



Modelowanie symulacyjne logistyki zwrotnej opakowań jednostkowych w łańcuchu dostaw

PIOTR JANUSZEWSKI

Rozprawa doktorska

przygotowana pod kierunkiem

dra hab. Jana Długosza, prof. nadzw. UEP

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Wydział Zarządzania

Katedra Logistyki i Transportu

Poznań, grudzień 2014

Podziękowania

Poznań, 15 grudnia 2014r.

Przygotowanie rozprawy doktorskiej było dla mnie niezmiernie interesującym, ale zarazem bardzo pracochłonnym i kosztującym wiele wyrzeczeń zadaniem. Nie byłoby to możliwe bez udziału wielu osób. Dlatego też chciałbym podziękować w tym miejscu wszystkim tym, którzy przyczynili się do powstania tej pracy. Trudno jest ich wszystkich wymienić. Są jednak osoby, którym należą się szczególne wyrazy wdzięczności.

Dziękuję mojemu promotorowi, profesorowi Janowi Długoszowi za ogromne zaangażowanie, poświęcony czas i cenne wskazówki. Bardzo obszerna wiedza i doświadczenie Profesora, między innymi w dziedzinie metodologii pozwoliły na powstanie rozprawy doktorskiej spełniającej wszelkie stawiane przed pracą tego typu wymagania.

Szczególne podziękowania należą się również profesorowi Markowi Ciesielskiemu, kierownikowi Katedry Logistyki i Transportu, za zaufanie i życzliwość. Ponadto pragnę podziękować ś.p. prof. Waldemarowi Wieczerzyckiemu, który jako promotor pracy magisterskiej wzbudził moje zainteresowanie badaniami naukowymi.

Dziękuję koledze z Katedry a zarazem promotorowi pomocniczemu, dr. Konradowi Fuks za podzielenie się swoim doświadczeniem w modelowaniu systemów ekonomicznych i za wszystkie wskazówki dotyczące opracowanego modelu. Wspólne dyskusje w znacznym stopniu przyczyniły się do szybszego zakończenia prac nad doktoratem.

Chciałbym również podziękować władzom i wszystkim pracownikom Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, którzy umożliwili mi realizację podjętych badań naukowych.

Specjalne podziękowania składam mojej rodzinie, w szczególności rodzicom i braciom, którzy zawsze we mnie wierzyli i wspierali, jak tylko mogli. Dziękuję mojej żonie Asi za cierpliwość i wyrozumiałość, która w ostatnich miesiącach bezustannie musiała słuchać o moim doktoracie, jak również jej rodzicom motywującym mnie do sprawnego działania.

Dziękuję również tym, którzy zawsze dobrze mi życzyli.

Piotr Januszewski

Spis treści

WSTĘP	4
1 LOGISTYKA ZWROTNA W ZARZĄDZANIU ŁAŃCUCHEM DOSTAW	11
1.1 ZARZĄDZANIE ŁAŃCUCHEM DOSTAW	11
1.2 LOGISTYKA ZWROTNA – UJĘCIE TEORETYCZNE	13
1.2.1 <i>Istota logistyki zwrotnej</i>	13
1.2.2 <i>Modele logistyki zwrotnej</i>	17
1.2.3 <i>Logistyka zwrotna a tradycyjny łańcuch dostaw</i>	22
1.2.4 <i>Rodzaje logistyki zwrotnej</i>	24
1.2.5 <i>Ekonomiczne, ekologiczne i prawne aspekty logistyki zwrotnej</i>	30
1.3 LOGISTYKA ZWROTNA – UJĘCIE PRAKTYCZNE	34
1.3.1 <i>Rozwiązania organizacyjne logistyki zwrotnej</i>	34
1.3.2 <i>Przepływy informacji i rozwiązania technologiczne</i>	36
1.4 ZARZĄDZANIE OPAKOWANIEM W UJĘCIU LOGISTYCZNYM	38
1.4.1 <i>Modele zarządzania opakowaniami zwrotnymi</i>	41
1.4.2 <i>Uwarunkowania wykorzystania opakowań zwrotnych</i>	45
1.4.3 <i>Korzyści i problemy wynikające z zastosowania opakowań wielokrotnego użytku</i>	46
2 ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWYCH W NAUCE I PRAKTYCE GOSPODARCZEJ	48
2.1 SYMULACJE KOMPUTEROWE WSPOMAGAJĄCE DECYZJE BIZNESOWE	48
2.2 NARZĘDZIA I ŚRODOWISKA SYMULACYJNE	51
2.2.1 <i>Symulacje z wykorzystaniem arkuszy kalkulacyjnych</i>	54
2.2.2 <i>Dedykowane środowiska symulacyjne</i>	55
2.2.3 <i>Rozwiązania w technologii wieloagentowej</i>	57
2.2.4 <i>Języki programowania</i>	61
2.2.5 <i>Obszary zastosowań symulacji w nauce i biznesie</i>	63
2.3 PROJEKTOWANIE I OPTIMALIZACJA ŁAŃCUCHÓW DOSTAW Z WYKORZYSTANIEM ŚRODOWISK SYMULACYJNYCH	65
2.3.1 <i>Symulacje procesów logistycznych i transportowych</i>	67
2.3.2 <i>Planowanie i analiza procesów produkcyjnych</i>	69
2.3.3 <i>Symulacje logistyki zwrotnej</i>	71
2.4 MODELOWANIE SYMULACYJNE JAKO NARZĘDZIE BADAWCZE SYSTEMU LOGISTYCZNEGO – UZASADNIENIE WYBORU	75
3 MODEL LOGISTYKI ZWROTNEJ OPAKOWAŃ	78
3.1 BRANŻA PIWOWARSKA W POLSCE – CHARAKTERYSTYKA I ŁAŃCUCHY DOSTAW	79
3.2 MODELE EWALUACJI WARIANTÓW OPAKOWAŃ ZWROTNYCH	84
3.2.1 <i>Prawne aspekty opakowań zwrotnych</i>	84
3.2.2 <i>Analiza cyklu życia opakowania LCA</i>	86
3.2.3 <i>Korporacyjne karty opakowań</i>	89

3.2.4	<i>Model ekonomiczno-ekologicznego bilansu.....</i>	<i>90</i>
3.3	AUTORSKI MODEL SYMULACYJNY RUPSIM.....	92
3.3.1	<i>Cele badawcze a model.....</i>	<i>93</i>
3.3.2	<i>Założenia i parametry modelu</i>	<i>94</i>
3.3.3	<i>Wzorce zachowań modelowanych konsumentów</i>	<i>101</i>
3.3.4	<i>Odwzorowanie struktury łańcucha dostaw.....</i>	<i>105</i>
4	EKSPERYMENT SYMULACYJNY MODELU RUPSIM	107
4.1	IMPLEMENTACJA	107
4.1.1	<i>Technologia.....</i>	<i>107</i>
4.1.2	<i>Graficzny interfejs użytkownika</i>	<i>108</i>
4.1.3	<i>Algorytmy modelu.....</i>	<i>111</i>
4.1.4	<i>Parametry zmienne</i>	<i>115</i>
4.1.5	<i>Scenariusze eksperymentu symulacyjnego</i>	<i>117</i>
4.1.6	<i>Sposób postępowania</i>	<i>119</i>
4.2	WYNIKI SYMULACJI	122
4.2.1	<i>Prezentacja i analiza wyników</i>	<i>122</i>
4.2.2	<i>Wnioski.....</i>	<i>131</i>
4.2.3	<i>Sposoby wykorzystania modelu symulacyjnego w praktyce.....</i>	<i>132</i>
4.3	KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ I ROZSZERZANIE ZAKRESU MODELU RUPSIM.....	133
4.3.1	<i>Rozwój funkcjonalności narzędzia informatycznego.....</i>	<i>133</i>
4.3.2	<i>Badanie wpływu liczby punktów zwrotu na wynik całego systemu</i>	<i>135</i>
4.3.3	<i>Rozszerzenie modelu o aspekty społeczne</i>	<i>136</i>
4.3.4	<i>Transport w modelu RUPSim</i>	<i>136</i>
	ZAKOŃCZENIE.....	138
	BIBLIOGRAFIA.....	141
	SUMMARY	163
	SPIS RYSUNKÓW.....	168
	SPIS TABEL.....	170

Wstęp

Postępująca globalizacja, ciągły wzrost konsumpcji i rosnące społeczne wymagania względem ochrony środowiska naturalnego stały się podstawą współczesnych trendów społeczno-politycznych rozwiniętych krajów, które w naturalny sposób doprowadziły do zmian ekonomicznych warunków otoczenia podmiotów gospodarczych. Przedsiębiorstwa zostały zmuszone do rozpatrywania wielu czynników, na które w przeszłości nie zwracano praktycznie uwagi. Wśród nich można wyróżnić działania prospołeczne, wpisujące się w ogólne trendy społecznej odpowiedzialności biznesu, przy równoczesnym dbaniu o środowisko naturalne, stanowiące podstawę koncepcji zrównoważonego rozwoju. Zmiany te wpłynęły nie tylko na sposób funkcjonowania samych przedsiębiorstw, ale także pociągnęły za sobą ewolucję dotychczasowych form organizacji łańcuchów dostaw. Zaczęto między innymi stawiać większe wymagania przed zachodzącymi w nich procesami zwrotnymi, w których produkty przemieszczane są od ostatecznego konsumenta, przez poszczególne ogniwa łańcucha dostaw, aż do producenta danego wyrobu.

Jednym z obszarów procesów zwrotnych jest obrót opakowaniami wielokrotnego użytku. Obrót ten odbywa się na każdym poziomie pakowania, począwszy od opakowań jednostkowych, przez zbiorcze, a na transportowych skończywszy. Od początku prowadzenia przez ludzi zorganizowanej działalności gospodarczej, wybór rodzaju opakowania był decyzją istotną, wpływającą między innymi na rentowność działań przedsiębiorstwa. Na przestrzeni lat zmieniały się tendencje wykorzystania opakowań jednorazowych i wielokrotnego użytku. Zależały one od wielu czynników, wśród których można wyróżnić przede wszystkim postęp technologiczny i regulacje prawne. Wraz z rozwojem technologii wytwarzania tworzyw sztucznych zaczęto zamieniać opakowania szklane, które początkowo były w przeważającej części opakowaniami zwrotnymi, na ich plastikowy ekwiwalent. Jednocześnie podjęto próby prawnej regulacji wykorzystania opakowań wielokrotnego użytku przez przedsiębiorstwa.

Problematyka związana z obrotem opakowań wielokrotnego użytku nie jest nowa. W ubiegłym wieku powstało wiele opracowań mówiących o różnych modelach skutecznego i zarazem efektywnego gospodarowania opakowaniami zwrotnymi. Osiągnięte rezultaty były satysfakcjonujące na czas ich powstania. Zmieniające się uwarunkowania i postęp technologiczny pozwalają natomiast na ciągle udoskonalanie rozwiązań logistycznych opartych o opakowania wielokrotnego użytku.

Wprowadzanie zmian wykorzystywanych rodzajów opakowań w skomplikowanych systemach, jakimi są łańcuchy dostaw, jest przedsięwzięciem trudnym i jednocześnie

ryzykownym. Obejmuje ono wdrażanie modyfikacji na wszystkich poziomach zarządzania, zarówno strategicznym, taktycznym, jak i operacyjnym. Wymuszone ciągłą ewolucją warunków polityczno-społecznych zmiany odnoszą się zarówno do form organizacji przepływów w ramach procesów w łańcuchu dostaw, jak również kwestii technologicznych – wykorzystania najnowszych technologii informacyjnych (ang. ICT – Information and Communication Technologies) w zakresie przepływów danych, wydobycia z nich informacji i ukształtowania wiedzy niezbędnej do zarządzania nowo powstałymi strukturami. Dzięki rozwojowi i upowszechnianiu technologii informacyjnych możliwe stało się zbieranie dużych ilości danych, pozwalających na skuteczne zarządzanie i kontrolę procesów w łańcuchu dostaw. Poza funkcją kontrolną, dane te można zastosować również do zasilenia modeli symulacyjnych, pozwalających na opracowywanie prognoz, dzięki którym możliwe jest podejmowanie optymalnych decyzji w zakresie indywidualnych obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa. Z technicznego punktu widzenia, ciągle rosnące możliwości komputerów i ich dostępność, pozwalają na przetwarzanie coraz większych ilości danych również na komputerach osobistych. Prowadzenie złożonych obliczeń nie wymaga już wykorzystania maszyn będących na wyposażeniu wyspecjalizowanych centrów obliczeniowych. Korzystanie z elektronicznych narzędzi prognostycznych w nauce i biznesie staje się coraz bardziej popularne. Wśród nich znajdują się narzędzia pozwalające na przeprowadzanie symulacji komputerowych, których wyniki coraz częściej można przenieść z zastosowań czysto teoretycznych, do codziennych zastosowań praktycznych.

Obecnie wybór rodzaju opakowań jest niezwykle trudny ze względu na liczbę determinujących go czynników. Przedsiębiorstwa szukają sposobów optymalizacji wydatków poprzez zmniejszanie kosztów, również tych związanych z opakowaniami. W tym samym czasie muszą spełniać restrykcyjne normy środowiskowe narzucane przez regulacje prawne i społeczeństwo. Wprowadzenie i zarządzanie opakowaniami przy dużej skali działalności przedsiębiorstwa niesie ze sobą wiele problemów. W przypadku opakowań wielokrotnego użytku, jedną z największych trudności jest odzyskiwanie opakowań od podmiotów nabywających oferowane towary. Proces ten jest zależny nie tylko od czynników organizacyjnych, na które przedsiębiorstwa mają wpływ, ale także od społecznych, prawie od nich niezależnych. W zależności od zachowań odbiorców (niezależnie od tego czy są to odbiorcy indywidualni, czy instytucjonalni) stosowanie opakowań wielokrotnego użytku może przynieść przedsiębiorstwu korzyści lub być podstawą dodatkowych problemów. Z tego też powodu nieodzowne staje się opracowanie kompleksowych metod apriorycznego sprawdzania

następstw wdrożenia określonego wariantu opakowań w danych warunkach rynkowych. Przytoczone czynniki i spostrzeżenia stały się motywacją do rozpoczęcia badań nad zagadnieniem opakowań zwrotnych. W rozprawie, podjęto istotny i aktualny problem jakim jest ewaluacja decyzji dotyczących wyboru opakowań, traktując wielokrotność użycia jako główną cechę różnicującą wybór. Problem rozpatrzono kompleksowo z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych i ekologicznych.

Głównym celem dysertacji jest identyfikacja zasadniczych czynników determinujących stosowanie opakowań zwrotnych oraz opracowanie na tej podstawie modelu symulacyjnego służącego do określenia ekonomicznych i środowiskowych następstw stosowania tego typu opakowań.. W ramach realizacji celu głównego, wyróżniono następujące cele szczegółowe:

1. Zebranie istniejących modeli symulacyjnych logistyki zwrotnej w literaturze zarówno krajowej jak i zagranicznej;
2. Rozpoznanie znanych technologii przystosowanych do implementacji narzędzia symulacyjnego i wybór technologii najbardziej odpowiadającej wymaganiom projektowanego modelu;
3. Opracowanie autorskiego modelu logistyki zwrotnej opakowań;
4. Wdrożenie modelu symulacyjnego w postaci programu komputerowego i przeprowadzenie przy jego użyciu eksperymentów symulacyjnych;
5. Identyfikacja korzyści biznesowych wynikających z zastosowania opracowanego modelu na podstawie danych uzyskanych z przeprowadzonych symulacji komputerowych.

W rozprawie dąży się do tego, aby przedstawione rozwiązania, w szczególności usprawnienia, miały charakter jak najbardziej uniwersalny i były użyteczne w różnych branżach, których specyfika pozwala na przyjęcie założeń opisanego modelu przepływów w łańcuchu dostaw.

W rozprawie zastosowano szereg metod badawczych. W części teoretycznej rozprawy wykorzystano metody poznania naukowego, w szczególności analizę i syntezę umożliwiające rozpoznanie i strukturyzację problemu badawczego. Ponadto zastosowano modelowanie i symulacje. Służą one do skonstruowania schematu analitycznego procesów logistyki zwrotnej opakowań. W części empirycznej wykorzystano symulacje komputerowe bazujące na opracowanym dla potrzeb rozprawy modelu RUPsim (ang. Returnable Unit Packaging simulation – Symulacja Jednostkowych Opakowań Zwrotnych). Ich wyniki stanowią autorski element pracy, będący jednocześnie podstawą dalszych rozważań w niniejszej dysertacji.

Zaimplementowany¹ model bazuje na stosowanych w praktyce gospodarczej metodach analitycznych, między innymi analizie LCA (ang. Life Cycle Assessment), jak również na szeregu innych modeli naukowych, zaproponowanych i opisanych przez przedstawicieli polskiej i zagranicznej nauki. Warto zauważyć, że zastosowanie modelowania symulacyjnego jako podejścia do rozwiązywania problemów logistyki zwrotnej, nie jest jeszcze dobrze rozpoznane w literaturze przedmiotu. Jest to stosunkowo nowa problematyka i do tej pory nie zaproponowano uniwersalnej metodyki oraz modeli pozwalających na skuteczne wspomaganie zarządzania logistyką zwrotną. Dostępne opracowania na ten temat nie są wystarczające i nie zapewniają kompleksowego podejścia badawczego do poruszanego tematu. Zasadność wyboru metody badawczej potwierdzają opinie wielu badaczy, którzy twierdzą, że modelowanie symulacyjne jest podejściem, które umożliwia lepsze zrozumienie problemów, z którymi zmagają się przedsiębiorstwa, jak również pozwala na opracowanie narzędzi usprawniających proces ich rozwiązywania.

Praca ma charakter teoretyczno-empiryczny. Podstawę teoretyczną rozważań stanowi zwarta i czasopiśmiennicza literatura zarówno polska, jak i zagraniczna. Ponadto w pracy opisano opracowany autorski model logistyki zwrotnej RUPSim. Część empiryczna zawiera szczegóły techniczne implementacji zaproponowanego modelu jako oprogramowania oraz analizę wyników uzyskanych z przeprowadzonego eksperymentu symulacyjnego. W dzisiejszych czasach zarówno logistyka, jak i inne obszary funkcjonowania przedsiębiorstw coraz częściej wiążą i pokrywają się z kwestiami informatycznymi. Niemal wszyscy naukowcy i praktycy biznesu twierdzą, że współczesne łańcuchy dostaw nie mogłyby istnieć bez nowoczesnych technologii informacyjnych. Ponadto infrastruktura logistyczna i informatyczna praktycznie zawsze się przenika i uzupełnia. W rozprawie informatykę traktuje się jako symulacyjne narzędzie badawcze służące do analizy opłacalności wdrożenia opakowań zwrotnych w łańcuchu dostaw. Z tego też powodu, wszystkie proponowane rozwiązania informatyczne przedstawione zostały w powiązaniu z naukami ekonomicznymi, w dyscyplinie nauk o zarządzaniu, dzięki czemu można powiedzieć, że praca ma charakter interdyscyplinarny.

¹ W informatyce implementacja rozumiana jest jako proces przekształcenia abstrakcyjnego opisu systemu lub programu na obiekt fizyczny taki jak aplikacja komputerowa.

W pracy postawiono następującą hipotezy badawcze:

H1: Wzrost odsetka konsumentów zwracających opakowania wielokrotnego użytku po wykorzystanych produktach zawsze zwiększa ekonomiczną i ekologiczną atrakcyjność stosowania tego typu opakowań przez przedsiębiorstwo.

H2: Ekonomiczna efektywność² systemu zwrotów opakowań jest zdeterminowana w największym stopniu poziomem odebranych w nim opakowań.

H3: Ekologiczne konsekwencje wdrożenia systemu opakowań zwrotnych zależą głównie od strategii zachowań konsumentów³.

W rozprawie wyszczególniono cztery zakresy badawcze. Zakres przedmiotowy obejmuje opakowania zwrotne i jednorazowe w łańcuchach dostaw. Zwrotne przepływy opakowań jednostkowych są specyficznym przypadkiem, charakterystycznym głównie dla branży spożywczej, w szczególności często stosowanym dla napojów. Obserwując jednakże trendy na rynkach państw Europy zachodniej można przypuszczać, że rozwiązania te będą cieszyć się coraz większą popularnością, zwiększając tym samym spektrum zastosowań opracowanego przez autora modelu RUPSim. W celu lepszego zobrazowania proponowanych rozwiązań, w modelu prezentowanym w ostatnim rozdziale, zakres podmiotowy ograniczono do przedsiębiorstw branży piwowarskiej, w której procesy zwrotnych przepływów są bardzo przejrzyste. Zakres czasowy rozprawy obejmuje lata od 2004 do 2014. Zakres ten wynika z wprowadzonych po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej zmian w ustawach o gospodarowaniu opakowaniami. Zakres przestrzenny został ograniczony do przedsiębiorstw działających na rynku polskim, choć sposób funkcjonowania zagranicznych podmiotów o zbliżonej charakterystyce jest podobny. Różnice widoczne są głównie w parametryzacji modelowanego systemu, w szczególności dotyczą one parametrów globalnych, które przybierają, w przypadku rynków zagranicznych, istotnie różne wartości (np. inny poziom skłonności konsumentów do zwrotu opakowań).

² Efektywność – rozumiana jako rezultat podjętych działań, opisany jako relacja pomiędzy uzyskanymi efektami a poniesionymi nakładami.

³ W niniejszej pracy konsekwentnie stosuje się określenie *strategia zachowań konsumentów* w odniesieniu do zbioru zachowań konsumentów dotyczących zagospodarowania zużytych opakowań.

W ramach prowadzonych badań zaimplementowano prototyp autorskiego modelu RUPsim, który ma na celu prezentację przedstawionych wcześniej spostrzeżeń i założeń oraz ich weryfikację z wykorzystaniem eksperymentu symulacyjnego. Model służy ocenie opłacalności wdrożenia zwrotnych opakowań jednostkowych w łańcuchu dostaw uwzględniając jednocześnie wpływ środowiskowy takiego podejścia. Do jego implementacji wykorzystano język programowania Java, dzięki czemu ominięto wszelkie ograniczenia, które mogłyby wynikać z zastosowania innego dostępnego na rynku środowiska symulacyjnego. W trakcie implementacji model był odpowiednio optymalizowany z wykorzystaniem metod matematycznych i technik informatycznych. Model poddawano licznym eksperymentom symulacyjnym, które miały za zadanie dostarczyć dane, niezbędne do analizy wybranych oddziaływań między poszczególnymi parametrami modelu. Podczas symulacji uwzględniono różne warianty poszczególnych parametrów odzwierciedlających zależności w procesach logistyki zwrotnej np. wzrost nakładów na promowanie zwrotów opakowań w odniesieniu do efektywności całego systemu.

Przyjęta metoda badań i postawione cele znajdują odzwierciedlenie w konstrukcji rozprawy. Praca podzielona jest na cztery rozdziały. W pierwszym z nich przedstawione są rozważania teoretyczne dotyczące logistyki zwrotnej, istniejących teorii i podejść do tej tematyki prezentowanych przez różnych autorów. W rozdziale jednoznacznie zaproponowano pojęcia związane z logistyką zwrotną wykorzystywane w dalszej części rozprawy.

W rozdziale drugim poruszono tematykę modelowania symulacyjnego w teorii i praktyce gospodarczej. Przedstawiono w nim poszczególne narzędzia, środowiska symulacyjne, jak również podejścia do modelowania systemów logistycznych. Zamieszczono również porównanie wyszczególnionych narzędzi z podziałem na stopień skomplikowania, ograniczenia oraz zalety i wady. W ostatniej części rozdziału przedstawiono potencjalne obszary wykorzystania symulacji, przechodząc od ogólnego do szczegółowego jej zastosowania. Rozpoczęto od obszarów zastosowań dotyczących całych łańcuchów dostaw, następnie zaprezentowano potencjał symulacji w poszczególnych obszarach logistyki. Logistyce zwrotnej, z uwagi na zakres badań niniejszej rozprawy, została poświęcona szczególna uwaga.

W kolejnych rozdziałach zawarto wyniki prac badawczych stanowiące wkład autora o znacznym stopniu oryginalności. Rozdział trzeci zawiera opis poszczególnych elementów niezbędnych do zbudowania modelu symulacyjnego. Opisano w nim branżę, na której wzorowano się podczas opracowywania modelu. Następnie przedstawiono istniejące modele

teoretyczne i referencyjne, funkcjonujące w teorii i praktyce gospodarczej. Opis poszczególnych modeli ma na celu zobrazowanie ogólnych problemów branży, z którymi musi radzić sobie kadra zarządcza przedsiębiorstw. W dalszej kolejności zaprezentowano autorski model symulacyjny logistyki zwrotnej – RUPSim. Przedstawiono cele badawcze i założenia związane z właściwym modelem jak również opisano poszczególne parametry modelu z merytorycznego punktu widzenia. Przedstawiono również odzwierciedlenie poszczególnych parametrów w modelowanej rzeczywistości.

W ostatnim rozdziale skupiono uwagę na wdrożeniowej części opisywanego modelu. Przedstawiono szczegóły techniczne dotyczące wykorzystanego środowiska programistycznego, technicznych aspektów parametrów modelu i ich implementacji. Przedstawiono zastosowane w modelu algorytmy, które zilustrowano pseudokodem⁴ lub schematami graficznymi. Ponadto opisano poszczególne sposoby postępowania będące swoistego rodzaju scenariuszami eksperymentów symulacyjnych. Następnie zaprezentowano wyniki przeprowadzonych symulacji i ich analizę. Przedstawiono prawidłowości wynikające z przeanalizowanych danych. Rozdział zakończono wyszczególnieniem możliwości wykorzystania modelu w praktyce gospodarczej oraz wskazano potencjalne praktyczne korzyści z jego wdrożenia w biznesie. W ostatniej części dysertacji zamieszczono podsumowanie i propozycje dalszych kierunków prowadzenia badań. Praca zawiera ponadto zbiorcze zestawienia rysunków i tabel, jak również streszczenie w języku angielskim.

⁴ Pseudokod jest metodą służącą do zapisu algorytmów, w której zachowuje się strukturę charakterystyczną dla języków programowania, rezygnuje się natomiast ze ścisłych reguł składni konkretnych rozwiązań, na rzecz prostoty i czytelności.

1 Logistyka zwrotna w zarządzaniu łańcuchem dostaw

1.1 Zarządzanie łańcuchem dostaw

Pojęcie łańcucha dostaw powstało w wyniku naturalnej ewolucji kontaktów pomiędzy podmiotami gospodarczymi. Początkowo wzajemne relacje przedsiębiorstw ograniczały się do zawierania pojedynczych lub powtarzalnych transakcji i niekoniecznie skutkowały powstaniem trwałych relacji z kontrahentami. Wraz z rozwojem gospodarki, firmy powiększały zakres swojej działalności angażując jednocześnie coraz większe zasoby ludzkie do prowadzenia działalności. Doprowadziło to do wydzielania poszczególnych funkcji firm, jako autonomicznych działów, często dążących do realizacji własnych celów. Dostrzeżono wówczas, że integracja jest istotnym czynnikiem, który wpływa na dochodowość całego przedsięwzięcia. Nową, coraz częściej wdrażaną praktyką, stało się łączenie poszczególnych faz: produkcji, dystrybucji, sprzedaży i innych, za pomocą nowoczesnych technologii, w obrębie jednego przedsiębiorstwa [Porter 2006]. Była to tak zwana integracja pionowa. Okazała się ona jednak mało efektywna i niedostosowana do wymagań współczesnego biznesu [Schary i Skjøtt-Larsen 2002]. Każda wydzielona funkcja, pomimo ulepszonego przepływu informacji, podejmowała autonomiczne decyzje bez porozumienia z pozostałymi uczestnikami grupy [Świerczek 2005]. Szybko stwierdzono, że przewaga konkurencyjna we współczesnej gospodarce przestała zależeć wyłącznie od działań pojedynczej firmy [Harrison i van Hoek 2010].

Nowoczesne trendy w naukach o zarządzaniu przedsiębiorstwami coraz częściej podkreślają znaczenie połączonej wzajemnymi relacjami grupy przedsiębiorstw, jako oddzielnego podmiotu konkurującego na rynku. Mowa tutaj o łańcuchach dostaw, czyli grupie przedsiębiorstw pełniących względem siebie rolę dostawców i odbiorców. Pojęcie łańcucha dostaw nie jest jednak nowe. W literaturze przedmiotu, zarówno polskiej jak i zagranicznej, można znaleźć wiele, często różniących się od siebie, definicji tego terminu. Część autorów definiuje łańcuch dostaw jako zbiór przedsiębiorstw. Przykładowo, według J. Witkowskiego [2003] „łańcuch dostaw to współdziałające w różnych obszarach firmy wydobywcze, produkcyjne, handlowe, usługowe oraz ich klienci, między którymi przepływają strumienie produktów, informacji i środków finansowych”. Innym prezentowanym podejściem jest traktowanie łańcuchów dostaw jako zbioru procesów. Konsorcjum Profesjonalistów

Zarządzania Łańcuchami Dostaw (ang. Council of Supply Chain Management Professionals⁵) zdefiniowało łańcuch dostaw jako procesy zaopatrzenia, pośredniczenia, konwersji, dystrybucji pomiędzy partnerami biznesowymi, którzy mogą pełnić rolę dostawców, pośredników, operatorów logistycznych i klientów. Alternatywne definicje łańcucha dostaw zaproponowali między innymi M.Christopher [2000] i J.J. Coyle [2002]. Z kolei I. Fechner podjął próbę usystematyzowania terminologii mając na uwadze różne aspekty łańcucha dostaw [Fechner 2007]. W świetle niniejszych rozważań, ta niejednorodność pojęciowa wymaga klaryfikacji i przyjęcia jednej definicji terminu łańcuch dostaw.

Niezależnie od przyjętej definicji, wszyscy autorzy są zgodni, że pomiędzy uczestnikami łańcuchów dostaw występują przepływy. Najczęściej wspomniane przepływy dotyczą towarów i informacji. Celem, do którego dążą uczestnicy łańcucha dostaw jest osiągnięcie ciągłego, zsynchronizowanego przepływu dóbr, bez przestojów, zakłóceń i spiętrzania zapasów. Ponadto przemieszczane pomiędzy partnerami części i komponenty powinny trafić dokładnie tam, gdzie są potrzebne, w odpowiednim momencie i kolejności. Proces ten powinien następować przy jednoczesnym, całościowym przepływie informacji, współdzielonych przez poszczególnych uczestników łańcucha dostaw [Harrison i van Hoek 2010]. Niektórzy autorzy sugerują również, że istotnym elementem łańcuchów dostaw są przepływy finansowe [Witkowski, 2003]. Niekiedy spotyka się także stanowisko mówiące o tym, że do przytoczonej „triady” powinno zaliczyć się również przepływy wiedzy, choć zdaniem autora jest to utopijna generalizacja, ponieważ w praktyce gospodarczej firmy bronią swojego know-how⁶ i niechętnie dzielą się wypracowanym dorobkiem technologicznym, w szczególności z podmiotami kształtującymi najbliższe otoczenie.

Każdy ze wspomnianych strumieni przepływów jest ukierunkowany w górę (ang. upstream activity) lub w dół łańcucha dostaw (ang. downstream activity). Większość autorów jest zgodna co do faktu, że przepływy informacji realizowane są obustronnie, przepływy

⁵ Organizacja typu *non-profit* o zasięgu globalnym zrzeszająca profesjonalistów z dziedziny zarządzania łańcuchami dostaw.

⁶ Pochodzący z języka angielskiego termin określający konkretną wiedzę techniczną lub organizacyjną z danej dziedziny. Termin ten jest oficjalnie stosowaną definicją prawa europejskiego. Można go znaleźć w Rozporządzeniu nr 772/2004 w sprawie stosowania art. 81 ust. 3 Traktatu do kategorii porozumień o transferze technologii (Dz.U. L 123 z 27.4.2004, str. 11-17)

finansowe następują wstecz a produkty przemieszczane są od producenta poprzez poszczególne ogniwa aż do odbiorcy końcowego. Często jednak zapomina się lub pomija aspekt powrotu przedmiotów w łańcuchach dostaw – zwrotów reklamacyjnych, opakowań wielokrotnego użytku czy odpadów eksploatacyjnych. Wszystkie te elementy coraz częściej przesyłane są pomiędzy przedsiębiorstwami w kierunku odwrotnym – od ostatecznego konsumenta, który np. dokonuje zwrotu wadliwego produktu, poprzez poszczególne ogniwa łańcucha aż do producenta (lub równoległego podmiotu odpowiadającego za zagospodarowanie przesłanego towaru). Tym samym wydaje się uzasadnione, aby w definicjach łańcucha dostaw uwzględnić również kierunek przepływów poszczególnych strumieni. Można oczywiście przyjąć założenie, że w przypadku przepływów odwrotnych wzajemne role dostawcy i odbiorcy odwracają się, niwelując tym samym potrzebę odwracania kierunków przepływów. Odwrócenie relacji pomiędzy kontrahentami zmienia jednakże ich specyfikę, nie można już mówić o transakcji kupna i sprzedaży a jedynie o wymianie, dlatego też uzasadnionym wydaje się utrzymanie wydzielonego obszaru przepływów odbywających się wyłącznie w kierunku wstecznym.

W niniejszej pracy przyjęto zatem, że łańcuch dostaw to zbiór współpracujących przedsiębiorstw, pomiędzy którymi występują obustronne przepływy materiałów, surowców, produktów gotowych, informacji i środków pieniężnych pełniących względem siebie rolę dostawców i odbiorców. Jednocześnie należy zaznaczyć, że szczególną uwagę zwrócono na strumienie odwrotne w łańcuchach dostaw. W teorii logistyki wydzielono wyspecjalizowany obszar, którego podstawową tematyką są przepływy zwrotne. W literaturze występuje on pod różnymi terminami, najczęściej jednak okreśłany jest jako logistyka zwrotna (ang. reverse logistics).

1.2 Logistyka zwrotna – ujęcie teoretyczne

1.2.1 Istota logistyki zwrotnej

Rosnące wymagania klientów, zmieniające się regulacje prawne i nacisk kładziony na społeczną odpowiedzialność biznesu były przyczyną zwiększenia zainteresowania praktyków biznesu i naukowców przepływami wstecznymi w łańcuchach dostaw. Niestety brak wypracowanej terminologii spowodował, że wielu autorów pisało o tym samym zjawisku stosując inne określenia, co spowodowało powstanie swoistego rodzaju chaosu pojęciowego. Podjęto wiele prób opracowania terminu, który kompleksowo określałby wszystkie procesy przemieszczania produktów od klienta do producenta. Ostatecznie przyjęto nazwę logistyka zwrotna, choć niektórzy autorzy podają w wątpliwość takie sformułowanie twierdząc, że jest

to zbyt dosłowne tłumaczenie językowe. K. Michniewska, specjalistka w zakresie logistyki zwrotnej pełniąc między innymi funkcję członka rady nadzorczej w Polskiej Izbie Gospodarki Odpadami, sugeruje, że bardziej poprawną formą jest sformułowanie „logistyka odzysku”, które nie bazuje wyłącznie na kierunku przepływu, a na rzeczywistej wartości dodawanej, kreowanej w działalności przedsiębiorstwa, w postaci np. odzyskanych surowców czy opakowań wielokrotnego użytku [Michniewska 2013]. W niniejszej pracy w odniesieniu do przepływów odwrotnych konsekwentnie wykorzystuje się termin logistyka zwrotna.

Zarówno w polskiej jak i zagranicznej literaturze przedmiotu można spotkać się z różnymi definicjami logistyki zwrotnej. Należy zauważyć, że literatura polska poruszająca omawiane pojęcie jest stosunkowo ograniczona. Dostępnych jest jedynie kilka pozycji książkowych, choć można zaobserwować rosnącą liczbę artykułów naukowych, które poruszają ten temat.

Jedną z najważniejszych, zdaniem autora, definicji logistyki zwrotnej, opracowanej przez przedstawiciela polskiej nauki, jest powstała na podstawie dogłębnych badań i analizy literatury zagranicznej definicja J. Szoltyśka [2009]. Opisał on logistykę zwrotną w następujący sposób: „Logistyka zwrotna to ogół procesów zarządzania przepływami odpadów (w tym produktów uszkodzonych) i informacji (związanych z tymi przepływami), od miejsc ich powstawania (pojawiania się) do miejsca ich przeznaczenia w celu odzyskania wartości (poprzez naprawę, recycling lub przetworzenie) lub właściwego ich unieszkodliwiania i długoterminowego składowania w taki sposób, by przepływy te były efektywne ekonomicznie i minimalizowały negatywny wpływ odpadów na środowisko naturalne”.

Inaczej logistykę zwrotną definiują J. Bendkowski i M. Wengierek, dla których omawiane pojęcie oznacza „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” [Bendkowski i Wengierek 2002]. Do powyższych definicji odwołuje się również A. Sadowski [2010]. W definicji tej określono przedmioty przepływające pomiędzy przedsiębiorstwami jako pozostałości, a więc nie jako odpady, a raczej jako elementy produktów, które pozostają po ich konsumpcji, ale które można w późniejszym czasie zagospodarować. Takie rozumowanie pozwala włączyć opakowania wielokrotnego użytku do przedmiotów podlegających zainteresowaniu logistyki zwrotnej.

Oczywistym jest, że wyżej przytoczeni autorzy czerpali inspiracje również z literatury zagranicznej. Cały zbiór publikacji naukowych autorów zagranicznych zawiera wiele prac nawiązujących do logistyki zwrotnej, a okresy zainteresowania tematyką przedstawicieli zagranicznych, znacznie wyprzedzają dorobek polski. Rogers i Tibben-Lembke [2002] mając długoletnie doświadczenie w badaniach nad procesami logistyki zwrotnej powołują się na definicję zaproponowaną przez M. Fleishmanna [2001], który zdefiniował 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. Na przytoczone powyżej definicje Rogersa i Tibben-Lembke oraz Fleishmanna powołuje się również wspomniana wcześniej K. Michniewska. Definicja ta ma na tyle ogólny charakter, że wpisują się w nią wszystkie wcześniej wspomniane, co świadczy o stosunkowo jednolitym pojmowaniu opisywanego zjawiska, pomimo widocznych różnic w szczegółowych sformułowaniach.

Opracowania własnych definicji pojęcia logistyki zwrotnej podjęły się również organizacje i konsorcja ściśle związane z praktyką biznesu. Stowarzyszenie Logistyki Zwrotnej (ang. Reverse Logistics Association) określa poruszane pojęcie jako wszystkie posprzedażowe działania związane z produktem lub usługą, mające na celu optymalizację lub zwiększenie efektywności wszystkich czynności posprzedażowych, przyczyniając się tym samym do oszczędności środków pieniężnych i zasobów naturalnych [Reverse Logistics Association 2012]. Z kolei wspomniane wcześniej Konsorcjum Profesjonalistów Zarządzania Łańcuchami Dostaw definiuje logistykę zwrotną jako „wyspecjalizowany segment logistyki, koncentrujący się na przemieszczaniu i zarządzaniu produktami i surowcami po sprzedaży i dostarczeniu do ostatecznego klienta. Termin ten dotyczy również zwrotów i napraw produktów” [CSCMP 2010]. Jak można zauważyć, wszystkie powyższe definicje podkreślają procesowy charakter logistyki zwrotnej, uwypuklając tym samym jej operacyjny charakter. Jednocześnie definicje te odnoszą się do decyzji strategicznych poprzez podkreślenie środowiskowych funkcji logistyki zwrotnej.

Dorobek literaturowy nie jest niestety tak jednorodny jak mogłoby się wydawać. Próby szczegółowego klasyfikowania poszczególnych obszarów logistyki zwrotnej przyczyniły się do powstania wielu określeń (w większości anglojęzycznych), których tłumaczenie na język polski spowodowało powstanie bałaganu pojęciowego. Jak podkreśla A.Sadowski [2010], w literaturze przedmiotu występuje szeroka niejednorodność pojęć związanych z procesami przepływu produktów w kierunku odwrotnym do przepływów w tradycyjnych łańcuchach

dostaw, czyli od klienta do producenta. Termin logistyka zwrotna spotyka się w wielu wariantach, takich jak logistyka odpadów, logistyka odzysku, logistyka powtórnego zagospodarowania, dystrybucja odwrotna. Powyższe określenia podkreślają, że przepływ strumieni półproduktów i produktów w logistyce zwrotnej ma wsteczny charakter. Podobne rozbieżności występują również w literaturze obcojęzycznej. Przykładowe odpowiedniki występujących w polskiej literaturze pojęć to: logistyka zwrotna (ang. reverse logistics), logistyka zwrotów (ang. return logistics), odwrócona logistyka (ang. reversed logistics) logistyka działająca wstecz (ang. retro logistics) czy dystrybucja odwrócona (ang. reverse distribution) [Melissen i de Ron 1999]. Na panujący chaos zwraca również uwagę K. Michniewska. Za niezwykle ważne należy uznać występujące w anglojęzycznej literaturze pojęcie forward logistics, nie mające bezpośredniego odpowiednika w języku polskim. Z lingwistycznego punktu widzenia forward logistics powinno zostać przetłumaczone jako logistyka działająca w przód lub do przodu. Jednakże w odczuciu autora takie określenie w języku polskim nie ma większego sensu, dlatego w niniejszej pracy w miejscach, w których zaszła potrzeba rozróżnienia pomiędzy anglojęzycznym forward i reverse logistics, wykorzystano określenie „logistyka w tradycyjnym rozumieniu”, której przepływy ukierunkowane są do przodu czyli od producenta do klienta. Zdaniem autora sformułowanie to nie jest najkrótszym z możliwych, zapobiega natomiast niepotrzebnemu wprowadzaniu dodatkowych określeń, które oznaczałyby to samo.

