

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 383

Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki

Redaktorzy naukow
Jarosław Witkowski
Agnieszka Skowrońska



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2015

Redaktor Wydawnictwa: Elżbieta Kożuchowska

Redakcja techniczna: Barbara Łopusiewicz

Korekta: Barbara Cibis

Łamanie: Adam Dębski

Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronie internetowej Wydawnictwa
www.pracnaukowe.ue.wroc.pl
www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie
wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2015

ISSN 1899-3192

e-ISSN 2392-0041

ISBN 978-83-7695-487-5

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
tel./fax 71 36 80 602; e-mail:econbook@ue.wroc.pl
www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: EXPOL

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Logistyka miejska i usługi logistyczne w sektorze usług publicznych w warunkach ograniczeń budżetowych

Grażyna Chaberek-Karwacka: Teoretyczne kryteria kształtowania logistyki ostatniej mili i realne możliwości ich wykorzystania na obszarze największych aglomeracji w Polsce	13
Marzenna Cichosz: Innowacje w logistyce miejskiej – zrównoważony transport publiczny	26
Stanisław Iwan: Zarządzanie miejskim transportem towarowym w kontekście budowania konsensusu pomiędzy zróżnicowanymi oczekiwaniami jego interesariuszy	40
Sabina Kauf: Zarządzanie łańcuchem dostaw w sektorze publicznym.....	50
Maja Kiba-Janiak: Projekty logistyki miejskiej w warunkach ograniczeń budżetowych.....	60
Tomasz Kołakowski: Skuteczne i efektywne wdrażanie rozwiązań projektowych w zakresie logistyki miejskiej – wybrane zagadnienia	74
Kinga Kijewska: Rola menedżera logistyki miejskiej w usprawnianiu organizacji przewozów towarowych w miastach	87
Krzysztof Lewandowski: Propozycja redukcji kosztów w realizacji dostaw w centrum miasta na przykładzie Jeleniej Góry	95
Katarzyna Nowicka: Innowacje w logistyce miejskiej – ITS jako usługa.....	108
Barbara Ocicka: Perspektywy rozwoju potencjału logistycznego regionu łódzkiego	121
Bohdan Pac: Istota zarządzania zabezpieczeniem logistycznym w sytuacjach kryzysowych i stanach nadzwyczajnych.....	132
Aneta Pluta-Zaremba: Innowacje w logistyce miejskiej – zrównoważony transport towarów	154
Jacek Szoltysek, Rafał Otręba: Wieloaspektowa analiza czynników kształtujących poczucie jakości życia w mieście – jako przesłanka tworzenia polityki logistycznej miasta.....	166
Jacek Szoltysek, Sebastian Twaróg: Outsourcing obsługi logistycznej szpitali w warunkach kryzysu	187
Rajmund Żuryński: Perspektywa zarządzania projektami logistycznymi w organizacji masowych imprez sportowych w sytuacjach kryzysowych	200

Część 2. Zrównoważone łańcuchy dostaw i zielona logistyka w sytuacjach kryzysowych

Monika Bąk-Sokołowska: Znaczenie zrównoważonej logistyki w redukcji kosztów i poprawie jakości obsługi na przykładzie wybranych firm.....	217
Anna Baraniecka: Rozwój ekologicznych łańcuchów dostaw jako skutek kryzysów: ekonomicznego i środowiskowego	235
Sławomir Drożdziejki: Działania Unii Europejskiej zmierzające do implementacji dyrektywy antysiarkowej II w portach morskich.....	249
Agata Mesjasz-Lech: Kryteria optymalizacji przepływów zwrotnych w zielonych łańcuchach dostaw.....	266
Adam Sadowski, Katarzyna Michniewska: Logistyka w usługach publicznych. Analiza wartości rynku surowców wtórnych.....	280
Blanka Tundys: Zielony łańcuch dostaw w gospodarce o okrężnym obiegu – założenia, relacje, implikacje.....	288
Krzysztof Witkowski: Aspekt logistyki zwrotów i recyklingu tworzyw sztucznych	302

Summaries

Part 1. City logistics and logistic services in the public service sector in the conditions of budgetary constraints

Grażyna Chaberek-Karwacka: Theoretical criteria for shaping the last mile logistics and real possibilities of their use in the area of the largest Polish agglomerations.....	25
Marzenna Cichosz: Innovations in urban logistics – sustainable public transport.....	39
Stanisław Iwan: Urban freight transport management in the context of consensus building between different stakeholders expectations	49
Sabina Kauf: Supply chain management in the public sector	59
Maja Kiba-Janiak: City logistics projects under budget restrictions.....	73
Tomasz Kołakowski: Effective and efficient implementation of project solutions in the field of city logistics – selected issues.....	86
Kinga Kijewska: The role of City Logistics Manager in the improvement of freight transport organization in cities	94
Krzysztof Lewandowski: The proposition of mutual reduction of delivery cost in the city center on the example of Jelenia Góra	107
Katarzyna Nowicka: Innovations in city logistics – ITS as a service.....	120

Barbara Ocicka: The development perspectives for logistics potential of Łódź region.....	131
Bohdan Pac: The role of logistic support management in the crisis and extreme situations.....	153
Aneta Pluta-Zaremba: Innovations in the city logistics focused on sustainable transport of goods.....	165
Jacek Szoltysek, Rafał Otręba: Multi-aspect analysis of factors that affect a sense of quality of life in a city – as a premise for elaborating a city logistic policy	186
Jacek Szoltysek, Sebastian Twaróg: Outsourcing of logistics services in hospitals in the conditions of crisis.....	198
Rajmund Żuryński: Logistics projects management – mass, sporting events in crisis situations	214

Part 2. Sustainable supply chains and the green logistics in crisis situations

Monika Bąk-Sokolowska: The importance of sustainable logistics in the reduction of costs and in the improvement of quality of service based on selected companies	234
Anna Baraniecka: The development of eco-logistic supply chains as the result of economic and environmental crises	248
Sławomir Drożdziejki: European Union political activity aimed at the implementation of anti sulphur directive II in sea ports	265
Agata Mesjasz-Lech: Reverse flows optimization criteria for green supply chains.....	279
Adam Sadowski, Katarzyna Michniewska: Logistics in public services. Secondary raw material market value analysis	287
Blanka Tundys: Green supply chain in circular economy – assumptions, relations, implications.....	301
Krzysztof Witkowski: The aspect of reverse logistics and recycling of plastics	317

