

Piotr Januszewski¹

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Modele symulacyjne w systemach logistyki zwrotnej

Prowadzenie działalności gospodarczej niezaprzecalnie łączy się z powstawaniem przepływów nie będących bezpośrednim następstwem procesów produkcji. Odnoszą się one do różnych podmiotów funkcjonujących na rynku – zarówno firm, jak i ostatecznych konsumentów. Potrzeba sklasyfikowania działań związanych z zagospodarowaniem „ubocznych efektów działalności gospodarczej” była przyczyną wydzielenia obszaru wiedzy praktycznej, jaką jest logistyka zwrotna. Zgodnie z definicją, obejmuje ona planowanie, implementację i kontrolowanie efektywnego przepływu dóbr materialnych oraz powiązanego przepływu informacji, od miejsca konsumpcji do miejsc pochodzenia, w celu odzyskania wartości lub właściwego zagospodarowania. Przepływy te są ukierunkowane odwrotnie, niż w tradycyjnie pojmowanej logistyce [1]. Inaczej logistykę zwrotną definiują J. Bendkowski i M. Wengierek [2], dla których omawiane pojęcie to „zastosowanie koncepcji logistyki w odniesieniu do pozostałości, aby w ten sposób spowodować ekonomicznie i ekologicznie skuteczny przepływ pozostałości, przy jednoczesnej transformacji przestrzenno – czasowej, włącznie ze zmianą ilości i gatunku. Z kolei Rogers i Tibben-Lembke [3, 4, 5] definiują logistykę zwrotną jako proces planowania, implementacji i kontroli efektywnego kosztowo przepływu surowców, materiałów i produktów gotowych od miejsca konsumpcji do miejsca wytworzenia, w celu odzyskania ich wartości lub poprawnej utylizacji. Jednym słowem, jako logistykę zwrotną można określić szerokie spektrum przepływów towarów, materiałów i informacji od konsumenta do producenta poprzez zaangażowane w proces ogniwa łańcucha dostaw. Towary te można sklasyfikować do jednej z grup: odpady (również komunalne), recycling, zwroty towarów, opakowania zwrotne.

Tak jak wszystkie przepływy, również te związane z logistyką zwrotną, są przyczyną powstawania kosztów dla zaangażowanych przedsiębiorstw. Warunki zewnętrzne, w jakich te przepływy mają miejsce, charakteryzują się często dużą zmiennością spowodowaną występowaniem wielu czynników losowych. Fakt ten powoduje trudności w podejmowaniu decyzji związanych z działaniami wstecznymi. Z tego też powodu zaczęto wykorzystywać nowoczesne technologie w celu opracowywania modeli symulacyjnych, dzięki którym można analizować opłacalność poszczególnych wariantów zdarzeń losowych.

Obszar logistyki zwrotnej koncentrujący się na zarządzaniu opakowaniami zwrotnymi nie jest wyjątkiem. Wielu autorów podjęło próbę opracowania modelu, którego zastosowanie miało ułatwić menedżerom podejmowanie decyzji

dotyczących opłacalności wykorzystania opakowań zwrotnych. Celem artykułu jest przedstawienie wybranych modeli symulacyjnych opisanych w literaturze oraz zaproponowanie autorskiego modelu symulacyjnego logistyki zwrotnej RevPack, służącego do ewaluacji zastosowania opakowań zwrotnych z uwzględnieniem decyzji podmiotów decydujących o oddaniu tych opakowań.

