – wskaźnik środowiskowy. Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej ujęcia cyklu życia i logistyki produkcji określono podstawowe cechy wspólne i różnice w podejściach (tabela 2). Z oceną cyklu życia wiąże się pojęcie ekologii przemysłowej, a także wspomnianej wyżej zamkniętej pętli łańcucha dostaw.

Zastosowanie analizy efektywności w logistyce produkcji

Efektowność może mieć wiele zastosowań w logistyce produkcji. Może być narzędziem analizy porównawczej poszczególnych wariantów technologicznych związanych ze stosowaniem różnych:

- materiałów wejściowych (biomateriały, odnawialne surowce)
- czynników energetycznych (między innymi paliwa alternatywne)
- technologii produkcji.

W celu opracowania metodyki analizy efektywności należy uwzględnić następujące kroki:

- określenie celu i zakresu badań
- analiza zbioru wejść i wyjść cyklu życia – faza oceny cyklu życia obejmująca zebranie i ilościowe określenie wejść i wyjść dla danego wyrobu w całym jego cyklu życia, obejmująca wszystkie dane do oceny środowiskowej oraz dane inwestycyjne i ekonomiczne
- analiza efektywności wybranymi metodami.

Analiza efektywności jest pomocna w podejmowaniu decyzji dotyczących wyboru nowego produktu, czy też projektowania nowej technologii i umożliwia wybór wariantu, który jest najbardziej ekonomiczny i najmniej wpływa na środowisko. Efektywność jest wyznacznikiem innowacyjności. Na jej podstawie można określić, jak dana technologia wpływa na środowisko i jaka jest jej wydajność oraz efektywność w porównywaniu z technologiami wzorcowymi [14-17].

Podsumowanie

Logistyka produkcji jako jeden z podstawowych procesów logistycznych uwzględnia przepływ surowców, materiałów po-

mocniczych, przepływ wyrobów gotowych do magazynu. Ze względu na fakt, że logistyka produkcji bezpośrednio wiąże się z technologią wytwarzania danych wyrobów dla ostatecznego klienta, w artykule przedstawiono znaczenie oceny aspektów zrównoważonego rozwoju w tym procesie logistycznym.

Oceniając efektywność każdego procesu produkcyjnego należy uwzględnić nie tylko kwestie kosztowe, czy technologiczne, ale również środowiskowe, a także społeczne. Wiąże się to z rosnącymi wymaganiami dotyczącymi dostosowania technologii/produktów do wytycznych zrównoważonego rozwoju. Jednoczesne uwzględnienie aspektów środowiskowych i ekonomicznych określonych technologii czy produktów umożliwia analiza efektywności. W celu oceny logistyki produkcji w aspekcie zrównoważonego rozwoju należy wykonać analizę efektywności ekonomicznej, środowiskowej i społecznej tego procesu.

Dla współczesnych przedsiębiorstw przemysłowych istotny jest wybór technologii ekonomicznej, przy ograniczonym wpływie na środowisko. Takie zintegrowanie aspektów środowiskowych i ekonomicznych umożliwi ocenę efektywności wybranej technologii/procesu lub produktu, natomiast pełna integracja wskaźników środowiskowych, ekonomicznych i społecznych umożliwi ocenę technologii lub produktu w aspekcie zrównoważonego rozwoju.

LITERATURA

1. Fertsch M., Cyplick P., Hadaś Ł., *Logistyka produkcji*. Teoria i praktyka, ILiM, Poznań 2010.
2. Edwarczyk N., Stachowiak A., Konceptja zamkniętej pętli łańcucha dostaw, „Logistyka” nr 1/2009.
3. Burchart-Korol D., Ślaski P., Istota logistyki powtórnego zagospodarowania odpadów i możliwości jej zastosowania w przedsiębiorstwach hutniczych, „Hutnik-Wiadomości Hutnicze”, nr 6/2009.
4. <http://www.wbcds.org> (dostęp 8.06.2011).
5. <http://www.cap-lmu.de/> (dostęp 7.06.2011).
6. Burchart-Korol D., Ekoprojektowanie – holistyczne podejście do projektowania. „Problemy ekologii”, nr 3 (81)/2010.
7. Gehin A., Zwolinski P., Brissaud D., A Tool to Implement Sustainable end of life Strategies in the Product Development Phase, „Journal of Cleaner Production”, no. 5/2008.
8. PN-EN ISO 14040: 2009 Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura.
9. PN-EN ISO 14044: 2009 Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Wymagania i wytyczne.
10. PKN-ISO/TR 14047: 2006 Zarządzanie środowiskowe. Ocena wpływu cyklu życia. Przykłady stosowania ISO 14042
11. Nowosielski R., Spilka M., Perspektywa stosowania Czystszej Produkcji, „Czystsza Produkcja w Polsce”, nr 3/2000.
12. Pfohl H., *Systemy Logistyczne*, ILiM, Poznań 2001.
13. Burchart-Korol D., Furman J., *Zarządzanie produkcją i usługami*, Podręcznik akademicki, Politechnika Śląska, Gliwice 2007.
14. Ecoefficiency: creating more value with less impact. World Business Council for Sustainable Development Report Geneva 2000.
15. Huppel G., Davidson M. D., Kuyper J., Eco-efficient Environmental Policy in Oil and Gas Production in the Netherlands, „Ecological Economics”, no. 1/2007.
16. Czaplicka-Kolarz K., Burchart-Korol D., Krawczyk P., Metodyka analizy efektywności, „Journal of Ecology and Health”, no. 6 (84)/2010.
17. Czaplicka-Kolarz K., Burchart-Korol D., Krawczyk P., Eco-efficiency analysis methodology on the example of the chosen polyolefins production, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 43, issue 1, 2010.