Agata Mesjasz-Lech

Politechnika Częstochowska
e-mail: agata.mesjasz@poczta.fm

KRYTERIA OPTYMALIZACJI PRZEPIYWÓW ZWROTNYCH W ZIELONYCH ŁAŃCUCHACH DOSTAW

Streszczenie: Wzrost ilości odpadów, próśrodowiskowe zachowania konsumentów, znaczne świadośności ekologicznej w procesie podejmowania decyzji w przedsiębiorstwie oraz coraz bardziej restrykcyjne prawo w stosunku do negatywnego oddziaływania podmiotów gospodarczych na środowisko naturalne przyczyniły się do tworzenia zielonych łańcuchów dostaw. W zielonych łańcuchach dostaw realizowane są procesy przepływu dóbr z uwzględnieniem praktyk środowiskowych, a w szczególności procesy logistyki zwrotnej. Za główną kategorię oceny oraz podstawowy czynnik decydujący o kształtowaniu przepływów zwrotnych w zielonym łańcuchu dostaw przyjmuje się koszty. Celem artykułu jest krytyczna analiza literatury w zakresie przyjmowanych kosztowych kryteriów optymalizacji strumieni zwrotnych w zielonych łańcuchach dostaw oraz próba identyfikacji czynników pozaekonomicznych, które powinny być uwzględniane w procesie decyzyjnym współpracujących partnerów.

Słowa kluczowe: zielony łańcuch dostaw, logistyka zwrotna, kryteria optymalizacji.

DOI: 10.15611/pn.2015.383.19

1. Wstęp

Zwrócenie uwagi na problemy związane z ochroną środowiska, wzrost znaczenia koncepcji zrównoważonego rozwoju oraz społecznej odpowiedzialności biznesu w funkcjonowaniu przedsiębiorstw doprowadziły do zmiany celów i wartości w łańcuchu dostaw. Coraz częściej współpracujący partnerzy koncentrują się nie tylko na wskaźnikach ekonomicznych funkcjonowania łańcucha dostaw, ale w swoich działaniach uwzględniają parametry środowiskowe i społeczne. Zielony łańcuch dostaw najprościej można określić jako włączenie myślenia kategoriami środowiskowymi do zarządzania łańcuchem dostaw, w szczególności w odniesieniu do procesów dotyczących projektowania produktu, zaopatrzenia materiałowego, wytworzenia i dostarczenia produktu ostatecznemu klientowi oraz gospodarowania produktami zużytyymi [Srivastava 2007]. Podstawowym celem zielonego łańcucha dostaw będzie zatem minimalizowanie negatywnego oddziaływania produktu na środowisko

naturalne na każdym etapie cyklu życia. Cel ten osiągnięty zostanie dzięki przepływowi zwrotnym. Zwrócenie uwagi na przepływy zwrotne jest wynikiem dostosowywania się przedsiębiorstw do zmian w zakresie wymagań związanych z ochroną środowiska oraz prowadzeniem działalności gospodarczej [Benaissa, Benabdelhafid 2010].

Jednym z obszarów zielonego łańcucha dostaw jest logistyka zwrotna [Min, Kim 2012; Ahi, Searcy 2013]. W przypadku przepływów zwrotnych kluczową rolę pełnią procesy pozyskiwania odpadów i zwrotów, ponieważ korzyści ekonomiczne, społeczne i środowiskowe są widoczne tylko wtedy, gdy zebrane ilości pozostałości są wystarczająco duże [Mafakheri, Nasiri 2013]. Niemniej realizacja procesów zwrotnych w łańcuchu dostaw wymaga odpowiedniej infrastruktury logistycznej. Pamiętać należy przy tym, że realizacja procesów związanych z odpadami poza łańcuchem dostaw znacznie podnosi koszty infrastruktury [Cardoso, Barbosa-Povoa, Relvas 2013], a zatem tylko koordynacja przepływów „do przodu” z przepływami zwrotnymi zapewnić może efektywność wykorzystania infrastruktury logistycznej w tym zakresie. W przypadku zielonych łańcuchów dostaw wyróżnić można trzy podstawowe czynniki determinujące politykę rozwoju infrastruktury niezbędnej do realizacji przepływów zwrotnych: niepewność dostaw, stopień centralizacji punktów sortowania, powiązania przepływów „do przodu” z przepływami zwrotnymi [Diabat i in. 2013].

W zielonych łańcuchach dostaw pojawia się problem odpowiedniego kształtowania nie tylko wielkości przepływów zwrotnych, lecz także wyposażenia w odpowiednią do ich obsługi infrastrukturę. Do rozwiązania problemów decyzyjnych wykorzystywany jest często rachunek optymalizacyjny. Należy pamiętać przy tym, że im większa złożoność łańcucha dostaw, a więc im większa liczba partnerów, procesów i produktów, tym bardziej skomplikowany problem optymalizacyjny [Lau 2013]. Zielony łańcuch dostaw ze względu na to, że realizowane są w nim przepływy materiałów i produktów, w tym zużytych, w układzie zamkniętym, charakteryzuje się dużą złożonością.

Problemem staje się zatem znalezienie odpowiedniego kryterium poszukiwania optymalnych rozwiązań w zakresie wielkości strumieni produktów, zwrotów i odpadów oraz infrastruktury w zielonym łańcuchu dostaw. Koszty uznawane są za podstawowy cel operacyjny zarządzania łańcuchem dostaw [Schulze, Seuring, Ewering 2012]. Stanowią one podstawę oceny strategicznych i operacyjnych przedsięwzięć przedsiębiorstw. Identyfikacja kosztów uznawana jest za jeden z podstawowych kroków przy wdrażaniu koncepcji zielonego łańcucha dostaw [Diabat, Govindan 2011]. Jest to podstawowy powód przyjmowania kosztów za główne i często jedyne kryterium optymalizacji w modelach zielonych łańcuchów dostaw. Powstaje zatem pytanie, czy słuszne jest pomijanie w modelowaniu procesów zwrotnych czynników pozaekonomicznych, które często warunkują przecież funkcjonowanie tego typu łańcucha.