Pierwszym przytoczonym modelem opisanym w literaturze jest projekt zaproponowany przez grupę badaczy z Michigan State University [6]. Opracowany przez nich model służy do analizy opłacalności ekonomicznej wdrożenia kontenerów jednorazowych w porównaniu do zakupu kontenerów wielokrotnego użytku [7]. Zaproponowane przez nich podejście polega na porównaniu wartości 5 wskaźników, wyszczególnionych dla wariantu opakowań zwrotnych i jednorazowych. Wszystkie wskaźniki wyrażone są w jednostkach pieniężnych na pojedynczy produkt. Wyszczególnione wskaźniki dotyczą: kosztów kontenerów, kosztów transportu, kosztów pracy związanej z obsługą kontenerów, kosztów utylizacji, przychodów z odzysku surowców, z których zostały wykonane kontenery. Model ten bazuje na pewnych uproszczeniach, zakładając, że łańcuch dostaw składa się z dwóch ogniw (jednego dostawcy i jednego odbiorcy), pomiędzy którymi dwukierunkowo transportowane są kontenery. Do najważniejszych wniosków badania należało wykazanie, że z analizowanych czynników, mającym największy wpływ na powstawanie kosztów, jest różnica w cenie pomiędzy kontenerami jednokrotnego i wielokrotnego użytku. Ciekawym wnioskiem okazał się również fakt, iż odległości pomiędzy partnerami biznesowymi nie są kluczowe.

Inne podejście, bazujące na algorytmach generycznych², proponują autorzy z Waseda University [8]. Przedstawione przez nich podejście jest przykładem implementacji koncepcji Just-In-Time w systemach logistyki zwrotnej. Optymalizacja procesu przebiega poprzez minimalizację funkcji transportu, kosztów zapasów lub kosztów braków, w systemie składającym się z trzech rzędów podmiotów gospodarczych. Pierwszy rząd to firmy zbierające opakowania zwrotne z rynku (sklepy, supermarkety, punkty skupu opakowań zwrotnych itp.). W dalszej kolejności zebrane opakowania transportowane są do przedsiębiorstw odzyskujących, które po procesie czyszczenia kierują opakowania dalej do producenta lub do miejsca ich utylizacji. Podobnie, jak w poprzednim modelu, koszty transportu (wynikające między innymi z odległości pomiędzy poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw) nie odgrywały kluczowej roli.

¹ Mgr P. Januszewski – doktorant w Katedrze Logistyki i Transportu Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.

² Algorytm generyczny to skończony ciąg jasno zdefiniowanych czynności, przeszukujący przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu wyszukania rozwiązań najlepszych.

Tab. 1. Zestawienie wskaźników systemów kontenerowych.

| Rodzaj kosztów/przychodów | Kontenery jednorazowe | Kontenery zwrotne |
|---|----------------------------------|--|
| Koszty kontenerów (ang. <i>Container Cost</i>) | $ECC = \frac{UCE}{PQ}$ | $RCC = \frac{UCR * N}{AV * CL}$ |
| Koszty transportu (ang. <i>Transportation Cost</i>) | $TCE = \frac{R * DD}{FOS * ADV}$ | $TCR = \frac{R * (1 - d) * DD * 2 + NS * SR}{FOS * ADV}$ |
| Koszty pracy (ang. <i>Labor Costs</i>) | $LCE = TE * \frac{LR}{PQ}$ | $LCR = TR * \frac{LR}{PQ}$ |
| Koszty utylizacji (ang. <i>Disposal Cost</i>) | $DCE = \frac{DR * CW}{PQ}$ | |
| Przychody wynikające z odzysku (ang. <i>Recycling Revenue</i>) | $RRE = \frac{eRR * CW}{PQ}$ | $RRR = \frac{rRR * CW}{\frac{WD}{CT} * PQ * CL}$ |

Źródło: opracowanie na podstawie: Mallenkopf, i inni 2005, s. 184.