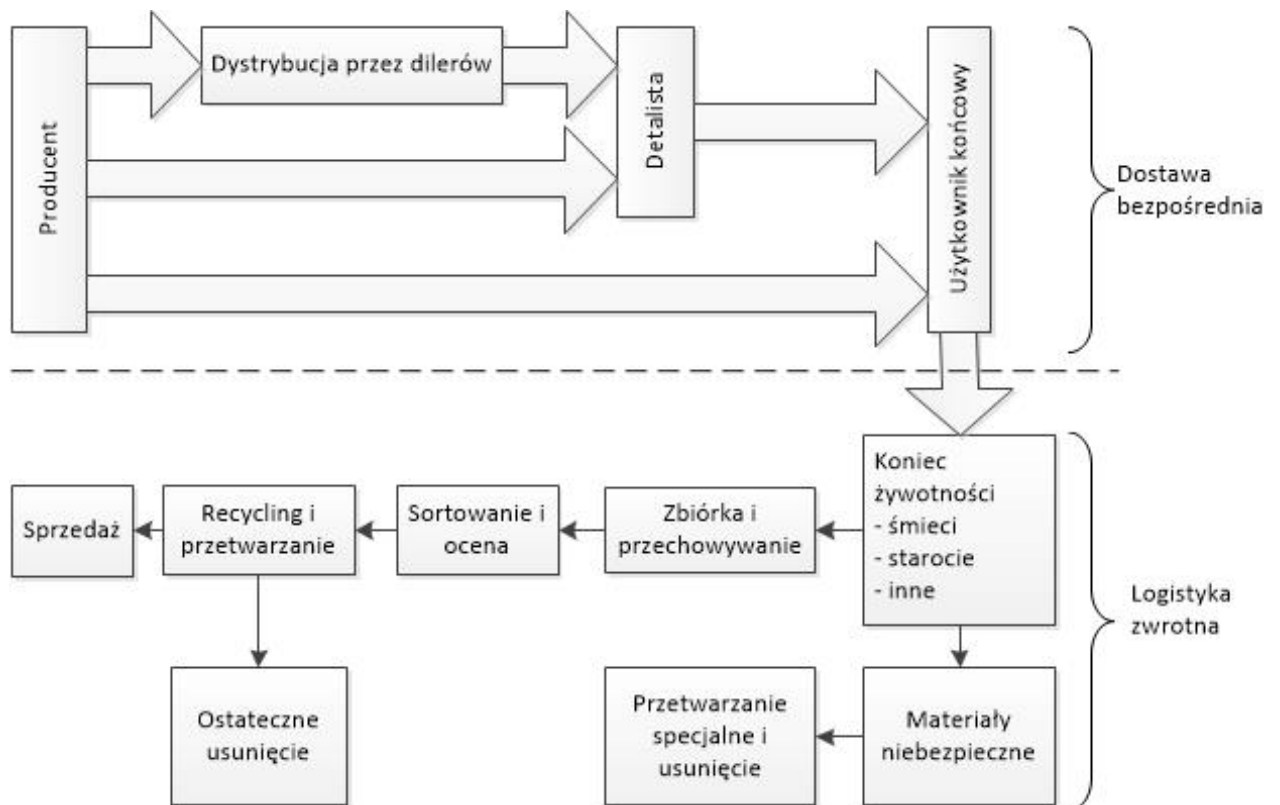
Choć przytoczone definicje wydają się podobne, występują pomiędzy nimi różnice przesuwające granice pojęcia logistyka zwrotna. W zależności od obszaru zainteresowań badawczych, poszczególni autorzy kładą w sformułowanych przez siebie definicjach nacisk na konkretne aspekty logistyki zwrotnej. Przykładowo J. Szoltysek mocno uwydatnia przedmiot procesu zwrotów, którym w jego rozumieniu przypadku są odpady. W odczuciu autora niniejszej pracy ograniczenie logistyki zwrotnej wyłącznie do logistycznych aspektów zarządzania odpadami jest zbyt mocną delimitacją. Bendkowski i Wengierek w swojej definicji unikają sformułowania „odpad” na rzecz szerszego określenia - „pozostałości”. Dzięki temu niwelowane jest zaproponowane przez Szoltyśka ograniczenie sprowadzające wszelkie pozostałości do roli odpadu. Szerszy aspekt porusza w swojej definicji Fleishmann, którego definicja podkreśla przepływowy charakter zjawiska, kładąc główny nacisk na kierunek przepływów. Odmienne zdanie prezentuje Stowarzysze Logistyki Zwrotnej, dla którego elementem wydzielaającym logistykę zwrotną od tradycyjnie rozumianej jest moment, w którym rozpoczynają się działania związane z obsługą zwrotów. Dla potrzeb niniejszej rozprawy,

przyjętą przez autora definicją logistyki zwrotnej jest definicja zaproponowana przez Fleishmanna. Podkreśla ona bowiem wsteczny charakter procesów logistycznych, nie ogranicza jednak zakresu przedmiotowego tylko i wyłącznie do odpadów. Przyjęcie tej definicji pozwala na uzasadnione sklasyfikowanie procesów przepływów zwrotnych opakowań wielokrotnego użytku jako jednego z elementów logistyki zwrotnej. Ponadto definicja ta podkreśla fakt, iż na logistykę zwrotną składa się między innymi proces planowania ekonomicznie efektywnego systemu zwrotów, w celu odzyskania ich wartości. Definicja ta w pełni wpisuje się w tematykę niniejszej rozprawy, której jednym z celów jest między innymi opracowanie modelu logistyki zwrotnej jak również narzędzia pozwalającego na skuteczniejsze planowanie i implementację procesów zwrotnych.

1.2.2 Modele logistyki zwrotnej

Przyglądając się szerokiemu zakresowi funkcji logistyki zwrotnej, można podjąć próbę systematyzacji grupy często pojawiających się schematów działań i opisać je jako swoisty rodzaj modeli biznesowych. A. Sadowski [2010] powołując się na D.F.Blumberg'a [2005] wyróżnia cztery podstawowe modele logistyki zwrotnej.

„Podstawowy model logistyki zwrotnej” ogranicza się do zwrotu zbędnych materiałów, produktów, odpadów poprodukcyjnych do centralnego punktu ich usunięcia. Działania te odbywają się niezależnie od pierwotnego łańcucha dostaw, w którym te materiały i produkty powstały. Model ten jest zgeneralizowanym odbiciem działań komercyjnych lub państwowych operatorów zagospodarowujących odpady. Największy nacisk kładziony jest tutaj na ekonomikę utylizacji odpadów, uwzględniając poszczególne metody ich przetwarzania. Punktem wyjścia dla tych procesów jest moment, w którym konsument uznaje, że produkt nie zaspokaja dłużej jego potrzeb i nadszedł czas aby się go pozbyć. W tym przypadku zbiórka i składowanie niechcianych towarów i materiałów organizowana jest dla lokalnych konsumentów przez instytucje państwowe za pośrednictwem organizacji publicznych lub prywatnych. Często dochodzi tu również element sortowania odpadów poprzez udostępnianie dedykowanych kontenerów do tego przeznaczonych. Model ten został zaprezentowany na Rys. 1-1.

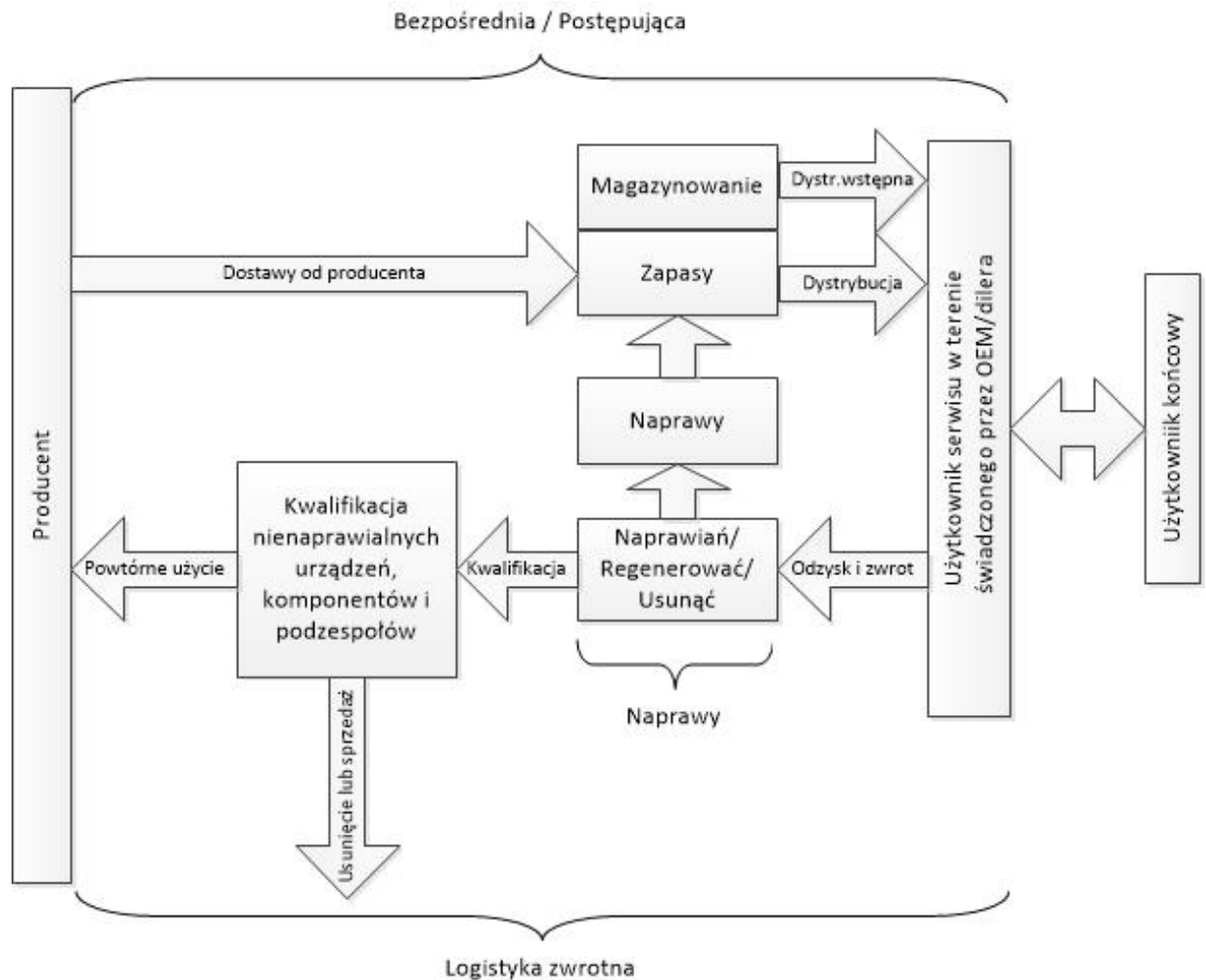


Rys. 1-1: Procesy niezależnej logistyki zwrotnej

Źródło: [Blumberg 2005]

Rozwinięciem poprzedniego modelu jest „system zamknięty integrujący usługi bezpośrednio, logistykę zwrotną i serwis” (por. Rys. 1-2). Model ten najczęściej występuje na rynkach wysokich technologii. W tym przypadku producent oryginalnych urządzeń, tzw. OEM (ang. Original Equipment Manufacturer) przejmuje odpowiedzialność za procesy logistyki zwrotnej, wspierając jednocześnie wyprodukowane przez siebie produkty na rynku. Po zużyciu, producent odzyskuje całe produkty lub ich podzespoły, najczęściej za pośrednictwem kanałów pośrednich. Główną różnicą pomiędzy niniejszym a poprzednim modelem jest to, że w tym przypadku całość przepływów, zarówno w przód jak i w tył, może być (i najczęściej jest) kontrolowana przez producenta. Jest to możliwe między innymi dzięki specyfice rynków wysokich technologii na których dystrybucja, wsparcie techniczne i logistyczne, organizowane są przez producenta. Można mówić tutaj o zamkniętym systemie kontroli, którego przyczyny tkwią w dwóch kwestiach. Pierwszą jest wartość produkowanych urządzeń a nawet poszczególnych części czy podzespołów. Dzięki ścisłej kontroli i szybkiemu odzyskiwaniu produktów możliwe jest obniżenie poziomu zapasów potrzebnych do zapewnienia odpowiedniego poziomu wsparcia logistycznego. Drugą kwestią jest wiedza producenta na temat sposobu wykorzystywania urządzeń przez klientów. Wiedza ta wynika z przeprowadzanych przez przedsiębiorstwo napraw i usług serwisowych. Aby utrzymać

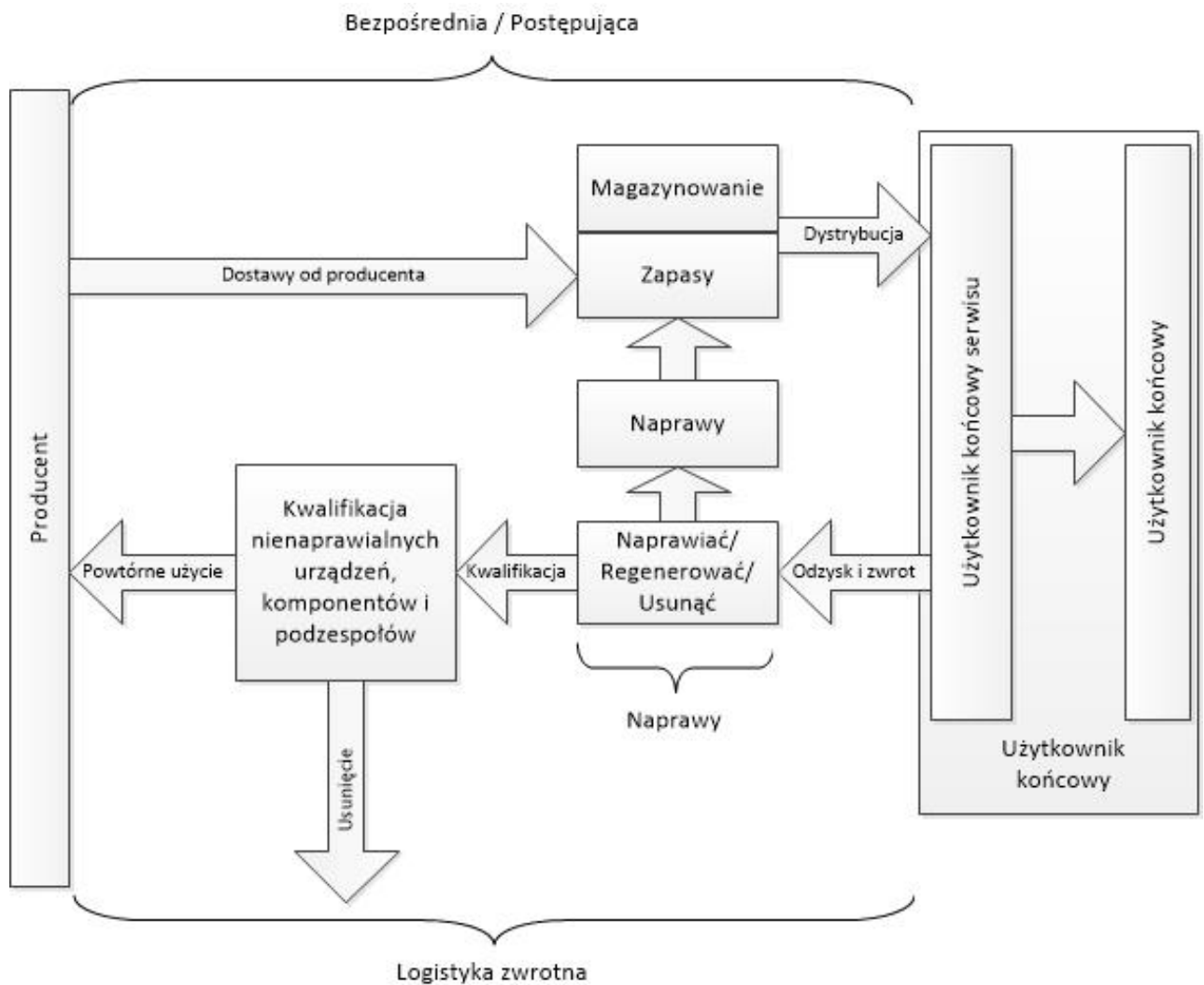
efektywną kosztowo obsługę zwrotów, przedsiębiorstwo musi dążyć do kontrolowania zamkniętego cyklu przepływu towarów.



Rys. 1-2: Typowy zamknięty łańcuch dostaw dla produktów zaawansowanych technologicznie

Źródło: [Blumberg 2005]

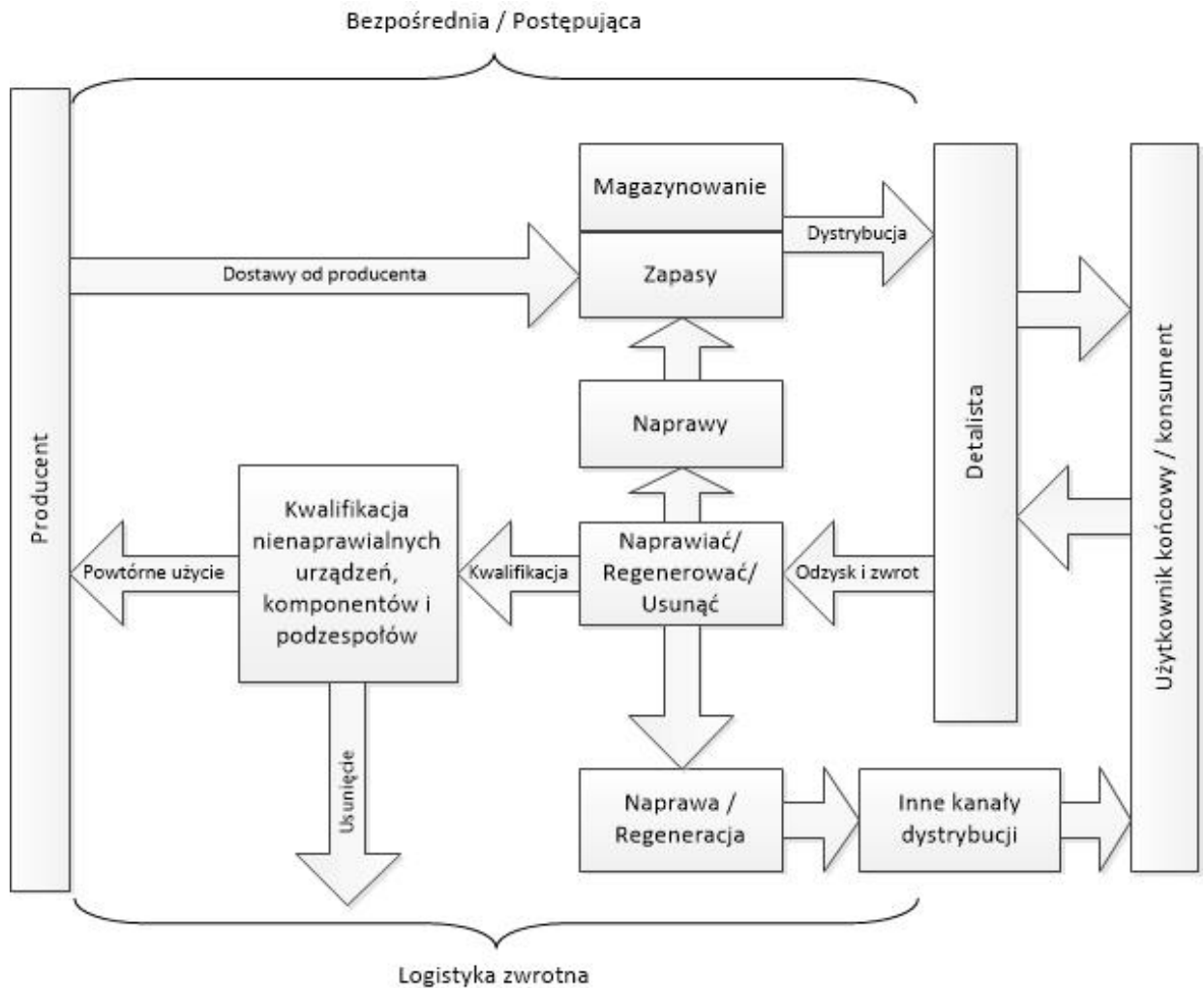
Alternatywnym modelem, również spotykanym na rynkach zaawansowanych technologii, jest „system zamknięty z niezależnym cyklem obejmującym usługi bezpośrednie”, zilustrowany na Rys. 1-3. Model ten różni się od modelu przedstawionego poprzedniego występującym w nim rodzajem klienta. W poprzednim opisanym modelu nabywcą był najczęściej konsument indywidualny. W systemach zamkniętych z niezależnym cyklem mamy natomiast do czynienia z klientami korporacyjnymi, którzy przejmują część czynności logistyki zwrotnej wykorzystując do tego własne procesy i zasoby. W tym modelu producent nie posiada pełnej kontroli nad wszystkimi przepływami produktów, co upraszcza procedury i zmniejsza koszty związane z obsługą logistyki zwrotnej. Jednocześnie wpływa to jednak negatywnie na przejrzystość całego obiegu produktów.



Rys. 1-3: Alternatywny system zamknięty dla produktów zaawansowanych technologicznie

Źródło: [Blumberg, 2005]

Czwartym wyszczególnionym przez Sadowskiego modelem jest „system zamknięty zorientowany na konsumentów”, który występuje na rynkach produktów konsumpcyjnych. Występuje tutaj głównie interakcja pomiędzy detalistą i producentem. Do produktów zwracanych należą między innymi wadliwe produkty zwrócone przez klientów, produkty nieprzydatne, na które rynek nie zgłosił popytu, opakowania wielokrotnego użytku zwrócone przez klientów lub wykorzystane przez detalistę. W modelu tym można mówić o dwóch odrębnych ogniwach logistyki zwrotnej, pierwszym pomiędzy konsumentem a detalistą i drugim – pomiędzy detalistą a producentem (por. Rys. 1-4).



Rys. 1-4: System zamknięty dla artykułów konsumpcyjnych

Źródło: [Blumberg, 2005]

Przedstawione modele logistyki zwrotnej mogą oczywiście ulegać zmianom w zależności od typu materiałów i specyfiki produktów krążących w systemie. Różnicowanie przepływów wzrasta w przypadku części i podzespołów, w szczególności napraw typu „wyciągnij i wymień”⁷ (ang. pull-and-replace) lub napraw modułów produktu przeprowadzanych przez służby serwisowe. Podobne zależności można zaobserwować w przypadku produktów konsumpcyjnych i materiałów takich jak chemikalia, szkło, papier itp., które po zwrocie nie nadają się do bezpośredniego użycia, muszą natomiast wcześniej zostać poddane procesowi przetwarzania. Ostatnia kategoria powodująca wzrost różnicowania

⁷ Postępowanie naprawcze polegające na wymianie całego wadliwego modułu, coraz częściej stosowane między innymi w branży motoryzacyjnej.

przepływów to zwroty kompletnych urządzeń, najczęściej występujących w przypadku dzierżawienia technologii lub zostawiania starych urządzeń w rozliczeniu za nowe. Takie produkty mogą być zwrócone za pomocą głównego łańcucha dostaw lub odsprzedane na rynkach wtórnych.

1.2.3 Logistyka zwrotna a tradycyjny łańcuch dostaw

Procesy logistyki zwrotnej znacząco różnią się od procesów logistyki rozumianej w tradycyjny sposób. Porównując definicje logistyki zwrotnej i tradycyjnej można odnieść wrażenie, że przemieszczenia w łańcuchach dostaw w odwrotną stronę mają charakter symetryczny do tradycyjnych, co nie jest konieczną prawdą [Fleishmann i in. 1997]. Różnice w kompleksowy sposób obrazuje Tab. 1-1. Najbardziej istotną różnicą, wskazaną w literaturze [Fleishmann i in. 1997; Rogers i Tibben-Lembke 2002] jest transport, którego organizacja w przypadku procesów zwrotnych przysparza wielu kłopotów. Rozpatrywana przez różnych autorów koncepcja organizacji transportu dla zwrotów zakłada, że pojazd dostarczający produkty kanałem tradycyjnym, zamiast tworzyć puste przebiegi, w celach oszczędnościowych powinien zabierać w drogę powrotną zwroty. Ze względu na częste rozdzielanie funkcji tradycyjnego przepływu towarów i obsługi zwrotów tak się jednak nie dzieje. Wspomniani autorzy uznali jednak taki model za czysto teoretyczny, nie byli bowiem w stanie wskazać ani jednego przypadku jego zastosowania w praktyce. Autorowi niniejszej rozprawy znany jest przykład przedsiębiorstwa, które częściowo wdrożyło właśnie taki model. Koncern Nestlé wprowadzając na nowe rynki produkt jakim jest system kaw Nespresso oparty o rozwiązanie kapsułkowe, prowadzi dystrybucję wyłącznie za pośrednictwem operatora logistycznego. Kurier dostarczający klientowi zamówione kapsuły jest zobowiązany do jednoczesnego odbioru zużytych, które następnie podlegają odzyskowi. Rozwiązanie to jest możliwe między innymi ze względu na pełen outsourcing procesów transportowych i synchronizację obustronnego przepływu produktów i informacji przez zewnętrznego operatora.

	Logistyka tradycyjna	Logistyka zwrotna
Prognozowanie	Relatywnie łatwe	Trudne
Transport	Od jednego podmiotu do wielu	Od wielu podmiotów do jednego
Jakość produktu	Identyczna	Różna
Opakowanie	Identyczne, nienaruszone	Często uszkodzone
Miejsce przeznaczenia produktów	Jasne, odgórnie zdefiniowane	Niejasne
Kanał przepływu	Ustandaryzowany	Tworzony dla wyjątków
Wycena produktu	Często ujednoczona	Zależna od wielu czynników
Istotność szybkości działania	Bardzo duża	Często bagatelizowana
Koszty dystrybucji	Monitorowane przez systemy rachunkowe	Często ukryte
Zarządzanie zapasami	Jednolite	Zróźnicowane
Zarządzanie cyklem życia produktu	Możliwe	Często cykl o wiele bardziej skomplikowany przez co znacznie utrudniony
Proces negocjacji między partnerami	Stosunkowo prosty	Często wymagający uwzględnienia dodatkowych czynników
Metody promocji i marketing	Dobrze znane	Skomplikowane, potrzeba uwzględniania wielu aspektów zewnętrznych
Dostępne informacje	Często możliwość śledzenia procesów w czasie rzeczywistym	Informacje mało przejrzyste

Tab. 1-1: Różnice pomiędzy logistyką zwrotną i tradycyjną

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Harrison i i van Hoek 2010; Rogers i i Tibben-Lembke 2002]

Kolejnym elementem różniącym logistykę zwrotną od tradycyjnej jest rozkład kosztów. Najbardziej znaczące różnice w rozkładzie kosztów zaobserwowano w odniesieniu do procesów transportowych, które ze względu na ich charakter w logistyce zwrotnej (wielu nadawców jeden odbiorca) często są przyczyną wysokich kosztów. Podobną relację zaobserwowano w odniesieniu do kosztów sortowania i obsługi. Spowodowane są one możliwymi uszkodzeniami, różnorodnym charakterem przemieszczanych towarów i utrudnionym przepływem informacji. Niższym poziomem charakteryzują się natomiast koszty utrzymania zapasów jak również straty wynikające z kradzieży. Ponadto w logistyce zwrotnej

występują dodatkowe źródła kosztów takie jak utrata wartości księgowej czy przepakowywanie lub dostosowanie do powtórnego użytku [Rogers i Tibben-Lembke 2002].

Pomimo upływu czasu i coraz większego zainteresowania procesami logistyki zwrotnej, Harrison i van Hoek [2010] wskazują na fakt, że w praktyce gospodarczej w dalszym ciągu są one niewydolne. Jako główne przyczyny takiego stanu rzeczy wymieniają następujące czynniki:

- Brak odpowiedniej infrastruktury – często przedsiębiorstwa podejmują próby wykorzystania istniejących systemów dystrybucji do obsługi zwrotów;
- Wielokrotnie logistykę zwrotną traktuje się jako drugorzędne zagadnienie, tym samym zasoby przydzielone do jej obsługi są niewystarczające;
- Główne zainteresowanie omawianym zagadnieniem jest wymuszone przez obowiązujące przepisy a nie przez wartość dodaną wnoszoną do przedsiębiorstwa. W dalszym ciągu jest ono postrzegane, jako czynnik kosztotwórczy;
- Zwroty w dalszym ciągu traktowane są często jako niewygodny temat; zwrócenie przez klienta towaru oznacza, że coś poszło nie tak w procesie dostarczania wartości i wiele osób woli temat zignorować lub wręcz ukryć;
- Struktura zwrotów, jak wspomniano wcześniej, jest nieprzewidywalna, dlatego trudno oszacować środki potrzebne na ich efektywną obsługę.

Menedżerowie ciągle nie przywiązują dostatecznej wagi do procesów logistyki zwrotnej, co w długim okresie grozi osłabieniem wizerunku przedsiębiorstwa, poirytowaniem klientów lub częstszym występowaniem niedociągnięć w realizacji zamówień.

1.2.4 Rodzaje logistyki zwrotnej

Logistyka zwrotna jest pojęciem, obejmującym kilka, pozornie autonomicznych obszarów. Głównym kryterium wspólnym dla każdej z niżej wymienionych kategorii jest kierunek przepływu produktów, który zamiast przebiegać od producenta do konsumenta, przebiega w kierunku przeciwnym. W literaturze przedmiotu zostało wyszczególnione 5 obszarów zadań logistyki zwrotnej. Zalicza się do nich:

Odpady komunalne

Zjawiska demograficzne, których efektem jest migracja ludzi do miast, jak również rosnący konsumpcjonizm powodują wzrost ilości wytwarzanych odpadów. Ich skuteczne

zagospodarowanie staje się niezbędnym czynnikiem, od którego zależy dalszy rozwój aglomeracji miejskich.

Ze względu na zasięg działań, zagospodarowanie odpadów komunalnych jest istotnym problemem i wyzwaniem dla logistyki zwrotnej. Zagadnienie to można rozpatrywać w kilku aspektach [Szołtysek 2009]:

- transportowym,
- lokalizacyjnym,
- czasu obsługi.

Aspekt transportowy jest najbardziej widocznym problemem zajmującym logistykę zwrotną. Problem wyznaczenia i przede wszystkim optymalizacji tras przejazdu pojazdów sanitarnych można potraktować jako klasyczny przykład problemu komiwojażera, w którym śmieciarka musi „odwiedzić” poszczególne pojemniki na odpady komunalne, zebrać ładunek i wrócić do punktu startu. Pojawia się tutaj jednak szereg problemów związanych z danym zagadnieniem. Liczba możliwych rozwiązań rośnie w tempie wykładniczym w stosunku do zmiennej będącej wierzchołkiem grafu. Zależność tą dobrze ilustruje przykład przytoczony przez J.Szołtyśka. Wyznaczenie optymalnej drogi mając na uwadze następujące założenia: śmieciarka musi zebrać odpady z 200 pojemników znajdujących się na 30 ulicach, przy czym każdą ulicę musi odwiedzić dokładnie jeden raz, ponadto wiedząc że powinien zostać przeanalizowany cały zbiór, daje $(n-1)! = (29)!$, w przybliżeniu 8.84×10^{30} możliwych dróg. Rozwiązanie problemu komiwojażera dla zagadnień logistyki zwrotnej byłoby z pewnością przydatne, jednakże wymagałoby bardzo dużych mocy obliczeniowych do uzyskania wymaganych efektów. W warunkach polskich planowanie tras przejazdu pojazdów zbierających odpady komunalne oparta jest głównie na doświadczeniu brygadzystów. Zauważalny jest jednak coraz silniejszy trend modernizacji taboru sanitarnego, dzięki czemu coraz więcej obliczeń optymalizacyjnych wykonywanych jest przez systemy informatyczne operatorów zajmujących się zagospodarowaniem odpadów.

Kwestie lokalizacyjne zawsze przysparzają wielu problemów logistykom odpowiedzialnym za planowanie infrastruktury transportowej. Podobnie dzieje się w przypadku logistyki zwrotnej. Istnieje kilka metod wyznaczania optymalnej lokalizacji elementów systemu transportowego. W przypadku planowania obsługi zwrotów, odpowiedzialne osoby mają jednak ograniczone pole manewru i zmuszone są do korzystania z istniejącej infrastruktury. Najbardziej opłacanym wariantem dla przewozu odpadów jest

najczęściej unikanie nadmiernych punktów przeładunkowych i takie wyznaczanie tras przewozu, aby nie było potrzeby konsolidacji przewożonych odpadów. Niemniej w niektórych przypadkach podjęcie decyzji o zorganizowaniu stacji przeładunkowej i jej właściwa lokalizacja pozwala na znaczne usprawnienie zbiórki i transportu odpadów. Ponadto pozwala na lepsze wykorzystanie potencjału specjalistycznego sprzętu, który nie zawsze przystosowany jest do dalekobieżnego transportu [Szołtysek 2009].

Ostatnią kwestią, którą należy wziąć pod uwagę jest czas obsługi odbioru odpadów. W praktyce oznacza to takie zarządzanie przejazdami pojazdów sanitarnych, aby jednocześnie na stację odbioru nie przyjeżdżało więcej śmieciarek, niż dana stacja jest w stanie obsłużyć. Najczęściej planowanie to odbywa się na podstawie doświadczeń osób odpowiedzialnych, często wspomaganych teorią kolejek. W teorii kolejek poszukuje się optymalnego rozwiązania, w którym przy danej długości kolejki i danym poziomie obsługi, wystąpią najniższe koszty całkowite.

Odzysk

Odzysk surowców (ang. recycling) to zjawisko wywołane stale rosnącą konsumpcją i ograniczeniem związanym ze skończonym charakterem surowców naturalnych. Staje się ono coraz bardziej popularne między innymi poprzez wzrost świadomości pro-ekologicznej podmiotów gospodarczych, jak również z powodu restrykcyjnych regulacji prawnych zmuszających wręcz do zagwarantowania przez producentów podjęcia działań w zakresie zagospodarowania odpadów pokonsumpcyjnych związanych z ich produktami.

Zjawisko to można określić jako szereg działań mających na celu wykorzystanie odpadów i opakowań jako surowców do produkcji. Odnosi się ono w szczególności do produktów, wykonanych z materiałów nadających się do wielokrotnego użytku, takich jak szkło, metal czy niektóre tworzywa sztuczne. Zadaniem logistyki zwrotnej w odniesieniu do recyklingu jest tworzenie sprawnego systemu sortowania, gromadzenia i odbioru zużytych dóbr wraz z ich elementami składowymi [Szołtysek 2009].

Zwroty produktów

Obsługa posprzedażowa jest obecnie jednym z najważniejszych elementów utrzymywania wysokiego poziomu zadowolenia klienta, oferując mu łatwy dostęp do części zastępczych i usług oferowanych przez producenta. Przez długi czas uważano, że potransakcyjne elementy obsługi klienta leżą bardziej w sferze zainteresowań marketingu niż logistyki [Kempny 2001]. Obecnie obsługa posprzedażowa nie wiąże się jednak wyłącznie z utrzymaniem kontaktu

z klientem. Wiele czynności wymaga fizycznego przepływu zarówno informacji jak i produktów. Niektóre usługi oferowane po sprzedaży produktów, takie jak na przykład dostarczanie części zamiennych czy odbiór uszkodzonego lub zepsutego produktu stały się obecnie powszechnie stosowanym standardem, który wielokrotnie pozwolił przedsiębiorstwom na osiągnięcie przewagi konkurencyjnej. Przykładem jest firma Dell oferujące odbiór wadliwego lub uszkodzonego sprzętu komputerowego w trybie door-to-door czyli bezpośrednio z miejsca zamieszkania klienta. Przepływy zwrotne produktów skierowane są w stronę przeciwną od tradycyjnie rozumianego przemieszczania produktów, dlatego też są jednym z elementów zainteresowań logistyki zwrotnej.

Opakowania zwrotne

Podjęcie decyzji na temat tego czy produkt powinien być zapakowany w opakowanie jednorazowego czy wielokrotnego użytku stanowi częsty dylemat kadry zarządzającej w przedsiębiorstwach, w szczególności w branży FMCG. Większość opracowań na ten temat ogranicza się do aspektów bezpośrednio związanych z opakowaniem produktu, takich jak wytrzymałość opakowania, łatwość transportu i magazynowania, ilości potencjalnych cykli w trakcie całego życia. W niewielu przypadkach pod uwagę brane są procesy związane z odzyskaniem takiego opakowania, w szczególności jeśli jest to opakowanie jednostkowe, które konsument, po kupnie produktu, zabiera do miejsca zamieszkania.

Logistyka zwrotna w odniesieniu do opakowań wielokrotnego użytku ma za zadanie optymalizować cały proces odzyskania opakowań od klienta, niezależnie od tego czy jest to klient indywidualny czy korporacyjny. W szczególności można tutaj wyróżnić wszelkie czynności związane z przekonaniem go do oddania zużytego opakowania, poprzez skuteczną i efektywną zbiórkę, a na zoptymalizowanym transporcie i organizacji procesu przysposabiania do ponownego użytku skończywszy.

Zamknięta pętla i zielony łańcuch dostaw

Koncepcja zamkniętej pętli łańcucha dostaw wyewoluowała od idei tzw. Zielonego Łańcucha Dostaw (ang. Green Supply Chain). Zielony łańcuch dostaw to koncepcja powstała w wyniku ciągle wzrastających obaw o przyszłość środowiska naturalnego. B. Beamon [1999] definiuje zielony łańcuch dostaw jako rozszerzenie tradycyjnych łańcuchów dostaw o działalność, która ma na celu zminimalizowanie wpływu na środowisko produktu podczas całego swojego cyklu życia, takich jak zielone projektowanie (design), oszczędność zasobów, redukcji użycia szkodliwych materiałów i wytwarzanie produktów przystosowanych do recyklingu lub

ponownego użycia. Coraz więcej koncepcji zarządzania łańcuchami dostaw wskazuje na potrzebę napędzania współpracy pomiędzy przedsiębiorstwami nie tylko na bazie kryteriów ekonomicznych, ale również ekologii. Przytaczane koncepcje mają na celu redukcję grupy czynników wpływających na środowisko naturalne, takich jak zużycie energii i materiałów, powstawanie wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń i szkodliwych emisji gazów oraz odpadów procesów produkcyjnych i logistycznych. Alternatywnym celem jest promowanie korzystania z surowców wtórnych i odnawialnych źródeł energii. Koncepcje te są wprowadzane w różnych segmentach łańcucha dostaw [Abdolhossein i in. 2012; de la Fuente i in. 2008]. Owe działania są często definiowane jako integracja myślenia środowiskowego w zarządzaniu łańcuchem dostaw [Eltayeb i in. 2011].

Wzajemne relacje pomiędzy logistyką rozumianą w tradycyjny sposób i logistyką zwrotną spowodowały zmiany nastawienia projektowego z projektowania zindywidualizowanego do jednoczesnego projektowania obu kanałów przepływu. Koncepcja zamkniętej pętli sieci lub zintegrowanej sieci odnosi się do wzajemnych transakcji pomiędzy obydwojema kierunkami przepływów w łańcuchach dostaw. Integracja ta pozwoliła na uniknięcie suboptymalizacji wyników w przypadku projektowania systemów oddzielnie [Abdolhossein i in. 2012]. Pierwsze próby opracowania ilościowego modelu zamkniętej pętli łańcucha dostaw zostały podjęte przez zespół badaczy pod kierunkiem M. Fleischmanna [Dekker i in. 2004]. Starali się oni zoptymalizować przepływ produktów w procesie dystrybucji i zwrotu jednocześnie.

Logistyka zwrotna a koncepcja zrównoważonego rozwoju

Poruszając tematykę logistyki zwrotnej nie sposób pominąć jej znaczenia w odniesieniu do koncepcji zrównoważonego rozwoju – doktryny ekonomicznej podkreślającej potrzebę takiego gospodarowania zasobami naturalnymi, aby możliwie nie pogarszać warunków życia późniejszych pokoleń. Podejmując próbę określenia determinant rozwoju logistyki zwrotnej w kontekście zrównoważonego rozwoju należy zwrócić uwagę na założenia teorii instytucjonalnej i jej implikacje [Sadowski 2008]. W ramach wspomnianej teorii można wyróżnić cztery filary, które doprecyzowują istotę koncepcji logistyki zwrotnej [Richey i in. 2000]. Należą do nich:

- Filar nadzorujący. W teorii instytucjonalnej⁸ przyjmuje się założenie, że rząd i obowiązujący system prawny odgrywają pierwszoplanową rolę w przechodzeniu gospodarki do stanu zrównoważonego rozwoju. Widoczne jest to szczególnie w krajach rozwijających się, w których instytucje nadzorujące są gwarantem przestrzegania prawa, między innymi przez przedsiębiorstwa działające globalnie, które przenoszą działalność gospodarczą w zależności od zmian prawa związanego z ochroną środowiska w państwach w których funkcjonują;
- Filar kulturowy. Aspekt kulturowy teorii instytucjonalnej posiada mocne wsparcie ze strony socjologii kultury. Przyjmuje się założenie, że filar kulturowy opiera się na skłonności jednostek lub grup do naśladowania akceptowanych wzorów zachowań ustalonych przez społeczeństwo i uznanych za normę, która może być określona jako subkultura. W przypadku logistyki zwrotnej aspekt socjo-kulturowy odgrywa zasadniczą rolę dla jej rozwoju zaczynając od szczebla operacyjnego;
- Filar społeczny. Zachowanie organizacji oczywiście nie jest zależne wyłącznie od kultury. Istnienie pewnych norm społecznych, pod postacią zasad obowiązujących w społeczeństwie, wpływa na określenie sposobów wykonywania zadań, tak aby ich rezultaty były akceptowane społecznie. W logistyce zwrotnej odnosi się to do sposobów postępowania z produktami, które zakończyły swój cykl życia.

Istnienie powyższych filarów powoduje występowanie silnego oddziaływania na światową gospodarkę i przechodzenie organizacji do koncepcji zarządzania ukierunkowanych na zrównoważony rozwój. W wielu przedsiębiorstwach na etapie projektowania wyrobów stosuje się takie podejścia jak DfR (ang. Design for Recycling), DfE (ang. Design for Environment) czy Ecomagination, które umożliwiają wykorzystywanie elementów produktów, które zakończyły okres użytkowania czy eksploatacji ujmowanych w kategorii odpadów w charakterze powtórnego „wejścia” do systemu logistycznego.

⁸ Interdyscyplinarna teoria złożonych organizacji (takich organizacji czy instytucji jak: państwo, parlament, biurokracja, organizacja pozarządowa, uniwersytet, prywatna spółka realizująca zadania publiczne)

1.2.5 Ekonomiczne, ekologiczne i prawne aspekty logistyki zwrotnej

Aspekty ekonomiczne

Logistyka zwrotna z definicji zajmuje się głównie produktami, które utraciły część swojej wartości rynkowej, dlatego trudno, bez wglębiania się w temat, mówić o wartości dodawanej przez inwestowanie w tego typu procesy. Rozpatrując ekonomiczne aspekty logistyki zwrotnej należy jednak spojrzeć na analizowany obszar z perspektywy całościowej, zarówno z poziomu mikro jak i makro. Pojęcie ekonomia odnosi się do sposobu gospodarowania zasobami w celu uzyskania określonych korzyści. Korzyści wynikające z wdrożenia koncepcji logistyki zwrotnej są jednocześnie korzyściami bezpośrednimi przekładającymi się na zysk firmy, jak i pośrednimi, oddziałującymi na ogólnie prowadzoną działalność firmy. Do korzyści bezpośrednich należą:

- większa trwałość opakowań wielokrotnego użytku zwiększająca efektywność procesów magazynowania i transportu,
- możliwość powtórnego wykorzystania opakowań zwrotnych po przeprowadzeniu procesu uzdatniania, niewątpliwie tańszego niż zakup nowego opakowania,
- w przypadku zwrotu i naprawy – brak konieczności wymiany wadliwego produktu na nowy.