2. Koszty łańcucha dostaw

Koszty są jednym z elementów oceny efektywności funkcjonowania łańcucha dostaw. Szacowane być zatem powinny nie dla każdego partnera z osobna, ale dla poszczególnych procesów związanych z przepływem zasobów przez łańcuch, zarówno w kierunku „do przodu”, jak i odwrotnym.

W celu zapewnienia właściwej koordynacji łańcucha dostaw należy wprowadzić odpowiednie narzędzia rachunkowości umożliwiające analizę kosztów procesów realizowanych na każdym poziomie łańcucha dostaw. Szczegółowa ocena wyników finansowych na każdym poziomie łańcucha dostaw pozwoli na dystrybucję kosztów i korzyści równomiernie wzdłuż całego łańcucha i tym samym na optymalną konfigurację sieci łańcucha dostaw [Schulze, Seuring, Ewering 2012]. Za narzędzie takie można uznać rachunek kosztów działań. W tabeli 1 scharakteryzowano czynniki determinujące opracowanie podejścia opartego na rachunku kosztów działań dla kosztowej oceny procesów w łańcuchu dostaw, ze szczególnym uwzględnieniem zielonych łańcuchów dostaw.

Tabela 1. Czynniki determinujące opracowanie modelu rachunku kosztów działań w łańcuchu dostaw

Czynniki [Schulze, Seuring, Ewering 2012]	Znaczenie czynnika [Schulze, Seuring, Ewering 2012]	Konsekwencje tworzenia zielonego łańcucha dostaw w wyróżnionych obszarach
1	2	3
Długość łańcucha	Długość łańcucha dostaw determinowana jest liczbą jego partnerów. Współczesne łańcuchy dostaw obejmują: dostawców, w tym co najmniej jednego dostawcę usług logistycznych, producentów, detalistów, klientów. Należy zatem dostosować narzędzie kalkulacji kosztów do wielowymiarowych efektów charakterystycznych dla łańcucha dostaw składającego się z więcej niż dwóch partnerów.	W zielonym łańcuchu dostaw pojawiają się nowi partnerzy związani z wydłużeniem cyklu życia produktu, a w szczególności: podmioty zbierające odpady, podmioty segregujące odpady, podmioty zajmujące się odzyskiem lub unieszkodliwianiem odpadów. Pojawienie się nowych partnerów znacznie zwiększa złożoność łańcuch dostaw.
Składowe związku biznesowego	Składowymi związku biznesowego są na przykład procesy, produkty. Analiza kosztów powinna uwzględnić wszystkie procesy realizowane w łańcuchu dostaw w odniesieniu do poszczególnych produktów.	Pojawienie się procesów związanych z „obsługą” produktów odpadowych zwiększa trudność kalkulacji kosztów z nimi związanych ze względu na problem wyodrębnienia kosztów procesów cząstkowych, np. segregacji odpadów.

1	2	3
Rodzaj związku biznesowego	Rodzaj koordynacji w łańcuchu dostaw (hierarchiczna vs heterarchiczna) determinuje chęć do dzielenia się informacją o kosztach i procesach. W większości przypadków zakłada się, że funkcję koordynującą pełni lider łańcucha dostaw.	Między partnerami zajmującymi się przepływami produktu a partnerami zajmującymi się przepływami odpadów istnieją luźne związki ze względu na dużą fluktuację popytu i kosztów w zakresie przepływów zwrotnych. Należy bowiem pamiętać, że przepływy zwrotne charakteryzują się słabym stopniem lub wręcz brakiem powiązań podaży odpadów nadających się do odzysku z popytem na produkty powstałe w wyniku procesów odzysku.
Standardy transparentności kosztów	Wszyscy partnerzy łańcucha dostaw powinni mieć dostęp do algorytmów i kosztów działań/procesów, gdyż tylko wtedy zapewniona zostanie transparentność kosztów całego łańcucha dostaw.	W przypadku przepływów zwrotnych trudno oszacować koszty dotyczące danego łańcucha dostaw ze względu na wysoką złożoność systemu „obsługi” odpadów.
Możliwość oceny danych bieżących, danych czasu rzeczywistego	Wprowadzenie rachunkowości otwartych ksiąg w celu udostępnienia informacji o kosztach wszystkich partnerów łańcucha dostaw. Postępowanie takie umożliwi ciągłą analizę informacji o kosztach.	Koszty związane z gospodarowaniem produktami zużytymi pojawiają się znacznie później w stosunku do kosztów dostarczenia tych produktów do ostatecznych klientów. Stąd trudno dokonywać bieżących analiz w odniesieniu do całego cyklu życia produktu.
Doświadczenia empiryczne	Koncepcja modelu rachunku kosztów musi odpowiadać indywidualnym potrzebom łańcucha dostaw.	Podmioty zajmujące się „obsługą” odpadów nie biorą udziału w dostarczeniu produktu ostatecznemu klientowi, w związku z czym mogą nie być zainteresowane obniżeniem kosztów w całym łańcuchu dostaw.

Źródło: opracowanie własne.

Pettersson i Segerstedt wyróżniają pięć grup kosztów łańcucha dostaw [Pettersson, Segerstedt 2013]:

- Koszty wytworzenia – koszty materiałowe, koszty testów, pośrednie i bezpośrednio koszty pracy, koszty maszyn, urządzeń i budynków.
- Koszty administracyjne – koszty obsługi zamówień, koszty osobowe obsługi zamówień, koszty osobowe obsługi skarg i reklamacji, osobowe koszty obsługi łańcucha dostaw, dotyczące np. organizacji i funkcjonowania sekretariatu, wynagrodzeń kadry zarządczej.