- ADV – przeciętna dzienna ilość części, części/dzień (ang. *average daily volume*)
- AV – roczna ilość części, części/rok (ang. *annual volume*)
- CL – czas życia kontenera (ang. *container life*)
- CT – czas cyklu (ang. *cycle time*)
- CW – ciężar kontenera (ang. *container weight*)
- d – rabat (ang. *discount rate*)
- DCE – koszt utylizacji (ang. *disposal cost*)
- DD – odległość dostawy (ang. *delivery distance*)
- eRR – stopa odzysku na kg (ang. *recycling rate*)
- ECC – koszt jednorazowego kontenera na jeden produkt (ang. *expendable container cost per product*)
- FOS – częstotliwość dostaw (ang. *frequency of supply*)
- LCE – koszty pracy w systemach jednorazowych (ang. *labor cost for expendable system*)
- LR – koszt pracy (ang. *labor rate per hour*)
- UCE – koszt jednostkowy kontenera jednorazowego
- UCR – koszt jednostkowy kontenera zwrotnego
- N – liczba kontenerów do zakupu (ang. *number of containers to be purchased*)
- NS – ilość zatrzymań (ang. *number of stops*)
- PQ – pojemność kontenera (ang. *pack quantity*)
- R – stawka za kilometr (ang. *rate per kilometer*)
- rRR – stopa odzysku na kg w odniesieniu do kontenerów zwrotnych (ang. *recycling rate*)
- RCC – koszt kontenera zwrotnego (ang. *reusable container cost*)
- SR – koszt zatrzymania (ang. *stop-off rate*)
- TCE – koszty transportu dla systemu kontenerów jednorazowych (ang. *transportation cost for expendable systems*)
- TCR – koszty transportu dla systemu kontenerów zwrotnych (ang. *transportation cost for reusable container systems*)
- TE – czas obsługi kontenera jednorazowego (ang. *time needed to handle expendable container*)
- TR – czas obsługi kontenera zwrotnego (ang. *time needed to handle reusable container container*)
- WD – dni pracy w ciągu roku (ang. *working days per year*)

Opisywane modele symulacyjne w większości koncentrują się na aspektach kosztowych efektywności wykorzystania kontenerów zwrotnych. Ponadto zakładają, że podmiot, który otrzymał kontener, zawsze będzie dążył do jego zwrotu, co niekoniecznie musi mieć przełożenie w rzeczywistości. Poniżej przedstawiony został prototyp modelu symulacyjnego RevPack, w przypadku którego kluczową rolę odgrywają zmienne zachowania podmiotów podejmujących decyzję o zwrocie kon-

tenera do właściciela, jego utylizacji lub innym zagospodarowaniu. Zaproponowany model został zaprojektowany z myślą o branży piwowarskiej, w szczególności w kontekście obrotu butelkami zwrotnymi. W odczuciu autora, model ten można również zastosować w innym kontekście, ponieważ zastosowane parametry są na wystarczającym poziomie ogólności, aby wykorzystać go również w innych warunkach. Model bazuje na następujących założeniach:

- konsumenci wybierają towar w opakowaniu zwrotnym lub jednorazowym na podstawie własnych preferencji, wyrażonych przez parametr SKZ. Jeśli typ opakowania jest z góry narzucony przez dostawcę, przyjmuje się SKZ = 1
- użytkownik kontenera wykorzystuje go zgodnie z przeznaczeniem, nie powodując tym samym nieodwracalnych uszkodzeń
- procedura postępowania z kontenerem wynika z jednej z następujących postaw konsumenta: ekologicznej, świadomej, ekonomicznej, a symulacja przeprowadzana jest zawsze na takiej samej ilości jednostek czasowych.

Odnosząc się do odkryć powyżej opisanych modeli, koszty transportu, które nie odgrywały kluczowej roli ani w jednym ani w drugim przypadku, zostały pominięte. Wybrane parametry modelu zostały zamieszczone poniżej:

- Cn – liczba konsumentów w systemie
- Rn – liczba punktów przyjmujących zwroty
- SKZ – skłonność klienta do zakupu produktu w opakowaniu zwrotnym
- SKO – skłonność klienta do oddania opakowania
- SKR – skłonność klienta do recyklingu
- WE – wskaźnik efektów ekonomicznych dla klienta – uwzględnia koszty i zyski wynikające z uczestnictwa w procesie zwrotu kontenera
- WK – współczynnik wytrzymałości kontenera – określa jaka część opakowań zostanie uszkodzona w procesie transportu/mycia itp.
- CRC – koszt opakowania zwrotnego
- CNC – koszt opakowania jednorazowego
- OCC – całkowity koszt opakowań w systemie.