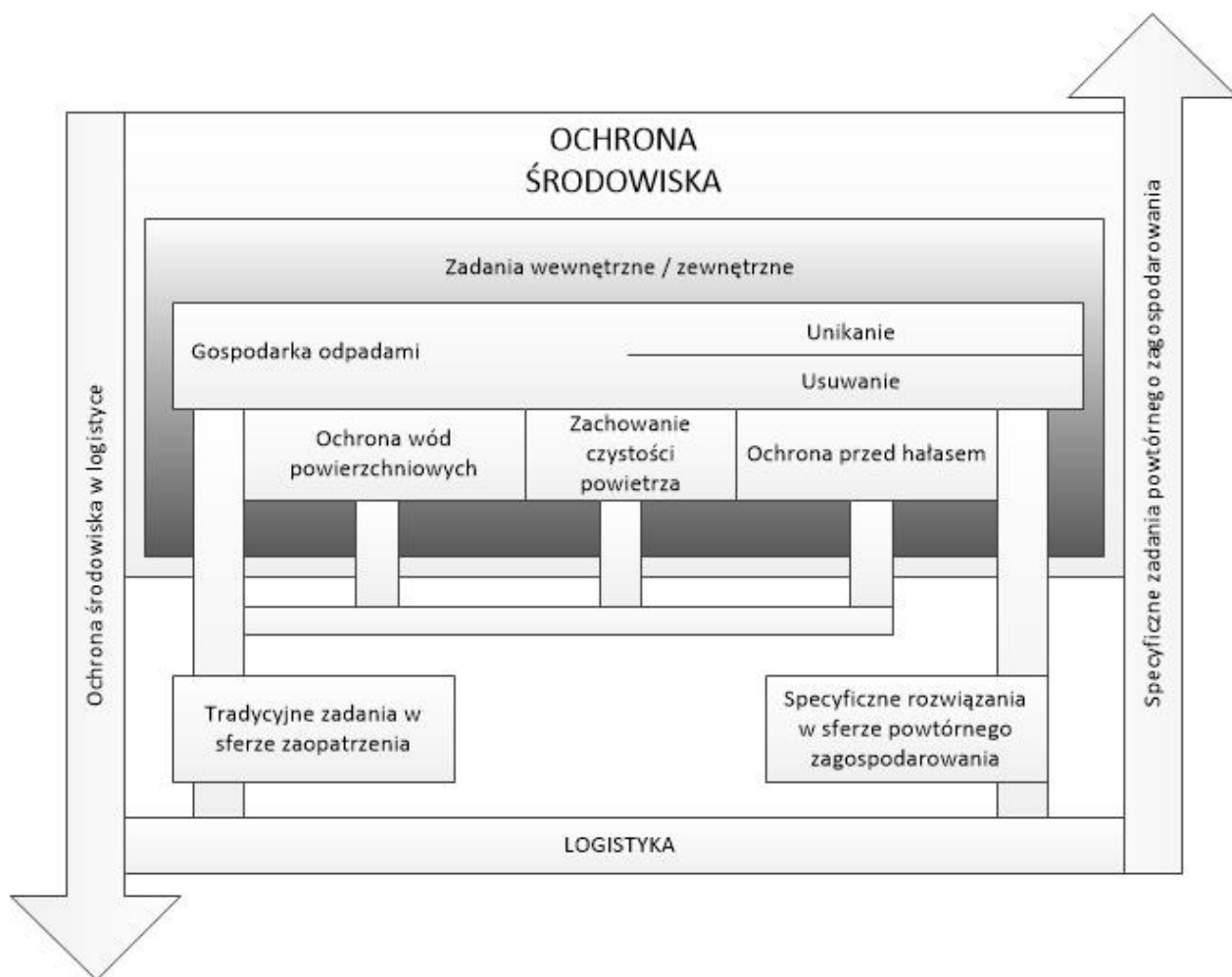
Do pośrednich:

- wzrost prestiżu marki promującej zrównoważony rozwój, uzyskiwanie certyfikatów jakości związanych z ochroną środowiska takich jak certyfikaty standardu grupy ISO:14000,
- poprawa relacji z klientami i dostawcami poprzez efektywną organizację przepływów produktów wadliwych i zużytych opakowań,
- lepsze zrozumienie zachowań klientów na podstawie danych pozyskiwanych z kanałów zwrotnych. Informacja ta jest swoistego rodzaju badaniem klienckim, i może być wykorzystana podczas dalszego procesu ulepszania produktu.

Do korzyści ekonomicznych w skali makro można zaliczyć między innymi oszczędności związane z utrzymaniem mniejszej liczby składowisk śmieci jak również powtarzane wykorzystywanie tych samych surowców. Przykładowo 80% wykorzystywanych w chwili obecnej produktów aluminiowych wytworzona została z surowca odzyskanego z rynku.

Aspekty ekologiczne

W gruncie rzeczy ekologiczne aspekty logistyki koncentrują się na minimalizacji szkodliwego oddziaływania systemów logistycznych na środowisko naturalne. Z biegiem lat rozważania na temat „zielonego” podejścia do logistyki nabierały na sile, co spowodowało że coraz więcej autorów podejmowało badania w tym obszarze. Wspomniany na początku niniejszego rozdziału brak wyraźnych podziałów obszarów logistyki, w tym logistyki zwrotnej, spowodował pojawienie się w niektórych opracowaniach dotyczących tematu dedykowanego ekologii pojęcia „ekologistyki”, niekiedy stosowanego jako synonim logistyki zwrotnej [Sadowski 2010]. Z. Korzeń, autor jednej z ważniejszych publikacji o tematyce ekologii w logistyce pod tytułem „Ekologistyka” zdefiniował wspomniany dział jako subobszar logistyki zorientowany na ekologię (...) [Korzeń 2001]. Ekologicznym aspektem logistyki obszerne rozważania poświęcili również H.Ch Pfohl [2001], J.Bendkowski i M. Wengierek [2002]. Czynnikiem wspólnym wszystkich opracowań jest podkreślanie stanowiska, że logistyka zwrotna powinna realizować cele ekonomiczne (w postaci optymalizacji kosztów, zużycia i odzyskiwania surowców), ale przede wszystkim powinna mieć na względzie cele ekologiczne i prowadzenie działalności gospodarczej zgodnie z ideą społecznej odpowiedzialności biznesu. Miejsce logistyki zwrotnej w zależnościach występujących w przedsiębiorstwie przedstawia Rys. 1-5. Jak można zauważyć na przytoczonym schemacie, ekologiczne ukierunkowanie koncepcji logistyki zwrotnej oznacza działania zmierzające do ochrony zasobów naturalnych i redukcji zanieczyszczeń pochodzących z logistycznych procesów utylizacji [Sadowski 2010].



Rys. 1-5: Pozycja logistyki powtórnego zagospodarowania w kompleksie zależności funkcji ochrony środowiska i logistyki

Źródło: [Pfohl 2001]

Aspekty prawne

Regulacje prawne odnoszące się do logistyki zwrotnej nakładają na przedsiębiorstwa obowiązek zagospodarowania wytworzonych przez nie odpadów (w tym odpadów opakowaniowych), rozumiane jako utylizację lub odzysk wprowadzanych na rynek produktów jak również przyjmowania zwrotów towarów. W ostatnich latach szczególnie widoczny jest wzrost liczby przepisów dotyczących opisywanej problematyki, między innymi ze względu na ogólnoeuropejską tendencję polegającą na prawnym regulowaniu coraz szerszego spektrum działań firm w odniesieniu do ekologii. Dotyczą one wymaganego poziomu recyklingu, odpowiedzialności za opakowania jak również produkty wprowadzane i wycofywane z rynku. Szczególny nacisk kładziony jest na próby prawnego uregulowania kwestii odpadów opakowaniowych.

Polski system prawny w zakresie zagospodarowania odpadów opakowaniowych opiera się na przepisach dyrektywy 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych. Przepisy tej dyrektywy zostały przeniesione do polskiego prawa ustawą z dnia 11 maja 2001r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej (Dz. U. Z 2007 r. Nr 90, poz. 607, z późn. Zm.) oraz ustawą z dnia 11 maja 2001r. o opakowaniach i odpadach opakowaniowych (Dz. U. Nr 63, poz. 607, z późn. Zm.). Przedsiębiorcy wprowadzający na rynek produkty w opakowaniach zostali zobowiązani do uzyskiwania określonych poziomów odzysku i recyklingu, a w przypadku ich nieuzyskania – do wpłacenia opłaty produktowej. Polska uzyskała w 2007 r. Wymagane powyższą dyrektywą poziomy odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych [Błaszczak 2012]. Obecnie w dalszym ciągu dąży się do uzyskania podwyższonych poziomów odzysku, które Polska, zgodnie z wyżej wymienioną dyrektywą, jest zobowiązana uzyskać w 2014 r.

W niektórych krajach Unii Europejskiej, w celu podwyższenia ilości odzyskanych opakowań, stosuje się kaucję na opakowania napojów, bez względu na to, czy są to opakowania jedno czy wielokrotnego użytku. Bodziec finansowy w postaci kaucji z założenia powinien wpływać zachęcająco na konsumentów, motywując ich do zwrotu wykorzystanego opakowania. Polskie ustawodawstwo nie przewiduje jednak nakładania kaucji za opakowania po napojach. Utworzenie systemu kaucyjnego – jak wskazuje doświadczenie krajów, które taki system wprowadziły – wiąże się z dużym wyzwaniem pod względem prawnym, technicznym, a przede wszystkim finansowym. Szacuje się, że wprowadzenie takiego systemu w Niemczech kosztowało ok. 700 mln euro, a jego utrzymanie i administrowanie pociąga za sobą corocznie podobne koszty. Z tego powodu tylko nieliczne kraje Unii Europejskiej zdecydowały się na takie rozwiązanie. Należy też zauważyć, że wprowadzenie systemu kaucji może tworzyć bariery dla wolnego wewnątrzpółnotowego przepływu towarów, przed czym przestrzega Komisja Europejska w komunikacie z dnia 9 maja 2009 r.

Brak regulacji prawnych dotyczących pobierania kaucji za wprowadzane do obiegu opakowań nie oznacza, że polskie prawo całkowicie pozbawione jest regulacji odnoszących się do tego typu działań. Przepis zawarty w art. 14 ustawy o opakowaniach i odpadach opakowaniowych zobowiązuje jednostki handlu detalicznego do przyjmowania zwracanych i wymienianych opakowań wielokrotnego użytku po produktach w takich opakowaniach, które znajdują się w ich ofercie handlowej. Brzmienie tego przepisu nie ogranicza przyjmowania opakowań tylko po zakupionych w danej jednostce handlu detalicznego produktach, a także nie wprowadza wymogu wylegitymowania się dowodem zakupu produktu w takim opakowaniu,

które klient chce oddać w danej jednostce handlowej. W przypadku, gdy klient przyniesie opakowanie wielokrotnego użytku po produkcie, który znajduje się w ofercie handlowej danej jednostki, do zwrotu (bez zakupu produktu) lub na wymianę (z zakupem produktu w takim samym opakowaniu), sprzedawca ma obowiązek przyjąć od niego to opakowanie, ale nie ma prawa żądać od klienta dowodu zakupu. Wyjątek stanowi tutaj sytuacja, w której klient chce uzyskać zwrot kaucji. W praktyce niektóre sklepy detaliczne wykorzystują niewiedzę konsumentów w wyżej wymienionych kwestiach, odmawiając przyjęcia opakowania bez okazania dowodu zakupu. Oczywiście jest, że są to działania mające na celu obniżenie kosztów magazynowych detalistów jak również unikanie bezzyskownego zamrażania gotówki. Jednakże powodują one natomiast zmniejszanie ilości odzyskiwanych opakowań z rynku, zmniejszając jednocześnie opłacalność wprowadzania rozwiązań bazujących na opakowaniach wielokrotnego użytku przez przedsiębiorstwa.

1.3 Logistyka zwrotna – ujęcie praktyczne

Logistyka zwrotna ze względu na swój stopień złożoności i problematyczny charakter wymaga bardzo specyficznych rozwiązań praktycznych. Niezależnie od tego, czy w danym przedsiębiorstwie stawia się na przepływy zwrotne mające charakter obsługi posprzedażowej klientów, wykorzystuje się opakowania (jednostkowe lub zbiorcze) wielokrotnego użytku czy zagospodarowuje odpady poprodukcyjne, cały zorganizowany przez przedsiębiorstwo system musi być do tego przygotowany. Zarówno rozwiązania organizacyjne jak i technologiczne (i związane z nimi przepływy informacji) muszą być opracowywane z myślą o spełnianych przez logistykę zwrotną funkcjach. Literatura oferuje wiele modeli postępowania w poszczególnych przypadkach, które podobnie jak wszystkie modele teoretyczne, charakteryzują się dużym stopniem uogólnienia. W celu wyeksponowania praktycznego charakteru omawianego zagadnienia, przy jednoczesnym przedstawieniu praktycznych zastosowań, przytoczono poniżej kilka przykładów praktycznej organizacji rozwiązań z zakresu logistyki zwrotnej, które stanowią uzupełnienie teoretycznych rozważań zawartych we wcześniejszej części rozdziału.

1.3.1 Rozwiązania organizacyjne logistyki zwrotnej

Zorganizowanie przepływów zwrotnych produktów, szczególnie tych kierowanych do klientów indywidualnych, jest przedsięwzięciem wymagającym od przedsiębiorstw dobrze przemyślanej strategii. Kluczowym zagadnieniem jest, aby cały system logistyczny przedsiębiorstwa był przygotowany na zbieranie, przyjmowanie i przetwarzanie materiałów i surowców

przepływających wstecz. Dotyczy to nie tylko sfery przepływu informacji, ale również odpowiedniej organizacji całego procesu. Poniżej opisano dwa studia przypadków przedsiębiorstw, których rozwiązania organizacyjne w zakresie logistyki zwrotnej zasługują na uwagę.

Nestlé – logistyka zwrotna przedsiębiorstwa branży spożywczej

Jedną z firm mających wręcz wzorcowo rozwinięty system zwrotów jest Nestlé Nespresso, która jest częścią międzynarodowego koncernu Nestlé. Wdrożyła ona sprawnie działający system zwrotów zużytych materiałów eksploatacyjnych oferowanych przez nią kaw porcjowanych. Nespresso jest jedną z kilku marek kaw oferowanych przez koncern. W skład całej serii wchodzi zarówno kawy jak i ekspresy ciśnieniowe, które funkcjonują w oparciu o jednorazowe aluminiowe kapsuły wypełnione zmielonymi ziarnami kawy. Klient chcący korzystać z takiego produktu musi okresowo zaopatrywać się w kapsuły, które po jednorazowym przygotowaniu kawy stają się bezużyteczne. Rozwiązanie to choć gwarantuje świeżość spożywanych wywarów jak również ułatwia utrzymanie czystości, ma wyraźną wadę jaką jest generowanie znaczących ilości odpadów. Najbardziej problematyczne są w tym przypadku elementy aluminiowe z których wykonana jest powłoka kapsuły. W połączeniu z organicznym zanieczyszczeniem w postaci kawy są trudne do ponownego zagospodarowania w przypadku gdy trafią na wysypisko.

Chcąc zbudować markę w oparciu o pro-ekologiczną postawę i promowanie zrównoważonego rozwoju, Nestlé zdecydowało się na zorganizowanie systemu zwrotów kapsułek, pozwalający na odzyskiwanie ponad 80% sprzedanego materiału. System ten polega na zapewnieniu klientom specjalnych pojemników (worków) na zużyte kapsułki, które klient może oddać w punkcie dystrybucji kapsułek lub bezpośrednio kurierowi dostarczającemu zamówiony towar. Należy zaznaczyć, że w chwili obecnej w Polsce istnieje tylko jeden stacjonarny punkt dystrybucji kapsułek Nespresso, dlatego większość dystrybucji odbywa się za pośrednictwem Internetu i firm kurierskich, dlatego prawie zawsze towar jest dostarczany klientowi bezpośrednio do domu, co zwiększa prawdopodobieństwo zwrotu zużytych opakowań. Po odzyskaniu wykorzystanych kapsułek, trafiają one do centrów przetwórstwa Nestlé gdzie po oddzieleniu elementów metalowych i organicznych odzyskiwane jest aluminium, które stanowi bazę surowcową kolejnych kapsułek.

WIKA – rozwiązania logistyki zwrotnej przedsiębiorstwa produkującego urządzenia pomiaru ciśnienia i temperatury

WIKA Polska SA jest przedsiębiorstwem należącym do międzynarodowej grupy WIKA. Głównym elementem działalności przedsiębiorstwa jest produkcja urządzeń do monitorowania temperatury i ciśnienia. Większość czynności, które muszą być wykonane aby skutecznie pozyskiwać z rynku materiały i surowce związane jest bezpośrednio z procesem posprzedażowym. W momencie, gdy klient stwierdzi wadliwy produkt, ma prawo zaawizować zwrot wadliwego produktu, który następnie jest transportowany na koszt firmy od jej centrali. Po zaakceptowaniu reklamacji, przedsiębiorstwo albo naprawia wadliwy produkt, albo, gdy klient nie wyraża zgody na naprawę, towar jest rozkładany na elementy. Te które nie wykazują uszkodzeń traktuje się jak nowe i montuje w nowych produktach, części uszkodzone natomiast, poddawane są (jeśli istnieje taka potrzeba) przetopieniu a następnie zostają sprzedane. Przedsiębiorstwo zmuszone było zorganizować wydajny system zwrotów, między innymi po to, aby zapewnić sobie ciągłość dostaw elementów mosiężnych.

1.3.2 Przepływy informacji i rozwiązania technologiczne

Internetowe giełdy odpadów

Dynamiczny rozwój możliwości technologicznych ostatnich lat umożliwił powstanie wielu narzędzi teleinformatycznych wspomagających praktycznie wszystkie obszary działalności przedsiębiorstw. Szeroką grupą narzędzi tego typu są różnego rodzaju systemy, których celem jest usprawnianie procesów logistycznych. Jednym z prędko rozwijających się typów takich narzędzi są giełdy internetowe – specjalistyczne serwisy sektora Business to Business (B2B), umożliwiające przeniesienie procesów komunikacji, w szczególności negocjacji, do Internetu. Najczęściej spotykanymi obszarami wspomaganymi przez giełdy internetowe jest transport (minimalizacja pustych przebiegów) i pozyskiwanie surowców (szeroka baza kontrahentów oferujących swoje towary).

Intensywny wzrost liczby rozwiązań informatycznych w dziedzinie logistyki, można również zauważyć w logistyce zwrotnej. Elektroniczne giełdy odpadów stanowią nową odmianę giełd wykorzystywanych dotychczas. Za ich pośrednictwem mają miejsce transakcje kupna i sprzedaży, poprzedzane wymianą informacji między potencjalnymi partnerami handlowymi, zużytych surowców [Werner i Mierzwiak 2012a]. Obecnie na rynku można znaleźć kilka giełd tego typu. Listę przykładowych serwisów zawiera Tab. 1-2. Zamieszczona lista dostępnych giełd jest krótsza od tej przytoczonej w cytowanych źródłach między innymi dlatego, że każdy

z oryginalnie zamieszonych odnośników został sprawdzony przez autora w trakcie pracy nad niniejszą dysertacją. Zamieszczona lista odzwierciedla stan faktyczny na dzień 4 marca 2013 roku. Można zatem stwierdzić, że zainteresowanie elektronicznymi giełdami odpadów jest ograniczone, dlatego przetrwały tylko te, które osiągnęły krytyczną masę użytkowników. Dotyczy to przede wszystkim rynku polskiego, na którym popularność tego typu serwisów jest niska [Werner i Mierzwiak 2012b].

Nazwa giełdy	Adres URL
180 Commerce	www.180commerce.com
Autodag	www.autodag.com
Bigmachines	www.bigmachines.com
Find-a-part	www.find-a-part.com
Genco	www.genco.com
Metalsite	www.metalsite.com
ReturnLogistics	www.returnlogistics.com
Viavia	www.viavia.nl
Gielda Odpadów Maszyn i Urządzeń	www.gielda.hb.pl
Ogólnopolska giełda odpadów	www.gielda-odpadow.pl
Gartija.pl	www.gartija.pl
RecyclingTrade.com – giełda odpadów	www.recyclingtrade.com

Tab. 1-2: Zestawienie funkcjonujących internetowych giełd odpadów

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Sadowski 2010; Werner i Mierzwiak 2012a]

Automatyczna identyfikacja w logistyce zwrotnej

Kolejnym przykładem zaawansowanych technologii stosowanych w procesach logistyki zwrotnej jest wdrożenie projektu *Chip and Crate* przez koncern Heineken w 2000 roku [Sadowski 2010]. Przedsiębiorstwo, będąc jednym z czołowych producentów piwa na rynku europejskim podjęło wyzwanie mające na celu optymalizację liczby kupowanych skrzynek do transportowania produkowanych przez siebie towarów. Ponieważ liczba zakupionych opakowań zwrotnych bazowała głównie na doświadczeniach pracowników, uzupełnionych prostymi kalkulacjami, zarząd koncernu zdecydował się na wdrożenie projektu, którego celem

było zbadanie dokładnego czasu cyklu przepływu kontenera przez cały system, pozwalając jednocześnie na dokładniejsze prowadzenie polityki zakupowej skrzynek. Wykorzystano w tym celu technologię RFID⁹. Do ok 1,5% skrzynek przytwierdzono metki RFID z nadanym unikatowym kodem przypisanym do każdej z nich. Skanery na linii produkcyjnej czytywały informacje w trakcie procesu produkcyjnego. Czas pomiędzy dwoma odczytami tej samej metki uznano za okres jednego pełnego cyklu przemieszczenia skrzynki. Dzięki przeprowadzonemu eksperymentowi stwierdzono, że liczba kupowanych skrzynek znacznie przewyższa zapotrzebowanie, dzięki czemu możliwe było obniżenie poziomu zakupów opakowań zwrotnych, pozwalając koncernowi zaoszczędzić między 5-10 mln euro w skali całego świata.

1.4 Zarządzanie opakowaniem w ujęciu logistycznym

Opakowanie jest pojęciem, które towarzyszy współczesnemu człowiekowi praktycznie od momentu urodzenia. Fakt ten wynika z powszechności stosowania opakowań w procesie sprzedaży produktów. Szacuje się, że około 90% produktów na świecie wymaga ich stosowania [Korzeniowski i in. 2010]. Należy zastanowić się jednak, w jaki sposób precyzyjnie określić czym jest opakowanie. W literaturze można spotkać różne definicje tego pojęcia. Wyczerpująca definicja opakowania powinna zawierać zbiór najbardziej istotnych a zarazem charakterystycznych dla niego cech [Korzeniowski i in. 2010], jakimi są:

- pełnienie istotnych funkcji w procesach logistycznych, między innymi w odniesieniu do:
 - magazynowania – ułatwiają proces przyjmowania, składowania, kompletowania i wydawania towarów,
 - kompletacji – zapewniają ochronę podczas sporządzania zestawów asortymentowych w partiach dostawy,
 - transportu – pozwalają na optymalizację przebiegów towarowych przez minimalizację masy opakowań, jak również stopnia wykorzystania ładowności środków transportu przez odpowiednie kształty i wymiary opakowań,

⁹ RFID - ang. Radio-frequency identification; technologia wykorzystująca fale radiowe w celu automatycznej identyfikacji oznaczonego przedmiotu.

- przepływu informacji – zapewniają łatwy dostęp do informacji osobom zajmującym się logistyczną obsługą zapakowanych towarów. Często opakowania wyposażone są, prócz tradycyjnych etykiet papierowych, w etykiety automatycznej identyfikacji (jedno i dwu-wymiarowe kody kreskowe, etykiety RFID) pozwalające na zautomatyzowanie przepływu informacji w procesach logistycznych;
- ochrona wyrobu przed szkodliwym oddziaływaniem warunków zewnętrznych,
- informowanie klienta o zawartości opakowania,
- odpowiednia prezentacja wyrobu gotowego.

Mając na uwadze wymienione cechy można zdefiniować opakowanie w następujący sposób [Korzeniowski i in. 2010; Korzeniowski i Skrzypek 1994]: Opakowanie to gotowy wyrób, zazwyczaj posiadający konstrukcję spełniającą odpowiednie dla danego kontekstu cechy, mający za zadanie ochronę opakowanego wyrobu przed szkodliwym oddziaływaniem czynników zewnętrznych (lub odwrotnie – ochronę otoczenia przed szkodliwym oddziaływaniem wyrobu), umożliwiający przemieszczanie wyrobów podczas magazynowania, transportu, sprzedaży i użytkowania, informujący o zawartości, dzięki swojej estetyce oddziałujący na kupującego oraz posiadający walory ekonomiczne. Podobnie opakowanie zdefiniowane jest w Polskiej Normie PN-O-79000 (Terminologia). Zawarta w niej definicja brzmi następująco: „wyrób zapewniający utrzymanie określonej jakości pakowanych produktów, przystosowanie ich do transportu i składowania oraz prezentacji, a także chroniący środowisko naturalne przed szkodliwym działaniem niektórych produktów”. W innym dokumencie normującym (Norma ISO TC-122 WG 5) opakowanie zostało zdefiniowane inaczej: „opakowanie to zaprojektowany wyrób służący do zabezpieczenia, przygotowania wyrobu do dystrybucji, operacji logistycznych, oraz termin wieloznaczny określający opakowania konsumenckie, przechowalnicze, zbiorcze, transportowe, wielokrotnego użytku i inne”. Opakowania jednostkowe są przeznaczone dla ostatecznego odbiorcy i ich funkcje użytkowe są skierowane właśnie do niego. Przykładem są opakowania komplementarne, czyli takie, których funkcjonalność ułatwia konsumpcję samego produktu np. opakowanie do jogurtu z łyżeczką.

Można zauważyć że przytoczone definicje, choć pochodzące z innych dokumentów posiadają wiele wspólnych elementów. Charakteryzuje je natomiast wysoki poziom ogólności, dlatego niezbędne wydaje się doprecyzowanie pewnych kryteriów klasyfikacji opakowań.

Zgodnie z ustawą o opakowaniach i odpadach opakowaniowych [Górski i Rynkiewicz 2009], wyróżnia się 3 kategorie opakowań:

- opakowania jednostkowe – służą do przekazywania produktu użytkownikowi końcowemu w miejscu zakupu. Do kategorii tej zostały dołączone również elementy dołączone do produktu umożliwiające jego konsumpcję takie jak naczynia jednorazowego użytku,
- opakowania zbiorcze – zawierające wielokrotność opakowań jednostkowych kontenery trwałe lub jednorazowe, niezależnie od tego czy są przekazywane użytkownikowi czy służą jedynie jako środek ułatwiający zaopatrzenie sklepów detalicznych. Istotnym jest, aby opakowania zbiorcze dawały możliwość rozpakowania bez naruszenia cech właściwych produktów,
- opakowania transportowe – ich zastosowanie koncentruje się głównie na umożliwieniu transportu produktów lub opakowań zbiorczych, zabezpieczając je przed uszkodzeniami, które mogłyby wystąpić podczas procesu przewozowego. Z kategorii tej wyłączone zostały kontenery do transportu drogowego, kolejowego lub morskiego.

Niekiedy zamiast powyższej klasyfikacji korzysta się z rosnącej numeracji rzędowej. Oznacza to, że opakowanie jednostkowe jest opakowaniem pierwszego rzędu, natomiast każdy kolejny poziom zapakowania otrzymuje numer o jeden większy od poprzedniego. Tym samym klasyfikacja ta daje dodatkowe informacje na temat liczby poziomów opakowań dla danego opakowania transportowego.

Załącznik do ustawy o opakowaniach i odpadach opakowaniowych wprowadza również dodatkową klasyfikację opakowań, w zależności od materiałów, z których zostały wykonane. Ustawodawca wyróżnił następujące kategorie materiałowe:

- tworzywa sztuczne,
- stal,
- aluminium,
- papier i tektura,
- szkła gospodarczego (wyjątkiem są ampułki),
- materiały naturalne (takie jak drewno czy tekstylia).

Ponadto rozróżnia się opakowania jednokrotnego i wielokrotnego użytku. Zgodnie z przytoczoną wcześniej normą PN-O-79000 opakowanie wielokrotnego użytku to opakowanie, które ze względu na konstrukcję lub właściwości mogą być powtórnie lub wielokrotnie stosowane.

Z punktu widzenia ochrony środowiska powyższą listę można podzielić dodatkowo na opakowania ulegające degradacji i te nieulegające naturalnemu procesowi rozkładu. W literaturze można spotkać także inne kryteria podziału opakowań [Korzeniowski i in. 2010]. Nie mają one jednak większego znaczenia w świetle niniejszej dysertacji.

Opakowania stosowane są w celu pełnienia specyficznych funkcji, jednak nie ma jednej, uniwersalnej listy określającej jakie charakterystyki rozpatrywać podczas ich analizy. Podjęto wiele prób usystematyzowania funkcji opakowań, jednak w literaturze można znaleźć wiele sugestii różniących się nawzajem. Przykładową klasyfikację różnych autorów syntetycznie przedstawił A. Korzeniowski [Korzeniowski i in. 2010]. Inni autorzy dokonali próby kategoryzacji rodzajów opakowań. G.Grundke zaproponował klasyfikację według funkcji – ochronnej, racjonalizujące przebiegi towarowe, użytkowej oraz informacyjnej. H. Pfohl [2001] wyróżnił funkcje produkcyjne, marketingowe, użytkowe i logistyczne. Z kolei H. Mruk i I. Rutkowski [1994] dzielą funkcje opakowań na ochronne, promocyjne, informacyjne i funkcje fizycznej organizacji pracy (według autorów wykorzystanie opakowania wyłącznie jako elementu ochronnego lub ułatwiającego pracę logistyków od dawna należy do przeszłości – obecnie są stosowane głównie jako środki promocji odróżniające produkt od konkurencji). Inny podział podaje A. Korzeniowski i J. Jasiczak [1998]. Wydzielili oni funkcje ochronne i logistyczne (obejmujące transport, magazynowanie i kompletacje), funkcje informacyjne, marketingowe, ekologiczne oraz funkcje związane z użytkowaniem. Ze względu na charakter niniejszej pracy wszystkie funkcje niezwiązane z bezpośrednim ponoszeniem kosztów przez analizowany system logistyczny (takie jak marketing, marka itp.) są mniej istotne, dlatego ich szczegółowa charakterystyka zostanie pominięta. Autor świadomie skoncentrował się na funkcjach logistycznych i środowiskowych, będących przedmiotem rozważań w dalszej części niniejszej pracy.

1.4.1 Modele zarządzania opakowaniami zwrotnymi

Obserwowalny nieustanny wzrost produkcji i konsumpcji towarów prowadzi równocześnie do ciągłego wzrostu liczby opakowań, co spowodowało pojawienie się poważnych zagrożeń dla środowiska naturalnego. Niebezpieczne są tutaj przede wszystkim opakowania z tworzyw

sztucznych, i innych materiałów nie ulegających biodegradacji, których rozrzucanie i pozostawianie w miejscach do tego nieprzewidywanych budzi uzasadnione obawy. W związku z wystąpieniem takich zjawisk, dyrektywą Unii Europejskiej dąży się do realizacji zasady 3R, od angielskich odpowiedników: reduction (ograniczenie), re-use (powtórne wykorzystanie), recycling (recykling). Zgodnie z powyższą zasadą poszukuje się dróg ograniczania liczby opakowań będących w użyciu, a przez to redukcję odpadów z nimi związanych. W dążeniu do ograniczenia liczby produkowanych opakowań wysunięto postulat maksymalizowania stosowania opakowań wielokrotnego użytku. Choć z ekologicznego punktu widzenia jest to kierunek słuszny i uzasadniony, to odsetek tego typu opakowań jest stosunkowo niski. Spowodowane jest to wspomnianymi wcześniej problemami związanymi z wykorzystaniem opakowań wielokrotnego użytku, do których należy między innymi szereg problemów odzyskania opakowań od podmiotów gospodarczych, do których takie opakowania trafiają. Z biegiem lat opracowano szereg teoretycznych modeli zarządzania opakowaniami zwrotnymi. Dorobek naukowy dotyczący opisywanego zagadnienia składa się z kilku wielokrotnie przytaczanych modeli zarządzania opakowaniami zwrotnymi, z których większość ma zastosowanie głównie do opakowań wyższego rzędu. Klasyfikacja systemów zarządzania opakowaniami zwrotnymi zaproponowana przez Lutzenbauera, cytowana w późniejszych opracowaniach wygląda następująco [Kroon i Vrijens 1995; Kärkkäinen i in. 2004]:

- systemy wymiennej puli (ang. switch pool systems),
- systemy z logistyką powrotną (ang. systems with return logistics),
- systemy bez logistyki powrotnej (ang. systems without return logistics¹⁰).

W systemach wymiennej puli, każdy uczestnik wymiany opakowania posiada własną pulę opakowań wielokrotnego użytku, które dla celów niniejszego rozdziału nazwano

¹⁰ Jak zaznacza Kroon, oryginalne wykorzystane nazwy wymienionych systemów to: *Tauchpoolsysteme*, *Mehrwegsysteme mit Rueckfuehrlogistik* i *Mehrwegsysteme ohne Rueckfuehrlogistik*, w trakcie powstawania przygotowanego przez niego opracowania, angielskie nazewnictwo nie istniało. Wykorzystanie słowa with/without return logistics zamiast reverse logistics było natomiast uzasadnione tym, że reverse logistics w rozumieniu logistyki zwrotnej jest pojęciem znacznie wykraczającym poza zagadnienie opakowań zwrotnych. Z tego też powodu autor niniejszej pracy zdecydował się na wykorzystanie określenia logistyki powrotnej zamiast logistyki zwrotnej.

kontenerami¹¹. Uczestnikami systemu może być dostawca, odbiorca jak również przewoźnik. W gestii wszystkich uczestników jest mycie, kontrola i utrzymanie kontenerów w stanie użyteczności. System ten występuje w dwóch wariantach [Kroon i Vrijens 1995]. W pierwszym wariantcie tylko dostawca i odbiorca posiada zasób kontenerów a transfer ma miejsce w momencie gdy towary dostarczone zostają do odbiorcy. W gestii przewoźnika jest jedynie transportowanie pełnych kontenerów od dostawcy do odbiorcy i pustych w drodze powrotnej. Aby wariant ten funkcjonował poprawnie, w długim okresie dostawca musi zagwarantować że liczba kontenerów odzyskanych jest równa liczbie kontenerów wysłanych. W drugim wariantcie przewoźnik również posiada pulę kontenerów. Zamiana następuje w każdym momencie wymiany kontenerów, przykładowo w momencie odbioru pełnych kontenerów od dostawcy, przewoźnik zapewnia mu odpowiednią liczbę kontenerów pustych. W wariantcie tym dostawca nie ponosi odpowiedzialności za zwrotny przepływ opakowań wielokrotnego użytku.

Systemy z logistyką powrotną charakteryzuje to, że właścicielem opakowań zwrotnych nie są poszczególne podmioty, których towary muszą być transportowane. Jest nim operator (ang. central agency), który odpowiada za utrzymywanie wynajmowanych przez siebie opakowań w dobrym stanie, jak również za ich odbiór od podmiotów wynajmujących. Założeniem, które musi zostać spełnione jest zgoda podmiotów korzystających z tego typu systemów, do magazynowania pustych kontenerów do momentu, w którym ich skumulowana ilość pozwoli na ich ekonomicznie uzasadniony odbiór przez operatora. W literaturze można spotkać 2 warianty tego typu systemów [Kroon i Vrijens 1995]: transferowe i składowe.

W wariantcie transferowym dostawca zawsze wykorzystuje te same kontenery. W gestii dostawcy są wszystkie czynności związane z obsługą kontenera, jak również jego przewóz i kontrola w drodze do odbiorcy. Przewoźnik natomiast realizuje wszelkie przepływy powrotne.

Wariant magazynowy zakłada występowanie magazynu pośredniego, do którego trafiają puste kontenery po rozładowaniu towarów u odbiorcy. Cała obsługa kontenera ma miejsce w magazynie. Monitorowanie kontenerów wypożyczanych przez operatora odbywa się na dwa sposoby. Podejście księgowe działa w następujący sposób: uczestnicy mają konta powiązane z kontem operatora. W momencie wypożyczenia kontenerów, konto dostawcy jest obciążane zgodnie z liczbą wypożyczonych kontenerów. W chwili gdy dostawca wysła towar

¹¹ Nie chodzi tu oczywiście o kontener w rozumieniu norm ISO, ale o dowolne opakowanie wykonane z wytrzymałych materiałów nadające się do przewozu danego ładunku.

do odbiorcy, powiadamia operatora o liczbie kontenerów i adresie pod który zostały wysłane. W ten sposób operator jest w stanie śledzić przemieszczenia kontenerów i kontrolować ich stan. Alternatywnym podejściem jest podejście depozytowe. W tym podejściu dostawca wpłaca operatorowi kaucję za każdy wypożyczony kontener, którego wartość jest przynajmniej tak wysoka jak wartość kontenera. Transportując towar do odbiorcy, dostawca pobiera od niego kaucję w wysokości wpłaconej operatorowi. Odbiorca czyni to samo ze swoimi odbiorcami, dzięki czemu kaucja przesuwa się w górę łańcucha dostaw. Gdy kontenery osiągną ostatnie ogniwo łańcucha podaży, są zbierane przez operatora, który zwraca kaucję ostatniemu użytkownikowi. Dzięki przepływowi pieniężnym, śledzenie i kontrola kontenerów nie jest potrzebna, ponieważ odpowiedzialność za kontener jest automatycznie przenoszona na kolejne ogniwa łańcucha dostaw. Ze względu na alokację kapitału, podejście to stymuluje podmioty gospodarcze do szybkiego zwracania wypożyczonych kontenerów.

W przypadku systemów bez logistyki powrotnej, kontenery są również własnością operatora, który wypożycza je za opłatą jednostką zainteresowanym, najczęściej występującym w charakterze dostawcy. W momencie gdy opakowania stają się zbędne, przedsiębiorstwa zwracają kontenery do operatora. W gestii wypożyczającego jest zorganizowanie procesu transportowego, mycie, utrzymywanie opakowań w stanie funkcjonalnym oraz magazynowanie. Wykorzystywanie systemów tego typu pozwala dostawcą na optymalizowanie kosztów stałych poprzez dostosowywanie ilości wynajmowanych kontenerów do wymaganego minimum.

Przedstawiona klasyfikacja została opracowana w połowie lat dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku, w których możliwości technologiczne uniemożliwiały wdrażanie bardziej skomplikowanych rozwiązań. Jak podkreśla M. Kärkkäinen [Kärkkäinen i in. 2004], wymaga ona między innymi uwzględnienia śledzenia pojedynczych kontenerów (ang. single package tracking), które stało się możliwe dzięki rozwojowi technologii automatycznej identyfikacji takich jak skanowanie kodów kreskowych (między innymi standardy EAN i inne) jak również RFID. Z badania przeprowadzonego przez M. Kärkkäinen wynikało, że w przypadku występowania w systemie podmiotu o dużej sile przetargowej możliwe było wdrożenie śledzenia na poziomie pojedynczego opakowania, co więcej efektywność takiego rozwiązania znacznie przewyższała tradycyjne metody kontroli przepływów opakowań zwrotnych, zarówno kosztowo jak i pod względem utrzymywania jakości kontenerów. Teoretyczny model opisany powyżej może wydawać się oczywisty i łatwy w implementacji, jego wdrożenie nie jest jednak łatwe (por. rozdział 1.3.2).

1.4.2 Uwarunkowania wykorzystania opakowań zwrotnych

W praktyce gospodarczej można spotkać wiele rozwiązań logistycznych, bazujących na opakowaniach wielokrotnego użytku. Prawdą jest także, że najczęściej spotyka się rozwiązania tego typu w odniesieniu do opakowań zbiorczych – skrzynek, beczek, hoboków¹², balonów mleczarskich i innych. Rzadsze są natomiast, szczególnie w Polsce, przykłady wdrożenia opakowań jednostkowych wielokrotnego użytku.

Podjęcie decyzji o stosowaniu opakowań wielokrotnego użytku wymaga przeprowadzenia wielu analiz w celu rozwiązania problemów, które się z nimi bezpośrednio wiążą. Opłacalność takiego rozwiązania jest zależna od wielu czynników, wśród których można wymienić:

- Rząd opakowania – łatwiej korzystać z opakowań zwrotnych wyższego niż niższego rzędu. Opakowania zbiorcze, charakteryzujące się zazwyczaj większymi gabarytami i trwałą konstrukcją, ponadto występujące w mniejszych ilościach łatwiej przystosować do wielokrotnego wykorzystania;
- Model prowadzonej działalności operacyjnej – korzystanie z usług zewnętrznego operatora odpowiedzialnego za opakowania zwiększa atrakcyjność opakowań wielokrotnego użytku, między innymi dlatego, że za proces odzyskiwania i ponownego przystosowania opakowania do użytku, odpowiedzialny jest operator;
- Liczba uczestników łańcucha dostaw – im większa liczba odbiorców, tym zarządzanie pulą opakowań wielokrotnego użytku staje się trudniejsze. Wzrost liczby przedsiębiorstw partnerskich oddziałuje niekorzystnie na chęć korzystania z opakowań wielokrotnego użytku;
- Relacje pomiędzy dostawcami a odbiorcami – stosowanie koncepcji zintegrowanego funkcjonowania łańcuchów dostaw (takie jak np. ECR¹³) stwarza coraz większe możliwości stosowania opakowań wielokrotnego użytku. Relacje bazujące na

¹² Hobok - metalowy pojemnik wykorzystywany w przemyśle do przechowywania i transportu smarów, farb, lakierów itp.

¹³ ECR – ang. Efficient Consumer Response, to strategia zintegrowanego łańcucha dostaw zorientowanego na klienta. Ideą stojącą za ECR jest produkcja i przepływy kierowane przez rzeczywisty popyt a nie prognozy sprzedaży.

pojedynczych transakcjach często powodują straty, wynikające z braku poszanowania opakowań lub wręcz podmianach kontenerów i ich kradzieży;

- Czynniki kosztowe – naturalnym jest, że wprowadzenie bardziej trwałych rodzajów opakowań, które ponadto trzeba po użyciu ponownie przygotować do wykorzystania niesie ze sobą konieczność dodatkowych inwestycji zarówno infrastrukturalnych (na poziomie zakładu – przykładowo maszyny oczyszczające opakowanie) jak również jednostkowych (ze względu na większe wymagania jakościowe, opakowania wielokrotnego użytku zawsze będą droższe niż jednorazowe).