- Koszty magazynowania – koszty kontroli towarów przychodzących, koszty osobowe obsługi magazynów, koszty budynków.
- Koszty dystrybucji – koszty dostarczenia materiałów przychodzących, jeśli przedsiębiorstwo samo je pokrywa, koszty dostarczenia materiałów do odbiorców, koszty ubezpieczenia i kontroli produktów, koszty akredytyw, koszty odpraw celnych.
- Koszty kapitału – koszty kapitału związanego w zasobach magazynowych i utrzymaniu magazynów, koszty kapitału związanego w czasie transportu, koszty kapitału związanego w terminie płatności faktur.
- Koszty instalacji urządzeń u klientów – koszty osobowe związane z procesem instalacyjnym (np. maszyn, wind, elektrycznych systemów kontroli), koszty narzędzi.

Wymienione kategorie kosztów odpowiadają w zasadzie kluczowym działaniom w zielonym łańcuchu dostaw, związanym z pozyskiwaniem, wytwarzaniem i dostarczaniem zużytych produktów i zwrotów oraz odpadów. W przypadku zielonego łańcucha dostaw wszystkie kategorie kosztów odnieść należy nie tylko do przepływów materiałowych „do przodu”, ale również do zużytych produktów i zwrotów, które wracają do systemu po poddaniu ich odpowiednim procesom przywracającym ich wartość użytkową, oraz odpadów nadających się jedynie do unieszkodliwienia, a zatem obiektów, które zostają usunięte z systemu. Identyfikacja i analiza kosztów łańcucha dostaw jest niezwykle trudna, szczególnie w warunkach polskich, gdzie rachunkowość finansowa nie dostarcza odpowiednich narzędzi w tym zakresie. Ewidencja kosztów prowadzona jest bowiem na poziomie pojedynczego podmiotu, a tym samym odzwierciedla w ujęciu wartościowym zjawiska i procesy gospodarcze zachodzące jedynie w tym podmiocie. Ponadto mimo wielu różnych klasyfikacji ponoszonych kosztów ich ewidencja nie do końca pozwala na procesowe ujęcie wartościowego zużycia czynników działalności przedsiębiorstwa. Trudno zatem ponoszone koszty przypisać realizowanym w jednostce gospodarczej procesom zwrotnym, szczególnie w zakresie kosztów administracyjnych i kosztów kapitałów. Niezbędne są więc badania, które dałyby podstawy do stworzenia rachunku kosztów odpowiedniego do potrzeb ewidencji kosztów w łańcuchu dostaw, bądź opracowania na podstawie obowiązujących rachunków kosztów zestawu kosztów dającego możliwość uzyskania wieloprzekrojowego układu informacji o kosztach generowanych w łańcuchu dostaw.

3. Kosztowa funkcja celu dla optymalizacji przepływów zwrotnych w zielonych łańcuchach dostaw

Mimo dużej złożoności zielonych łańcuchów dostaw procesy w nich realizowane często poddawane są modelowaniu optymalizacyjnemu. Modelowanie pomaga uchwycić efekt synergii funkcjonalnej i organizacyjnej integracji i koordynacji w

łańcuchu dostaw, a tym samym wspomaga proces decyzyjny współpracujących partnerów [Liang i in. 2013]. W przypadku modeli zielonych łańcuchów dostaw za kryterium optymalizacyjne przyjmuje się zawsze koszty, czasami dodatkowo kategorie środowiskowe w przypadku modeli z więcej niż jedną funkcją celu.

Panagiotidou, Nenes i Zikopoulos proponują model, w którym funkcja celu określona jest jako funkcja krańcowego zysku będącego różnicą między przychodami ze sprzedaży a kosztami związanymi z zamówieniem i procesem regeneracji odpadów/zwrotów, a w szczególności: kosztami zamówienia odpadów/zwrotów, kosztami regeneracji, kosztami kontroli właściwości odpadów/zwrotów przed i po złożeniu zamówienia [Panagiotidou, Nenes, Zikopoulos 2013]. Za zmienną decyzyjną przyjmują autorzy wielkość zamówienia odpadów/zwrotów do regeneracji. Inaczej problem optymalizacji przepływów zwrotnych analizują Tai i Ching [2014]. Poszukują oni optymalnego rozwiązania dla łańcucha dostaw, w którym zaopatrzenie może nastąpić bezpośrednio od dostawcy, z centralnego magazynu zapasów produktów i zwrotów oraz z magazynów lokalnych mogących przetwarzać zwroty ponownie w produkty gotowe. Opracowany przez nich model ma na celu znalezienie optymalnej wielkości zapasów produktów w magazynach lokalnych przy możliwie najmniejszych kosztach operacyjnych rozumianych jako koszty związane z realizacją popytu oraz koszty magazynowania w lokalnych i centralnym magazynie. Vercraene i Gayon analizują łańcuch dostaw, w którym zwroty mogą zasilać bądź to proces produkcyjny (jeżeli są to zwroty wymagające ponownego przetworzenia), bądź proces dystrybucyjny (jeżeli zwroty dotyczą produktów gotowych niewymagających przetworzenia przed ponownym wprowadzeniem na rynek) [Vercraene, Gayon 2013]. Podobnie jak w poprzednich modelach, kryterium dla określenia optymalnej wielkości zapasu podstawowego jest minimalizacja kosztów zdyskontowanych (średnich) dotyczących utrzymywania zapasów i braku towaru. Problem optymalizacji przepływów zwrotnych próbowali rozwiązać również Das i Chowdhury [2012]. W swoim modelu założyli maksymalizację zysku będącego różnicą między przychodami ze sprzedaży gotowych produktów a kosztami zebrania i transportu zwrotów/odpadów do zakładów je przetwarzających, odzysku, zakupu nowych materiałów produkcyjnych, produkcji, transportu do centrów dystrybucji, dostarczenia ostatecznemu klientowi. W kryterium optymalizacji przyjęli oni zatem jedynie koszty związane z procesami logistycznymi realizowanymi w celu dostarczenia produktu ostatecznemu klientowi oraz ponownego wprowadzenia zużytych produktów jako materiałów produkcyjnych do systemu gospodarczego. W modelu Ruiza-Beniteza i Muriela [2014] kryterium optymalizacji stanowią koszty logistyki związane ze zwrotami, ale pomniejszone o wartość, jaką można odzyskać z produktów, których nie udało się sprzedać. Autorzy modelu stwierdzają, że w przypadku łańcucha dostaw wyższe zyski można osiągnąć, gdy sprzedawca pokrywa większą część kosztów logistycznych związanych ze zwrotami od klientów. Gomes-Salema, Barbosa-Pova i Novais za kryterium optymalizacji przyjmują koszty wytwarzania nowych produktów z wykorzystaniem surowców wtórnych, składowania materia-