Model RevPack pozwala na eksperymentalne wyliczanie ponoszonego przez przedsiębiorstwo całkowitego kosztu, wynikającego z obsługi systemu opakowań zwrotnych, w zależności od przyjętych parametrów. Głównym założeniem przyświecającym opracowaniu takiego modelu była chęć

sprawdzenia, czy inwestując w działania wpływające na poszczególne parametry (przykładowo przeprowadzając kampanię uświadamiającą ekologicznie, która wpłynie na skłonność do oddawania butelek zwrotnych) przedsiębiorstwo osiągnie wymaganą korzyść. W chwili obecnej odbywa się faza testowa jego implementacji w środowisku symulacyjnym NetLogo.

Podsumowując powyższe rozważania można powiedzieć, że istnieje kilka modeli symulacyjnych logistyki zwrotnej. Każdy z nich koncentruje się na odrębnych aspektach symulowanych systemów pozwalając na analizę odrębnych elementów działania systemu. Do perspektyw przyszłych badań należy z pewnością opracowanie modelu, kompleksowo łączącego cechy już istniejących.

Streszczenie

Dzięki postępującemu rozwojowi technologicznemu, wykorzystywanie komputerów do modelowania i analizy systemów gospodarczych staje się coraz powszechniejsze. Stanowi to okazję dla przedsiębiorstw mających możliwość modelowania prawdopodobnych zdarzeń i wybrania optymalnej decyzji z dostępnych alternatyw. Jednym z obszarów, w którym opracowano modele i przeprowadzono symulacje komputerowe, jest logistyka zwrotna. Celem artykułu jest przedstawienie opisanych w literaturze wybranych modeli symulacyjnych związanych z opakowaniami zwrotnymi, jak również zaprezentowanie nowego modelu charakteryzującego się odmiennymi założeniami, niż opisane wcześniej.

Simulation models for reverse logistic systems

Abstract

With the continuous development of technology, the use of computers for modeling and analysis of economic systems is

becoming increasingly common. This fact is an opportunity for companies, which will be able to model the most probable outcomes of future situations, and select the optimal solution alternatives. One of the fields of study, in which simulation models had been developed is reverse logistics. This paper focuses mainly on the aspects of returnable packaging. The aim of the study was to present selected models described in the literature well as the presentation of a new model characterized by assumptions differing from the previous ones.

LITERATURA

1. Michniewska K., Nowe trendy w logistyce: logistyka odzysku a ekologiczna logistyka, „Logistyka” nr 1/2006.
2. Bendkowski J., Wengierek M., *Logistyka odpadów*, Tom I, *Procesy logistyczne w gospodarce odpadami*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
3. Rogers D., Tibben-Lembke R., Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management: An International Journal* 7 (5), pp. 271-282 (2002).
4. Rogers D., Tibben-Lembke R., An overview of reverse logistics practices, „*Journal of Business Logistics*” 22 (1)/2001.
5. Rogers D., Tibben-Lembke R., *Going backwards: reverse logistics trends and practices*, Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh 1999.
6. Mallenkopf D., Closs D., Tweede D., Lee S., Burges G., Assessing the viability of reusable packaging: a relative cost approach, „*Journal of Business Logistics*” 26 (1)/2005, pp. 169-196.
7. Korzeniowski A., Skrzypek M., *Ekologiczna logistyka zużytych opakowań*, ILiM, Poznań 1999.
8. Lee J.-E., Gen M., Rhee K.-G., Lee H.-H., Building a Reusable Reverse Logistics Model and Its Optimization Considering the Decision of Backorder/Next Arrival of Goods. *Electronics and Communications in Japan*, 2012, pp. 42-55.
9. Sadowski A., *Ekonomiczne i ekologiczne aspekty stosowania logistyki zwrotnej w obszarze wykorzystania odpadów*, Uniwersytet Łódzki, Łódź 2010.