Przedsiębiorstwa decydują się na wdrożenie takich rozwiązań między innymi ze względu na coraz silniejsze naciski ze strony ekologów, jak również rozwijanych nowoczesnych koncepcji zarządzania, stawiających na długotrwałą kooperację pomiędzy kontrahentami [Korzeniowski i in. 2010].

1.4.3 Korzyści i problemy wynikające z zastosowania opakowań - wielokrotnego użytku

Opakowania wielokrotnego użytku od samego początku miały miejsce w działalności gospodarczej człowieka. W porównaniu z opakowaniami jednorazowymi charakteryzują się one zbiorem niezaprzeczalnych korzyści, do których należy [PolyFlex 2012]:

- wytrzymałe, charakteryzujące się relatywnie długim okresem życia,
- przystosowane do skutecznego magazynowania i transportu,
- umożliwiają stosowanie technologii śledzących,
- wykonane z tworzyw umożliwiających odzysk.

Oprócz korzyści wynikających z zastosowania opakowań wielokrotnego użytku, rozwiązania te niosą za sobą szereg problemów.

- Relacje z klientem – słabe lub brak relacji z klientem może stanowić duży problem w stosowaniu opakowań zwrotnych. Podobna sytuacja występuje dla źle zorganizowanych systemów zwrotu. Dla takich systemów odsetek ginących kontenerów może być nie do zaakceptowania, będąc jednocześnie ekonomicznie nieuzasadnionym;
- Czas realizacji przedsięwzięcia – korzystanie z opakowań wielokrotnego użytku jest uzasadnione wyłącznie w przypadku przedsięwzięć o średnim lub długim horyzoncie inwestycji. W przypadku krótkoterminowych projektów korzyści wynikające

z zastosowania opakowań wielokrotnego użytku rzadko są w stanie pokryć zwiększone nakłady na pierwotną inwestycję w tego typu kontenery;

- Waga – opakowania wielokrotnego użytku są często cięższe niż ich jednorazowe odpowiedniki. Materiały, z których są produkowane muszą spełniać większe wymagania dotyczące wytrzymałości i okresu życia opakowania, co wiąże się ze zwiększoną wagą [PolyFlex, 2012], która w naturalny sposób przekłada się na wzrost kosztów transportu;
- Koszty – koszty odzyskania kontenerów z systemu (w tym koszty transportu) muszą zawsze być dokładnie skalkulowane w momencie podejmowania decyzji o wykorzystaniu opakowań zwrotnych. W innym przypadku całe przedsięwzięcie może okazać się nieuzasadnione ekonomicznie [Yim 2012].

Liczba czynników, które należy brać pod uwagę podczas podejmowania decyzji o wdrożeniu konkretnego wariantu opakowań powoduje wzrost poziomu złożoności całego problemu. W dalszej części pracy podjęto próbę zamodelowania systemu i niewielacji problemu jakim jest złożoność omawianego zagadnienia wykorzystując do tego moc obliczeniową współczesnych komputerów.

2 Zastosowanie symulacji komputerowych w nauce i praktyce gospodarczej

2.1 Symulacje komputerowe wspomagające decyzje biznesowe

Słowo symulacja wywodzi się z języka łacińskiego od słowa *similis* mającego znaczenie: podobieństwo lub podobny. Samo pojęcie oznacza przybliżone, sztuczne odtwarzanie zjawiska lub zachowania danego obiektu lub zjawiska za pomocą jego modelu [Słownik PWN 2013]. Obecnie terminem symulacji określa się jedną z technik rozwiązywania modeli matematycznych, wywodzącą się z teorii statystyki a mającą swój początek w latach 40-tych XX wieku. W czasach, w których powstały symulacje nie znano jeszcze maszyn cyfrowych, jednakże trudno wyobrazić sobie nowoczesne przeprowadzanie badań symulacyjnych bez użycia komputera [Mielczarek 2009]. We współczesnym rozumieniu symulacja komputerowa jest to program, uruchomiony na jednym lub wielu komputerach jednocześnie, który ma na celu naśladowanie zachowań abstrakcyjnego modelu analizowanego systemu. Taka definicja symulacji wprowadza dwa pojęcia, bez których uprzedniego zdefiniowania nie sposób prowadzić dalszych rozważań dotyczących omawianej tematyki. Pojęcia te to system i model.

Definicji pojęcia system jest bardzo wiele, różnią się one w zależności od kontekstu, w którym są wykorzystywane. W literaturze przedmiotu można napotkać propozycje różnych autorów, podejmujących próbę jednoznacznego określenia czym jest system. Przytaczając Fishmana [1981], autora jednej z pierwszych publikacji dotyczących symulacji komputerowych na rynku polskim, B. Mielczarek [2009] stwierdza, że „system to pewien zbiór powiązanych ze sobą obiektów scharakteryzowanych za pomocą atrybutów, które również mogą być ze sobą powiązane”. Według Gordona [1974] natomiast, system to zbiór obiektów powiązanych określonymi wzajemnymi zależnościami lub oddziaływaniami. Uogólniając, występuje zgodność autorów co do generalnej charakterystyki systemu, w której mamy do czynienia ze zbiorem elementów opisanych pewnymi atrybutami i oddziaływanymi na siebie nawzajem. Jednocześnie w systemach istnieją pewne procesy oddziaływań występujących pomiędzy ich elementami, które wywołują zmiany w nich samych. Procesy te nazywa się najczęściej działaniami. Ponadto każdy system charakteryzuje się trzema cechami: ma on pewne z góry ustalone granice, istnieje w określonym otoczeniu oraz składa się z podsystemów. Otoczenie systemu rozumiane jest jako zbiór obszarów, w których system jest osadzony, granice natomiast wyodrębniają obiekty systemów, spośród wszystkich obiektów wchodzących w skład jego otoczenia, będącego jednocześnie bardziej skomplikowanym systemem.

Drugim pojęciem wymagającym uściślenia jest model. Większość osób intuicyjnie rozumie to pojęcie. W szerokim kontekście można rozumieć je jako uproszczone odwzorowanie rzeczywistości i przedstawienie jej w z góry określony sposób. Najbardziej namacalnym przykładem modeli są makiety projektowe, mające szerokie zastosowanie w planowaniu produkcji, zagospodarowaniu przestrzennym lub po prostu stosowane jako zminiaturyzowane odwzorowanie rzeczywistego obiektu takiego jak samolot lub statek. W naukach często jest mowa o bardziej abstrakcyjnej formie modeli, takiej jak np. modele matematyczne. W ich skład wchodzi zbiory symboli i relacji, które w syntetyczny sposób opisują modelowane zjawiska. Modele matematyczne, podobnie jak ich materialne odpowiedniki, służą do analizy odwzorowanych obiektów lub całych systemów i są często wykorzystywane przy projektowaniu i analizie rzeczywistych systemów. Warunkiem koniecznym realizacji zamierzonego celu badawczego jest jednak opracowanie wiarygodnego modelu, co często jest czynnością nietrywialną. Uwzględnienie wszystkich zależności wymaganych do odwzorowania rzeczywistości jest czasochłonne i często wymaga dużych nakładów. Z tego też powodu często wprowadza się do nich uproszczenia. Takie podejście pozwala na wyciąganie wniosków uwzględniając oczywiście wprowadzone ograniczenia, bez potrzeby dokładnego odwzorowania rzeczywistości. Po opracowaniu wiarygodnego modelu matematycznego należy znaleźć sposób na manipulowanie i posługiwanie się nim oraz analizę jego zachowań przy zmieniających się parametrach. Można w tym celu zastosować jedną z metod analitycznych, takich jak: teoria masowej obsługi, teoria programowania liniowego i innych, lub skorzystać z alternatywnego podejścia jakim daje przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych. To ostatnie wiąże się bezpośrednio z techniką nazywaną powszechnie modelowaniem symulacyjnym.

Modelowanie symulacyjne jest paradygmatem naukowym, rozumianym jako zbiór wzorcowych mechanizmów analizy złożonych systemów rzeczywistych, które umożliwiają budowę modelu uproszczonej wersji systemu, a następnie eksperymentowanie na nim w celu poznania natury struktury tego systemu i opisanie jego zachowań w trakcie przeprowadzania eksperymentu [Mielczarek 2009]. Można zatem mówić tutaj o dwustopniowym procesie, w którego skład wchodzi opracowanie modelu będącego formalnym odwzorowaniem rzeczywistości a następnie wielokrotne przeprowadzenie procedur zdefiniowanych w modelu, w celu uzyskania wyników, na podstawie których odbywa się wnioskowanie.

Jak wspomniano wcześniej, symulacje komputerowe są alternatywą do analitycznego rozwiązywania modeli matematycznych. Charakteryzują się one znacznie większą

elastycznością niż modele matematyczne, między innymi z powodu mniejszej ilości wymaganych założeń i ograniczeń przy tej samej użyteczności wyniku [Mitchell 2009]. Każdy eksperyment symulacyjny składa się z określonej liczby symulacji, będących odzwierciedleniem określonych rzeczywistych scenariuszy zachowań modelowanych podmiotów. Z kolei każda symulacja powtarzana jest wielokrotnie. Powtórzenia tego typu nazywane są iteracjami. Dzięki charakterystycznej budowie eksperymentu symulacyjnego możliwe jest odwzorowanie systemów uczących się, tj. pod wpływem wyników jednej iteracji¹⁴ symulacji, parametry kolejnych mogą ulec zmianie. W stosunku do tradycyjnych eksperymentów, symulacje charakteryzują się grupą korzyści, wśród których można wymienić [Reiss 2011]:

- możliwość dokładnego powtórzenia eksperymentu,
- możliwość zmiany parametrów systemu, których zmiana w rzeczywistości byłaby trudna lub wręcz niemożliwa,
- zmniejszenie kosztów eksperymentu,
- skrócenie czasu przeprowadzenia eksperymentu.

Decydując się na wykorzystanie symulacji komputerowych jako metody badawczej należy pamiętać o tym, że wnioski wyciągane z wyników przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych nie są przydatne, dopóki nie została wcześniej odpowiednio zweryfikowana poprawność modelu na którym są oparte. Gilbert [2008] sugeruje następujące techniki dla weryfikacji poprawności komputerowego modelu symulacyjnego:

- Wyświetlanie powiadomień o ograniczeniach (ang. add assertions) – jeśli niektóre zmienne mogą przyjąć wartości z określonego zakresu, podczas przeprowadzania symulacji zmienne te powinny być sprawdzane pod kątem możliwych wartości, w przypadku gdy dana zmienna przyjmie inną wartość niż dozwolona – powinien zostać wyświetlony komunikat ostrzegawczy;
- Testowanie wartości parametrów w ramach znanego scenariusza – jeśli istnieją scenariusze (rzeczywiste odwzorowania rzeczywistości), dla których znane są parametry zarówno wejścia jak i wyjścia, model powinien zostać przetestowany z wykorzystaniem tych wartości aby odtworzyć znaną sytuację tj. przy danych

¹⁴ Iteracja (łac. *Iteratio* – powtarzanie) – czynność powtarzania (najczęściej wielokrotnego) w ramach tej samej procedury.

parametrach wejścia badacz powinien uzyskać wyniki zbliżone do tych, którymi dysponował na początku eksperymentu. Należy zaznaczyć, że sytuacje, w który rezultat jest idealnie zgodny z posiadanymi danymi są niezwykle rzadkie;

- Przeprowadzenie testów na wartościach skrajnych (ang. corner testing) mając na uwadze sensowność wyników. Jest to technika często wykorzystywana w inżynierii, polegająca na sprawdzeniu funkcjonowania danego urządzenia, aplikacji itp. pod wpływem skrajnych wartości wszystkich, lub tylko niektórych parametrów. W ten sposób sprawdzane jest, czy zachowanie modelowanych systemów będzie realistyczne w momencie gdy niektóre z parametrów zależnych przyjmą wartości skrajne;
- Obserwacja symulacji krok po kroku – podobnie jak w przypadku implementacji oprogramowania, każda linia kodu i każda funkcja powinny być sprawdzane pod kątem zwracania spodziewanej wartości. Element ten ma na celu wychwycenie ewentualnych błędów, szczególnie błędów składni kodu;
- Korzystanie z testów jednostkowych (ang. unit testing) – jest to kolejna technika stosowana w programowaniu polegająca na testowaniu pojedynczych elementów (jednostek) programu i sprawdzanie ich wyników pod kątem poprawności zwracanych przez nie wartości. W przypadku języków zorientowanych obiektowo do każdej biblioteki programowej dołączana jest metoda pozwalająca na autonomiczne uruchomienie biblioteki i sprawdzenie poprawności wykonywanych w niej procedur.

Powyższa procedura weryfikacyjna jest na tyle ogólna, że można z powodzeniem zastosować ją do praktycznie każdej z wymienionych w dalszej części rozdziału grup narzędzi modelowania symulacyjnego.

2.2 Narzędzia i środowiska symulacyjne

Od połowy XX wieku symulacje komputerowe przybierały na znaczeniu i popularności dzięki potencjałowi sprawnego rozwiązywania skomplikowanych problemów. Wraz ze wzrostem zainteresowania tą metodą badawczą, zaczęły pojawiać się coraz to nowsze języki programowania i narzędzia umożliwiające przeprowadzanie eksperymentów symulacyjnych. Narzędzia te można podzielić na kilka grup, pobieżnie scharakteryzowanych poniżej. Warty podkreślenia jest fakt, że symulacje komputerowe różnią się ze względu na kilka charakterystycznych cech. Wyróżnia się cztery kryteria podziałów symulacji:

- Ze względu na upływ czasu wyróżnia się symulację z czasem ciągłym i dyskretnym;

- Ze względu na przewidywalność zdarzeń symulacje dzielą się na stochastyczne (bazujące na generatorach liczb pseudolosowych¹⁵ lub losowych, np. Metoda Monte Carlo) i deterministyczne (z powtarzalnym wynikiem zależnym głównie od danych wejściowych);
- Z uwagi na kryterium danych wyjściowych występują symulacje z danymi wyjściowymi statycznymi lub dynamicznymi. Te ostatnie można podzielić dalej na symulacje z danymi wyjściowymi dynamicznymi interaktywnymi (osoba operująca daną symulacją może na bieżąco zmieniać pewne elementy) i nieinteraktywnymi;
- Ostatnim kryterium jest lokalizacja przetwarzania symulacji, która może odbywać się lokalnie (na pojedynczym komputerze) lub rozproszenie (na wielu komputerach jednocześnie poprzez połączenie odpowiednimi technologiami sieciowymi, np. siecią Internet).

Wybór odpowiedniego narzędzia przed implementacją modelu symulacyjnego w środowisku komputerowym jest jednym z kluczowych elementów postępowania badawczego. W zależności od wymagań, środków materialnych i umiejętności modelującego powinny zostać wybrane takie narzędzia, które pozwolą na najskuteczniejsze rozwiązanie problemu. Biorąc pod uwagę 9 kryteriów, Fertch i Pawlewski [2009] zaproponowali poniższe, zbiorcze porównanie poszczególnych narzędzi i podejść do symulacji (patrz Tab. 2-1).

¹⁵ Generator Liczb Pseudolosowych to program komputerowy, który na podstawie niewielkiej ilości informacji - ziarna (ang. seed) generuje ciąg bitów, który jest nieodróżnialny od ciągu uzyskanego z prawdziwie losowego źródła. Wygenerowany ciąg bitów można w dalszej kolejności przekształcić w liczbę w układzie dziesiętnym.

Cecha	Akrusz kalkulacyjny	Język programowania	Biblioteki programowe	Specjalistyczne oprogramowanie symulacyjne	Technologie wieloagentowe
Możliwości wykorzystania	Niskie	Wysokie	Średnie	Średnie	Niskie
Elastyczność modelowania	Niska	Wysoka	Średnia	Średnia	Średnia
Czas budowania modelu	Średni	Długi	Krótki	Krótki	Średni
Łatwość użycia	Średnia	Niska	Średnia	Wysoka	Średnia
Łatwość weryfikacji modelu	Średnia	Niska	Średnia	Wysoka	Średnia
Szybkość symulacji	Niska	Wysoka	Wysoka	Średnia	Średnia
Czas potrzebny do nauki	Krótki (średni dla korzystania z makr)	Długi	Średni	Średni	Średni
Koszt	Niski	Niski	Niski	Wysoki	Niski
Wsparcie techniczne	Niskie	Niskie	Średnie	Wysokie	Średnie

Tab. 2-1: Porównanie narzędzi do symulacji komputerowych

Źródło: [Fertsch i Pawlewski 2009]

Powyższe zestawienie zawiera głównie elementy natury technicznej, nie bierze natomiast pod uwagę kryterów samego modelu, wykorzystywanego czynnika czasu, przewidywalności zdarzeń, lokalizacji obliczeń czy danych wyjściowych. Te kryteria są zależne od indywidualnych rozwiązań w ramach poszczególnych grup wymienionych powyżej. Z tego powodu należy przyjrzeć się bliżej poszczególnym grupom rozwiązań dla lepszego zrozumienia możliwości i ograniczeń każdy z nich. W dalszej części rozdziału pokrótce zostaną scharakteryzowane poszczególne dostępne narzędzia i podejścia do modelowania. Ponadto opisano obecne wykorzystanie podejścia symulacyjnego zarówno w praktyce biznesowej jak i nauce.

2.2.1 Symulacje z wykorzystaniem arkuszy kalkulacyjnych

Najprostszą grupą narzędzi, zarówno pod względem poziomu trudności obsługi, jak również oferowanych możliwości, są arkusze kalkulacyjne. Pojęcie arkusz kalkulacyjny rozumiane jest najczęściej jako oprogramowanie komputerowe umożliwiające sprawną obróbkę danych zorganizowanych w układzie tabelarycznym. W praktyce biznesowej bardzo szybko dostrzeżono ich potencjał, czego następstwem jest powszechność stosowania oprogramowania tej klasy jako narzędzi pracy biurowej występującym praktycznie w każdym przedsiębiorstwie. Niezależnie od platformy sprzętowej, można znaleźć rozwiązania informatyczne oferujące podobne funkcjonalności. W dużym uproszczeniu można stwierdzić, że zbiór funkcjonalności arkuszy kalkulacyjnych najczęściej przypomina ten oferowany w arkuszu kalkulacyjnym Excel firmy Microsoft, powszechnie stosowanym i znanym między innymi w biznesie, nauce, edukacji i administracji. Pomimo swojej popularności większość użytkowników arkuszy kalkulacyjnych zna jedynie podstawowe funkcje oprogramowania tej klasy, dlatego warto nadmienić, że dają one również możliwości prowadzenia prostych symulacji. W odniesieniu do funkcji i formuł stosowanych w arkuszach kalkulacyjnych, autor będzie używał nazw z programu Excel w wersji polskiej, choć większość konkurencyjnych rozwiązań oferuje podobne funkcje, niekiedy wywoływane inaczej nazwanymi komendami.

Ze względu na specyfikę symulacji, często charakterystycznym ich elementem jest opieranie wyników o wygenerowane pseudo-losowe zbiory liczb. W pakiecie Excel generuje się je korzystając z funkcji LOS, uzyskując wartości z zakresu od 0 do 1, i LOS.ZAKR¹⁶ dla wartości z zakresu podanego przez użytkownika. W dalszej kolejności dane pobiera się z posiadanych rozkładów empirycznych wykorzystując funkcję JEŻELI lub jedną z dostępnych funkcji wyszukujących: WYSZUKAJ.PIONOWO, WYSZUKAJ.POZIOMO. Modelowanie bardziej złożonych zależności można przeprowadzić łącząc poszczególne funkcje, a także wykorzystując ich kombinację z funkcją INDEKS. W arkuszach kalkulacyjnych istnieje również możliwość generowania liczb ze statystycznych rozkładów teoretycznych. W Excelu istnieje przykładowo możliwość korzystania z próbkowania wykorzystując rozkład normalny, gamma itp. W programie tym, można ponadto znaleźć funkcjonalności dedykowane

¹⁶ LOS.ZAKR jest nazwą funkcji wprowadzoną dopiero w Excelu 2010. We wcześniejszych wersjach programu funkcja ta nosiła nazwę RANDBETWEEN zarówno w polskiej jak i angielskiej wersji pakietu Excel.

symulowaniu zjawisk. Pozwala on przykładowo na definiowanie i analizę scenariuszy zjawiska, czyli możliwych wariantów które mogą zajść w trakcie przeprowadzania eksperymentu symulacyjnego. Excel posiada również ograniczone możliwości wizualizacji uzyskanych danych. Praktycznie nie pozwala na ich animacje ograniczając tym samym możliwość śledzenia parametrów ulegających zmianie w czasie.

Wymienione wcześniej możliwości jakie oferują arkusze kalkulacyjne w odniesieniu do symulacji są ograniczone i zazwyczaj nieodzowna jest przynajmniej podstawowa wiedza z zakresu programowania aby sensownie zaimplementować model symulacyjny. Przy modelowaniu złożonych zjawisk najczęściej korzysta się z makr lub języka VBA (ang. Visual Basic for Applications) [Fertsch i Pawlewski 2009], jednak uruchomienie skomplikowanych obliczeń lub wielu wątków obliczeniowych jednocześnie powoduje widoczny spadek wydajności oprogramowania co w przypadku skomplikowanych modeli znacznie utrudnia lub niekiedy wręcz uniemożliwia pracę. Z uwagi na poważne ograniczenia nie zaleca się stosowania narzędzi tego typu do symulowania systemów o skomplikowanej charakterystyce.

2.2.2 Dedykowane środowiska symulacyjne

Grupę programów komputerowych, zaprojektowanych z myślą o prowadzeniu w nich symulacji komputerowych można określić mianem dedykowanych środowisk symulacyjnych. W chwili obecnej na rynku dostępny jest cały zbiór narzędzi, komercyjnych i bezpłatnych, które umożliwiają modelowanie i przeprowadzanie eksperymentów symulacyjnych. Różnią się one pod wieloma względami, między innymi wydajnością, elastycznością, możliwościami przetwarzania ciągłego czy dyskretnego, jak również wyglądem i związaną z nim interfejsem użytkownika. W praktyce biznesowej najczęściej stosowane są 2 komercyjnie dostępne pakiety symulacyjne – iGrafx i Flexsim.

Flexsim to potężne narzędzie pozwalające na symulację systemów między innymi w obszarze produkcji, gospodarki materiałowej, pakowania, logistyki i transportu. Posiada on również dedykowany moduł pozwalający na odwzorowanie systemów kolejkowych służby zdrowia. Opisany pakiet charakteryzuje się dużą elastycznością, dając użytkownikowi możliwość parametryzacji praktycznie każdego modelowanego obiektu. Wśród dostępnych parametrów są wszystkie potrzebne do rzeczywistego odwzorowania badanego systemu, począwszy od czasów potrzebnych na wykonanie poszczególnych czynności, poprzez liczbę osób obsługujących dane stanowiska aż po odległości, które muszą zostać pokonane przez poszczególne elementy. Oprogramowanie posiada również rozbudowane możliwości

trójwymiarowej wizualizacji procesów. Można dzięki niej zaobserwować przepływ poszczególnych elementów przez system. Dzięki rozbudowanym możliwościom graficznym, pakiet ten zyskał dużą popularność w przedsiębiorstwach. Nie jest to jednak jedyna możliwa forma obserwacji wyników przeprowadzanych symulacji. W dowolnym momencie istnieje możliwość eksportu danych wyjściowych do plików, w formatach zgodnych ze standardami między innymi pakietu biurowego Excel, czy narzędzia Matlab.

Innym narzędziem służącym do modelowania procesów ekonomicznych, w tym procesów logistycznych jest pakiet iGrafx składający się z szeregu modułów odpowiedzialnych za modelowanie procesów, prezentowanie danych uzyskanych z przeprowadzonej symulacji itp. Istnieją również dodatkowe moduły rozszerzające możliwości programu umożliwiając przykładowo prowadzenie szczegółowej analizy pod kątem metod Six Sigma [Chaberek i Jezierski 2010]. W przeciwieństwie do Flexsim, iGrafx nastawiony jest na modelowanie zgodne ze specyfikacją BPMN¹⁷. Możliwości wizualizacji oprogramowania nie są aż tak rozbudowane jak w konkurencyjnym rozwiązaniu, zachowana jest jednak bardzo duża elastyczność w modelowaniu.

Narzędziem o podobnej charakterystyce do wspomnianych rozwiązań jest pakiet Adonis, które również bazuje na metodyce BPMN. Cechą, którą można wskazać jako wyróżniającą jest możliwość korzystania z oprogramowania za darmo, również dla celów biznesowych (mowa tutaj o Adonis Community Edition). Co prawda pakiet nie posiada tak zaawansowanych funkcjonalności jak jego konkurencyjne odpowiedniki, niemniej może być z powodzeniem wykorzystywany jako darmowe narzędzie pozwalające na modelowanie i symulowanie systemów.

Na rynku dostępny jest również cały szereg narzędzi dedykowanych symulacjom, bazujących jednocześnie na specyficznych rozwiązaniach technologicznych jakimi jest technologia agentowa. Z powodu specyfiki tego typu rozwiązań, poświęcono im oddzielny podrozdział.

¹⁷ BPMN (ang. Business Process Modeling Notation) – jeden z powszechnie stosowanych standardów graficznego opisu procesów biznesowych.

2.2.3 Rozwiązania w technologii wieloagentowej

W teorii systemów komputerowych, skomplikowane, rozproszone problemy decyzyjne często przetwarzane są w tzw. środowiskach wieloagentowych. Idea działania takich środowisk polega na współdziałaniu określonej liczby autonomicznych programów zwanych agentami, które podejmują próby realizacji celów zdefiniowanych przez delegujące je podmioty (użytkowników lub inne programy). Nie jest zaskoczeniem, że koncepcja ta została również przełożona na programowalne środowisko symulacyjne, w którym każdy element systemu reprezentowany jest przez autonomicznego agenta, podejmując działania zgodnie z określonymi procedurami i wchodzącego w interakcję z otaczającymi go agentami. Na rynku istnieje wiele rozwiązań stanowiących skuteczne środowiska do modelowania prostych i złożonych systemów. Dzięki zachowaniu wysokiego stopnia abstrakcji, za pomocą agentów reprezentować można dowolne obiekty świata rzeczywistego, dzięki czemu modelowanie nie jest ograniczone specyficznymi cechami charakterystycznymi dla modelowanego systemu. Wśród najważniejszych rozwiązań tego typu, cieszących się jednocześnie największą popularnością należą 4 narzędzia komputerowe: NetLogo, Repast i Swarm i GAMA.

Środowisko symulacyjne NetLogo jest oprogramowaniem napisanym w języku Java, służącym do modelowania i przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych. Ze względu na swoją darmową licencję i jednocześnie rozbudowane możliwości, wykorzystywane jest przez naukowców z całego świata jako narzędzie do prowadzenia badań naukowych. Wokół NetLogo działa szeroka grupa społecznościowa osób zainteresowanych wykorzystaniem narzędzia do celów badawczych, edukacyjnych i praktycznych. Dzięki temu oprogramowanie można pobrać z pakietem gotowych do użycia przykładowych modeli z różnych dziedzin, takich jak nauki społeczne, techniczne czy przyrodnicze [CCL 2013]. Aplikacja charakteryzuje się również łatwym do nauczenia językiem programowania i przejrzystym, intuicyjnym interfejsem użytkownika, co w dużym stopniu przekłada się na jego popularność.

Alternatywą do NetLogo jest pakiet Repast. Cały pakiet składa się z 2 wersji oprogramowania. Pierwsza z nich – Repast Simphony 2.0 to napisana w języku Java wersja oprogramowania bardziej przyjazna użytkownikowi, mająca jednak pewne ograniczenia wydajnościowe. W sposobie przeprowadzania symulacji bardzo przypomina wcześniej wspomniane NetLogo. Druga wersja natomiast – Repast HPC jest przeznaczona dla ekspertów, gotowych poświęcić więcej czasu i posiadających znacznie większą wiedzę informatyczną. Myślą przewodnią tej wersji było umożliwienie przeprowadzania skomplikowanych obliczeniowo symulacji z wykorzystaniem klastrów i superkomputerów, pozwalających na

równoległe przetwarzanie skomplikowanych modeli. Idea działania pakietu, niezależnie od wersji, jest bardzo zbliżona do NetLogo, polega na zdefiniowaniu środowiska, w którym agenty programowe wypełniają powierzone im zadania. Pakiet nie oferuje tak mocno rozbudowanego interfejsu użytkownika jak poprzednik, pozwala jednak na łatwy eksport uzyskanych danych do zewnętrznych formatów. Dzięki temu analizę i ewentualną wizualizację uzyskanych wyników można przeprowadzić w innym oprogramowaniu.

Pakiet SWARM jest kolejnym z możliwych dostępnych pakietów symulacyjnych. Jest to oprogramowanie stosunkowo stare, opracowane przez instytut Santa Fe w połowie lat 90-tych ubiegłego wieku. W przeciwieństwie do wyżej wymienionych pakietów, SWARM jest problematyczny w użyciu i stosunkowo trudny do nauczenia. Z tego też powodu ma znacznie mniejszą grupę zwolenników niż powyższe pakiety symulacyjne. Podstawową jednostką operacji w pakiecie jest rój (ang. swarm) agantów programowych wykonujących sekwencyjnie powierzone zadania, zachowujących jednak hierarchiczną organizację. Oznacza to, że rój może składać się z mniejszych rojów itd. Taka organizacja logiki funkcjonowania pakietu symulacyjnego, choć zapewnia dużą swobodę, utrudnia niekiedy właściwe przełożenie rzeczywistości na model symulacyjny.

Ostatnim opisanym oprogramowaniem jest GAMA – najmłodszy ze wspomnianych projekt środowiska symulacyjnego. Oprogramowanie rozwijane jest od 2007 roku przez grupę naukowców głównie z Francji i Wietnamu, pod patronatem UMMISCO¹⁸. Bazuje na powszechnie stosowanym środowisku programistycznym Eclipse, przez co bardziej przypomina ramę projektową podobną do JADE. Pakiet póki co nie posiada ani rozbudowanych możliwości wizualizacji otrzymanych danych ani znanych z NetLogo możliwości graficznego interfejsu użytkownika. Wykorzystanie środowiska Eclipse¹⁹ jako bazy, może potencjalnie oznaczać znaczne rozbudowanie funkcjonalności pakietu w najbliższej przyszłości, dlatego

¹⁸ *Unité de Modélisation Mathématique et Informatique de Systèmes Complexes* - interdyscyplinarny międzynarodowy instytut badawczy z siedzibą we Francji, zrzeszający głównie południowe kraje, którego celem jest wspomaganie ich rozwoju ekonomicznego, społecznego i kulturalnego. 40% zatrudnionych pracowników pochodzi z innych krajów niż Francja, między innymi z Maroka, Senegalu, Kamerunu, Wietnamu i innych.

¹⁹ rama projektowa napisana w 2004 roku w Javie. Na bazie Eclipse powstało zintegrowane środowisko programistyczne do tworzenia programów w Javie, które jest razem z tą platformą rozpowszechniane.

rozsądnym wydaje się potraktowanie tego oprogramowania jako potencjalnie skutecznego narzędzia, z którego będzie można korzystać w przyszłości. Dla lepszego zobrazowania różnic pomiędzy poszczególnymi specjalistycznymi pakietami, poniżej zawarto kompleksowe porównanie cech poszczególnych środowisk wieloagentowych, które zawiera Tab. 2-2.

	NetLogo	Repast	Swarm	GAMA
Opracowany przez	Northwestern University	Repast Organisation for Architecture and Development	Swarm Development Group (pierwotnie instytut Santa Fe)	Unité de Modélisation Mathématique et Informatique de Systèmes COMplexes
Silne strony	Łatwość w instalacji i opanowaniu kodowania	Wielu użytkowników i rozbudowana społeczność	Prekursor Repast	Działa na bazie szeroko używanej platformy Eclipse
Słabe strony	Skomplikowane modele są poza możliwościami NetLogo	Wymaga zrozumienia języka programowania (np. Javy)	Bardzo problematyczny w instalacji, w szczególności na platformie Windows	-
Przykładowe modele	Wiele	Wiele	Kilka	Kilka
Wymagany czas potrzebny do nauczenia języka programowania	Kilka godzin	Kilka dni	Kilka tygodni	Kilka dni
Ograniczenia	Modele nie są łatwo rozszerzalne	Modele łatwo rozszerzalne pod warunkiem dobrej znajomości języka programowania	Trudny w instalacji i użytkowaniu, słabo udokumentowany	-
Wsparcie przedstawicieli nauki	Wysokie	Wysokie, przede wszystkim od osób	Relatywnie niskie	-

		związanych z naukami społecznymi		
Nakłady na rozwój oprogramowania	Wysokie	Wysokie	Niskie	Wysokie
Dodatkowe funkcjonalności	Wizualizacja modeli w 3d	Implementacja GIS – systemu informacji geograficznej	-	Graficzny interfejs oparty o interfejs Eclipse jak również GIS

Tab. 2-2: Porównanie głównych pakietów symulacyjnych w technologii wieloagentowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Robertson 2005]

Poza wymienionymi czterema pakietami, do środowisk wieloagentowych należy również zaliczyć szeroko stosowaną ramę projektową (ang. framework) JADE (Java Agent Development Framework). Jest ona wolnym oprogramowaniem dystrybuowanym zgodnie z licencją GNU LPGL²⁰. Rama ta ma za zadanie ułatwiać implementację rozwiązań opartych na technologii agentowej, zachowujących standardy FIPA²¹ poprzez udostępnienie zbioru narzędzi graficznych i bibliotek upraszczających proces redukcji błędów w oprogramowaniu, jak również właściwego wdrożenia gotowego systemu. Od wyżej wymienionych narzędzi, JADE wyróżnia się głównie skalą zastosowań. Tak jak w przypadku NetLogo, Repast, GAMA czy Swarm obszar zastosowań ogranicza się głównie do symulacji, JADE może służyć jako podstawa projektowa do wdrożenia bardziej wszechstronnych rozwiązań opartych na technologii wieloagentowej.

²⁰ GNU Lesser General Public License, LGPL - licencja wolnego oprogramowania nakładająca ograniczenia określone jako copyleft na poszczególne pliki źródłowe a nie na cały program, tym samym pozwalając na wprowadzanie zmian do konkretnych bibliotek kodu przy założeniu zachowania z góry określonych ograniczeń i wykorzystywaniu określonych bibliotek współdzielonych (ang. shared libraries).

²¹ FIPA - The Foundation for Intelligent Physical Agents; organizacja ustanawiająca standardy dla technologii agentowych, w tym standardy komunikacji pomiędzy agentami.

2.2.4 Języki programowania

Ostatnią grupą narzędzi, o których mowa w niniejszym rozdziale są języki programowania. W szczególności uwagę poświęcono językom dedykowanym symulacjom. Są to języki opracowane w konkretnym celu, z tego powodu wiele z nich ma rozbudowane biblioteki programowe, pozwalające na korzystanie z istniejących funkcjonalności niezbędnych do budowania modeli symulacyjnych, bez potrzeby opracowywania tych funkcji od zera. Wśród nich można wyróżnić rozbudowane możliwości generowania liczb pseudolosowych, wizualizacji danych, ułatwień w eksporcie do formatów zewnętrznych itp. Większość z języków tego typu została zoptymalizowana pod kątem wykorzystania dostępnego sprzętu (ang. hardware) tj. ich twórcy przewidzieli prowadzenie eksperymentów symulacyjnych na z góry określonym sprzęcie. Takie podejście pozwoliło na skoncentrowaniu wysiłków na usprawnieniu ich wydajności zamiast dopracowywaniu niuansów kompatybilności wszelkich dostępnych konfiguracji sprzętowych. Największą różnicą widoczną pomiędzy poszczególnymi językami symulacyjnymi jest wspieranie symulacji o czasie ciągłym i dyskretnym. Większość z nich pozwala na budowanie modeli w oparciu o jedno lub drugie kryterium czasu, jednak niektóre są w stanie zapewnić symulacje wykorzystujące oba kryteria czasu, oferując użytkownikowi rozwiązanie hybrydowe. Do najbardziej znanych rozwiązań pozwalających na symulacje dyskretne należą:

- GPSS – jeden z pierwszych powstałych języków symulacyjnych, charakteryzuje się dużą prostotą użycia kosztem elastyczności. Symulacja odbywa się w nim krokowo, przekazując zmiany stanów elementów symulacji do ich następców, przez co język ten jest często wykorzystywany do symulowania działań operacyjnych linii produkcyjnych;
- Simula – grupa 2 języków programowania bazujących na paradygmacie obiektowym, uważana za pierwszy obiektowy język programowania. Dzięki przejrzystej składni i wdrożonym paradygmacie był przez wiele lat wiodącym językiem programowania symulacji;
- Simscript – jeden z najstarszych języków programowania, do dzisiaj często używany przykładowo w symulacjach ruchu powietrznego na lotniskach. Pozwala na wydajne przeprowadzanie symulacji o dużej złożoności obliczeniowej;

Symulacje ciągłe wymagają innego podejścia programistycznego. Można je prowadzić wykorzystując jeden z poniższych języków:

- ACSL – (ang. Advanced Continuous Simulation Language) język przeznaczony głównie do łatwej cyfrowej reprezentacji ciągłych modeli matematycznych. Wykonywanie programu zależne jest od hierarchii równań, nie od sekwencyjności kodu;
- DYNAMO – język opracowany z wykorzystaniem podejścia dynamiki systemów. Pierwotnie wykorzystany przez J. Z. Forreстера podczas jego badań nad efektem byczego bicza w latach 50-tych XX wieku.

Ponadto istnieje grupa języków symulacyjnych pozwalających na wybór lub łączenie opisanych kryteriów czasowych. Do rozwiązań hybrydowych, umożliwiających prowadzenie obu rodzajów symulacji należą między innymi:

- Symulink – narzędzie graficznego programowania dynamicznych systemów i symulacji ich zachowań. Podstawowym trybem pracy jest graficzny interfejs pozwalający na zbudowanie schematu działań, do którego w późniejszym czasie dopisywany jest szczegółowy kod programowy;
- EcosimPro – rozwiązanie dedykowane symulacjom złożonych procesów fizycznych, w których istotna jest możliwość działania w czasie ciągłym i dyskretnym.

Wymienione powyżej propozycje nie są jedynymi językami dostępnymi na rynku, istnieje wiele innych języków, które można zakwalifikować do dowolnej z powyższych kategorii. Nie wszystkie symulacje opracowywane obecnie korzystają z dedykowanych języków. Niekiedy spotyka się również symulacje zaimplementowane w jednym z powszechnie stosowanych języków programowania, takich jak Java czy C++. Przewaga tych ostatnich polega na powszechnej znajomości tych języków wśród programistów. Z tego powodu część z nich preferuje stosowanie języków ogólnych, ponieważ nie wymagają one dodatkowego szkolenia i poświęcania czasu na naukę rozwiązań dedykowanych.

Ponieważ wiele osób preferuje wykorzystanie języków ogólnego zastosowania dla celów symulacji warto podkreślić wzrost wagi ciągle powstających i udoskonalanych bibliotek udostępniających funkcjonalności potrzebne do przeprowadzania symulacji, między innymi bibliotek dedykowanych Javie. Popularność tego języka wynika między innymi z jego niezależności od platformy na której jest uruchamiany. Charakteryzuje się on również stosunkowo szybkim działaniem i dobrym wsparciem dla wielowątkowych aplikacji. Z tego też powodu wydawał się naturalnym wyborem dla tworzenia symulacji. Obecnie na rynku można znaleźć wiele bibliotek napisanych w Javie, pozwalających na budowanie modeli

symulacyjnych i przeprowadzanie eksperymentów. Do najbardziej obiecujących a zarazem popularnych należą [Fertsch i Pawlewski 2009]:

- DESMO-J,
- JiST,
- SIMKIT.

Niewątpliwie możliwości jakie daje Java powodują, że rozszerzenia powstałe na jej podstawie mają duży potencjał i można zakładać że ich popularność w nadchodzących latach będzie wzrastać. Każda z wyżej wymienionych bibliotek posiada mocno rozbudowaną strukturę i opiera się na innych założeniach, w odczuciu autora nie jest jednak uzasadnione aby w tym miejscu charakteryzować każdą z nich.

2.2.5 Obszary zastosowań symulacji w nauce i biznesie

Praktycznie od samego początku po powszechnym wprowadzeniu komputerów do codziennego funkcjonowania przedsiębiorstw, dostrzeżono możliwości symulacji w usprawnianiu procesów biznesowych. Zarówno praktycy biznesu, jak i naukowcy szybko zauważyli potencjał symulacji komputerowych, o czym świadczy między innymi duża liczba artykułów naukowych opartych o pozyskane w ten sposób wyniki, poparte konkretnymi studiami przypadków. Modelowanie i symulacje wykorzystywane są w wielu aspektach działalności przedsiębiorstw. Według Greasleya [2004 s. 8-10] główne obszary w których wykorzystuje się symulacje to między innymi decyzje inwestycyjne, produkcja wraz z logistyką i transportem a także wszelkie systemy kolejkowe jak i szeroko rozumiana obsługa klienta. Poniżej przytoczono przykłady publikacji w których wykorzystano symulacje komputerowe jako narzędzie usprawniania wspomnianych obszarów.

Pierwszym z obszarów, w którym często wykorzystuje się symulacje komputerowe są inwestycje kapitału firmy. Decyzje dotyczące ulokowania środków pieniężnych przedsiębiorstwa, w szczególności w środki trwałe, obarczone są niejednokrotnie wysokim ryzykiem. Wykorzystanie wariantowej analizy scenariuszy pozwala na lepsze dopasowanie wymogów przedsiębiorstwa do poszczególnych opcji zakupu [Greasley 1999]. Możliwości zastosowania symulacji w tym obszarze są bardzo duże, począwszy od prostych obliczeń w ramach analiz typu „co-jeśli” (ang. What-if analysis) a na skomplikowanych prognozach uwzględniających całe grupy parametrów i zdarzeń mało prawdopodobnych skończywszy.

Wyniki symulacji w tym przypadku pełnią rolę rozbudowanych analiz przedinwestycyjnych, w których możliwe jest porównywanie opłacalności poszczególnych wariantów zakupowych.

Optymalizacja procesów produkcyjnych jest podstawą funkcjonowania przedsiębiorstw. Z uwagi na skomplikowaną naturę procesów produkcji, symulacje stały się powszechnie stosowanym narzędziem osiągnięcia oczekiwanych rezultatów. Greasley [1999, 2004] przedstawił szereg studiów przypadku opisujących linie produkcyjne wdrażające różne warianty zarządzania przepływem produktów. W każdym z nich wykorzystano symulatory, pozwalające na sprawdzenie skuteczności danego rozwiązania, przed podjęciem rzeczywistych kroków wdrożenia danego wariantu. Wśród tych przypadków badano zarówno następstwa przebudowy linii produkcyjnych, jak również podejmowano decyzje o budowie nowej linii.