łów odpadowych i zwrotów, demontażu, transportu nowych produktów [Gomes-Salema, Barbosa-Povo, Novais 2007]. Model pozwala na znalezienie optymalnej pod względem kosztów struktury powiązań między konsumentami, zakładami produkcyjnymi, magazynami i centrami demontażu. Mutha i Pokharel uwzględniają w swoim modelu przepływy między: detalistami, magazynami, punktami przetwarzania, zakładami produkcyjnymi, centrami dystrybucji, składowiskami, punktami recyklingu, dostawcami, rynkiem surowców wtórnych i produktów z odzysku [Mutha, Pokharel 2009]. W modelu optymalnego rozwiązania poszukuje się przy założeniu minimalnych kosztów całkowitych uwzględniających koszty: zakupu nowych modułów niezbędnych do wytworzenia nowego produktu, transportu produktów/modułów między poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw, składowania produktów/modułów w poszczególnych ogniwach łańcucha dostaw, przetwarzania oraz opłaty za korzystanie z wynajętych urządzeń ponoszone przez magazyny, punkty przetwarzania i zakłady produkcyjne. El-Sayed, Afia i El-Kharbotly zaproponowali model dotyczący planowania przepływów tradycyjnych i zwrotnych [El-Sayed, Afia, El-Kharbotly 2010]. Przepływy w kierunku tradycyjnym realizowane są przez dostawców, zakłady produkcyjne, dystrybutorów i konsumentów oferowanych produktów. Przepływy zwrotne z kolei realizują punkty demontażu, punkty bezpiecznego usuwania pozostałości, punkty redystrybucji i konsumenci produktów z odzysku. W opracowanym przez siebie modelu autorzy założyli maksymalizację zysku rozumianego jako różnica między przychodami ze sprzedaży produktów nowych i produktów z odzysku a kosztami stałymi związanymi z utworzeniem danego punktu, kosztami materiałów, produkcji, niewykorzystanych zdolności, niedoboru, zakupu, demontażu, recyklingu, regeneracji, naprawy, unieszkodliwiania, transportu, składowania. Govindan i in. zaproponowali z kolei model, którego celem jest określenie optymalnej liczby partnerów w łańcuchu dostaw i wielkości dostaw pomiędzy nimi przy założeniu minimalizacji kosztów powstania i funkcjonowania łańcucha oraz minimalizacji negatywnego wpływu łańcucha na środowisko naturalne [Govindan i in. 2014]. W kosztach łańcucha dostaw uwzględnili oni stałe i zmienne koszty związane z uruchomieniem miejsca produkcji, wyposażeniem go w odpowiednie technologie oraz uruchomieniem centrum dystrybucji. Ponadto w modelu uwzględnili kryterium określające oddziaływanie na środowisko naturalne spowodowane uruchomieniem i funkcjonowaniem zakładów produkcyjnych, centrów dystrybucji, dostawą towarów od producentów do centrów dystrybucji, a następnie do odbiorców. Wpływ funkcjonowania łańcucha dostaw na środowisko naturalne uwzględnili również w swoim modelu Szavari i in. [Szavari i in. 2014]. W funkcji celu założyli oni nie tylko minimalizację kosztów związanych z funkcjonowaniem łańcucha dostaw, zwłaszcza kosztów zamówienia, zakupu, transportu, utrzymania zapasów, recyklingu, utraconej sprzedaży, braku towaru, ale również poziom emisji gazów cieplarnianych w wyniku realizacji procesów transportu, recyklingu, a także psucia się towarów. Wielokryterialność celów zakładają też w swoim modelu Wadhawa, Madaan i Chan, którzy za kryteria optymalizacji przyjęli: kosz-

ty związane z czasem realizacji poszczególnych działań, wpływ realizacji danego wariantu na środowisko naturalne, czynniki rynkowe, jakość, wpływ instrumentów prawnych na realizację danego wariantu [Wadhawa, Madaan, Chan 2009]. Na ekologizacji działań łańcucha dostaw skoncentrowali się również Wang i in. [2011]. W funkcjach celu ujęto koszty funkcjonowania całej sieci, a w szczególności koszty uruchomienia danego zakładu, inwestycji mających na celu ochronę środowiska naturalnego, transportu, produkcji (przetworzenia) oraz skutek dla środowiska naturalnego wyrażony poziomem emisji dwutlenku węgla. W tabeli 2 zestawiono przedstawione modele według przyjętych kryteriów optymalizacji.

Tabela 2. Kryteria optymalizacji przepływów w zielonym łańcuchu dostaw

Autor	Kryterium optymalizacji
Das, Chowdhury 2012; El-Sayed 2010	Zysk
Panagiotidou i in. 2013; Gomes-Salema i in. 2007	Zysk krańcowy
Tai, Ching 2014; Ruiz-Benitez, Muriel 2014; Mutha, Pokharel 2009	Koszty funkcjonowania zielonego łańcucha dostaw
Vercraene, Gayon 2013	Zdyskontowane (średnie) koszty utrzymywania zapasów i braku towaru
Sazvar i in. 2014	Zysk oraz stopień oddziaływania zielonego łańcucha dostaw na środowisko naturalne
Govindan i in. 2014; Wadhawa i in. 2009; Wang i in. 2011	Koszty funkcjonowania zielonego łańcucha dostaw oraz stopień oddziaływania łańcucha na środowisko naturalne

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione przykłady funkcji celów w optymalizacyjnych modelach zielonych łańcuchów dostaw nie wyczerpują wszystkich opracowań w tym zakresie. Wskazują jednak na podstawowe problemy uwzględniane w proponowanych modelach i potwierdzają stwierdzenie, że najczęściej przyjmowanymi kryteriami optymalizacji są kryteria ekonomiczne.

Przyjęcie za kryterium optymalizacji wielkości związanych z kosztami funkcjonowania łańcucha dostaw ma swoje uzasadnienie, gdyż bardzo trudno jest zmierzyć oddziaływanie realizacji wszelkiego rodzaju procesów na środowisko naturalne. Ocena oddziaływania środowiskowego będzie bowiem inna w przypadku odniesienia jej do pojedynczego przedsiębiorstwa niż w przypadku całej sieci przedsiębiorstw [Öberg, Hüge-Brodin, Björklund 2012].

Przyjęcie w modelach jedynie kosztów za kryterium optymalizacji ma jednak swoje wady. Pettersson i Segerstedt zwracają uwagę, że w analizie kosztów łańcucha dostaw pomija się zupełnie koszty obsługi klientów, kanałów dystrybucyjnych i segmentów rynku, a przedsiębiorstwa są zainteresowane raczej kosztami produktów niż klientów [Pettersson, Segerstedt 2013]. Panagiotidou i in. na podstawie prze-

przebiegu badań stwierdzili, że opłacalność procesu regeneracji zależy od parametrów odpadów/zwrotów jej poddawanych, właściwości technicznych systemu regeneracji, a także od uzyskania odpowiednio wcześniej informacji o podaży odpadów/zwrotów. W celu dostosowania zamówień na nowe produkty do ilości odpadów mogących zostać poddanych procesowi regeneracji należy przeprowadzić kontrolę odpadów pod kątem właściwości kwalifikujących je do regeneracji [Panagiotidou, Nenes, Zikopoulos 2013]. Koszty w tym przypadku stanowią zatem czynnik drugorzędny.

Pamiętać należy, że z przepływami zwrotnymi związane są nie tylko aspekty ekonomiczne i środowiskowe, lecz także społeczne [Witkowski 2012]. Większość autorów ogranicza się do uwzględniania w opracowanych przez siebie modelach jedynie wielkości ekonomicznych i środowiskowych, pomijając całkowicie parametry społeczne [Nikolaou, Evangelinos, Allan 2013; Ramos, Gomes, Barbosa-Povoa 2014]. Modele zielonych łańcuchów dostaw powinny jednak uwzględniać również konsekwencje tworzenia form współpracy mającej na celu tworzenie zamkniętych obiegów gospodarczych dla społeczeństwa.

4. Pozakosztowe kryteria optymalizacji przepływów zwrotnych

Koszty są bez wątpienia podstawową kategorią oceny efektywności ekonomicznej funkcjonowania łańcucha dostaw. Przepływy zwrotne dotyczą jednak obiektów o specyficznych cechach i dlatego odniesienie ich tylko i wyłącznie do kategorii kosztowych nie jest do końca uzasadnione z punktu widzenia celu zielonego łańcucha dostaw, którym jest ograniczenie negatywnego oddziaływania realizowanych procesów na środowisko naturalne. Najważniejszym kryterium optymalizacji przepływów zwrotnych w zielonych łańcuchach dostaw wydaje się zatem kryterium środowiskowe. Trudnością jest jednak nie tylko wygenerowanie informacji o charakterze środowiskowym, ale również powiązanie ich z ekonomicznymi parametrami określającymi funkcjonowanie przedsiębiorstwa [Nitkiewicz 2013] i także łańcucha dostaw. Tym bardziej że z przetwarzaniem zwrotów/odpadów oraz wykorzystaniem produktów z odzysku w procesie produkcyjnym związane są dodatkowe koszty, np. zużycia surowców wtórnych, zainstalowania i obsługi dodatkowych maszyn i urządzeń, wyeliminowania zakłóceń technologicznych w procesie produkcyjnym.

Kryteria środowiskowe uwzględniane w modelach wyrażone są głównie poziomem emisji gazów cieplarnianych. Jest to zrozumiałe, ponieważ gazy cieplarniane stanowią podstawowe źródło zmian klimatycznych. Nie można jednak zapominać o szkodliwości innych zanieczyszczeń powietrza, takich jak np. dwutlenek siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, pyły. Dlatego też poziom emisji również podstawowych zanieczyszczeń stałych i gazowych powietrza powinien zostać uwzględniony przy poszukiwaniu optymalnych rozwiązań dla zielonego łańcucha dostaw. Równie istotnym problemem są odpady i ścieki, których nie da się poddać odzyskowi ani powtórnemu użyciu. Celem optymalizacji powinna być zatem również minimalizacja

ilości ścieków i odpadów przeznaczonych do unieszkodliwienia, a w szczególności do składowania.

Wśród kryteriów środowiskowych powinny znaleźć się także te, które dotyczą: konsumpcji energii, zużycia materiałów, zużycia wody. Konsumpcja energii obejmuje nie tylko zużycie energii elektrycznej, ale również wykorzystanie paliw kopalnych czy też odnawialnych źródeł energii. Zużycie materiałów dotyczy wszystkich materiałów, surowców, półproduktów niezbędnych do prawidłowej realizacji procesu produkcyjnego. Zużycie wody z kolei to ilość wody zakupionej i pozyskanej ze źródeł powierzchniowych lub głębinowych. Mierniki te wraz z emisją gazów cieplarnianych oraz emisją gazów wpływających na stężenie ozonu w stratosferze zostały zaproponowane przez Światową Radę Biznesu na rzecz Zrównoważonego Rozwoju do oceny stopnia realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwie.

Problem pojawia się w przypadku uwzględnienia w kryterium optymalizacji mierników społecznych. Nikolaou, Evangelinos i Allan proponują do oceny społecznych aspektów funkcjonowania logistyki zwrotnej zagregowany wskaźnik przedsięwzięć społecznych, obejmujący cztery grupy wskaźników cząstkowych dotyczących [Nikolaou, Evangelinos, Allan 2013]:

1. Zagadnień związanych z planowaniem zatrudnienia (np. procent pracowników reprezentowanych przez niezależne organizacje związkowe, dobrowolne świadczenia pracownicze, liczba godzin szkoleniowych, formalne porozumienia ze związkami zawodowymi, programy wspierające ciągłość zatrudnienia pracowników, programy dotyczące kształcenia ustawicznego).