Systemy transportowe takie jak lotnictwo czy kolej, jak również wewnętrzne automatyczne systemy kontroli pojazdów (ang. Automated Guided Vehicles) mogą być analizowane przy pomocy symulacji [Banks i in. 1998, s. 571]. Wiele pakietów symulacyjnych, między innymi większość z wymienionych w poprzednim podrozdziale, posiada możliwość odwzorowania systemów transportowych. Pozwala to między innymi na sprawdzenie ich wydajności czy przewidywanie nieoczekiwanych zdarzeń, które mogą mieć miejsce w systemie. Powszechne w użyciu są również narzędzia badające poziom kongestii danej trasy. Przykłady symulacji w systemach transportowych zostaną przedstawione w dalszej części rozdziału.

Choć wydajność systemów informacyjnych w sektorze usług nie wzrosła w tempie systemów produkcyjnych, symulacja jest obecnie używana do analizy wielu procesów obsługi klienta [Banks i in. 1998, s.629]. Ma to na celu zwiększenie poziomu obsługi klienta przy jednoczesnej redukcji kosztów. Greasley [2003] przedstawił studium przypadku stosowania symulacji do analizy zaproponowanego systemu przepływu dokumentów (ang. Workflow) dla grupy agencji nieruchomości. Celem samego systemu miało być zmniejszenie liczby papierowych dokumentów w obiegu, symulacja natomiast pozwoliła na prognozowanie poziomu popytu, który dany system musiał obsłużyć, jak również umożliwiła identyfikację wąskich gardeł co w efekcie końcowym przyczyniło się do zwiększenia poziomu obsługi klienta.

Również działania związane z reinżynierią procesów biznesowych BPR (ang. Business Process Reengineering) mogą być wspomagane symulacjami komputerowymi. BPR ma na celu poprawę funkcjonowania organizacji, w oparciu o analizę działalności procesów i ich

przeprojektowania w celu optymalizacji wydajności. Symulacje mogą być wykorzystane do analizy przebiegu zmian w procesach i ich wpływ na funkcjonowanie pozostałych elementów systemu. Greasley i Barlow [1998] przedstawili studium przypadku opisujące wykorzystanie symulacji podczas przemian BPR w jednym z brytyjskich aresztów. Celem przeprowadzanych symulacji była optymalizacja procesów, głównie administracyjnych. Po analizie usunięto część z nich uznając je za niepotrzebne, podczas gdy inne zostały przebudowane, w ostatecznym rozrachunku poprawiając wydajność placówki.

Rozpatrując praktyczne zastosowania symulacji, warto również wspomnieć, że symulacje często wykorzystywane są dla celów edukacji, między innymi edukacji biznesowej. W chwili obecnej na rynku dostępne są symulatory poszczególnych obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa dla celów szkoleniowych. Można tutaj przytoczyć cały zbiór narzędzi wspomagających kształcenie umiejętności biznesowych bazujących na symulacjach, nie jest to jednak przedmiotem niniejszego opracowania, dlatego zrezygnowano ze szczegółowego opisu tego obszaru zastosowań symulacji w praktyce.

Na podstawie powyższych przykładów można zatem stwierdzić, że wspomaganie symulacyjne jest możliwe przy praktycznie każdym systemie o charakterze kolejkowym [Robinson 2004, s. 10], czyli takim, w którym poszczególne elementy przechodzą przez szereg etapów przetwarzania, co w rezultacie zmienia ich stan lub stan całego systemu. Ponieważ większość systemów w których działają przedsiębiorstwa zachowuje się właśnie w ten sposób, można przypuszczać że jest to powód popularności rozwiązań symulacyjnych dla wspomaganie decyzji biznesowych. W następnym podrozdziale przytoczono kilka konkretnych przykładów zastosowań symulacji komputerowych na podstawie przeprowadzonych przez autora studiów literaturowych.

2.3 Projektowanie i optymalizacja łańcuchów dostaw z wykorzystaniem środowisk symulacyjnych

Łańcuchy dostaw charakteryzują się dużą skalą złożoności, wynikających z nieliniowych współzależności między ich elementami. Jednocześnie zachodzą w nich ciągłe zmiany poszczególnych czynników – popytu, podaży, zmiany uczestników samego łańcucha, czynników zewnętrznych. Ponadto podlegają one ciągłym zmianom w czasie. Te istotne właściwości systemu łańcucha dostaw sprawiają, że niezwykle trudno jest modelować, analizować i przewidywać skutki zmian zarówno w ujęciu całego łańcucha jak i poszczególnych jego elementów. Poziom skomplikowania oddziaływań w łańcuchach dostaw

wymaga złożonego postępowania w celu rozwiązywania problemów optymalizacyjnych zachodzących w nim procesów. Z tego powodu wykorzystanie elastycznych narzędzi wspomagających analizę procesów biznesowych stało się nieodzowne. Symulacje komputerowe są jedną z alternatywnych opcji dających możliwość skutecznego badania zjawisk zachodzących w łańcuchach dostaw. Pozwalają one testować wariantowe projekty łańcucha dostaw, w celu upewnienia się, że będą one funkcjonować zgodnie z przewidywaniami, w obliczu zmienności otoczenia i że będą spełniać wymagania prowadzonego biznesu.

Niewiele jest modeli i narzędzi pozwalających na kompleksową analizę wszystkich czynników wpływających na funkcjonowanie łańcucha dostaw, dlatego też najczęściej modelowane i analizowane są jedynie jego fragmenty funkcjonalne. Proste modele badania współzależności w łańcuchach dostaw powstawały już w XX wieku. Należy do nich powszechnie znany model byczego bicza, opracowany przez J.Forreстера [1980] bazujący na teorii dynamiki systemów i obrazujący efekt odkładania zapasów w poszczególnych ogniwach łańcucha dostaw. Model ten uległ maksymalnemu uproszczeniu poprzez wykluczenie wszystkich elementów niezwiązanych merytorycznie z prowadzonym badaniem. Nie zmniejszyło to jednak jego znaczenia dla późniejszych badań dotyczących zarządzania łańcuchami dostaw.

W ciągu następujących po badaniach Forreстера lat powstały liczne publikacje, w których naukowcy rozwiązują problemy zjawisk w łańcuchu dostaw wykorzystując omawiane narzędzia. Przykładowo do najnowszych z nich należy opracowanie, w którym badacze z Uniwersytetu Technicznego w Rydze podjęli próbę skonstruowania modelu symulacyjnego ryzyka w łańcuchach dostaw [Klimov i Merkuryev 2008, s.300-311]. W tym celu zastosowali modelowanie dyskretne powstające jako wynikowa typów relacji handlowych pomiędzy poszczególnymi kontrahentami. Podobnie jak w przypadku modelu byczego bicza, w tym przypadku również dokonano celowej delimitacji modelowanych parametrów stawiając na pierwszym miejscu parametry związane z ryzykiem.

Z kolei A. Kawa [2010] zaproponował model dynamicznej rekonfiguracji łańcucha dostaw DyConSC, pozwalający na badanie struktury doboru kontrahentów w pojedynczym łańcuchu. Umożliwił on przeprowadzenie badań odpowiadających na pytanie, czy przy konkretnym zbiorze parametrów łańcucha dostaw relacje pomiędzy jego uczestnikami utrzymywane są w odpowiednich konfiguracjach.

W literaturze występuje oczywiście znacznie więcej przykładów zastosowania modeli symulacyjnych w łańcuchach dostaw z perspektywy całego systemu. Znacznie częściej spotyka się jednak opracowania, w których naukowcy koncentrują się tylko na wąskim podsystemie łańcucha dostaw. Wielu badaczy podjęło się opracowania modeli symulacyjnych o większym stopniu szczegółowości. Wśród nich do najbardziej popularnych można zaliczyć modele związane z transportem, zarządzaniem magazynem, przepływem dóbr w procesie produkcyjnym, jak również powrót elementów w procesach logistyki zwrotnej. Poniżej pokrótce przedstawiono kilka przykładowych modeli w celu zobrazowania szerokiego spektrum wykorzystania symulacji w poszczególnych obszarach łańcucha dostaw.

2.3.1 Symulacje procesów logistycznych i transportowych

Przez ostatnie kilkadziesiąt lat, projektowanie, analiza i kontrola systemów logistycznych przeprowadzana była najczęściej przez inżynierów operacyjnych lub naukowców [Banks i in. 1998, s. 572]. Wiele z tych systemów urosło, zwiększając jednocześnie poziom swojej złożoności. W większości przypadków, głównymi celami przedsiębiorstw logistyczno-transportowych jest przechowywanie i/lub transport ładunków o zmiennych gabarytach od miejsca nadania do miejsca przeznaczenia przy zachowaniu najniższych możliwych kosztów. Systemy logistyczne, na których bazują działania takich przedsiębiorstw wymagają często skomplikowanej obsługi administracyjnej, informacyjnej, tym samym wymuszając użycie systemów wspomagania decyzji [Ashford i Clark 1975].

Tradycyjne metody planowania logistycznego bazują na opracowywaniu modeli analitycznych pozwalających generować optymalne drogi przejazdu, dystrybucji i przeładunków [Banks i in. 1998, s. 574]. Wraz z rozbudową systemów metody te przestały dawać oczekiwane rezultaty. Zaczęto tym samym szukać alternatywnych sposobów radzenia sobie z rozwiązywaniem problemów analitycznych tak skomplikowanych systemów. Naturalnym wyborem wspomagających narzędzi stały się komputery, których moc obliczeniowa zwiększa się nieprzerwanie do dnia dzisiejszego.

Symulacje komputerowe zaczęto stosować w planowaniu procesów logistycznych już pod koniec lat 60-tych XX wieku. Do obszarów, w których symulacje komputerowe nadają się najlepiej należą między innymi strategie zarządzania terminalem przeładunkowym, wyboru modelu zarządzania opakowaniami, zarządzania magazynem czy planowaniem tras przewozu towarów w systemach całopojazdowych i drobnicowych zarówno w wariacie prostym jak i mieszanym. Symulacje z powodzeniem wykorzystano również przy projektowaniu i analizie

systemów transportu ulicznego, przepustowości węzłów komunikacyjnych, jak również obciążeń ścieżek pieszych.

W literaturze przedmiotu można znaleźć odwołania do wielu modeli symulacyjnych poruszających tematykę procesów logistycznych. W przeciągu pół wieku powstawało wiele opracowań tego typu, poniżej przytoczono jedynie najnowsze. W większości przypadków różnice można zauważyć na poziomie narzędzi wykorzystywanych do symulowania poszczególnych procesów, które z czasem stawały się szybsze, bardziej wydajne i pozwalały na bardziej atrakcyjne przedstawianie wyników symulacji.

Davidsson i inni [2008] zaprezentowali kompleksowy model transportu umożliwiający zdefiniowanie poszczególnych elementów systemu transportowego i interakcji pomiędzy nimi. Wykorzystali w tym celu technologię agentową reprezentując każdy element systemu jako agenta opisanego zbiorem parametrów i wchodzącego w interakcję z innymi agentami. Elastyczność modelu pozwalała na ustawienie parametrów w taki sposób, że możliwe było testowanie poszczególnych wariantów transportowych z wykorzystaniem różnych środków transportu, zachowując pewne z góry zdefiniowane granice systemu. Ponadto w modelu wykorzystano jednocześnie kombinacje transportu harmonogramowanego i nieharmonogramowanego (zależnego od popytu), co pozwoliło na uzyskanie dokładniejszych i bardziej wszechstronnych wyników. Model umożliwiał również testowanie wariantów transportu kombinowanego. Pozwalał także na wymuszanie synchronizacji poszczególnych środków transportu w warunkach wymaganego harmonogramu odjazdów. Korzyści wynikające z zastosowania takiego modelu polegały między innymi na lepszej synchronizacji czasu wyjazdów poszczególnych środków transportu.

Symulacje transportu kolejowego przeprowadzili Y. Huang i A. Verbraeck [2009]. Symulacja ta różniła się od wyżej wspomnianej między innymi tym, że była zasilana dynamicznie dostarczonymi danymi (ang. dynamic data-driven) z węzła kolejowego w przeciwieństwie do statycznych danych wykorzystanych w powyższym modelu. Dzięki temu możliwe było ciągłe prognozowanie kongestii ruchu kolejowego w danym węźle. Pozwoliło to na lepsze zarządzanie dostępnymi zasobami w ujęciu kosztowym i wydajnościowym.

Symulacje wykorzystuje się również w transporcie morskim zarówno w celu prognozowania wykorzystania powierzchni ładunkowej statków jak również do wyznaczania odpowiedniej kolejności przepływów transportowców w porcie. Nie są to jednak jedyne opcje wykorzystania symulacji w tej dziedzinie. Interesujący obszar zastosowań symulacji dla tej

gałęzi transportu przedstawili niedawno badacze z Uniwersytetu Technicznego w Pradze [Vanek i in. 2012]. Zaprezentowany przez autorów model miał na celu przeprowadzenie symulacji przepływów tranzytowych statków pod kątem wyznaczenia ryzyka ataku piratów. Do implementacji modelu wykorzystano technologię agentową badając prawdopodobieństwo wystąpienia ataku na danej trasie. Dzięki wynikom symulacji możliwe stało się wyznaczenie takich kursów transportowców, aby zminimalizować ryzyko porwania lub uszkodzenia statku. Model brał pod uwagę nie tylko dane statystyczne dotyczące porwań na danym obszarze, ale również gęstość i trasy przybrzeżnych patroli, popularność danych tras w transporcie długodystansowym jak i poszczególne parametry statków. Dzięki przeprowadzonym symulacjom możliwe stało się wyznaczanie takich harmonogramów odpływu statków aby możliwe było wysyłanie ich grupami w porach o największym zagęszczeniu patroli na danej trasie.

Powyższe wybrane przykłady zastosowań symulacji w celu usprawniania procesów logistycznych pokazują jedynie jak szerokie jest spektrum zastosowań omawianej metody badawczej w tym obszarze. Miały one za cel zaprezentowanie możliwych obszarów w których modelowanie symulacyjne znajduje zastosowanie. Poprzez wyszczególnienie zastosowanych technologii, które zostały wykorzystane podczas wdrażania poszczególnych modeli, autor chciał zwrócić uwagę na różnorodność stosowanych metod i narzędzi symulacyjnych w poszczególnych przypadkach. Niejednorodność ta będzie również zauważalna w dalszych przykładach.

2.3.2 Planowanie i analiza procesów produkcyjnych

Jak wspomniano w rozdziale pierwszym, rzadko spotyka się łańcuchy dostaw bez ogniw pełniących rolę producentów podzespołów lub wyrobów gotowych. Od efektywności i skuteczności tych ogniw zależy często wydajność całego łańcucha dostaw. Dzieje się tak, ponieważ koszty wytwarzania podzespołów i produktów końcowych przyczyniają się do wzrostu kosztów ogólnych w ujęciu całego łańcucha dostaw. Z tego powodu istotnym jest, aby procesy produkcyjne zorganizowane były w sposób optymalny, przy zaistniałych warunkach. Czynnikiem koniecznym do uzyskania optymalnej konfiguracji jest zatem synchronizowany ciąg decyzyjny, który bierze pod uwagę system produkcyjny jako całość.

Obecnie często występuje sytuacja, w której różne poziomy decyzji produkcyjnych w przedsiębiorstwie podejmowane są w kilku następujących po sobie etapach, takich jak projektowanie systemu, planowanie produkcji lub procesów, harmonogramowanie produkcji

czy rekonfiguracja lub restrukturyzacja systemu produkcyjnego. Optymalizacja procesów przy zaistniałych warunkach jest bardzo trudna. Wynika to z braku ciągłości interakcji pomiędzy osobami podejmującym decyzje, która jest niezbędna do uzyskania optymalnych rezultatów [Antosike i Zhang 2006].

Antosike i Zhang [2006] zaproponowali model usprawniania systemu produkcyjnego DIMS wykorzystując w tym celu technologię agentową. Zaproponowany przez nich model pozwala na przeprowadzanie serii analiz „co-jeśli”. W tradycyjnym podejściu do analizy „co-jeśli” każdy możliwy scenariusz musiałby zostać opisany i oprogramowany przez osobę opracowującą dany model symulacyjny. Model DIMS umożliwia przeprowadzanie symulacji poszczególnych scenariuszy, jednocześnie przeprogramowując logikę sterowania interakcjami poszczególnych elementów systemu produkcyjnego. Można tutaj mówić o automatycznym oprogramowaniu kolejnych scenariuszy w trakcie trwania symulacji. Dzięki temu uzyskano niezwykle elastyczne narzędzie umożliwiające uzyskanie optymalnych rezultatów, bez potrzeby przewidywania każdego z możliwych scenariuszy, które mogą się wydarzyć. Aby opracować model charakteryzujący się tak dużą elastycznością, potrzebne było odpowiednie podejście technologiczne. Autorzy zaprojektowali i zaimplementowali wielowarstwową ramę projektową, bazującą na technologii agentowej. Każdy element systemu produkcyjnego został zaprezentowany w niej jako agent programowy, który wchodzi w interakcję z pozostałymi uczestnikami systemu. Rama projektowa składa się z 3 autonomicznych powłok programistycznych (ang. layers). Powłoka statyczna (ang. static layer) pozwala na zdefiniowanie standardowych zachowań i interakcji pomiędzy agentami. Powłoka przepływu procesu (ang. process flow layer) pozwala na dynamiczne generowanie alternatywnych scenariuszy w zależności od uzyskanych rezultatów poprzednich eksperymentów symulacyjnych przeprowadzanych w powłoce symulacyjnej (ang. simulation layer). Warty zaznaczenia jest fakt, iż zastosowana struktura ramy projektowej, jak również specyfika działania logiki całego modelowanego systemu, pozwalają na równoczesne przeprowadzanie symulacji i utrzymanie produkcji zasilającej algorytm bieżącymi danymi. Dzięki temu możliwości opisanego narzędzia zostały rozszerzone do funkcji oprogramowania wspomagającego bieżące podejmowanie decyzji na podstawie danych rzeczywistych pozyskiwanych na bieżąco.

Mówiąc o symulacjach systemów produkcyjnych najczęstszym skojarzeniem jest linia produkcyjna zasilana przez ludzi lub zautomatyzowane roboty, która charakteryzuje się zbiorem parametrów takich jak czas przepływu, możliwości przezbrojenia itp. Nie wszystkie

linie produkcyjne zachowują się jednak w ten sposób. Ciekawy model symulacyjny odbiegający od tej swoistej „normy” przedstawili badacze z Uniwersytetu Laval w Quebec’u we współpracy z departamentem rolnictwa USA [Pomar i in. 1991]. Wyszli oni z założenia że produkcja rolna jest specyficznym wariantem tradycyjnie rozumianego systemu produkcyjnego, a co za tym idzie, z powodzeniem można ją symulować. Autorzy podjęli próbę zamodelowania procesów chowu trzody chlewnej, a dokładniej fazy rozrodczej, dla celów pozyskiwania danych wspomagających skuteczne podejmowanie decyzji dotyczących między innymi składu pożywienia dla zwierząt i wykorzystania dostępnej przestrzeni. Rozpisali oni system produkcji traktując maciory jako stanowiska produkcyjne o pewnych charakterystykach. Możliwości produkcyjne zwierząt uzależniane były od podawanych im pokarmów jako zasobów napędzających system. Badacze skoncentrowali się na opracowaniu modelu pozwalającego przewidywać zachowanie ciała zarówno maciory jak i prosiąt w trakcie całego procesu karmienia. Dzięki temu badacze mogli testować i dobrać taki skład pożywienia, który pozwalał na optymalny rozwój prosiąt i najmniejsze „zużycie” maciory w okresie karmienia.

Niezależnie od branży, w której przedsiębiorstwo wytwarza swoje produkty możliwe jest modelowanie procesów w celu umożliwienia ich poprawy. Systemy produkcyjne rzadko charakteryzują się wystarczającą elastycznością aby sprawdzać alternatywne wyniki produkcji zmieniając parametry systemów w rzeczywistości. Pociągałoby to za sobą wysokie koszty zarówno ze względu na potrzebę przeobrażenia, jak również koszty wynikające z nieudanych eksperymentów. Z tego też powodu symulacje komputerowe są coraz częściej wykorzystywane w systemach produkcji, pozwalając tym samym na zwiększenie efektywności wytwarzania, minimalizując jednocześnie nakłady na eksperymentowanie z systemem.

2.3.3 Symulacje logistyki zwrotnej

Symulacje komputerowe z powodzeniem zaczęto również stosować przy planowaniu i analizie procesów logistyki zwrotnej. W literaturze przedmiotu występują liczne przykłady zastosowania modeli symulacyjnych w odniesieniu do wybranych elementów logistyki zwrotnej. Modele te skoncentrowano na wybranych aspektach takich jak efektywność wdrożenia opakowań zbiorczych, problemy transportu odpadów itp. Warto zauważyć, że poszczególni autorzy dostrzegali potencjał przeprowadzanych badań w odniesieniu do usprawniania logistyki zwrotnej przedsiębiorstw. W celu lepszego zobrazowania obszarów modelowanych przez badaczy na całym świecie przytoczono wybrane modele wraz z ich pobieżną charakterystyką.

Pierwszym modelem jest projekt zaproponowany przez grupę badaczy z Michigan State University [Mallenkopf i in. 2005]. Opracowany przez nich model służy do analizy opłacalności ekonomicznej wdrożenia kontenerów jednorazowych. Bazuje on na porównaniach kosztów zakupu i obsługi kontenerów wielokrotnego użytku z kosztami rozwiązań alternatywnych [Korzeniowski i Skrzypek 1999]. Zaproponowane przez nich podejście bierze pod uwagę wartości 5 wskaźników, wyszczególnionych dla wariantu opakowań zwrotnych i jednorazowych. Wszystkie wskaźniki wyrażone są w jednostkach pieniężnych na pojedynczy produkt. Wskaźniki te 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. W trakcie eksperymentu relacja obu kontrahentów pozostaje bez zmian. Do najważniejszych wniosków wynikających z badania należało wykazanie, że z analizowanych czynników, mającym największy wpływ na powstawanie kosztów jest różnica w cenie pomiędzy kontenerami jednokrotnego i wielokrotnego użytku. Koszty obsługi i utylizacji okazały się drugorzędne. Ciekawym wnioskiem okazał się również fakt, iż odległości pomiędzy partnerami biznesowymi nie są kluczowe. Najistotniejszym elementem wpływającym na opłacalność danego rozwiązania są koszty samych kontenerów, które biorąc pod uwagę wszystkie czynniki obsługi, były praktycznie niemożliwe do wyrównania.

Innym problemem obszaru logistyki zwrotnej zajęli się badacze z Waseda University [Lee i in. 2012]. Przedstawione przez nich podejście jest przykładem implementacji koncepcji *Just-In-Time* w systemach logistyki zwrotnej. Bazuje ono na tzw. algorytmach generycznych²². Optymalizacja procesu przebiega poprzez minimalizację funkcji transportu, kosztów zapasów lub kosztów braków, w systemie składającym się z trzech rzędów podmiotów gospodarczych.

²² Algorytm generyczny to skończony ciąg jasno zdefiniowanych czynności przeszukującego przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu wyszukania rozwiązań najlepszych.

Pierwszy rząd to firmy zbierające opakowania zwrotne z rynku, takie jak sklepy, supermarkety, punkty skupu opakowań zwrotnych itp. W dalszej kolejności zebrane opakowania transportowane są do przedsiębiorstw odzyskujących, które po procesie czyszczenia kierują opakowania dalej albo 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. Poszczególne parametry tego modelu zostały zawarte w Tab. 2-3. Praktycznie każdy z nich został policzony jako stosunek kilku innych parametrów obrazując jednocześnie relacje pomiędzy nimi.

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

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

Tab. 2-3: Zestawienie wskaźników systemów kontenerowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Mallenkopf i in. 2005 s. 184]

Symulacyjny model logistyki zwrotnej koncentrujący się na odbieraniu produktów, które zakończyły swój cykl życia (ang. end-of-life products) został przedstawiony przez S. Karę i innych [2007]. W zaproponowanym modelu producent zobowiązany jest do odbioru produktów z obszaru metropolii w wyniku regulacji prawnych. Autorzy posłużyli się danymi pozyskanymi z obszaru metropolitarne Sydney. W modelu tym zastosowano wnioskowanie na podstawie analiz „co-jeśli”, w celu zidentyfikowania parametrów, które najmocniej wpływają na zachowanie całego modelu. Wiedza ta potrzebna była do przeprowadzenia

bardziej wnikliwych analiz tych parametrów w dalszym toku postępowania. Założeniem modelu było przetestowanie wariantów lokalizacji centrów przetwarzania w taki sposób, aby relacje typu trade-off pomiędzy stałymi jednostkowymi kosztami przetwarzania a kosztami transportu były jak najniższe. Zastosowano w tym celu podejście polegające na wyznaczeniu tzw. „złotego środka” dla możliwych konfiguracji centrów przetwarzania. Dzięki przeprowadzonym symulacjom możliwe było wyznaczenie optymalnej ilości centrów przetwarzania i ich lokalizacji. Ponadto pozwoliły one na zidentyfikowanie tych obszarów funkcjonowania systemu, które wymagały poprawy zarówno z punktu widzenia kosztów jak i wydajności operacyjnej.

Każdy z przedstawionych modeli symulacyjnych koncentrował się na wybranym obszarze logistyki zwrotnej przedsiębiorstw. Dzięki tej delimitacji możliwe było odtworzenie funkcjonowania rzeczywistego systemu w postaci modelu komputerowego, który później wykorzystywano do pozyskania danych prognostycznych, na podstawie których wyciągano wnioski odnoszące się do danego obszaru funkcjonalnego. W zależności od obszaru poruszanego w danym modelu, wyniki symulacji można było wykorzystać do wspomaganie decyzji (np. dotyczącej wyboru alternatywnego rodzaju opakowania) lub jako podstawę do prowadzenia dalszych badań. Przytoczone przykłady ilustrują fakt wykorzystywania symulacji komputerowych jako narzędzia badawczego do rozwiązywania problemów logistyki zwrotnej. Poprzez krótki opis poszczególnych przypadków, autor chciał przybliżyć czytelnikowi ideę budowania modelu symulacyjnego logistyki zwrotnej. Zamysłem było również pokazanie różnych podejść do opracowywania modeli symulacyjnych logistyki zwrotnej.

2.4 Modelowanie symulacyjne jako narzędzie badawcze systemu logistycznego – uzasadnienie wyboru

Symulacje komputerowe znajdują coraz więcej zwolenników zarówno wśród przedstawicieli nauk ścisłych jak i nauk społecznych. Dowodzi tego ciągle rosnąca liczba artykułów naukowych, w których zostały one wykorzystane jako metoda badawcza. Niemniej jednak zakres wykorzystania symulacji zależy w głównej mierze od dyscypliny naukowej i wielu naukowców wciąż waha się użyć symulacji w szerokim zakresie. Tendencja ta jest również odzwierciedlona w stosunkowo małej liczbie publikacji w międzynarodowych czasopismach o dużym uznaniu, w takich dziedzinach jak np. W ekonomia lub socjologia [Lorscheid i in. 2011]. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest według wielu autorów [Lorscheid i in. 2011; Grimm i in. 2006; Axelrod 1997] problem ze zrozumieniem specyfiki symulacji, która przez wielu

naukowców wciąż traktowana jest jako coś niezrozumiałego. Wielu z nich traktuje symulacje komputerowe jako „czarną skrzynkę”, którą zasila się danymi w celu uzyskania danych wyjściowych, które w późniejszym czasie można poddać analizie. W wyniku niezrozumienia idei symulacji, wielu naukowców kwestionuje przydatność uzyskanych w ten sposób rezultatów badań, w najlepszym przypadku podchodząc do nich z dystansem. Taki stan rzeczy w dużej mierze wynika z faktu, że w publikacjach, których wyniki oparte są o modelowanie symulacyjne, rzadko przedstawia się całą metodykę przeprowadzonych badań. Z tego też powodu autor podjął decyzję o poświęceniu niniejszego rozdziału na opis poszczególnych rodzajów symulacji i dedykowanych im narzędzi. Zamysłem autora było zaprezentowanie różnych podejść do prowadzenia badań opartych o symulacje, jak również wskazanie obszarów ich potencjalnego zastosowania, opierając się na opublikowanych rezultatach badań przeprowadzonych przez badaczy z różnych części świata.

Symulacje zostały wybrane jako metoda badawcza z kilku powodów, wynikających z celów i zakresu pracy badawczej jak również charakterystyki badanego zjawiska.

Pierwszym powodem był problem z pozyskaniem danych dotyczących losów opakowań jednostkowych po konsumpcji opakowanego produktu przez konsumenta. W dzisiejszych czasach wykorzystanie technologii w celu zebrania takich danych jest teoretycznie możliwe, pociąga jednak za sobą potrzebę dużych inwestycji w sprzęt, oprogramowanie a przede wszystkim metki RFID, za pomocą których możliwe byłoby pozyskanie wszelkich wymaganych danych. Zakładając że istnieje możliwość nabycia transpondera za ok 40gr., jego koszt w wielu przypadkach przekracza wartość opakowania, do którego zostałby przytwierdzony, na co żadne przedsiębiorstwo się nie zdecyduje. Ponadto zbadanie wszystkich możliwych wariantów losów opakowania wydaje się być dodatkowo utrudnione, ponieważ czytniki RFID musiałyby być zainstalowane w każdym miejscu do którego może trafić potencjalne opakowanie, klienci natomiast musieliby zawsze wykazywać wolę oddania opakowania zamiast jego utylizacji.

Drugim ważnym powodem było przeprowadzenie badań w relacji z profilem zachowań ekologicznych konsumentów. Znalezienie relacji pomiędzy podejściem konsumentów do oddania zużytego opakowania, a tymi opakowaniami które faktycznie powróciły z systemu wydaje się być niemożliwe przy zastosowaniu innych metod badawczych.

Ostatnim powodem, dla którego wybrano tę metodę badawczą było dążenie do uzyskania uniwersalnych i utylitarnych wyników, które można z powodzeniem zastosować

w szerszym zakresie, nie ograniczając się jedynie do konkretnego typu opakowań czy konkretnej branży.

3 Model logistyki zwrotnej opakowań

Dynamiczny rozwój gospodarki światowej jak i rosnący konsumpcjonizm klientów spowodował zaostrenie wymagań środowiskowych względem producentów dóbr. Wymogi te narzucane są głównie przez akty prawne poszczególnych państw lub wspólnot. Nie należy jednak zapominać, że jednocześnie ulegają zmianie preferencje klientów, wśród których można również zaobserwować postępujący wzrost świadomości ekologicznej. Zmiany te wynikają między innymi z ciągle zachodzących procesów społeczno-kulturowych, promujących zdrowy tryb życia przy jednoczesnym poszanowaniu dla otaczającego świata. Chcąc dostosować się do oczekiwań otoczenia, przedsiębiorstwa zmuszone są realizować swój podstawowy cel jakim jest wypracowywanie zysku (lub tworzenie wartości dla akcjonariuszy), jednocześnie mając na uwadze stawiane przed nimi wymogi środowiskowe. Często zdarza się, że pogodzenie obu wspomnianych celów jest dla przedsiębiorstw problemem. Równoczesne zadbanie o interes przedsiębiorstwa i podejście ekologiczne wymaga dokładnego planowania oraz podejmowania decyzji o charakterze strategicznym. Decyzje te muszą uwzględniać, poza kwestiami natury czysto ekonomicznej, wiele czynników pozaekonomicznych, na które przedsiębiorstwo nie ma wpływu. Wzrost liczby czynników, które trzeba brać pod uwagę, wpływa istotnie na poziom skomplikowania procesów decyzyjnych dotyczących zarówno sposobu prowadzenia biznesu, jak również realizowanych przez przedsiębiorstwa inwestycji. Decyzje te dotyczą między innymi wyboru rodzaju opakowań dla oferowanych produktów – przedsiębiorstwa muszą zdecydować, czy i w jakim stopniu wykorzystywać opakowania wielokrotnego użytku. W chwili obecnej, odpady opakowaniowe są jednym z podstawowych elementów wpływających na zanieczyszczenie środowiska. Bez wypracowania ustandaryzowanej metodyki ewaluacji poszczególnych wariantów decyzyjnych, bardzo trudno wybrać optymalny.

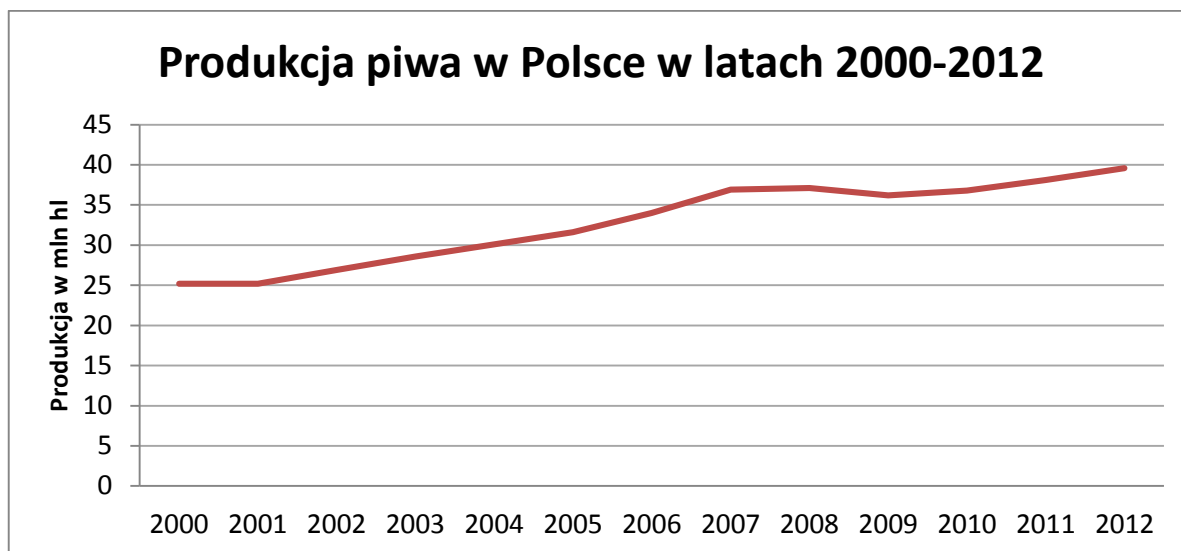
Podmioty gospodarcze od wielu lat stają przed dylematem dotyczącym wyboru rodzaju stosowanych opakowań. Wynika to z faktu silnego wpływu wybranego wariantu zarówno na ekonomiczną jak i ekologiczną stronę prowadzenia działalności gospodarczej. Wybór odpowiedniego wariantu jest problemem, który nurtuje zarówno teoretyków jak i praktyków biznesu. Z tego też powodu podjęto próbę opracowania modelu łączącego oba wymienione elementy – ekonomiczne i środowiskowe, którego celem jest wspomaganie podejmowanych przez przedsiębiorstwa decyzji w wybranym aspekcie zarządzania ekonomiczno-ekologicznego.

W zaproponowanym w dalszej części rozdziału modelu skoncentrowano się na tym aspekcie w szczególności kładąc nacisk na proces decyzyjny dotyczący wyboru opakowań. Model oparto o realia polskiej branży piwowarskiej. Wybór ten uzasadniony jest występującą w branży rozbudowaną strukturą procesów związanych z obsługą opakowań, zarówno jednostkowych jak i zbiorczych. Ponadto zróżnicowanie opakowań w branży nie ogranicza się wyłącznie do różnic w ich gabarytach. Występują w niej zarówno przepływy opakowań jednorazowych, z których w większości można odzyskać surowce wykorzystane do ich produkcji, jak i opakowań przeznaczonych do wielokrotnego użytku, których specyfika pozwala na ponowne przystosowanie do użytku bez konieczności uprzedniego ich zniszczenia. Do tych pierwszych należą jednorazowe butelki szklane i aluminiowe puszki, do drugich butelki zwrotne, skrzynki i kegi. Pomimo różnego charakteru opakowań, model przepływów zwrotnych można uogólnić. Głównym jego elementem jest szereg decyzji konsumenckich, który w przypadku każdego rodzaju opakowania wygląda podobnie. Przepływy zwrotne w branży piwowarskiej cechują się dużą przejrzystością, co było kluczowym czynnikiem przesądzającym o wyborze wspomnianej branży jako przedmiotu badań. Dzięki różnorodnym przepływom różnych rodzajów opakowań zwrotnych w branży piwowarskiej (butelki, kegi, skrzynki, palety), model oparty właśnie o tę branżę nabiera cech uniwersalnych. Z tego powodu, zdaniem autora, model bazujący na wybranej branży stosunkowo łatwo można odnieść również do innych przypadków, między innymi szeroko pojętej branży FMCG.

Modelowanie rzeczywistości wymaga dobrej znajomości realiów danego systemu, dlatego pierwsza część niniejszego rozdziału poświęcona została branży piwowarskiej w Polsce. Pokróćce scharakteryzowano występujące w niej uwarunkowania ekonomiczne i prawne. Opisano również istniejącą strukturę łańcuchów dostaw. W dalszej kolejności przedstawiono wykorzystywane w praktyce modele ewaluacji opakowań aby następnie przejść do rozważań dotyczących opracowanego modelu symulacyjnego.

3.1 Branża piwowarska w Polsce – charakterystyka i łańcuchy dostaw

Polska branża piwowarska jest dynamicznie rozwijającą się gałęzią gospodarki. W przeciągu ostatnich 30 lat produkcja piwa w Polsce wzrosła o 350% z poziomu 11,2 mln hl w 1980 do poziomu 39,6 mln hl [GUS 2013]. W pierwszej dekadzie XXI wieku branża zachowała tendencję wzrostową. Od roku 2000 do końca 2011 zaobserwowano ponad 50% wzrost produkcji z 25,2 mln hl wyprodukowanych w roku 2000 do 39,6 mln hl w 2012. Wzrostowy trend ostatnich 12 lat został zilustrowany na Rys. 3-1.



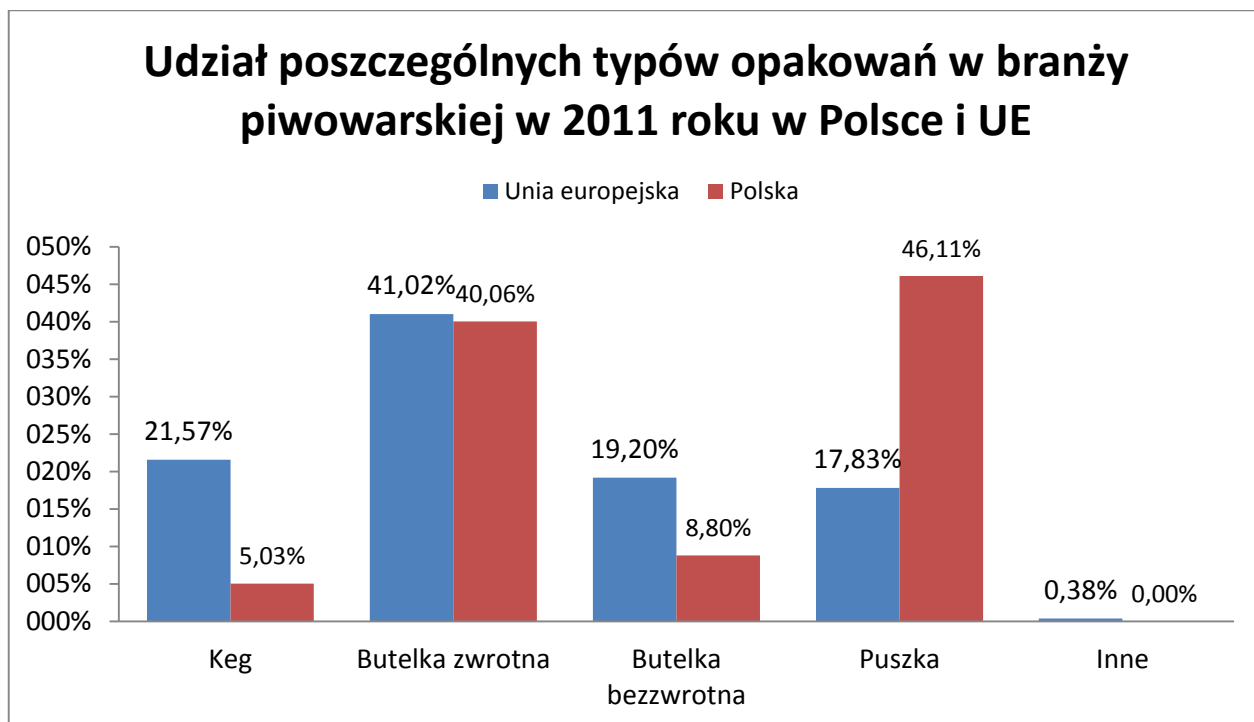
Rys. 3-1 Produkcja piwa w Polsce w latach 2000-2011

Źródło: opracowanie własne na podstawie [GUS 2013]

Rynek piwa w Polsce jest rynkiem mocno skonsolidowanym. Według raportu Earnst & Young [EY 2009] w strukturze rynku dominującą rolę odgrywają trzy przedsiębiorstwa, które obejmują swoim zasięgiem 95% jego wartości. Wśród nich największy udział posiada Kompania Piwowarska, w dalszej kolejności Grupa Żywiec i Grupa Carlsberg. Większość zmian w branży browarniczej opiera się na konsolidacji, a przeważającą ich część stanowią fuzje, przejęcia i łączenie się producentów. Silna konsolidacja branży zwiększa jednocześnie potencjalną użyteczność modelu ewaluacyjnego, ze względu na skalę oddziaływań pojedynczych przedsiębiorstw na cały rynek.

Z punktu widzenia opakowań, większość spożywanego w Polsce piwa sprzedawana jest w aluminiowych puszkach (46,11%) i butelkach zwrotnych (40,06%). Pozostała część produkcji dystrybuowana jest w butelkach jednorazowego użytku (8,80%) i kegach (5,03%) [Brewersofeurope 2012]. Proporcja wykorzystanych opakowań zwrotnych w Polsce różni się znacząco od tej występującej w innych krajach Unii Europejskiej. Zestawiając całkowite dane obejmujące 24 kraje członkowskie (pominięto kraje nadbałtyckie i Luksemburg, ze względu na brak prowadzonych w tych krajach statystyk) z danymi z Polski (por. Rys. 3-2) od razu widać dysproporcję w wykorzystaniu kegow, butelek jednorazowego użytku i puszek. Dysproporcja wykorzystania kegow wynika głównie z faktu, iż Polacy spożywają stosunkowo mniej piwa w restauracjach, czy pubach w porównaniu np. do Niemców, Czechów czy Anglików, mocno zawiązujących średnią. Największą różnicę dostrzec można w puszkach aluminiowych, których w Polsce jest procentowo najwięcej wśród wszystkich krajów europejskich. Polski rynek charakteryzuje również niewielka liczba wykorzystywanych butelek bezzwrotnych, po które

najczęściej sięgają niewielkie browary. Z tego też powodu udział butelek bezzwrotnych w całości opakowań wykorzystywanych w branży piwowarskiej w Polsce jest niewielki.