2. Zasobów ludzkich (np. przepisy traktujące o poszanowaniu praw człowieka, przepisy dotyczące poszanowania praw człowieka, polityka zapobiegania pracy przymusowej).

3. Zagadnień związanych ze społeczeństwem (np. nagrody otrzymane za osiągnięcia ekonomiczne, środowiskowe i społeczne, polityka mająca na celu zachowanie zdrowia i bezpieczeństwa klientów).

4. Kwestii związanych z odpowiedzialnością za produkt (np. zapewnienie klientom bezpieczeństwa w trakcie użytkowania produktów, procedury ochrony prywatności konsumentów, polityka zapewnienia satysfakcji klienta, rodzaje naruszenia przepisów reklamowych i marketingowych).

Powyższe wielkości są w większości trudne do zmierzenia oraz powiązania z wielkością strumieni odpadów (w tym zwrotów) w łańcuchu dostaw. Trudno tym samym uwzględnić je w modelach jako kryteria optymalizacyjne. Pośrednio można jednak pokazać wpływ działań prośrodowiskowych związanych z obsługą strumieni zwrotnych na poziom wskaźników społecznych. Należy pamiętać, że każde działanie podmiotu gospodarczego znajduje odzwierciedlenie w zachowaniu społeczeństwa i powoduje reakcję zwrotną.

Jako kryteria społeczne wyrażone ilościowo zaproponowano w artykule: zminimalizowanie czasu pracy osób zaangażowanych w obsługę przepływów zwrotnych,

w szczególności w zakresie transportu, zminimalizowanie zagrożenia wypadkami przy obsłudze procesów zwrotnych, zmaksymalizowanie wartości wizerunku podmiotu gospodarczego, zwłaszcza zielonego łańcucha dostaw rozumianego jako jego obraz w świadomości otoczenia. Do kryteriów społecznych zaliczyć można też zmaksymalizowanie poziomu obsługi klienta rozumianego zarówno jako prawdopodobieństwo niewystąpienia braku w poziomie zapasów, w tym przypadku produktów z odzysku, jak i stopień ilościowej realizacji zamówień. W zielonym łańcuchu dostaw powinno się dążyć do możliwie jak największego zaspokojenia popytu odbiorców na dany produkt z zapasu produktów z odzysku, z uwzględnieniem oczywiście zapotrzebowania na ten typ produktów. Należy pamiętać bowiem, że produkty z odzysku, mimo wysokiej wartości użytkowej, nie zawsze mają takie same parametry, jak produkty nowe.

Zwiększanie rangi kryteriów pozakosztowych w optymalizacji przepływów zwrotnych w łańcuchach dostaw jest działaniem naturalnym, wynikającym bezpośrednio z celów zielonego łańcucha dostaw. Niestety ze względu na funkcjonujący w przedsiębiorstwach układ informacji dostarczanych z różnych źródeł kwantyfikacja efektów społecznych jest niezwykle trudna, co skutkuje nieuwzględnianiem ich w procesach optymalizacyjnych.

5. Zakończenie

W większość modeli za cel optymalizacji przyjmuje się koszty bądź zyski, które determinowane są poziomem kosztów. Koszty, zysk i kapitał są podstawowymi kategoriami analizy sprawności i efektywności łańcucha dostaw [Ślusarczyk, Kot 2012]. Przyjęcie tych wielkości za kryteria optymalizacji przepływów zwrotnych jest zatem zasadne ze względu na odniesienie funkcjonowania zielonych łańcuchów dostaw do nadrzędnego celu przedsiębiorstwa, jakim jest wzrost wartości dodanej [Witkowski 2010; Blaik 2010], która jest wynikiem oddziaływania logistyki na wielkość zaangażowanych kapitałów [Skowronek, Sarjusz-Wolski 2003]. Dążenie do maksymalizacji wartości dodanej dla szeroko pojętej grupy interesariuszy stanowi ideę funkcjonowania łańcucha dostaw [Skowron-Grabowska 2010], a więc i zielonego łańcucha dostaw. Tym bardziej zatem uwzględnianie kosztów w modelach jako podstawowy cel optymalizacji przepływów w zielonych łańcuchach dostaw jest wskazane.

Funkcjonowanie zielonego łańcucha dostaw powinno być oceniane jednak nie tylko z punktu widzenia jego wyników finansowych. Dążenie do pomnażania wartości dla różnych grup interesariuszy nie jest bowiem jedynym wyznacznikiem rozwoju łańcucha dostaw. Równie ważne i zbieżne z celem ekonomicznym są cele środowiskowe i społeczne. Dlatego też poszukiwanie optymalnych rozwiązań w zakresie kształtowania przepływów zwrotnych w zielonym łańcuchu dostaw determinowane powinno być zarówno kosztami bądź zyskami, jak i kategoriami pozakosztowymi, związanymi z ograniczeniem negatywnego wpływu na środowisko

naturalne i kształtowaniem odpowiednich relacji społecznych wewnątrz samego łańcucha oraz między łańcuchem a otoczeniem. Niestety czynniki środowiskowe i społeczne są trudne do zmierzenia i powiązania ze zmiennymi decyzyjnymi, związanymi zazwyczaj z wielkością strumienia przepływów zwrotnych oraz elementami infrastruktury obsługującej przepływy zwrotne. Problem uwzględnienia czynników środowiskowych i społecznych w poszukiwaniu rozwiązań optymalnych w zakresie przepływów zwrotnych w zielonych łańcuchach dostaw jest zatem nadal aktualny.