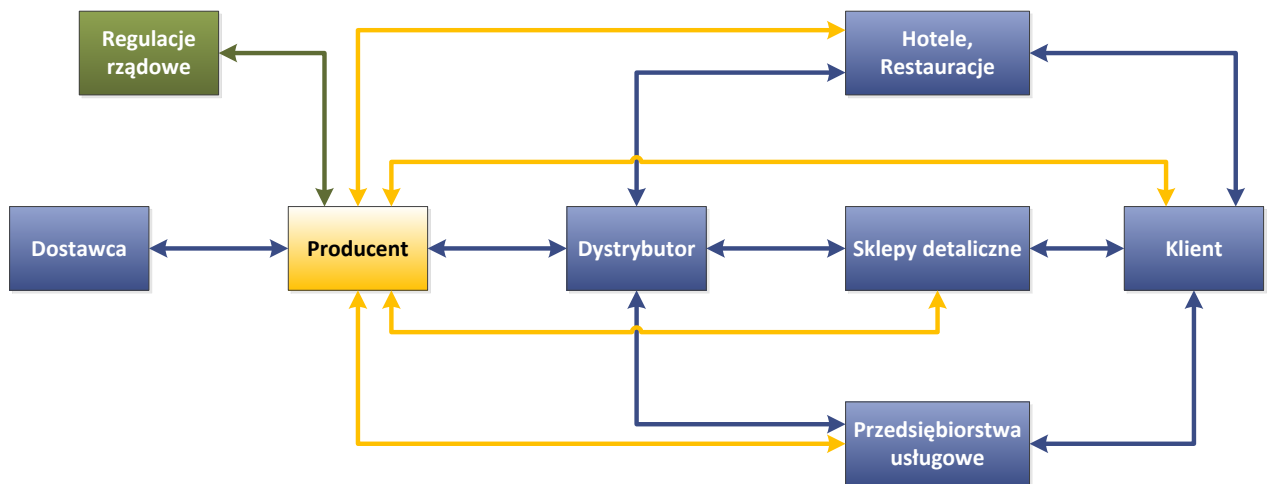


Rys. 3-2 Udziału poszczególnych typów opakowań w branży piwowarskiej w 2011 roku w Polsce i UE

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Brewersofeurope 2012]

Łańcuchy dostaw w branży piwowarskiej charakteryzuje silna dwustronność przepływów produktów i półproduktów pomiędzy poszczególnymi kontrahentami (por. rys. 3-3.). Pomiędzy dostawcami a producentem występują przepływy półproduktów rolniczych takich jak sód czy chmiel, przy równoczesnych zwrotach zużytych półproduktów takich jak przykładowo wykorzystana brzeczka²³. Pomiędzy producentami, dystrybutorami, sklepami detalicznymi i klientami występują natomiast zwroty pustych opakowań, w zależności od wariantu towarzyszą im przepływy pieniężne (w postaci odzyskanej kaucji) lub przepływy kolejnych towarów (w przypadku gdy klient oddaje zużyte opakowanie przy okazji zakupu nowego produktu). W łańcuchu występują równocześnie zwroty wadliwych towarów.

²³ Brzeczka – półprodukt stosowany przy produkcji piwa lub miodu pitnego. Brzeczka piwna przygotowywana jest ze słodu, chmielu, wody oraz ewentualnie innych surowców niesłodowanych, takich jak cukier, glukoza, miód i syropy owocowe.



Rys. 3-3 Kluczowi kontrahenci i relacje w łańcuchach dostaw w branży piwowskiej

Źródło: [Deloitte 2005]

Istotną rolę w organizacji przepływów produktów w łańcuchach dostaw odgrywają instytucje rządowe, określające między innymi normy i obowiązki podmiotów gospodarczych względem opakowań. Zgodnie z polskim prawem, konsument nabywający towar w butelce zwrotnej obciążony jest przez sklep kaucją, mającą pokryć ewentualny koszt zniszczenia opakowania. Teoretycznie fakt ten powinien zachęcić konsumentów do zwrotu nabytego opakowania, w celu odzyskania zdeponowanych pieniędzy zwiększając jednocześnie odsetek odzyskanych opakowań. Problemem, który występuje w warunkach polskich, jest jednak niestosowanie się do zakładanej przez ustawodawcę procedury przez jednostki handlowe. Sklepy umożliwiają zwrot kaucji za zwracane opakowania najczęściej po okazaniu paragonu poświadczającego zakup produktu w danej placówce. Często uniemożliwia to odzyskanie przez klienta wpłaconej kaucji, ponieważ w wielu przypadkach potwierdzenie zakupu produktów o niskiej wartości ulega zagubieniu lub zniszczeniu. W naturalny sposób nasuwa się zatem pytanie – dlaczego pomimo ustandaryzowanej praktyki naliczania kaucji, podmioty gospodarcze wymagają od klientów okazania paragonu uzyskanego w momencie transakcji? Powodów można wymienić kilka, są one zarówno natury praktycznej jak i prawnej. Należą do nich:

- Magazynowanie odzyskanych butelek – przyjęte od klientów butelki muszą być magazynowane przez podmiot gospodarczy, który je przyjął co pociąga za sobą potrzebę składowania towaru. Magazynowanie jest szczególnie dokuczliwe dla małych sklepów detalicznych, które nie posiadają rozbudowanej infrastruktury zdolnej pomieścić duże wolumeny zużytych opakowań nie blokując przestrzeni na inne towary.

Ponadto magazynowane butelki przyczyniają się do wzrostu kosztów przedsiębiorstwa;

- Sortowanie butelek przyjętych od klientów – jak wspomniano wcześniej rynek polski zdominowany jest przez 3 koncerny posiadające znaczne udziały w całej sprzedaży piwa w Polsce. Te 3 przedsiębiorstwa są głównymi odbiorcami butelek zwrotnych w kraju. W celu oddania opakowań do poprzedzającego ogniwa łańcucha dostaw wymagane jest składowanie ich w kontenerze zbiorczym jakim są skrzynki. Skrzynka natomiast jest również jest specyficznym rodzajem opakowania zwrotnego, ponadto spełniającym rolę marketingową w postaci umieszczonej na nich marki. Z tego powodu butelki konkretnej grupy piwowskiej muszą być oddawane w skrzynkach danej grupy, co utrudnia magazynowanie i angażuje pracowników placówki handlowej w przepakowywanie butelek z jednych skrzynek do innych;
- Aspekty prawne wprowadzania kaucji – z prawnego punktu widzenia butelka zwrotna powinna trafić z powrotem do producenta w przeciągu 60 dni. Jeśli się tak nie stanie – sklep musi odprowadzić podatek VAT z tytułu sprzedanego opakowania. W rozumieniu polskich przepisów podatkowych, nieoddane opakowanie zwrotne stanowi wartość dodaną dla klienta, stąd potrzeba naliczenia odpowiedniego podatku. Po odzyskaniu kaucji (rozumiane jako odzyskanie pieniędzy a nie wymiana pustej butelki zwrotnej pustej w trakcie zakupu nowego produktu) klient musi podpisać dokument będący oświadczeniem zwrotu opakowania wielokrotnego użytku, który jest dla sklepu podstawą zwrotu podatku VAT. Większość dużych sieci handlowych z założenia zakłada, że klient nie odda opakowania, dlatego ogólnie przerzuca koszt wspomnianego podatku na niego, doliczając do ceny napoju kaucję i podatek.

Wspomniane problemy powodują, że odsetek odzyskanych opakowań zwrotnych z rynku jest niższy niż zakładany przez producentów piwa. Problem ten powoduje zwiększenie kosztów obsługi takiego systemu, zarówno z punktu widzenia przedsiębiorstw jak i państwa. Równocześnie, wzrost kosztów obsługi odbija się negatywnie na skłonności do inwestowania w opakowania wielokrotnego użytku.

Zachowania klientów względem opakowań zwrotnych nie są jednak elementem całkowicie niezależnym od wpływu czynników zewnętrznych. Na skłonność klientów do uczestnictwa w procesie odzysku zużytych opakowań wielokrotnego użytku mogą wpływać zarówno same przedsiębiorstwa jak i rząd. Przedsiębiorstwa, w szczególności duże korporacje, poprzez promowanie ekologicznego gospodarowania własnych opakowań, są w stanie

wpływać na zachowania swoich klientów. Jako przykład takiego działania może posłużyć szereg inicjatyw o charakterze CSR (ang. Corporate Social Responsibility – społeczna odpowiedzialność biznesu) zorganizowanych przez wszystkie wiodące koncerny browarnicze w Polsce w ostatnim czasie [Grupa Carlsberg 2013; Grupa Żywiec 2013; Kompania Piwowarska 2012]. Instytucje rządowe są natomiast w stanie wpływać na skłonności zachowań klientów poprzez odpowiednie regulacje prawne. Trudno jednak przewidzieć efekty takich działań i ich wpływ na wydajność ekonomiczną całego systemu. Oszacowanie efektów przeprowadzonych zabiegów mających na celu zwiększenie odsetka oddawanych opakowań stanowi duży problem. Jednym z możliwych rozwiązań może być zaprojektowanie i implementacja modelu symulacyjnego z dostosowanym zbiorem parametrów wejściowych.

3.2 Modele ewaluacji wariantów opakowań zwrotnych

Jak wspomniano wcześniej w zależności od parametrów systemu, wykorzystanie opakowań zwrotnych wiąże się z dodatkowymi nakładami związanymi z odzyskiwaniem opakowań i przystosowaniem ich do ponownego wykorzystania. Podjęcie decyzji o wdrożeniu opakowaniowego wariantu wielokrotnego użytku wiąże się również z zakupem odpowiednich opakowań, nadających się do wielokrotnego zastosowania, które są relatywnie droższe od ich jednorazowych odpowiedników. Fakt ten wynika między innymi z różnych parametrów materiałowych wymaganych w poszczególnych typach opakowań. Te, które pozwalają na wielokrotne użycie muszą charakteryzować się większą odpornością na czynniki zewnętrzne, jak również muszą być w stanie przetrwać proces oczyszczania, który w przypadku szkła polega na poddaniu opakowania obróbce w wysokiej temperaturze, mającej na celu zniszczenie wszelkich możliwych bakterii, które mogłyby okazać się szkodliwe dla użytkownika końcowego. Ponadto opakowanie wielokrotnego użytku musi charakteryzować się wyższą odpornością na wszelkie interakcje fizyczne, do których dochodzi między innymi w przystosowania do ponownego wykorzystania np. poprzez mycie i dezynfekcję.

W celu ewaluacji danego typu opakowania pod kątem szkodliwości i zgodności z normami prawnymi opracowano szereg metodyk, opisanych w dalszej części rozdziału.

3.2.1 Prawne aspekty opakowań zwrotnych

W praktyce gospodarczej funkcjonuje szereg norm regulujących wymagania wprowadzanych opakowań na rynek. W krajach Unii Europejskiej gospodarkę odpadami opakowaniowymi uregulowała Dyrektywa 94/62/EC znowelizowana w roku 2004. Wymieniona dyrektywa jest oparta na koncepcji dyrektyw, których zadaniem jest dbałość o to, aby w obrocie znajdowały

się tylko produkty bezpieczne dla zdrowia, życia i środowiska. Ponadto wskazuje ona na poszczególne wymagane poziomy odzysku poszczególnych typów odpadów opakowaniowych. Poziom odzysku rozumiany jest jako odsetek surowców, które udało się odzyskać z wprowadzonych na rynek opakowań. Normy te obowiązują wszystkich producentów, importerów i dystrybutorów towarów wprowadzanych na rynek europejski, niezależnie od kraju pochodzenia. Nowe dyrektywy zawierają tylko ogólne i zasadnicze wymagania odnoszące się ochrony zdrowia, środowiska, bezpieczeństwa. Zawierają również metody sprawdzania zgodności danego opakowania ze stawianymi wymaganiami.

Dyrektywa 94/62/EC wprowadziła dla wszystkich rodzajów opakowań trzy podstawowe grupy wymagań:

1) Wymagania związane z produkcją i składem surowcowym:

- Wymagania w zakresie zminimalizowania masy i/lub objętości opakowań składających się na cały system pakowania określonego towaru. Sumaryczna zawartości ołowiu, kadmu, rtęci i chromu nie powinna przekraczać podanego w normach poziomu;
- Zminimalizowanie w opakowaniach zawartości substancji niebezpiecznych dla środowiska.

2) Wymagania dla opakowań wielokrotnego użytku;

3) Wymagania związane z przydatnością do odzysku. Każde opakowanie wprowadzone do obrotu powinno być przydatne przynajmniej do jednej formy odzysku. Wśród branych pod uwagę kryteriów przydatności opakowania do odzysku znalazły się 3 grupy czynników, wśród nich wyróżnić można:

- Recycling materiałowy, zawierający szereg czynników związanych z poszczególnymi materiałami wchodzącymi w skład opakowania i ich charakterystyką chemiczno-fizyczną; (dopisać czy nadaje się do odzysku materiałowego)
- Odzysk energii, będący oceną tego czy dane opakowanie nadaje się do odzysku energetycznego pod wpływem spalania lub innych procesów, pozwalających na zwrot energii;
- Recycling organiczny, biorący pod uwagę skład chemiczny opakowań i ich możliwości biodegradacji.

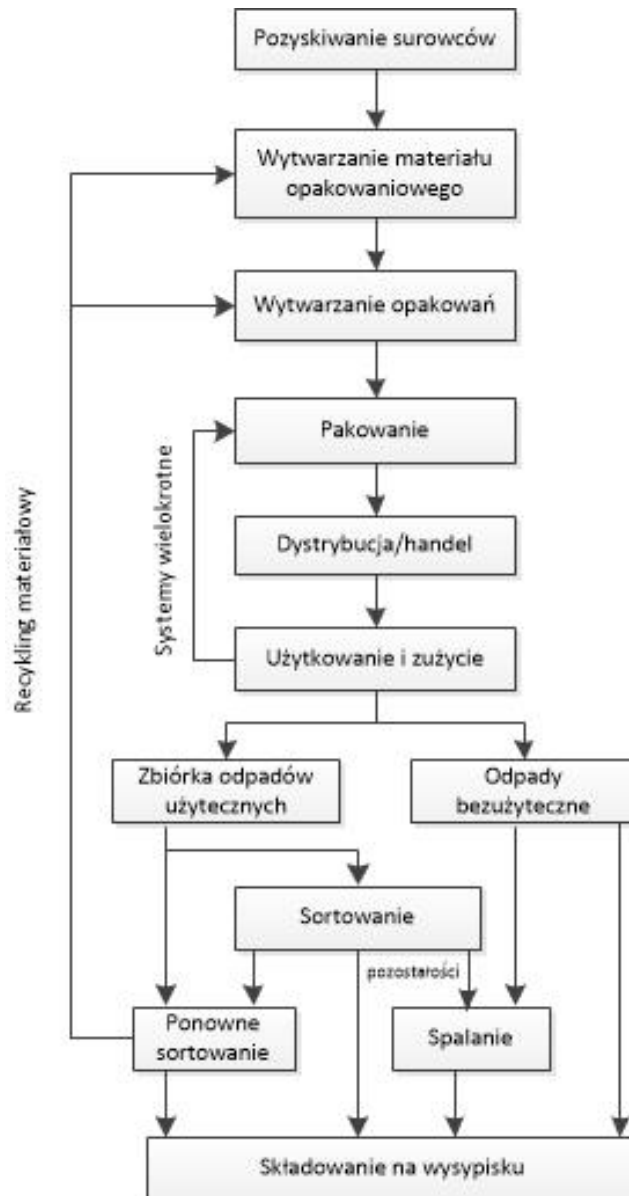
Wyszczególnione powyżej wymagania stawiają przed przedsiębiorstwami szereg wyzwań związanych z wprowadzeniem nowego opakowania na rynek. Wyzwania te są o tyle

skomplikowane, że przedsiębiorstwo musi brać pod uwagę jednocześnie narzucane przez podmioty prawne wymagania, jak również kwestie ekonomiczne.

3.2.2 Analiza cyklu życia opakowania LCA

W latach 70-tych XX wieku zaczęto coraz częściej zwracać uwagę na rosnącą liczbę wprowadzanych na rynek opakowań, a co za tym idzie, na zwiększające się zagrożenie wynikające z zanieczyszczenia środowiska odpadami opakowaniowymi. W odpowiedzi na dostrzeżone niebezpieczeństwo, podjęto pracę nad narzędziami, które umożliwiłyby pomiary negatywnego wpływu opakowań na środowisko, zanim zostały one wprowadzone do sprzedaży. W ten sposób powstały tzw. bilanse ekologiczne, pomagające ilościowo określać zagrożenia dla środowiska, wywołane przez różne produkty, procesy i działania. W literaturze zagranicznej ekobilanse opakowań nazywane są najczęściej LCA od angielskiego Life Cycle Analysis lub Life Cycle Assessment, rzadziej – Ecobalance (ekobilans) [PRÉ 2013]. Problemy ekologiczne rozpatrywane są w nich całościowo, uwzględniając wszystkie fazy życia produktu [Korzeniowski i in. 2010]. W literaturze podejście to nazywane jest podejściem od kołyski aż po grób (ang. from cradle to the grave) i uwzględnia wszystkie czynności związane z wyprodukowaniem opakowania od pozyskania surowców, przez produkcję, dystrybucję, konsumpcję aż do odzysku, usunięcia pozostałości i kasacji.

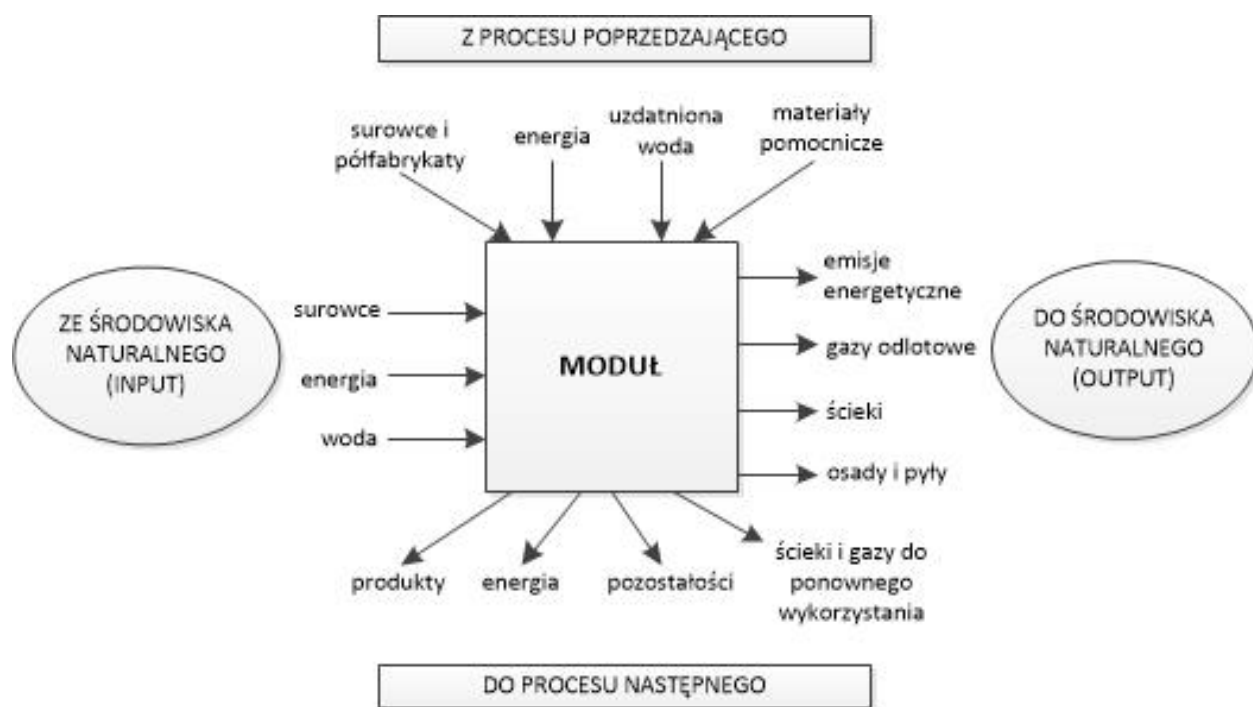
Na Rys. 3-4 przedstawiono uproszony schemat poszczególnych faz drogi życia opakowania, poszczególne kroki cyklu odpowiadają następującym po sobie procesom. Warto podkreślić, że pomiędzy poszczególnymi przedstawionymi na rysunku czynnościami często występuje transport, który nie został na schemacie uwzględniony.



Rys. 3-4: Uproszczony schemat drogi życia opakowania

Źródło: [Korzeniowski i in. 2010]

Zbiór elementów składających się na konkretny proces, takich jak surowce, produkty energia itp. do celów przygotowania ekobilansów nazywa się często modułami. Spowodowane jest to podzielonymi opiniami ekspertów, dotyczącymi tego czy transport powinien być uwzględniany jako element modułu, czy też powinien być analizowany osobno. Schemat modułu ujmującego wspomniane przepływy ilustruje Rys. 3-5.



Rys. 3-5: Schemat modułu ujmującego przepływ materiału i energii

Źródło: [Korzeniowski i in. 2010]

Dla każdego analizowanego modułu należy określić zapotrzebowanie na zasoby, ilość wyemitowanych zanieczyszczeń i odpady stałe. Następnie wszystkie uzyskane wartości zostają zsumowane, a otrzymany wynik ilustruje potencjalne obciążenie generowane przez dany moduł. Sporządzenie takiej analizy jest jednak problematyczne z wielu powodów, przede wszystkim ze względu na dużą liczbę zmiennych, które muszą być wzięte pod uwagę. Ponadto sam ekobilans nie wystarcza aby rozstrzygnąć problem wyboru wariantu opakowań, dlatego trudno podejmować decyzje wyłącznie w oparciu o niego [Korzeniowski i Skrzypek 1994]. Wymagane są dodatkowe obliczenia dotyczące między innymi nakładów finansowych, które należy przeznaczyć na wdrożenie i utrzymanie danego rozwiązania.

W czasach ciągłego rozwoju technologii informacyjnych do naturalnych kierunków rozrastania branży należy opracowywanie i implementacja narzędzi informatycznych mających na celu ułatwienie pracy profesjonalistom różnych dziedzin. Analiza cyklu życia opakowania nie należy do wyjątków – komercyjne pakiety oprogramowania, takie jak PackageSmart [2013]. Oprogramowanie to jest jednak dedykowanym narzędziem pozwalającym na jednostronną analizę badanego zjawiska. Podczas kalkulacji bazuje na zbiorze ogólnie zdefiniowanych wartości wynikających z obowiązujących norm, które dotyczą odsetku zniszczenia opakowań, odzysków z systemu itp. Nie bierze pod uwagę przykładowo modelu zachowań konsumenckich, od których zależy czy przedsiębiorstwo

odzyska wprowadzone na rynek opakowanie czy nie. Rozwinięcie polegające na dodaniu behawioralnych aspektów użytkowników opakowań znalazło odzwierciedlenie w zaproponowanym w niniejszej pracy modelu symulacyjnym.

3.2.3 Korporacyjne karty opakowań

W czasach, w których wiele branż zdominowanych jest przez koncerny, zarządzanie opakowaniami przez mniejsze firmy będące kontrahentami międzynarodowych gigantów jest często uzależnione od woli większego przedsiębiorstwa. Dominująca pozycja rynkowa takich korporacji umożliwia im narzucanie własnych reguł i własnych metod ewaluacji opakowań. Przykładem może być tutaj Walmart, który w 2006 roku narzucił swoim dostawcom własne wymagania dotyczące akceptowanych przez niego opakowań. Owa lista wymagań nazywana jest kartą wyników opakowań (ang. Packaging Scorecard) i stanowi zbiór wytycznych razem tworzących wymagany przez koncern standard. Ponadto opisane narzędzie pozwala na porównywanie poszczególnych kontrahentów, w szczególności dostawców. Karta opakowań bazuje na założeniu 7R w odniesieniu do opakowań:

- usuń (ang. remove),
- zredukuj (ang. reduce),
- wykorzystaj ponownie (ang. reuse),
- odzyskaj (ang. recycle),
- odnów (ang. renew),
- twórz przychody (ang. revenue),
- czytaj (ang. read).

Uwzględniając wyżej wymienione założenia i jednocześnie bazując na konsultacjach z przedstawicielami wiodących przedsiębiorstw na rynku opakowań, zdefiniowano grupy mierników odnoszących się do podanych założeń. Mierniki te miały spełniać następujące założenia [Wal-Mart Inc. 2006]:

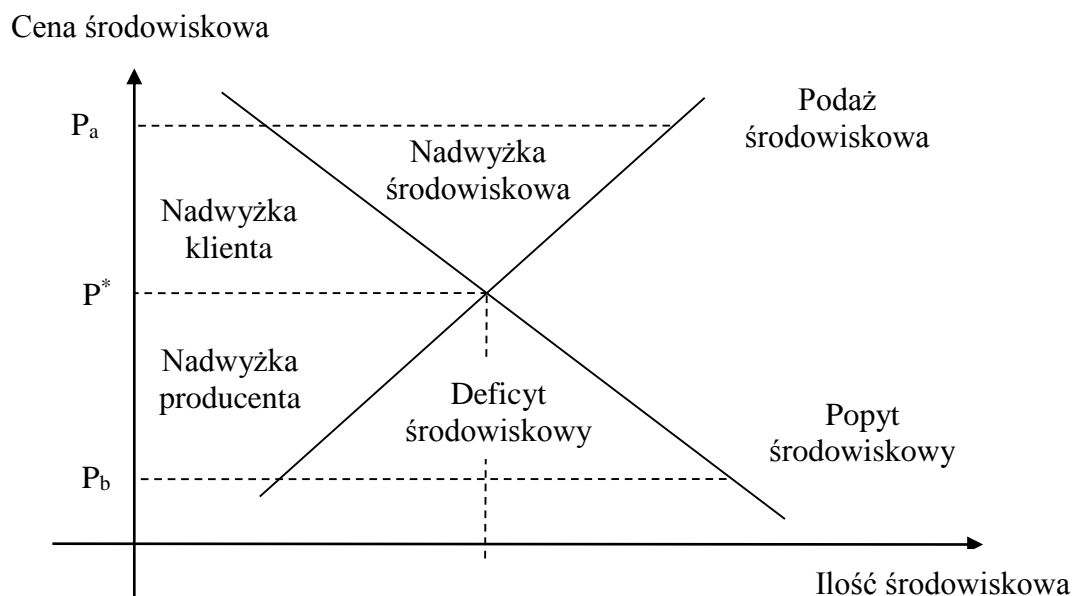
- 15% będzie bazować na wielkości emisji CO₂ w stosunku do tony wyprodukowanych opakowań,
- 15% będzie bazować na wartości materiałów, z których zostały wyprodukowane,
- 15% będzie bazować na wskaźniku produkt/opakowanie(w jakim stopniu wartość opakowania przekłada się na wartość produktu),
- 15% będzie bazować na wykorzystaniu przestrzeni magazynowej (ang. cube utilization),

- 10% będzie odnosić się do transportu (dostosowania opakowań do wymogów transportowych pod względem wagi, wytrzymałości, wielkości itp.),
- 10% będzie odnosić się do ilości odzyskanych surowców (w jakim stopniu można odzyskać surowce z zużytego opakowania),
- 10% będzie bazować na wartości odzyskanej (jaka jest wartość odzyskanych surowców w stosunku do wartości materiałów wykorzystanych do produkcji opakowania),
- 5% będzie odnosić się do odzyskanej energii wykorzystywanej w trakcie procesu produkcji,
- 5% będzie zależne od współczynnika innowacyjności danego rozwiązania (wartość współczynnika jest oceną ekspercką przedstawicieli koncernu służącą do porównania danego opakowania z innymi opakowaniami wykorzystywanymi przez pozostałych kontrahentów).

Prace nad wdrożeniem opisanej ekologicznej karty opakowań rozpoczęły się w 3 kwartale 2007 roku. Celem wprowadzenia takiej karty było zmniejszenie zużycia opakowań WalMart o 5 procent do roku 2013. Dotychczasowo ogłoszone przez korporację rezultaty to między innymi: zmniejszenie wolumenu zużytych opasek plastikowych w segmencie zabawek o więcej niż 300 000 km, wykorzystanie opakowań obuwniczych wykonanych z odzyskanych surowców, co pozwoliło zaoszczędzić ok 2,5 tysiąca ton papieru.

3.2.4 Model ekonomiczno-ekologicznego bilansu

W literaturze przedmiotu można znaleźć kilka przykładów teoretycznych modeli oceny rozwoju przedsiębiorstwa uwzględniające przy tym jednocześnie kwestie ekonomiczne i ekologiczne. Modelem najlepiej obrazującym to założenie jest zaproponowany przez F. Halcona [2012] model ekonomiczno-ekologicznego bilansu używanego do analizy problemów zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw. Autor tego modelu zasugerował, że zrównoważony rozwój przedsiębiorstwa powinien bazować, podobnie jak większość zależności ekonomicznych, na teorii równowagi. Tradycyjny model równowagi popytu i podaży na rynku, zakłada że czynnikiem decydującym jest cena, wszelkie inne nie wpływają na równowagę (*Ceteris Paribus*). W zależności od ustalonej przez przedsiębiorstwo ceny produktu, wolumen sprzedaży rośnie lub maleje. W modelu ekonomiczno-ekologicznego bilansu z założenia czynniki cenowe nie mogły być postrzegane jako kluczowe. Tradycyjny model rozszerzono tym samym o czynniki ekologiczne. Graficzna ilustracja modelu została przedstawiona na Rys. 3-6.



Rys. 3-6 Równowaga rynkowa modelu ekonomiczno-ekologicznego

Źródło: [Halcon 2012]

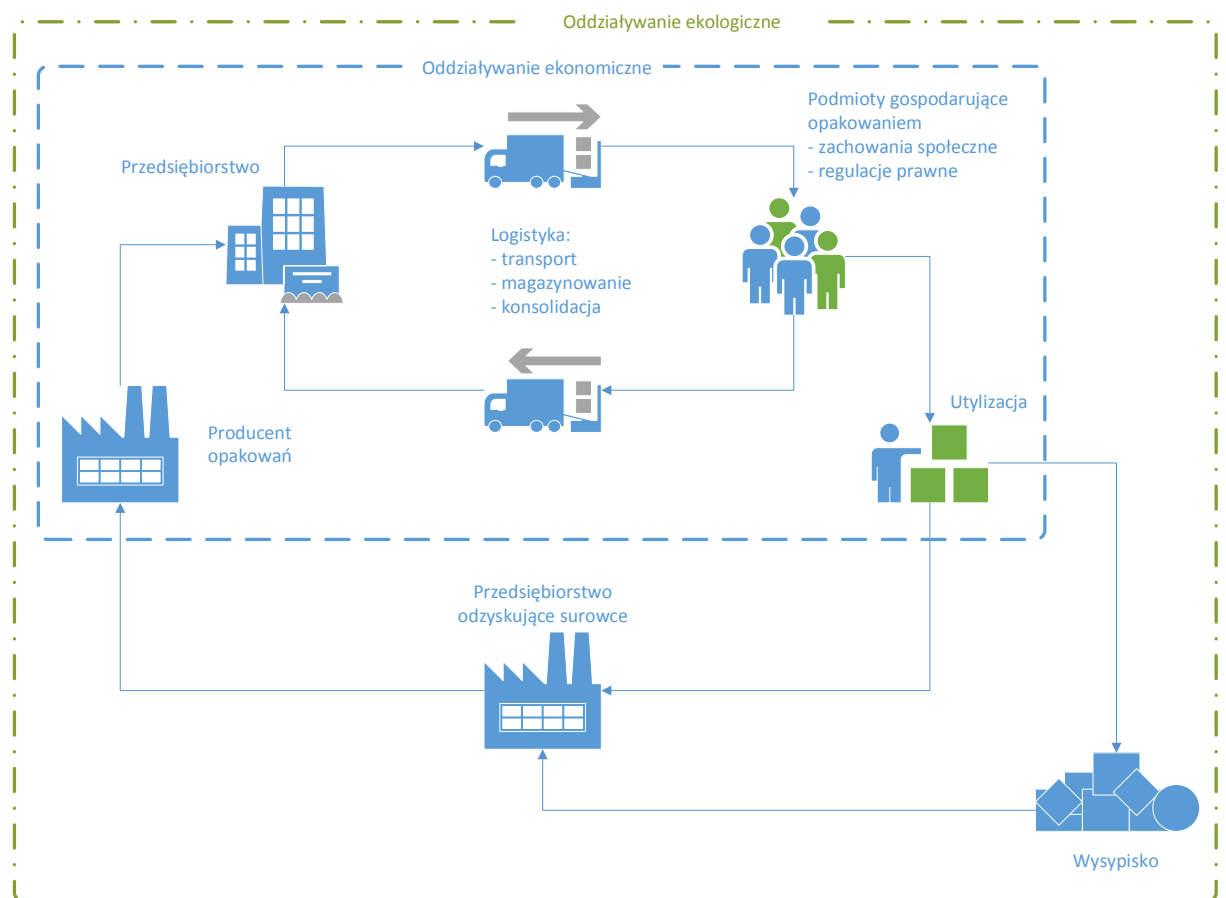
Model zaproponowany przez Halcona zakładał, że równowaga rynkowa nie jest wyłącznie zależna od ceny, ale również od oddziaływania na środowisko kupowanych przez konsumentów dóbr. W przypadku gdy cena produktu P zostałaby obniżona poniżej P^* , wtedy konsumenci kupowaliby więcej produktów, których koszty wytworzenia musiałyby spaść, przypuszczalnie zmniejszając tym samym nakłady firmy na produkcję przyjazną środowisku. W ten sposób powstałby deficyt środowiskowy wyrażony jako brak środków na przeciwdziałanie niszczeniu otoczenia człowieka. Halcon w swoich publikacjach wyszczególnił ponadto cały szereg konkretnych czynników, które ulegały zmianie w momencie gdy równowaga rynkowa została zachwiana. Dla potrzeb niniejszej pracy nie mają one jednak większego zastosowania dlatego zrezygnowano z ich szczegółowego opisu.

Pomimo, że model równowagi ekonomiczno-ekologicznej może wydawać się mocno uproszczony, jest modelem ilustrującym niewątpliwie trend, w którym próbowano pogodzić ekonomię z ekologią opracowując model teoretyczny łączący oba czynniki jednocześnie. Podjęta próba ponadto bazowała na prostej zasadzie ekonomicznej równowagi rynkowej poszerzonej o czynniki zewnętrzne. W kontekście niniejszego tekstu model ten stanowił podstawę rozważań nad równowagą elementów ekonomii i oddziaływań środowiskowych w modelu RUPSim, w którym rolę oddziaływań ekologicznych, podobnie jak u Halcona, zamodelowano jako syntetyczny wskaźnik odzwierciedlający siłę oddziaływań ekologicznych.

3.3 Autorski model symulacyjny RUPSim

Opisywane w 2 rozdziale niniejszej pracy modele symulacyjne w większości koncentrują się wyłącznie na aspektach kosztowej efektywności wykorzystania opakowań zwrotnych. Ponadto zakładają, że podmiot, który otrzymał opakowany produkt zawsze będzie dążył do zwrotu opakowania, co niekoniecznie musi mieć przełożenie w rzeczywistości. W celu uzyskania kompleksowych wyników dotyczących ekonomicznych i ekologicznych aspektów wprowadzania opakowań zwrotnych został zaproponowany autorski model logistyki zwrotnej RUPSim. Bazuje on na metodyce zaproponowanej w podrozdziale 4.1.1.

W modelu starano się uwzględnić zarówno ekonomiczne jak i ekologiczne aspekty przepływów opakowań zwrotnych. Wydzielenie obszarów, na które oddziałują jedne i drugie przedstawiono na rys. 3-7. Można zauważyć, że ekonomiczny wpływ na przedsiębiorstwo wywierają głównie podmioty z jego najbliższego otoczenia, ogólny wpływ środowiskowy natomiast rozciąga się znacznie dalej, obejmując instytucje, które bezpośrednio nie współpracują z danym przedsiębiorstwem.



Rys. 3-7 Ekonomiczny i ekologiczny zakres przepływów w modelu RUPSim

Źródło: opracowanie własne

W dalszej części rozdziału, w której model ten został opisany, często wykorzystuje się słowo „użytkownik”. Termin ten odnosi się do osoby definiującej i wprowadzającej początkowe wartości poszczególnych parametrów do systemu. Użytkownikiem może być badacz lub specjalista z danego obszaru, którego doświadczenie pozwala na taki dobór wartości parametrów, który najlepiej opisuje modelowaną rzeczywistość.

Z punktu widzenia klasyfikacji modeli symulacyjnych przedstawionej w rozdziale 2.2, model RUPSim jest modelem stochastycznym (korzystającym z generatorów liczb pseudolosowych) o czasie dyskretnym. Biorąc pod uwagę kryterium danych jest modelem o statycznych danych wejściowych i wyjściowych. Do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych z wykorzystaniem danego modelu wystarcza moc obliczeniowa współczesnych komputerów osobistych, dlatego lokalizacyjnie można tutaj mówić o symulacjach scentralizowanych lokalnie.

3.3.1 Cele badawcze a model

Poszczególne cele badawcze, które chciano zrealizować, w naturalny sposób przekładają się na scenariusze symulacji. Za pomocą prowadzonych symulacji starano się odpowiedzieć na wynikające z postawionych hipotez pytania odnoszące się do wpływu poszczególnych parametrów systemu zarówno na koszty jednostkowe wprowadzanych opakowań jak również na wskaźniki środowiskowe, będące syntetycznym przekładem wpływu danego rodzaju opakowań na ekologię. Parametry które wzięto pod uwagę to:

- postawa konsumentów względem wykorzystania opakowania,
- gęstość zaludnienia przekładająca się na dostęp do miejsc zwrotu,
- skłonność punktów zwrotu do przyjęcia opakowania zwrotnego,
- liczbę pośrednich podmiotów łańcucha dostaw, przez które następuje przepływ opakowań zwrotnych.

Model RUPSim pozwala na eksperymentalne wyliczanie całkowitego kosztu jaki ponosi przedsiębiorstwo wynikające z obsługi systemu opakowań zwrotnych, w odniesieniu od przyjętych parametrów wejściowych. Główną motywacją do opracowania 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, co w naturalny sposób przełoży się na koszty obsługi logistycznej zwiększonych przepływów) przedsiębiorstwo osiągnie przewidywane

korzyści. Ponadto model umożliwia porównanie obciążenia dla ekologii wynikającego z zastosowania poszczególnych typów opakowań przez przedsiębiorstwo. Dzięki temu możliwa staje się kompleksowa ewaluacja decyzji podejmowanych w odniesieniu do wyboru konkretnego rodzaju opakowań, co wpisuje się w obecne trendy w zarządzaniu, kładące silny nacisk na zrównoważony rozwój przedsiębiorstw. Dzięki wyszczególnieniu parametrów globalnych, odzwierciedlających warunki funkcjonowania przedsiębiorstwa możliwe jest wykorzystanie modelu nie tylko w przypadku branży piwowarskiej ale również w innych, charakteryzujących się podobnymi cechami.

3.3.2 Założenia i parametry modelu

Jak każdy teoretyczny model, tak i RUPSim bazuje na zbiorze założeń ograniczających zbiór opisanych w dalszej części rozdziału zmiennych odzwierciedlających rzeczywistość. Kluczową rolę w modelu odgrywają zmienne zachowania klientów podejmujących decyzję o zwrocie opakowań, ich utylizacji lub innym zagospodarowaniu. Ponadto uwzględniono łańcuch dostaw składający się z N podmiotów, będących względem siebie dostawcami i odbiorcami zużytych opakowań. Zaproponowany model został zaprojektowany bazując na realiach branży piwowarskiej, w szczególności w kontekście obrotu butelkami zwrotnymi. Zastosowane w modelu parametry zdefiniowano na wysokim poziomie ogólności, aby możliwe było jego wykorzystanie również w innych warunkach czy branżach. Model bazuje na szeregu założeń opisanych poniżej. Wszystkie wspomniane w założeniach parametry zostały wyczerpująco opisane w dalszej części rozdziału.

Rzeczywisty proces decyzji konsumpcyjnych jest niezwykle trudny do zamodelowania, jednakże w celu zbadania systemu zwrotu opakowań musiał on zostać zamodelowany według pewnego schematu. Zakłada się zatem, że jedynym kryterium, które konsumenci biorą pod uwagę jest rodzaj opakowania produktu który nabywają. Model nie przewiduje sytuacji, w której konsument decyduje się na zakup danego produktu wyłącznie w oparciu o cenę lub kombinacji cenowo-opakowaniowych. Preferencje te wyrażone zostały przez parametr skłonności do kupna towaru w opakowaniu zwrotnym (SKZ). Parametr ten wyrażony jest w wartościach procentowych od 0 do 100%. W trakcie trwania symulacji ulega on sukcesywnej zmianie na podstawie wyniku wcześniejszych iteracji systemu. Jeśli podmiot uzyskał wymaganą przez siebie korzyść, wtedy jego skłonność do oddania kolejnych opakowań zostaje zwiększona. W innym przypadku, jeśli nakłady na oddanie opakowania przewyższyły uzyskane korzyści, parametr zostanie odpowiednio obniżony. Ponadto zakłada się, że konsument

użytkuje opakowanie zgodnie z jego przeznaczeniem, nie powodując tym samym nieodwracalnych uszkodzeń, które mogłyby dyskwalifikować takie opakowanie w kontekście zwrotu (przykładowo nie przemaluje opakowania w celu utworzenia dekoracji artystycznej itp.).

Na podstawie analizowanej literatury [Zalejski i Faszczewska 2012; Witek 2008; Hajdu i inni 2007] wyróżniono 3 postawy konsumentów wobec nabywanych produktów, które w naturalny sposób determinują ich sposób podejmowania decyzji. W modelu zaimplementowano 3 procedury postępowania z opakowaniem wynikające z jednej z następujących postaw konsumenta: obojętnej, ekologicznej, i ekonomicznej. Poszczególne postawy i wiążące się z nimi procedury podejmowania decyzji zostały opisane w dalszej części niniejszego rozdziału.

W trakcie jednej symulacji pojedynczy konsument zużywa 200 opakowań. Liczba ta zdeterminowana jest rzeczywistymi danymi. Według danych GUS, w 2012 roku statystyczny Polak skonsumował 98 litrów piwa. Wychodząc z założenia że każdy litr napoju wymaga zużycia 2 półlitrowych opakowań (będące najczęściej występującym opakowaniem), liczba 200 oddaje uśredniony stan konsumpcji piwa przypadający na jednego obywatela w Polsce. Zaokrąglenie wprowadzono dla uproszczenia obliczeń, nic nie stoi jednak na przeszkodzie aby zdefiniować wartości parametrów systemu na innym poziomie.

Każda symulacja modelu RUPSim przeprowadzana jest zawsze na takiej samej liczbie jednostek czasu. Z tego wynika, że każda jednostkowa konsumpcja produktu i zagospodarowania opakowania odbywa się w jednej jednostce czasu, ponieważ każda iteracja konsumpcji produktu i podjęcie decyzji o jego przetworzeniu odbywa się w jednej jednostce czasu, podczas gdy liczba zagospodarowywanych opakowań pozostaje taka sama. Alternatywnym sposobem zamodelowania konsumpcji mogło być przyjęcie stałej liczby jednostek czasu, przykładowo 365 jako odpowiednik roku kalendarzowego, i na podstawie statystycznej dystrybucji konsumpcji piwa w Polsce ustalać losowy poziom konsumpcji. Podejście to pozwoliłoby na symulacje uwzględniającą poszczególne grupy konsumentów piwa, wprowadziłoby natomiast kolejne zależności losowe. Ze względu na to, że zbyt duża liczba losowych parametrów czyni model mało przydatnym, zdecydowano się na wykorzystanie pierwszego podejścia. Zjawiska losowe zawsze powodują zaciemnienie wyników tj. wraz ze wzrostem wykorzystania elementów losowych wzrasta wartość odchylenia standardowego.

Kolejne założenie dotyczy kalkulacji kosztów. W modelu zakłada się, że koszty wynikające z przewozu zwrotów obliczane są wyłącznie na podstawie odległości pomiędzy poszczególnymi ogniwami. Z założenia do fizycznych przesunięć zużytych opakowań dochodzi wyłącznie w momencie, gdy zapelniona zostanie jednostka logistyczna odpowiadająca danemu poziomowi w łańcuchu dostaw. Przykładowo może to być skrzynka do transportu butelek w przypadku przewozów pomiędzy detalistą a hurtownikiem. Odnosząc się do modeli opisanych w rozdziale 2 (patrz 2.3.3), które wykazały, że koszty transportu w logistyce zwrotnej nie odgrywają kluczowej roli można stwierdzić, że uzasadnione mogłoby być całkowite wykluczenie parametru kosztów transportu. Uznano jednak, że warto zbadać zachowanie kosztów transportu w przypadku systemu zwrotu opakowań zwrotnych niezależnie od wyników przedstawianych w literaturze. Podjęte badanie uzasadnia się różnicami w modelowanych systemach, w których kładziono nacisk na inne aspekty symulowanej rzeczywistości.

Model RUPSim został opracowany zgodnie z przyjętymi zasadami opracowania modelu symulacyjnego. Składa się on z grupy parametrów oddziałujących na siebie wzajemnie. Wśród nich zdefiniowano te, które ulegają zmianie w trakcie symulacji, jak i te które pozostają bez zmian. Ponadto dokonano podziału na parametry odnoszące się do całego systemu (parametry globalne) i te, które są charakterystyczne dla poszczególnych jego elementów (parametry indywidualne). Stałe parametry globalne najczęściej są bezpośrednią parametryzacją modelowanej rzeczywistości. Definiuje się je przed przeprowadzeniem symulacji na podstawie wiedzy o modelowanym systemie. Zmienne parametry globalne pełnią rolę liczników, czyli parametrów, które ulegają modyfikacji w trakcie symulacji pozwalając na zbieranie zagregowanych wartości. Indywidualne parametry stałe, podobnie jak stałe parametry globalne, określają cechy pojedynczych klientów. Zmienne parametry indywidualne są natomiast reprezentacją zmieniających się preferencji wynikających z wyniku kolejnych iteracji eksperymentu symulacyjnego. Zbiorcza prezentacja parametrów modelu RUPSim została zamieszczona w Tab. 3-1.

Skrót	Nazwa	Typ	Rodzaj
<i>SKZ</i>	skłonność klienta do zakupu produktu w opakowaniu zwrotnym	Zmienny	Indywidualny
<i>SKO</i>	skłonność klienta do oddania opakowania		
<i>SKR</i>	skłonność klienta do recydingu		
<i>WE</i>	wskaźnik efektów ekonomicznych dla klienta	Stały	
<i>Sn</i>	strategia zachowań klienta		
<i>SPZ</i>	skłonność przyjęcia zwrotu		
<i>WK</i>	współczynnik wytrzymałości opakowania	Stały	Globalny
<i>CRC</i>	koszt opakowania zwrotnego		
<i>CNC</i>	koszt opakowania jednorazowego		
<i>ERC</i>	oddziaływanie ekologiczne opakowania zwrotnego		
<i>ENC</i>	oddziaływanie ekologiczne opakowania jednorazowego		
<i>Cn</i>	liczba konsumentów w systemie		
<i>Rn</i>	liczba punktów przyjmujących zwroty		
<i>OCC</i>	całkowity koszt opakowań w systemie	Zmienny	
<i>ECC</i>	całkowite oddziaływanie ekologiczne (indeks środowiskowy)		

Tab. 3-1 Parametry modelu RUPSim

Źródło: opracowanie własne

Jednym z najistotniejszych parametrów modelu, wpływającym na wartości innych, jest parametr określający strategię zachowań klientów (*Sn*). Jak wspomniano wcześniej, każdy klient występujący w modelu działa zgodnie z jednym z 3 wyróżnionych wzorców zachowań nazwanego dla potrzeb niniejszej pracy strategią działania klienta. Strategie te różnicują między innymi wartości parametrów wyrażających skłonności konsumentów do oddania opakowania

(SKO). Poniżej opisano modele poszczególnych strategii działania. Zakłada się, że sama strategia postępowania klienta nie ulega zmianie w trakcie trwania pojedynczej symulacji. Założenie to wynika ze stosunkowo małej tendencji do zmienności ideologii wśród ludzi w okresie jednego roku. Przyjęto, że sama skłonność (SKO) klienta może się zmieniać w trakcie trwania jednej symulacji, nie wpływa to jednak na przyjęty przez niego wzorzec zachowań. Poszczególne strategie opisano w dalszej części niniejszego rozdziału (por. 3.3.3).

Każdy element systemu scharakteryzowany jest ponadto 2 parametrami lokalizacyjnymi. W symulacji przewidziano, że wszystkie elementy znajdują się w 2-wymiarowej przestrzeni. Długość i szerokość tej przestrzeni definiowana jest przez użytkownika. Dostępna przestrzeń reprezentuje obszar geograficzny, dla którego przeprowadzana jest symulacja. W celu uproszczenia modelu przyjęto, że cała przestrzeń jest dostępna dla elementów systemu. Oznacza to, że żadne pole nie jest zablokowane z jakiegokolwiek powodu. Ponadto klienci mogą poruszać się po zamodelowanej przestrzeni bez przeszkód. Rzeczywiste odwzorowanie układów geograficznych wymagałoby zdefiniowania dla każdego pola dodatkowego parametru oznaczającego, czy dane pole nadaje się do poruszania, czy nie. Dodanie takiego parametru pozwoliłoby na reprezentację obiektów rzeczywistych blokujących przejścia, jak również dróg czy chodników, po których konsumenci mogliby się przemieszczać. Rozwinięcie tego typu zaproponowano jako kontynuację badań poruszanej tematyki (por. 4.3).

Skłonność klienta do oddania opakowania reprezentuje procentową szansę z jaką konkretny klient zwróci opakowanie. Od wartości tego parametru zależy, czy konsument będzie starał się działać proekologicznie (podejmując próby zwrotu opakowania), czy też wyrzuci opakowanie do odpadów nieposortowanych. Parametr ten zależny jest pierwotnie od strategii zachowań klientów (S_n), w trakcie symulacji ulega zmianie w zależności od wyniku poprzednich prób oddania zużytego opakowania w najbliższym punkcie odbioru opakowań. Pierwotna wartość parametru ustalana jest zgodnie z (1), gdzie SKO przyjmuje wartości zdefiniowane jako x , y lub z dla poszczególnych strategii zachowań klientów S_n . Następnie po każdej iteracji parametr SKO' obliczany jest za pomocą (2) w zależności od tego, czy klientowi udało się zwrócić opakowanie czy nie ($sukces_zwrotu = 1$ lub 0).

$$\begin{cases} SKO = x \Leftrightarrow Sn = 1 \\ SKO = y \Leftrightarrow Sn = 2 \\ SKO = z \Leftrightarrow Sn = 3 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} SKO' = SKO * (1 + WZO) \Leftrightarrow sukces_zwrotu = 1 \\ SKO' = SKO * (1 - WZO) \Leftrightarrow sukces_zwrotu = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Wskaźnik efektów ekonomicznych dla klienta (WE) – uwzględnia koszty i zyski wynikające z uczestnictwa w procesie zwrotu opakowania. Określa ile pól w przestrzeni jest w stanie przebyć dany konsument w celu zwrotu opakowania. W zależności od przyjętej strategii $WE \in (0, \infty)$. Dla strategii wygodnej wskaźnik ten zawsze równy będzie 0, a konsument przemieści się tylko do pierwszego, najbliższego punktu odbioru opakowań. Dla pozostałych strategii wartość parametru definiowana jest przez symulującego.

Współczynnik wytrzymałości opakowań (WK) wyrażony jest w wartościach $WK \in (0, 1)$ i oznacza prawdopodobieństwo zniszczenia opakowania zwrotnego podczas procesów transportu i przystosowania do ponownego użycia. Zgodnie ze statystyką branży według której ok 10% opakowań zwróconych jest uszkodzonych, przyjęto współczynnik wyliczany jako $0,05 + (0,03 * N)$. W zależności od liczby pośredników opakowanie jest bardziej narażone na uszkodzenia które mogą nastąpić w procesach magazynowania lub tranposrtu w każdym ogniwie łańcucha dostaw.

Współczynnik liczby konsumentów (Cn) w systemie jest dodatnią liczbą naturalną. Liczba konsumentów jest parametrem definiowalnym przez użytkownika i zależy głównie od modelowanej rzeczywistości. Podczas przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych przyjęto $Cn = 1000$, odwzorowując często stosowaną w statystyce liczebność reprezentatywnej próby w kontekście kraju. Konsumentów w symulacji podzielono proporcjonalnie na grupy konsumenckie różniące się od siebie dominującą strategią działania. Procentowy udział poszczególnych grup w całej populacji zależny jest od odwzorowywanej rzeczywistości i wprowadzany jest przez użytkownika.

Liczba miejsc zwrotu opakowań (Rn) określa ile punktów zwrotu znajduje się w przestrzeni systemu. Dla potrzeb symulacji przyjęto $Rn = 4$. Liczba ta wynika z założenia, że głównym odbiorcą opakowań zwrotnych po produktach spożywczych są sklepy detaliczne, których liczba w polsce wynosi ok. 85000[GUS 2012]. Przy takiej ilości sklepów, na każdy sklep detaliczny przypada ok. 280 Polaków w wieku pozwalającym na konsumpcję napojów alkoholowych zatem dla ustalonej wielkości próby, liczba punktów zwrotu opakowań będzie

wynosić ok 4. W Polsce zauważalny jest ciągły spadek liczby tradycyjnie rozumianych detalicznych sklepów ogólnospożywczych na rzecz wielkopowierzchniowych placówek dużych sieci handlowych. Z tego powodu, w przeciągu następnych kilku lat najprawdopodobniej zmieni się struktura odbiorów opakowań zwrotnych, w której coraz większą rolę zaczną odgrywać automaty umożliwiające zwrot zużytych opakowań wielokrotnego użytku. Taką tendencję obserwuje się między innymi w Niemczech, gdzie system zwrotów jest bardzo rozwinięty. W ujęciu modelowym nie ma to większego znaczenia, dopóki jednostkowe przełożenie liczby punktów zwrotów na jednego mieszkańca pozostanie bez zmian.

Współczynniki zbiorcze OCC i ECC służą jako jeden z mierników porównawczych pomiędzy poszczególnymi przeprowadzanymi symulacjami. Są one modyfikowane w trakcie trwania symulacji po przeprowadzeniu każdej iteracji.

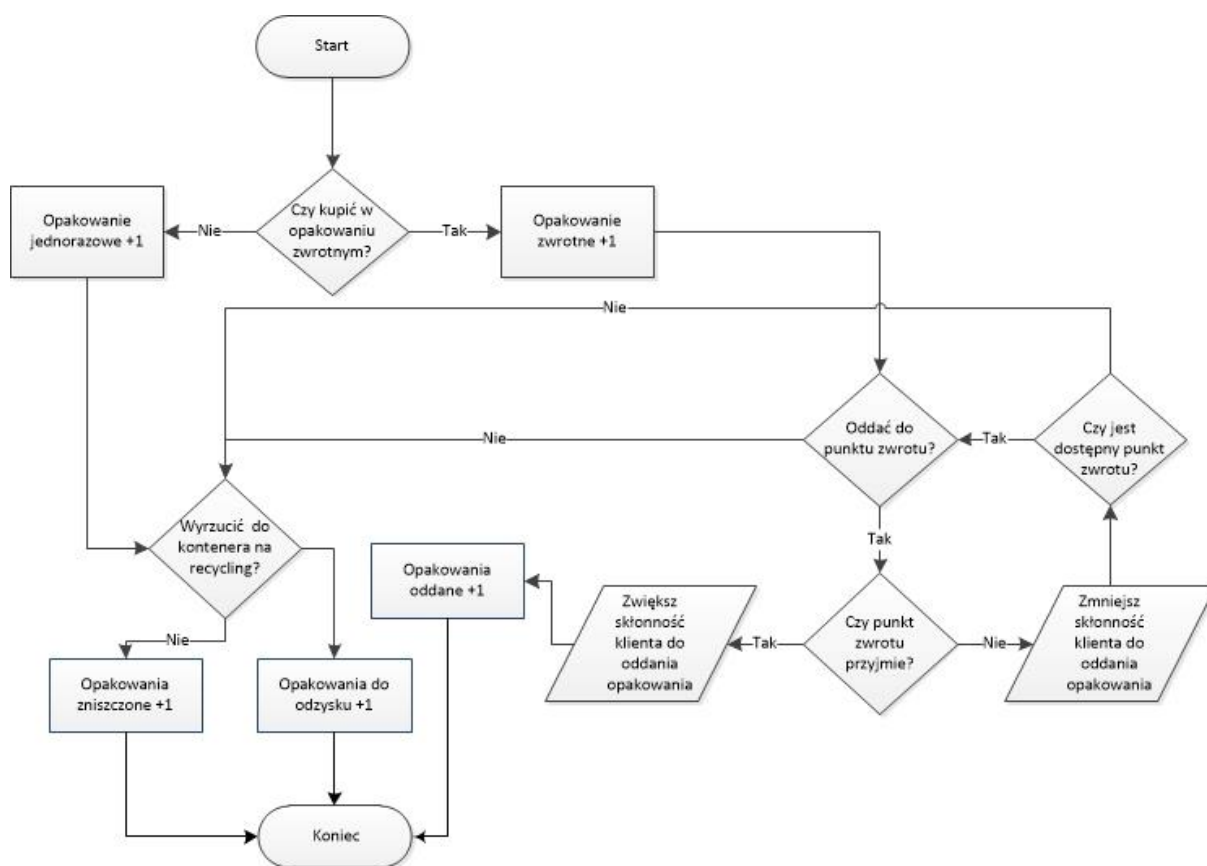
Współczynnik OCC odzwierciedla, jak można się domyślić, wartość kosztów całkowitych w całym symulowanym systemie. Jest on sumą wszystkich kosztów wynikający z obsługi zarówno opakowań jednostkowych (ich zakupu i utylizacji) jak i wielokrotnego użytku (zakupu, odzysku, przystosowania do ponownego użycia i utylizacji).

ECC (indeks środowiskowy) został wprowadzony w celu odzwierciedlenia efektów środowiskowych poszczególnych wariantów opakowań. Przyjmuje on wartości od 0 do 12 i został wyznaczony na podstawie analizy porównawczej LCA (patrz 3.2.2) pomiędzy butelkami jednorazowymi i wielokrotnego użytku, przeprowadzonej przez T. Matę i C. Costę [Mata, Costa 2001]. W przeprowadzonym badaniu, autorzy porównali wpływ na ekologię stosowania różnych kombinacji odsetka wprowadzanych butelek jednorazowych i wielokrotnego użytku. Przeprowadzili oni badanie biorąc pod uwagę 12 parametrów środowiskowych (między innymi emisji szkodliwych gazów, zanieczyszczenia wód, czy powstawania odpadów). Uzyskane przez nich wyniki zostały znormalizowane do skali 0-1, a następnie przekształcone w zbiorczy, syntetyczny miernik jakim jest indeks środowiskowy. Ważnym jest aby poprawnie zinterpretować wartość indeksu środowiskowego. Indeks ten wyznacza potencjalny wpływ na środowisko wynikający z zastosowania butelek wielokrotnego użytku. Przykładowo wartość 12 oznacza, że zakupiona liczba butelek zwrotnych ma zdecydowanie mniejszy negatywny wpływ na środowisko niż zakupione w tym samym czasie butelki jednorazowe. Fakt ten może wynikać albo z bardzo małej liczby zakupionych butelek zwrotnych, albo z dużej liczby odzyskanych z systemu i wykorzystanych powtórnie. Optymalna z punktu widzenia ekologii wartość ECC oscyluje pomiędzy wartością 6 a 8.

3.3.3 Wzorce zachowań modelowanych konsumentów

Jak wspomniano w poprzedniej części rozdziału, każdy konsument w modelowanej rzeczywistości ma przypisaną strategię działania, według której postępuje w trakcie trwania eksperymentu. Poszczególne wzorce zachowań różnicują logikę, którą kierować się będą konsumenci w modelu RUPSim. W modelu wyróżnia się 3 rodzaje strategii: ekologiczną, ekonomiczną i wygodną. W zależności od poszczególnych strategii, klienci będą nie tylko postępować według różnych wzorców, ale także otrzymają różne parametry wejściowe symulacji.

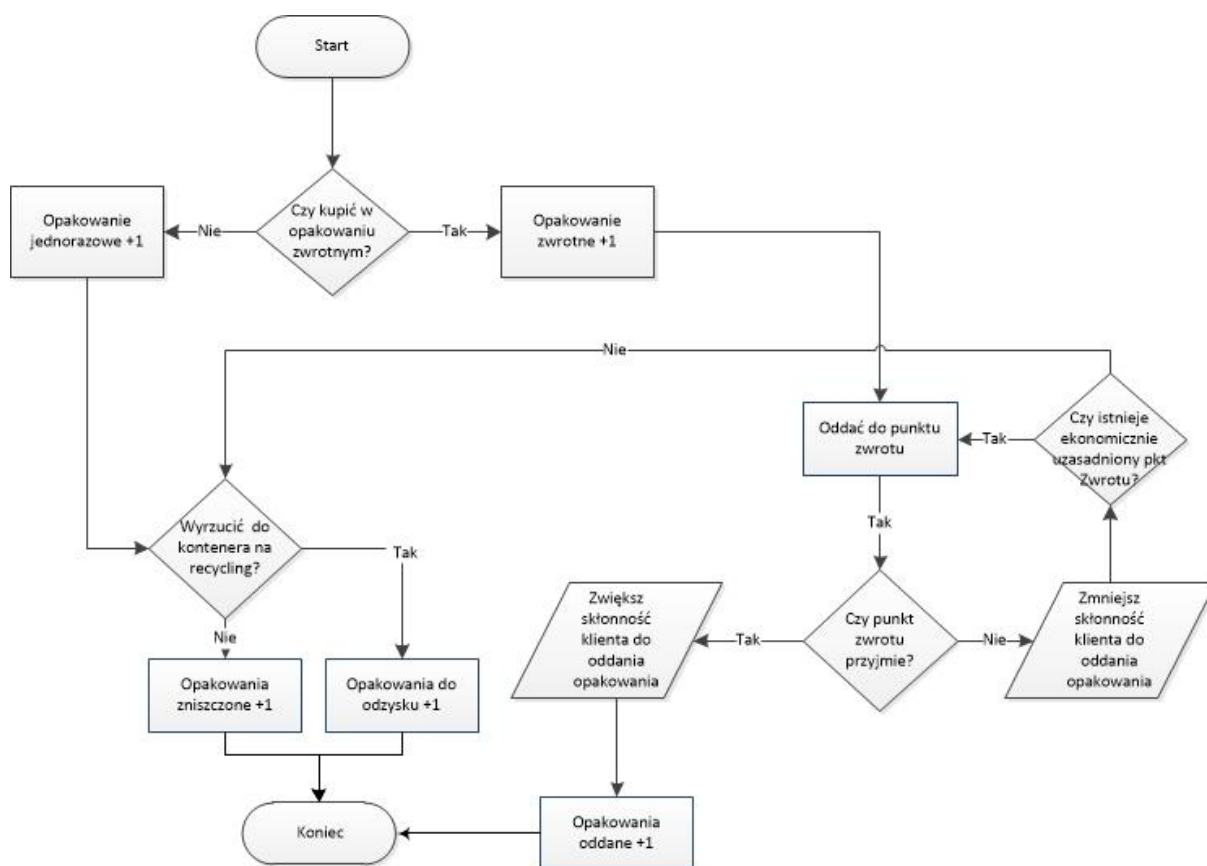
Strategia ekologiczna to wzorec zachowań klientów, dla których czynniki środowiskowe są najważniejsze. Klienci postępujący zgodnie z tą strategią będą starali się zagospodarować opakowanie w najbardziej ekologiczny sposób, nawet jeśli część prób zagospodarowania zakończy się niepowodzeniem. Charakterystycznymi cechami dla tej strategii jest wysoki poziom skłonności do oddania opakowania i praktycznie zerowy wpływ niepowodzeń na ten parametr. Wyższy poziom udziału klientów postępujących zgodnie z tą strategią występuje w krajach, czy obszarach dobrze rozwiniętych, w których świadomość ekologiczna społeczeństwa jest na wysokim poziomie. Schemat postępowania dla klientów postępujących zgodnie z tym wzorcem został przedstawiony na Rys. 3-8. Wzrost procentowego udziału tej grupy konsumentów w całości populacji powinien pozytywnie wpływać na opłacalność wykorzystania opakowań wielokrotnego użytku.



Rys. 3-8 Schemat postępowania klienta w strategii ekologicznej

Źródło: opracowanie własne

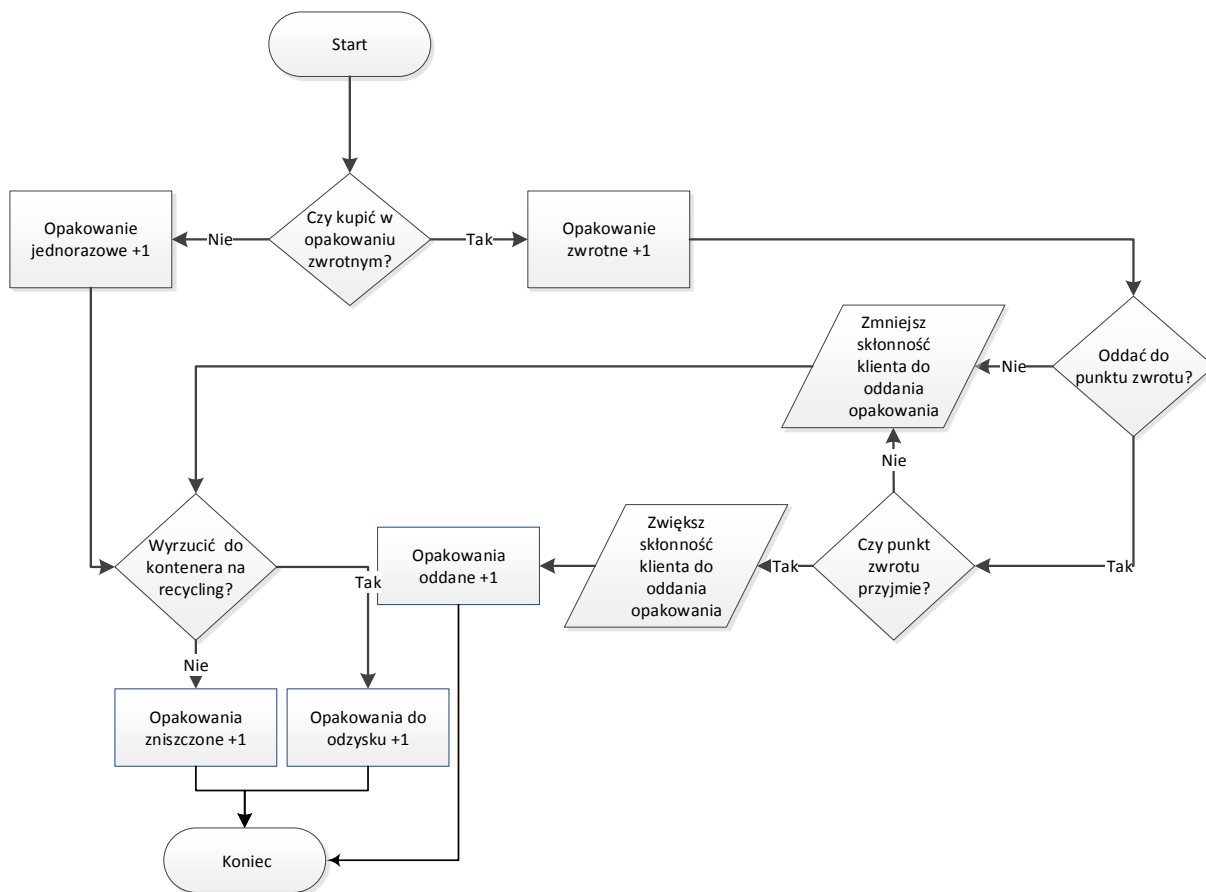
Drugim możliwym schematem postępowania jest *strategia ekonomiczna*. Klienci postępujący zgodnie z nią będą skłonni oddać opakowanie zwrotne, w momencie gdy będzie to dla nich opłacalne w rozumieniu ekonomicznym. Będą oni zatem próbowali oddać opakowanie, dopóki koszty związane z jego oddaniem będą niższe niż korzyści z niego wynikające. W modelu RUPSim, konsument postępujący w sposób ekonomiczny będzie starał się oddać opakowanie w sytuacji, w której punkt odbioru opakowań będzie bliżej niż n pól od pozycji wyjściowej konsumenta. Zależność ta oznacza, że koszty, które musiałby ponieść konsument przemieszczając się o $n+1$ pól będą wyższe niż korzyści wynikające ze zwrotu opakowania. Wartość zmiennej n wynika z parametru WE zdefiniowanych dla symulacji. W rzeczywistości tego typu zachowania można zauważyć szczególnie wśród osób, w przypadku których miejsce zamieszkania jest znacząco oddalone od miejsca odbioru opakowania zwrotnego. Logika klientów prezentujących tą strategię została zilustrowana na Rys. 3-9.



Rys. 3-9 Schemat postępowania klienta w strategii ekonomicznej

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim rodzajem strategii jest *strategia wygodna*. W tym przypadku klienci próbują oddać opakowanie, ale w przypadku niepowodzenia zrezygnują z dalszych prób zwrotu opakowania. W tym przypadku klient stwierdza, że jest skłonny oddać opakowanie tylko i wyłącznie w sytuacji, w której punkt odbioru znajduje się w placówce, w której zwyczajowo zaopatruje się w towary. W innym przypadku klient nie będzie skłonny do oddania opakowania i zwróci się ku najbliższemu kontenerowi na opakowania nadające się do odzysku lub pozbędzie się odpadu umieszczając go w pojemniku na śmieci ogólne. Klienci postępujący z tą strategią postępują według uproszczonego schematu decyzyjnego przedstawionego na Rys. 3-10.



Rys. 3-10 Schemat postępowania klienta w strategii wygodnej

Źródło: opracowanie własne

W modelu RUPSim nie uwzględnia się sytuacji, w której klienci wykazują skrajny poziom ignorancji i nie biorą pod uwagę zarówno aspektów ekologicznych jak i ekonomicznych. Taka postawa powoduje, że klient po prostu wyrzuca opakowanie do ogólnych odpadów. Taka sytuacja zawsze będzie wykazywać wyższość opakowań jednorazowych nad opakowaniami wielokrotnego użytku. Postawa tego typu może występować przede wszystkim wśród konsumentów, którzy kupują towary poza własnym miejscem zamieszkania np. W trakcie urlopu. Oczywiście jest, że dla obszarów, w których społeczeństwo w ogóle nie wykazuje chęci oddania opakowania, wdrożenie opakowań wielokrotnego użytku nigdy nie będzie opłacalne ani z ekonomicznego, ani ekologicznego punktu widzenia.

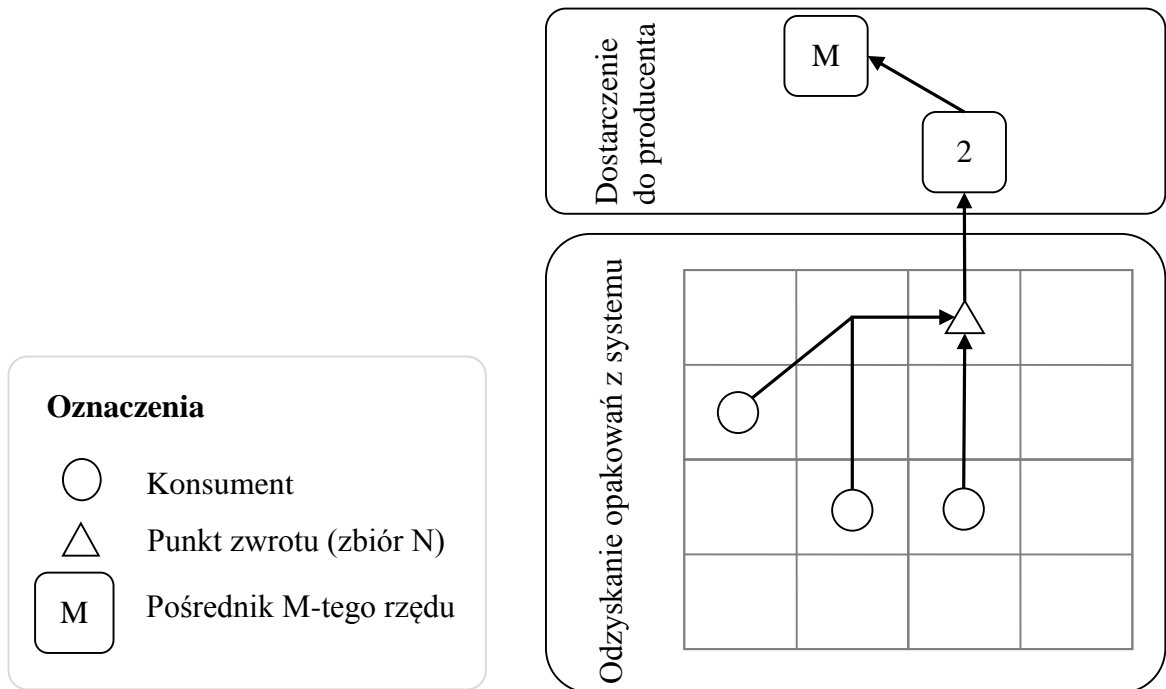
Wyjątkiem mogłaby okazać się sytuacja, w której odzysk opakowań wielokrotnego użytku, zależałby od innych czynników. Przykładem uwarunkowań, w których odzysk zależy od innych czynników, jest ich zbiórka i zwrot przez osoby, które ze względu na brak środków do życia decydują się zbierać porzucone przez innych opakowania, dzięki czemu mają możliwość ich sprzedaży jako surowca wtórnego, lub niekiedy odzyskanie wpłaconej kaucji. Zamodelowanie

takiej sytuacji zawężyłoby jednak użyteczność modelu wyłącznie do rynku piwnego, nie pozwalając na jego wykorzystanie w innych branżach.

3.3.4 Odwzorowanie struktury łańcucha dostaw

Oprócz zachowań konsumentów, w modelu RUPSim zaimplementowano również mechanizm odwzorowujący strukturę połączeń pomiędzy przedsiębiorstwami, stanowiącymi ogniwa łańcucha dostaw. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest obliczanie wpływu liczby ogniw i odległości pomiędzy nimi na ogólną efektywność systemu będącego odzwierciedleniem modelowanej rzeczywistości. Zamodelowanie połączeń pomiędzy ogniwami łańcucha dostaw pozwala również na sprawdzenie, czy obecna struktura łańcucha dostaw jest odpowiednia dla zamierzonych celów związanych z zarządzaniem zwrotami, czy też wymagana jest rekonfiguracja istniejącej formy organizacji przepływów pomiędzy przedsiębiorstwami.

W modelu przyjęto, że przedsiębiorstwa reprezentują kilka rzędów odbiorców, numerowanych w odniesieniu do kolejności przepływu opakowań zwrotnych. Symulacyjną reprezentacją przedsiębiorców pierwszego rzędu jest zawsze zbiór N punktów zwrotu, do których konsumenci mogą oddawać zużyte opakowania. Dalsze rzędy stanowią pośrednicy, tacy jak np. hurtownie przyjmujące opakowania od przedsiębiorstw poprzedzającego rzędu. Liczba pośredników w łańcuchu dostaw (M) jest ustalana przez użytkownika i powinna stanowić odzwierciedlenie modelowanej rzeczywistości. Zakłada się że $M \in < 1, \infty$). Ogniwa pośredniczące i ogniwo końcowe mają te same charakterystyki, zatem dla uproszczenia przyjęto, że ostatnie ogniwo M_{max} reprezentuje producenta. W przeciwieństwie do struktury konsumentów i przedsiębiorstw pierwszego rzędu, które mają bezpośrednią reprezentację przestrzeni, pozostałe ogniwa posiadają jedynie informację dotyczącą ich najbliższego pośrednika następnego rzędu oraz odległości do niego. Sytuacja ta została zobrazowana na Rys. 3-11. Podczas budowania modelu założono, że przepływy opakowań zawsze odbywają się sekwencyjnie. Oznacza to, że przedsiębiorstwo M -tego rzędu zawsze będzie oddawać opakowania do przedsiębiorstwa rzędu $M+1$.



Rys. 3-11 Uproszczony schemat organizacji zachowań obiektów w symulacji

Źródło: opracowanie własne

Dzięki rozdzieleniu 2 obszarów modelowanej rzeczywistości, uzyskano efekt modularności eksperymentu symulacyjnego. W momencie gdy użytkownik zechce ograniczyć symulację wyłącznie do obszaru zachowań klienckich, ma możliwość zdefiniowania jednego pośrednika, który zostanie uznany za docelowe przedsiębiorstwo odbierające zużyte opakowania. Wszystkie punkty zwrotu w tym przypadku będą transferować odzyskane z systemu opakowania do tego konkretnego ogniwa, ponieważ będzie ono jedyną zdefiniowaną dla nich opcją. Z praktycznego punktu widzenia, takie podejście pozwala na szczegółową analizę konkretnego zawężonego obszaru, pozwalając przedsiębiorstwom określić optymalną dla siebie strategię działania.

4 Eksperyment symulacyjny modelu RUPSim

Teoretyczny model zwrotnych przepływów opakowań wielokrotnego użytku opisany w poprzednim rozdziale został opracowany z myślą o wykorzystaniu go do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych. W rozdziale 3 koncentrowano się głównie na przedstawieniu koncepcji samego modelu (z wyjątkiem parametrów, w przypadku których omówiono od razu ich odwzorowanie w środowisku symulacyjnym – patrz 3.3.2). Niniejszy rozdział poświęcono przeprowadzonemu eksperymentowi symulacyjnemu. Składa się on z dwóch części:

W pierwszej części skoncentrowano się na technicznej specyfikacji eksperymentu symulacyjnego modelu RUPSim, w skład której wchodzi między innymi, algorytmy wykorzystane w procesie implementacji modelu, scenariusze symulacyjne, jak również pozostałe elementy techniczne, takie jak graficzny interfejs użytkownika (ang. GUI – Graphical User Interface) oprogramowania. Zawarto w niej również weryfikację poprawności wdrożenia modelu RUPSim.

Drugą część rozdziału poświęcono realizacji eksperymentu symulacyjnego, to znaczy zbadaniem problemu opłacalności wdrożenia opakowań wielokrotnego użytku, z wykorzystaniem modelu RUPSim. Przedstawiono wyniki przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych oraz wniosku z wykonanych analiz. Rozdział podsumowano opisem potencjalnych sposobów wykorzystania opracowanego i zaimplementowanego modelu RUPSim w praktyce gospodarczej.

4.1 Implementacja

4.1.1 Technologia

Model RUPSim został zaimplementowany przy wykorzystaniu obiektowego języka programowania Java. Wybór wykorzystanej technologii wynikał głównie z wydajności danego rozwiązania w porównaniu do dedykowanych platform symulacyjnych np. NetLogo. W odczuciu autora Java spełnia wszystkie niezbędne kryteria do wdrożenia opisywanego modelu. Ze względu na obiektowy charakter samego języka, możliwe było naturalne odtworzenie stanu rzeczywistego, zdefiniowanie i inicjalizacja wirtualnych obiektów, będących reprezentacją rzeczywistych uczestników modelowanego systemu (patrz 3.3).

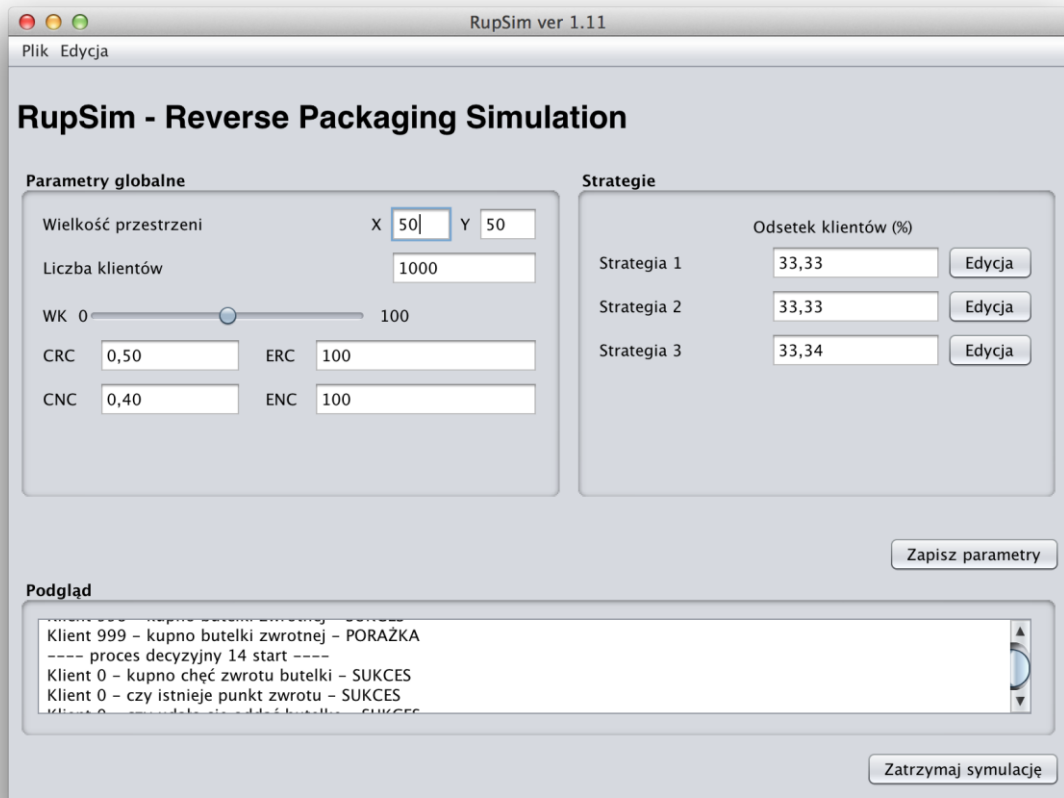
Model symulacyjny RUPSim z założenia jest modelem stochastycznym, czyli takim, w którym zastosowano mechanizmy losowe, w celu odwzorowania różnych wariantów zdarzeń. Poszczególne wyniki uzyskane na podstawie losowań były brane pod uwagę w trakcie

trwania pojedynczego eksperymentu symulacyjnego (który, jak wspomniano w rozdz. 3, składa się z wielu powtórzeń w ramach takiej samej konfiguracji parametrów). Na ich podstawie zmianie ulegały parametry poszczególnych obiektów, dzięki czemu możliwe było odwzorowanie systemu uczącego się. Poprawne zbudowanie mechanizmów tego typu wymagało jednak odpowiednich algorytmów generowania liczb losowych. Dzięki wchodzącym w skład Javy rozbudowanym bibliotekom generatorów liczb pseudolosowych, można przyjąć, że otrzymane rozkłady spełniają wszelkie wymogi stawiane przed mechanizmami generowania liczb losowych – między innymi równego rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych wyników.

Dodatkowym atutem wykorzystanej technologii jest również jej mobilność. Użycie Javy do oprogramowania symulacji pozwala na uruchomienie wdrożonej aplikacji na praktycznie dowolnej konfiguracji sprzętowej, bez względu na wykorzystany system operacyjny. Jedyny warunek, który musi być spełniony to zainstalowane środowisko uruchomieniowe języka Java tzw. JRE (ang. Java Runtime Environment).

4.1.2 Graficzny interfejs użytkownika

Graficzny interfejs użytkownika wdrożonego oprogramowania zaprojektowano i wdrożono wykorzystując do tego jedną z natywnych bibliotek języka Java – Swing. Na Rys. 4-1 przedstawiono zrzut ekranu przedstawiający podstawowy ekran pojedynczego eksperymentu symulacyjnego. W głównym oknie ustawień istnieje możliwość ustawienia poszczególnych parametrów eksperymentu. Umieszczono w nim również obszar podglądu, wyświetlający poszczególne operacje wykonywane przez oprogramowanie, dzięki czemu można śledzić całą procedurę wykonywaną przez aplikację. Warto zauważyć, że symulację można również uruchomić bez włączonego podglądu, dzięki czemu wydajność skryptu wzrasta wielokrotnie (w zależności od liczby przeprowadzanych symulacji, przykładowo dla 100 powtórzeń symulacji, proces z podglądem trwa około 30 sekund podczas gdy wyłącznie podglądu przyspiesza otrzymanie wyników do niecałej sekundy). W lewym obszarze funkcyjnym okna głównego znajduje się szereg parametrów globalnych odnoszących się do danej symulacji, które można dostosowywać w zależności od zaistniałej potrzeby.