Literatura

- Ahi P., Searcy C., 2013, *A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 52, s. 329–341.
- Benaissa M., Benabdelhafid A., 2010, *A multi-product and multi-period facility location model for reverse logistics*, „Polish Journal of Management Studies”, vol. 2, s. 7–19.
- Blaik P., 2010, *Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Cardoso S.R., Barbosa-Povoa A.P.F.D., Relvas S., 2013, *Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty*, „European Journal of Operational Research”, vol. 226, s. 436–451.
- Das K., Chowdhury A.H., 2012, *Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning*, „International Journal of Production Economics”, vol. 135, s. 209–221.
- Diabat A., Govindan K., 2011, *An analysis of the drivers affecting the implementation of green supply chain management*, „Resources, Conservation and Recycling”, vol. 55, s. 659–667.
- Diabat A., Kannan D., Kaliyan M., Svetinovic D., 2013, *An optimization model for product returns using genetic algorithms and artificial immune system*, „Resources, Conservation and Recycling”, vol. 74, s. 156–169.
- El-Sayed M., Afia N., El-Kharbotly A., 2010, *A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk*, „Computers & Industrial Engineering”, vol. 58, s. 423–431.
- Gomes Salema M.I., Barbosa-Povoa A.P., Novais A.Q., 2007, *An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty*, „European Journal of Operation Research”, vol. 179, s. 1063–1077.
- Govindan K., Jafarian A., Khodaverdi R., Devika K., 2014, *Two-echelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food*, „International Journal of Production Economics”, vol. 152, s. 9–28.
- Lau K.H., 2013, *Measuring distribution efficiency of a retail network through data envelopment analysis*, „International Journal of Production Economics”, vol. 146, s. 598–611.
- Liang W.Y., Huang C.C., Lin Y.C., Chang T.H., Shih M.H., 2013, *The multi-objective label correcting algorithm for supply chain modeling*, „International Journal of Production Economics”, vol. 142, s. 172–178.
- Mafakheri F., Nasiri F., 2013, *Revenue sharing coordination in reverse logistics*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 59, s. 185–196.
- Min H., Kim I., 2012, *Green supply chain research: past, present, and future*, „Logistics Research”, vol. 4, s. 39–47.

- Mutha A., Pokharel S., 2009, *Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product module*, „Computers & Industrial Engineering”, vol. 56, s. 334–346.
- Nikolaou I.E., Evangelinos K.I., Allan S., 2013, *A reverse logistics social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 56, s. 173–184.
- Nitkiewicz T., 2013, *Ekologiczna ocena cyklu życia produktu w procesach decyzyjnych przedsiębiorstw produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- Öberg C., Hüge-Brodin M., Björklund M., 2012, *Applying a network level in environmental impact assessments*, „Journal of Business Research”, vol. 65, s. 247–255.
- Panagiotidou S., Nenes G., Zikopoulos C., 2013, *Optimal procurement and sampling decisions under stochastic yield of returns in reverse supply chains*, „Operations Research-Spectrum”, vol. 35, s. 1–32.
- Pettersson A.I., Segerstedt A., 2013, *Measuring supply chain cost*, „International Journal of Production Economics”, vol. 143, s. 357–363.
- Ramos T.R.P., Gomes M.I., Barbosa-Póvoa A.P., 2014, *Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns*, „Omega”, vol. 48, s. 60–74.
- Ruiz-Benitez R., Muriel A., 2014, *Consumer returns in a decentralized supply chain*, „International Journal of Production Economics”, vol. 147, s. 573–592.
- Sazvar Z., Mirzapour Al-e-hashem S.M.J., Baboli A., Akbari Jokar M.R., 2014, *A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products*, „International Journal of Production Economics”, vol. 150, s. 140–154.
- Schulze M., Seuring S., Ewering C., 2012, *Applying activity-based costing in a supply chain environment*, „International Journal of Production Economics”, vol. 135, s. 716–725.
- Skowron-Grabowska B., 2010, *Centra logistyczne w łańcuchach dostaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z., 2003, *Logistyka w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Srivastava K.S., 2007, *Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review*, „International Journal of Management Reviews”, vol. 9 (1), s. 53–80.
- Ślusarczyk B., Kot S., 2012, *Principles of the supply chain performance measurement*, „Advanced Logistic Systems”, vol. 6, no. 1, s. 17–24.
- Tai A.H., Ching W.K., 2014, *Optimal inventory policy for a Markovian two-echelon system with returns and lateral transshipment*, „International Journal of Production Economics”, vol. 151, s. 48–55.
- Vercraene S., Gayon J.P., 2013, *Optimal control of a production-inventory system with product returns*, „International Journal of Production Economics”, vol. 142, s. 302–310.
- Wadhwa S., Madaan J., Chan F.T.S., 2009, *Flexible decision modeling of reverse logistics system: A value adding MCDM approach for alternative selection*, „Robotics and Computer-Integrated Manufacturing”, vol. 25, s. 460–469.
- Wang X., Chan H.K., Yee R.W.Y., Diaz-Rainey I., 2012, *A two-stage fuzzy-AHP model for risk assessment of implementing green initiatives in the fashion supply chain*, „International Journal of Production Economics”, vol. 135, s. 595–606.
- Wang F., Lai X., Shi N., 2011, *A multi-objective optimization for green supply chain network design*, „Decision Support Systems”, vol. 51, s. 262–269.
- Witkowski J., 2010, *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Witkowski K., 2012, *Processes of reverse logistics and recycling of plastics in automotive industry*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra.

REVERSE FLOWS OPTIMIZATION CRITERIA FOR GREEN SUPPLY CHAINS

Summary: Factors such as waste increase, environmental behaviour of consumers, the significance of ecological awareness in decision making processes in a company and the increasingly strict regulations regarding the environmental impact of businesses contribute to the creation of green supply chains. The chains realize processes of goods flows, and especially the reverse logistics processes, in line with environmental practices. The basic category and factor determining the formation of reverse flows in green supply chains are costs. The purpose of the article is twofold: a critical analysis of the subject literature in terms of assumed cost optimization criteria for reverse streams in green supply chains on one hand and the identification of non-economic factors which should be considered by cooperating partners in their decision making processes on the other one.

Keywords: green supply chain, reverse logistics, optimization criteria.