Rys. 4-1 Główne okno implementacji modelu RUPSim

Źródło: opracowanie własne

Prawy obszar umożliwia natomiast określenie poszczególnych udziałów procentowych strategii postępowania klientów w całej populacji. Kliknięcie przycisku edycji przy każdej strategii umożliwia zmianę poszczególnych parametrów wzorca zachowań klientów. Zrzut ekranu okna edycyjnego przedstawiono na Rys. 4-2. Poszczególne oznaczenia przy polach tekstowych odpowiadają przedstawianym w poprzednim rozdziale nazwom parametrów (patrz 3.3.2).



Rys. 4-2 Okno modyfikacji ustawień strategii postępowania klientów

Źródło: opracowanie własne

Wyniki eksperymentu symulacyjnego zapisywane są w postaci plików .csv, które w dalszej kolejności można zaimportować do zewnętrznego oprogramowania (np. oprogramowania statystycznego lub arkusza kalkulacyjnego) w celu szczegółowej analizy danych. Ze względów wydajnościowych po każdym przeprowadzonym eksperymencie symulacyjnym oprogramowanie usuwa przechowywane w pamięci komputera obiekty np. klientów, punkty zwrotu itp. Poszczególne parametry zostają tym samym zresetowane do wartości domyślnych po każdym eksperymencie symulacyjnym, można je jednak zapisać w celu ich późniejszego odtworzenia. Okno zawierające opcje ustawień zapisu przedstawiono na Rys. 4-3.



Rys. 4-3 Okno ustawień implementacji RUPSim

Źródło: opracowanie własne

Pojedynczy eksperyment symulacyjny przeprowadzony przy użyciu podanego interfejsu użytkownika pozwala na otrzymanie zbioru danych bazujących na jednym zestawie parametrów. W celu przyspieszenia obsługi symulacji na potrzeby niniejszej pracy, procedury symulacji uruchamiano w pętlach²⁴, bezpośrednio z poziomu zintegrowanego środowiska programistycznego (ang. Integrated Development Environment – IDE).

²⁴ Pętla w programowaniu to jedna z trzech podstawowych konstrukcji sterowania przepływem programu

4.1.3 Algorytmy modelu

Większość aplikacji komputerowych, niezależnie od swojego przeznaczenia, bazuje na zbiorze algorytmów, czyli jasno określonych ciągów czynności, które prowadzą do wykonania określonych rodzajów zadań. Niezależnie od tego czy celem danej aplikacji jest gromadzenie lub przetwarzanie danych, czy też przeprowadzanie eksperymentów symulacyjnych, w każdym przypadku programy działają według procedur zdefiniowanych przez programistów. W niniejszym podrozdziale przedstawiono wykorzystane w modelu RUPSim algorytmy, na których bazuje logika działania wdrożonego programu.

Jak wspomniano wcześniej, podstawą stochastycznych modeli symulacyjnych są algorytmy liczb pseudolosowych²⁵. W przypadku modelu RUPSim wykorzystywany jest uproszczony liniowy generator kongruentny (ang. Linear Congruential Generator – LCG). Jest to jeden z najbardziej znanych sposobów generowania liczb pseudolosowych, opracowany w latach 50-tych XX wieku. Polega on na obliczaniu kolejnych pseudolosowych liczb x_1, x_2, \dots, x_n o zakresie wartości $0 \dots m-1$ na podstawie wzoru (3) gdzie x_1 jest początkową wartością (tzw. ziarno – ang. seed), za pomocą której inicjuje się generator.

$$x_i = (a * x_{i-1} + 1) * \text{mod}(m) \quad (3)$$

Szczegóły działania LCG nie są istotne z punktu widzenia niniejszej pracy. Istotne jest to, że ma on wydajną implementację w języku Java, która została przedstawiona na Rys. 4-4.

```
synchronized protected int next(int bits) {  
    seed = (seed * 0x5DEECE66DL + 0xBL) & ((1L << 48) - 1);  
    return (int)(seed >>> (48 - bits));  
}
```

Rys. 4-4 Metoda *next* liniowego generatora kongruencyjnego w języku Java

Źródło: <http://docs.oracle.com/javase/>

strukturalnego. Umożliwia cykliczne wykonywanie ciągu instrukcji określoną liczbę razy, do momentu zajścia pewnych warunków.

²⁵ termin ten wyjaśniono w 2.2

Poza algorytmem generowania liczb, w modelu RUPSim wykorzystano szereg innych algorytmów, stanowiących bazę prowadzonych eksperymentów symulacyjnych. Są one ściśle związane z poszczególnymi etapami eksperymentu – inicjalizacji, symulacji i zapisu danych wyjściowych.

Pierwszym krokiem, który należy wykonać przed rozpoczęciem eksperymentów jest inicjalizacja całego systemu symulacyjnego. W tym celu należy zdefiniować wstępne wartości poszczególnych parametrów (można to zrobić wykorzystując pola interfejsu użytkownika (GUI) opisane w poprzednim podrozdziale). Następnie inicjalizowane są poszczególne elementy systemu. Początkowo tworzona jest dwuwymiarowa tablica przestrzeni o rozmiarach zdefiniowanych przez użytkownika. Dla każdego pola (P) tej tablicy przyporządkowana zostaje unikatowa kombinacja wartości x , y spełniająca zależność (4).

$$\forall x \in (0; x_{max}) \text{ i } \forall y \in (0; y_{max}) \quad (4)$$

Następnie na podstawie ustalonych na etapie inicjalizacji parametrów tworzone są poszczególne elementy eksperymentu. Każdy element otrzymuje odpowiedni dla siebie zbiór parametrów i wskaźników wygenerowanych na podstawie zdefiniowanych wcześniej wartości. Ponadto każdemu elementowi zostaje przyporządkowany unikalny numer identyfikacyjny (ID), dzięki któremu możliwa jest jego identyfikacja. Numery ID poszczególnych elementów systemu nigdy się nie powtarzają, tj. obiekt odpowiedzialny za zwrot opakowania zwrotnego będzie miał zawsze inny numer identyfikacyjny niż jakikolwiek inny obiekt w systemie.

W dalszej kolejności następuje rozmieszczenie elementów w dwuwymiarowej przestrzeni. Proces ten odbywa się losowo, bazując na wspomnianym algorytmie losowania liczb pseudolosowych LCG. Dla każdego obiektu losowane są parametry lokalizacyjne określające jego położenie w przestrzeni modelu. W pojedynczym polu może jednocześnie znajdować się tylko jeden element systemu, niezależnie od jego typu. Losowanie odbywa się do momentu, w którym algorytm nie znajdzie wolnej przestrzeni do której mógłby przyporządkować dany obiekt. Przypisywanie lokalizacji przedstawiono w postaci pseudokodu na Rys. 4-5.

```

for każdego elementu systemu do begin
    while wylosuj zmienną x i y gdzie  $x \in (0, x_{\max})$  oraz  $y \in (0, y_{\max})$ 
    if przestrzeń x, y jest pusta then begin
        przyporządkuj element do przestrzeni
        break while
    end
end

```

Rys. 4-5 Algorytm rozmieszczania elementów systemu

Źródło: opracowanie własne

Po rozmieszczeniu wszystkich elementów systemu następuje faza właściwych symulacji. Poszczególne elementy systemu reprezentujące podmioty odpowiedzialne za zagospodarowanie opakowania jednostkowego (dla uproszczenia przyjęto, że są to konsumenci, choć obiekty te mogą być reprezentacją dowolnych podmiotów np. przedsiębiorstw odbierających opakowania) podejmują szereg decyzji, na podstawie których określany jest ostateczny stan opakowania (odzyskanie, recycling, utylizacja).

Konsumenci rozpoczynają działanie od odnalezienia najbliższego punktu zwrotu opakowań. Ze względu na to, że w modelu nie różnicuje się pomiędzy punktami zwrotu a np. kontenerami na odpady komunalne – nawet jeśli obiekt podejmie decyzję o utylizacji opakowania, robi to w lokalizacji punktu zwrotu. W celu odnalezienia najkrótszej drogi od miejsca przebywania do miejsca zwrotu, każdy konsument postępuje zgodnie z góry określonym algorytmem. Przeszukuje on przestrzeń wokół własnej lokalizacji (niezależnie od tego czy jest to lokalizacja bazowa, czy lokalizacja, w której się w danej chwili znajduje, np. W wyniku nieudanej próby oddania opakowania) w celu odnalezienia najbliższego punktu zwrotu. Proces ten można wyobrazić sobie jako sekwencyjnie rozchodzące się pierścienie, w których centrum znajduje się poszukująca jednostka. Algorytm opisujący taki mechanizm został przedstawiony w postaci pseudo-kodu na Rys. 4-6.

W momencie, gdy taki punkt zwrotu zostanie zidentyfikowany, konsument próbuje zwrócić zużyte opakowanie. Próba ta może zakończyć się sukcesem lub fiaskiem, co w dalszej kolejności wpływa na kolejne podjęte przez niego działania. Jeśli próba zwrócenia opakowania zakończy się powodzeniem, konsument zwraca opakowanie co skutkuje zwiększeniem szansy zwrotu opakowania w przyszłości. Jeśli jednak konsumentowi nie uda się zwrócić opakowania, jego dalsze działania zależne będą od przyjętej przez niego strategii zachowań. może,

w zależności od przyjętej strategii działania, być powtórzona, lub nie. W przypadku, gdy konsument zdecyduje się kontynuować próby zwrotu, cała procedura jest powtarzana.

Wdrożenie ograniczeń dotyczących możliwych zwrotów jest bowiem łatwiejsze do przeprowadzenia w momencie, gdy procedura wyszukiwania miejsc jest jednolita, tj. obiekty poszukują punkty zwrotu w taki sam sposób jak kontenery na odpady. Wprowadzanie dodatkowych ograniczeń do poszczególnych elementów systemu może być przedmiotem dalszych badań, o czym szerzej wspomniano w podrozdziale 4.3.

```
Inicjalizacja:  
  
declare int x, y, Δ, x', y' - koordynaty klienta (x, y), zmiana odległości (Δ) i koordynaty punktu zwrotu (x', y')  
  
Procedura:  
  
for każdy klient do begin  
    for każdego i = x-Δ gdzie i < x+Δ oraz i>=0  
        for każdego j = y-Δ gdzie j < y+Δ oraz j>=0  
            if zmienne i i j mieszczą się w przestrzeni symulacyjnej  
                if na polu i, j znajduje się punkt opakowaniowy  
                    then x' = i, y' = j są koordynatami najbliższego punktu, Δ jest odległością od najbliższego punktu  
            end  
    end  
end
```

Rys. 4-6 Algorytm wyznaczania najbliższego punktu zwrotu opakowań

Źródło: opracowanie własne

W momencie gdy konsument dotrze do punktu zwrotu następuje proces decyzyjny zagospodarowania zużytego opakowania. Przeprowadzany jest test skłonności do oddania zużytego opakowania zwrotnego, polegający na wylosowaniu liczby z przedziału $r_i = \langle 0, 100 \rangle$ i porównania jej do odpowiedniego parametru konsumenta. Jeśli wylosowana liczba jest większa od wartości parametru ($r_i > SKO_i$), to wynik testu uznaje się za negatywny, a konsument wyrzuca opakowanie do kontenera na odpady. Jeśli natomiast test przebiegnie pozytywnie – klient oddaje opakowanie do punktu zwrotu. W tym przypadku przeprowadzany jest analogiczny test w odniesieniu do skłonności punktu zwrotu j do odbioru opakowania. Jeżeli $r_i \leq SPZ_j$ wtedy transakcja przebiega pomyślnie, i temu klientowi udaje się zwrócić

opakowanie, czego następstwem jest zwiększenie SKZ_i o wartość WZS_i . W innym przypadku wynik zależny jest od strategii klienta (por. 3.3.4). W przypadku strategii wygodnej, klient rezygnuje z dalszych prób. Klienci postępujący zgodnie ze strategią ekologiczną i ekonomiczną kontynuują natomiast próby oddania opakowania uwzględniając jednocześnie własne ograniczenia wynikające z ich strategii. Jeśli klient zdecyduje jednak, że nie odda opakowania – staje przed dylematem czy wyrzucić je do zbiorników ogólnego użytku lub dedykowanych kontenerów na odpady sortowane. Z rzeczywistego punktu widzenia rozwiązanie, w którym wszystkie wspomniane elementy (punkt zwrotu, kontenery na odpady ogólne i zwrotne) znajdują się w tym samym miejscu może na pierwszy rzut oka wydawać się nielogiczna, ma jednak uzasadnienie z technicznego punktu widzenia.

Opisana powyżej procedura kontynuowana jest przez n iteracji, gdzie n jest liczbą zdefiniowaną przez użytkownika. Dla potrzeb niniejszych symulacji przyjęto $n = 200$. Ze względu na założenie, że model RUPSim osadzony jest w branży piwowarskiej, liczba iteracji ma związek z danymi dotyczącymi preferencji konsumentów na tym właśnie rynku. Wynika ona ze statystycznego spożycia napojów niskoalkoholowych wskazanych przez badanie GUS, z którego wynika, że przeciętny Polak w przeciągu roku konsumuje średnio 98,5 litrów piwa, co w przybliżeniu daje 200 butelek o pojemności 0,5 litra (zakładając że całość konsumpcji to napoje pakowane w butelki).

4.1.4 Parametry zmienne

Zgodnie z przyjętymi normami modelowania eksperymentu symulacyjnego [Banks 1998], wyróżniono 2 parametry, które poddawano zmianom podczas przeprowadzania symulacji, podczas gdy wartości pozostałych parametrów pozostały stałe. W przypadku modelu RUPSim wybrano następujące parametry:

- bazowa skłonność punktów zwrotu do odbioru opakowania,
- udział klientów postępujących zgodnie z poszczególnymi strategiami w całej populacji klientów.

Powyższe parametry nie zostały wybrane przypadkowo, ich wybór jest uzasadniony postawionymi hipotezami, w których kluczowymi elementami były złożoność systemu (reprezentowana przez liczbę punktów zwrotu i ich skłonność do odbioru opakowań) i struktura udziału poszczególnych strategii zachowań w populacji konsumentów..

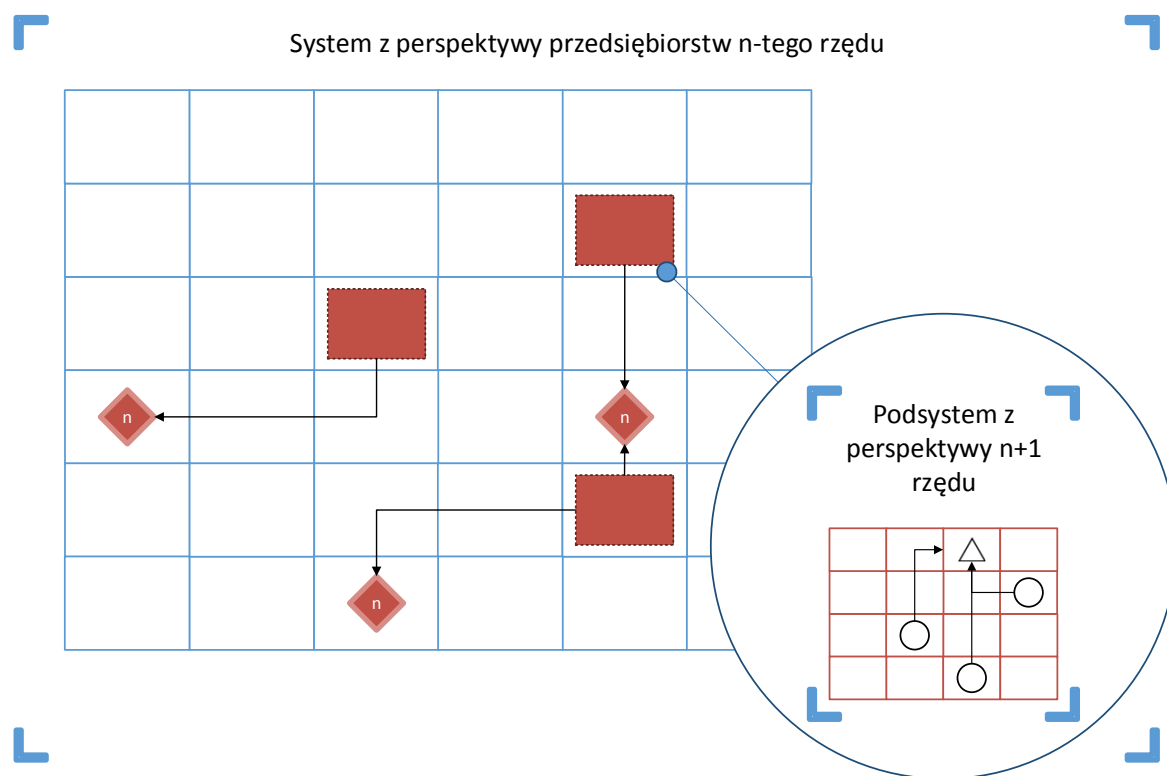
Początkowo w symulacjach brano pod uwagę dodatkowy, trzeci parametr, będący odzwierciedleniem struktury zwrotnych łańcuchów dostaw (por. 3.1). Była nim liczba rzędów przedsiębiorstw biorących udział w procesie odzyskiwania opakowań wielokrotnego użytku z systemu. Autor wykorzystał go w celu stwierdzenia, w jaki sposób zmieniają się korzyści z odzysku opakowań wielokrotnego użytku przy danej konfiguracji łańcucha dostaw. Po przeprowadzeniu szeregu symulacji wstępnych okazało się jednak, że zmiany w danym parametrze powodowały liniowe zmiany w wynikach symulacji. Stwierdzono tym samym, że dodając kolejne ogniwa do łańcucha dostaw, poszczególne parametry wyjściowe zmieniają się liniowo.

Przeprowadzając dodatkowe symulacje, w celu oszacowania czy i w jaki sposób liczba rzędów łańcucha dostaw oddziałuje na wyniki końcowe, dokonano interesującej obserwacji. W przyjętej formie modelu RUPSim nie ma sensu wprowadzania liczby rzędów przedsiębiorstw jako osobnego, parametru. Istnieje jednak możliwość zamodelowania struktur łańcucha dostaw jako osobnych podsystemów, ponieważ cała struktura modelu zachowuje się jak fraktal²⁶. Oznacza to, że system zwrotów na dowolnym poziomie uogólnienia zachowuje się podobnie do poszczególnych podsystemów, będących jego składowymi (por. Rys. 4-7). Różnice występujące pomiędzy poszczególnymi systemami obejmują oczywiście różne wartości poszczególnych parametrów, zachowanie systemu pozostaje jednak takie samo.

Z tego powodu celowo zrezygnowano z wprowadzania do symulacji wspomnianego parametru, aby zmniejszyć poziom skomplikowania całej symulacji, pozwalając tym samym na lepszą analizę wyników zależnych od pozostałych zmiennych. Nie oznacza to jednak, że korzystając z zaimplementowanego rozwiązania nie ma możliwości symulowania całego łańcucha dostaw. Aby przeprowadzić symulacje, której wyniki odzwierciedlałyby perspektywę przedsiębiorstw będących uczestnikami łańcucha dostaw, należy przeprowadzić szereg symulacji dla każdego rzędu pośredników w łańcuchu dostaw, zwiększając skalę rozmieszczenia poszczególnych podmiotów. W ten sposób dla pierwszego poziomu odbiorców reprezentacją jednej komórki wspomnianej wcześniej tablicy byłaby powierzchnia przykładowo 10m², podczas gdy dla kolejnego poziomu zwiększonoby reprezentację

²⁶ łac. fractus – złamany, cząstkowy, ułamkowy; w znaczeniu potocznym oznacza zwykle obiekt samopodobny. Charakterystyczną cechą fraktali jest to, że kształt każdej ich części w danej skali przypomina kształt całości.

pojedynczego pola do 1km² itd. Należałoby jedynie założyć, że dostawcą dla każdego uczestnika łańcucha dostaw byłby cały sektor, którego parametrami wejściowymi byłyby parametry wyjściowe symulacji w nim przeprowadzonych. W niniejszej pracy zdecydowano się jednak na świadomą delimitację perspektywy do wyłącznie pierwszego poziomu uczestników, ze względu na potrzebę uproszczenia całej symulacji i przede wszystkim sprawdzenia jej realnej przydatności. Ponadto można założyć, że struktura populacji obiektów składających się wyłącznie z przedsiębiorstw, byłaby znacznie uproszczona w stosunku do populacji składających się z samych konsumentów. Można przypuszczać, że większość przedsiębiorstw postępowałaby zgodnie ze strategią ekonomiczną, ograniczając tym samym skutecznie zróżnicowanie struktury całej populacji.



Rys. 4-7 Struktura system-podsystemy

Źródło: opracowanie własne

4.1.5 Scenariusze eksperymentu symulacyjnego

Zgodnie z rozdziałem 3.3.3 bazowa skłonność punktów zwrotu (SPZ) do odbioru opakowań jest parametrem, który z założenia odzwierciedla problemy, z którymi spotykają się klienci próbujący oddać zużyte opakowanie wielokrotnego użytku. Dla tego parametru przyjęto

4 wartości stałe, które wykorzystano do poszczególnych symulacji – 50%, 60%, 70% i 75%. Wartości te miały na celu przetestowanie poszczególnych wariantów. Wykorzystane progi zostały wybrane arbitralnie, natomiast górny próg wynika z ogólnych informacji na temat rynku. Skokowe podnoszenie poziomu punktów procentowych ma na celu zbadanie, o ile bardziej opłacalne stanie się wykorzystanie opakowań wielokrotnego użytku w momencie, gdyby osiągnięto wzrost odsetka przyjmowanych przez punkty zwrotu opakowań. Dzięki takiemu zabiegowi, możliwe jest oszacowanie, czy koszt działań, które miałyby zwiększyć odsetek odbioru zwracanych opakowań, jest proporcjonalny do oszczędności wynikających z odbioru większej liczby opakowań zwrotnych z systemu. Równocześnie możliwe było stwierdzenie, w jakim stopniu tendencje punktów zwrotu odbijają się na ekologicznym wpływie stosunku opakowań jednorazowych do opakowań zwrotnych. Jako maksymalną wartość parametru przyjęto poziom 75%, ponieważ obecna sytuacja rynkowa nie wskazuje na wyższy niż wykazany wskaźnik odbioru opakowań.

Ostatnim parametrem podlegającym zmianom jest odsetek klientów postępujących zgodnie z poszczególnymi strategiami wśród wszystkich klientów modelowanej populacji. Podobnie jak pierwszy parametr pozwala stwierdzić:

- na ile wykorzystanie opakowań zwrotnych jest opłacalne dla danej struktury populacji klientów,
- jaki poziom nakładów na akcje związane z działaniami mającymi na celu zmianę struktury badanej populacji (np. akcje promujące korzystanie z opakowań wielokrotnego użytku, inwestycje w udogodnienia, czy zmiany w prawie) jest opłacalny dla przedsiębiorstwa.

Opisane powyżej scenariusze postępowania są zbiorem wartości parametrów wejściowych eksperymentu symulacyjnego. Należy zaznaczyć, że są one bazowymi wartościami wykorzystanymi w danej serii obliczeń eksperymentu, a nie iteracji w ramach pojedynczej symulacji (por. 4.1.3). Po otrzymaniu wyników z n powtórzeń danej symulacji, wykorzystuje się je do wyciągania wniosków na podstawie uśrednionych wyników dla danej kombinacji parametrów wejściowych.

Liczba scenariuszy eksperymentu symulacyjnego została określona na podstawie parametrów będących przedmiotem zmian. Pierwszym kryterium, które wzięto pod uwagę były kombinacje udziałów poszczególnych strategii wśród konsumentów. Jak już wspomniano w 3.3.3, w modelu wyróżniono 3 strategie zachowań. Przeprowadzono symulację dla każdej

kombinacji udziałów poszczególnych strategii przyjmując 20% jako najmniejszy krok zmienności. Dla przedstawionych założeń liczba kombinacji poszczególnych strategii sumujących się do 100% wynosi 21. Pozostałym kryterium wziętym pod uwagę podczas symulacji była bazowa skłonność punktów zwrotu do odbioru opakowań {50, 60, 70, 75}. Dla podanych wariantów poszczególnych parametrów, finalna liczba scenariuszy eksperymentu wynosi zatem 84.

4.1.6 Sposób postępowania

Pierwszym problemem, który należy rozwiązać przed przystąpieniem do przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych, jest oszacowanie liczby powtórzeń symulacji, które powinny być przeprowadzone dla poszczególnych scenariuszy. Przyjęcie takiej liczby powtórzeń, która daje reprezentatywne wyniki, wymaga zastosowania jednej z metod weryfikacji istotności zmian zachodzących w parametrach. Należy zauważyć, że liczba powtórzeń symulacji nie jest tożsama z liczbą iteracji w ramach jednej symulacji, która jest stała i wynosi 200 (por. 4.1.3). Dla potrzeb oszacowania liczby powtórzeń w niniejszej pracy, wybrano metodę analizy współczynnika zmienności. Jest to klasyczna miara różnicowania rozkładu cechy, która określa jej bezwzględne zróżnicowanie. Metoda ta często stosowana jest w eksperymentach symulacyjnych [Lorscheid, Bernd-Oliver i Meyer 2011, Fuks 2013]. Współczynnik zmienności oblicza się wykorzystując równanie (4), w którym V – współczynnik zmienności, s – odchylenie standardowe z próby, \bar{x} – średnia arytmetyczna z próby.

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

W celu oszacowania właściwej liczby powtórzeń symulacji należy policzyć współczynnik zmienności dla różnej liczby powtórzeń symulacji. Kolejnym krokiem jest wybranie dla każdego scenariusza takiej liczby powtórzeń, dla której V się stabilizuje tj. nie ulega zmianie przy zwiększaniu liczby powtórzeń (patrz wyróżnione pola w Tab. 4-1). Globalną liczbę symulacji określa się na podstawie maksymalnej liczby powtórzeń która stabilizuje współczynnik zmienności. Dla eksperymentów przeprowadzanych dla potrzeb niniejszej pracy wartość ta wynosi 10 000 powtórzeń dla każdej kombinacji parametrów. Wynika ona z tego, że 10 000 jest największą liczbą powtórzeń symulacji, dla której ustabilizował się współczynnik zmienności dla każdej kombinacji parametrów. Przyjmując zatem 10 000 jako liczbę symulacji można stwierdzić, że przeprowadzanie większej liczby symulacji nie przyniesie dodatkowych korzyści wynikających z dokładności pomiarów.

Odsetek strategii			Liczba powtórzeń symulacji								
ekol.	ekon.	wyg.	SPZ	10	100	500	1000	5000	10000	20000	50000
0%	0%	100%	50%	0,678	0,765	0,688	0,690	0,704	0,702	0,702	0,702
			60%	0,924	0,858	0,832	0,823	0,829	0,828	0,828	0,828
			70%	0,947	0,985	1,070	1,104	1,088	1,087	1,087	1,087
			75%	1,247	1,112	1,087	1,080	1,080	1,078	1,078	1,078
	20%	80%	50%	1,309	1,407	1,468	1,440	1,441	1,439	1,439	1,439
			60%	0,802	0,666	0,763	0,795	0,778	0,778	0,778	0,778
			70%	0,366	0,494	0,451	0,437	0,459	0,459	0,459	0,459
			75%	0,567	0,510	0,538	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550
	40%	60%	50%	1,210	1,262	1,287	1,267	1,267	1,267	1,267	1,267
			60%	0,548	0,695	0,607	0,615	0,616	0,616	0,616	0,616
			70%	0,314	0,293	0,360	0,249	0,303	0,303	0,303	0,303
			75%	0,327	0,355	0,332	0,336	0,346	0,346	0,346	0,346
	60%	40%	50%	0,552	1,079	1,170	1,096	1,126	1,126	1,126	1,126
			60%	0,734	0,513	0,512	0,538	0,544	0,544	0,544	0,544
			70%	0,228	0,210	0,230	0,237	0,232	0,232	0,232	0,232
			75%	0,351	0,238	0,237	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228
	80%	20%	50%	0,918	1,009	1,023	1,029	1,029	1,029	1,029	1,029
			60%	0,482	0,480	0,484	0,483	0,477	0,477	0,477	0,477
			70%	0,241	0,195	0,193	0,191	0,196	0,196	0,196	0,196
			75%	0,149	0,156	0,153	0,154	0,156	0,156	0,156	0,156
100%	0%	50%	0,669	0,898	0,898	0,914	0,944	0,944	0,944	0,944	
		60%	0,295	0,491	0,449	0,442	0,432	0,432	0,432	0,432	
		70%	0,140	0,153	0,155	0,169	0,171	0,171	0,171	0,171	
		75%	0,075	0,113	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	
20%	0%	80%	50%	0,107	0,105	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
			60%	0,164	0,156	0,154	0,140	0,142	0,142	0,142	0,142
			70%	0,275	0,360	0,330	0,344	0,330	0,330	0,330	0,330
			75%	0,346	0,429	0,475	0,497	0,491	0,491	0,491	0,491
	20%	60%	50%	0,505	0,377	0,381	0,389	0,391	0,391	0,391	0,391
			60%	0,405	0,351	0,356	0,339	0,344	0,344	0,344	0,344
			70%	0,190	0,250	0,239	0,233	0,236	0,236	0,236	0,236
			75%	0,219	0,332	0,312	0,319	0,314	0,314	0,314	0,314
	40%	40%	50%	0,412	0,469	0,464	0,456	0,483	0,483	0,483	0,483
			60%	0,386	0,354	0,374	0,364	0,375	0,375	0,375	0,375
			70%	0,184	0,184	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192
			75%	0,188	0,219	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207
	60%	20%	50%	0,576	0,477	0,525	0,504	0,504	0,504	0,504	0,504
			60%	0,369	0,364	0,372	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361
			70%	0,114	0,135	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163
			75%	0,225	0,137	0,144	0,146	0,145	0,142	0,142	0,142
	80%	0%	50%	0,363	0,474	0,509	0,523	0,529	0,515	0,515	0,515
			60%	0,244	0,364	0,347	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
			70%	0,149	0,148	0,155	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141

			75%	0,072	0,078	0,109	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092
40%	0%	60%	50%	0,070	0,061	0,061	0,062	0,065	0,065	0,065	0,065
			60%	0,041	0,084	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
			70%	0,128	0,192	0,183	0,174	0,175	0,173	0,173	0,173
			75%	0,146	0,285	0,271	0,279	0,287	0,283	0,283	0,283
	20%	40%	50%	0,193	0,216	0,243	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229
			60%	0,200	0,183	0,232	0,227	0,219	0,219	0,219	0,219
			70%	0,143	0,162	0,147	0,145	0,146	0,146	0,146	0,146
			75%	0,228	0,176	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188
	40%	20%	50%	0,235	0,290	0,274	0,292	0,292	0,292	0,292	0,292
			60%	0,265	0,265	0,257	0,261	0,254	0,257	0,257	0,257
			70%	0,072	0,115	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130
			75%	0,109	0,123	0,127	0,123	0,127	0,127	0,127	0,127
	60%	0%	50%	0,270	0,297	0,323	0,329	0,329	0,329	0,329	0,329
			60%	0,292	0,270	0,258	0,268	0,259	0,267	0,267	0,267
			70%	0,127	0,111	0,114	0,121	0,119	0,119	0,119	0,119
			75%	0,047	0,073	0,077	0,073	0,076	0,076	0,076	0,076
60%	0%	40%	50%	0,028	0,056	0,051	0,048	0,049	0,049	0,049	0,049
			60%	0,067	0,058	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
			70%	0,073	0,141	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
			75%	0,233	0,168	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
	20%	20%	50%	0,170	0,159	0,157	0,160	0,162	0,162	0,162	0,162
			60%	0,152	0,166	0,158	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
			70%	0,094	0,088	0,092	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
			75%	0,134	0,108	0,122	0,113	0,115	0,111	0,111	0,111
	40%	0%	50%	0,184	0,225	0,196	0,199	0,209	0,209	0,209	0,209
			60%	0,227	0,206	0,207	0,198	0,199	0,197	0,197	0,197
			70%	0,082	0,109	0,094	0,096	0,093	0,092	0,092	0,092
			75%	0,066	0,070	0,059	0,062	0,060	0,060	0,060	0,060
80%	0%	20%	50%	0,034	0,035	0,041	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
			60%	0,015	0,030	0,028	0,027	0,028	0,028	0,028	0,028
			70%	0,050	0,050	0,055	0,057	0,056	0,056	0,056	0,056
			75%	0,111	0,095	0,103	0,096	0,099	0,098	0,098	0,098
	0%	0%	50%	0,096	0,127	0,124	0,125	0,123	0,123	0,123	0,123
			60%	0,083	0,123	0,128	0,130	0,127	0,125	0,125	0,125
			70%	0,055	0,062	0,066	0,060	0,062	0,061	0,061	0,061
			75%	0,046	0,042	0,040	0,044	0,042	0,041	0,041	0,041
100%	0%	0%	50%	0,035	0,031	0,034	0,033	0,035	0,035	0,035	0,035
			60%	0,021	0,019	0,017	0,018	0,017	0,018	0,018	0,018
			70%	0,006	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
			75%	0,007	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Tab. 4-1 Współczynnik zmienności dla różnej liczby powtórzeń

Źródło: opracowanie własne

4.2 Wyniki symulacji

Ze względu na dużą liczbę przeprowadzonych symulacji (840 000²⁷) uzyskane wyniki zostały uśrednione w odniesieniu do każdego wyselekcjonowanego scenariusza. Uzyskano dzięki temu 84 zbiory danych, które w dalszej kolejności poddano analizie. Należy zauważyć, że wszystkie wartości kosztowe zostały wyrażone w tysiącach, w celu kompresji wyników. Dla wartości kosztowych nie przypisano jednostek waluty, ponieważ z punktu widzenia niniejszej pracy nie ma znaczenia czy wartość kosztów wyrażona jest w PLN, EUR czy dowolnej innej walucie. Z tego powodu w dalszej części rozdziału wszystkie koszty podane zostały w jednostkach pieniężnych (j.p.) bez wyszczególnienia konkretnej waluty. Ponadto należy podkreślić fakt, że wartości przedstawione w wynikach indeksu środowiskowego należy interpretować zgodnie z opisem w 3.3.3.

Na początku przeanalizowano poszczególne kombinacje strategii podmiotów odpowiedzialnych za zagospodarowanie opakowania w odniesieniu do parametru skłonności do przyjęcia opakowania wielokrotnego użytku przez punkty zwrotu (parametr SPZ). Badanie miało na celu określenie, w jaki sposób struktura populacji podmiotów odpowiedzialnych za zagospodarowanie opakowania zwrotnego ma wpływ na opłacalność wdrożenia takich opakowań.. Następnie w celu sprawdzenia, w jaki sposób zachowa się zamodelowany system, przeprowadzono analizę wartości skrajnych, tj. strategii czystych. W przypadku strategii czystych, cała populacja zachowuje się zgodnie z jednym schematem postępowania, dzięki czemu nie występują zaburzenia wyników wynikające z różnorodności zachowań podmiotów gospodarujących opakowaniem.

4.2.1 Prezentacja i analiza wyników

W pierwszej kolejności po uzyskaniu danych z eksperymentu symulacyjnego, przeprowadzono analizę wyników w celu weryfikacji postawionych hipotez badawczych. Wyliczono uśrednione wartości kosztów całkowitych (wynikających z obsługi zarówno opakowań jednorazowych jak i wielokrotnego użytku) i zebrano je w postaci dwukierunkowej tabeli (zob. Tab. 4-2). Po wstępnej analizie wyników autor doszedł do wniosku, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H1. W 5 z 7 najbardziej korzystnych z ekonomicznego punktu widzenia scenariuszy

²⁷ Liczba przeprowadzonych symulacji wynika z iloczynu liczby przeprowadzonych symulacji (10 000) i liczby scenariuszy (84)

odsetek strategii ekologicznej przekroczył próg 60%. Sytuacja ta wykazuje wyraźny wzrost opłacalności opakowań wielokrotnego użytku w momencie, w którym rośnie odsetek podmiotów postępujących zgodnie ze strategią ekologiczną. Należy jednak zaznaczyć, że w 2 przypadkach, poziom ten był niższy niż 60% (40% i 20%) co sugeruje, że korzyści z wdrożenia opakowań wielokrotnego użytku występują zawsze w momencie gdy jakakolwiek część populacji postępuje zgodnie ze strategią ekologiczną. Nie można jednak przyjąć takiego uogólnienia, ponieważ należy zauważyć, że w obu tych przypadkach, przeważający odsetek populacji stanowiły podmioty działające zgodnie ze strategią ekonomiczną tj. nastawioną na jak największe zyski. Minimalizacja kosztów wynikała nie z postaw ekologicznych a z czystej chęci oszczędności środków, przez podmioty odpowiedzialne za oddanie opakowania. Dodatkowo należy podkreślić fakt, iż w jednym przypadku 60% odsetek strategii ekologicznej nie przyniósł przewidzianych rezultatów. Miało to miejsce w sytuacji, w której pozostała część populacji kierowała się strategią wygodną. Przy takiej strukturze populacji dochodziło do dużego marnotrawstwa opakowań wielokrotnego użytku, co poskutkowało wzrostem kosztów wynikających z potrzeby ciągłego odnawiania puli tych opakowań. W odczuciu autora wyniki te wskazują na to, że nie można bezkrytycznie założyć, że w sytuacji w której większość populacji postępuje zgodnie ze strategią ekologiczną, inwestycje w opakowania wielokrotnego użytku zawsze będą bardziej opłacalne niż w opakowania jednorazowe. Z ekologicznego punktu widzenia wnioski z badania, na którym bazowano konstrukcję indeksu środowiskowego wykazują podobny trend. Wraz ze wzrostem liczby podmiotów działających zgodnie ze strategią ekonomiczną, wzrasta pozytywne oddziaływanie opakowań zwrotnych na środowisko, jednakże tylko do pewnego poziomu. Powyżej 80% progu zwrotu opakowań, nakłady wymagane do ponownego ich przystosowania do użytku powodują powstanie większych szkód dla środowiska niż wykorzystanie opakowań jednorazowego użytku. Brak wyraźnego, pozytywnego wpływu wdrożenia opakowań wielokrotnego użytku jako bazy opakowaniowej jest podstawą do odrzucenia postawionej hipotezy H1.

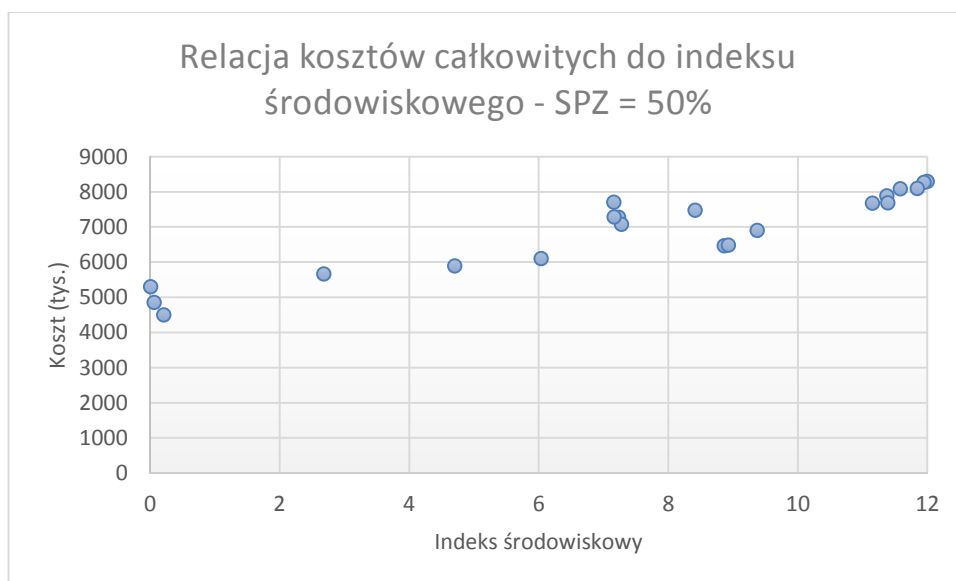
Odsetek strategii (%)			Średnie koszty (tys.)				Średnia
Ekol.	Ekon.	Wyg.	SPZ=50%	SPZ=60%	SPZ=70%	SPZ=75%	
0%	0%	100%	8297,95	8265,34	8082,90	7701,42	8086,90
0%	100%	0%	7281,89	5334,42	4087,41	3742,58	5111,58
0%	20%	80%	8092,45	7672,88	7275,93	6901,05	7485,58
0%	40%	60%	7887,75	7080,62	6469,41	6100,32	6884,53
0%	60%	40%	7682,18	6487,43	5661,18	5301,52	6283,08
0%	80%	20%	7477,12	5896,93	4855,24	4502,19	5682,87
100%	0%	0%	3348,57	3053,76	2919,33	2887,38	3052,26
20%	0%	80%	7297,88	7212,36	7039,08	6726,89	7069,05
20%	20%	60%	7092,28	6619,48	6231,79	5928,12	6467,92
20%	40%	40%	6889,15	6028,93	5425,73	5128,63	5868,11
20%	60%	20%	6682,62	5436,42	4618,81	4329,67	5266,88
20%	80%	0%	6486,40	4871,05	3851,58	3569,57	4694,65
40%	0%	60%	6298,04	6159,44	5996,65	5756,05	6052,54
40%	20%	40%	6092,31	5566,76	5189,03	4955,36	5450,87
40%	40%	20%	5887,73	4975,83	4382,07	4156,58	4850,55
40%	60%	0%	5692,97	4415,39	3616,18	3396,76	4280,32
60%	0%	40%	5297,97	5106,92	4953,52	4782,88	5035,32
60%	20%	20%	5093,19	4514,07	4146,07	3983,66	4434,25
60%	40%	0%	4898,12	3952,14	3380,38	3224,44	3863,77
80%	0%	20%	4298,39	4054,07	3910,54	3811,65	4018,66
80%	20%	0%	4103,90	3491,27	3142,96	3051,41	3447,38

Tab. 4-2 Średnie wartości kosztów całkowitych dla głównych kombinacji strategii w ramach struktury populacji i poszczególnych wielkości współczynnika SPZ

Źródło: opracowanie własne

W dalszej kolejności przeanalizowano 21 wariantów strategii konsumenckich w odniesieniu do odsetka opakowań przyjmowanych przez punkty zwrotu. Zestawiono jednocześnie zarówno poziom kosztów, jak i wspomniany wcześniej indeks środowiskowy. Na przedstawionych wykresach (rys. 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12) każdy z 21 punktów danych jest reprezentacją jednej kombinacji populacji, np. 20% strategii ekonomicznej, 0% ekologicznej i 80% wygodnej. Skłonność punktów zwrotu do przyjęcia opakowania można rozumieć jako procentową szansę sukcesu zwrotu opakowania wielokrotnego użytku. Może ona reprezentować dostępność automatów przyjmujących opakowania wielokrotnego użytku, jak również tendencje przyjęcia opakowań tradycyjnymi kanałami zwrotu. Podczas przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych sprawdzano w jaki sposób zmienia się opłacalność i przyjazność środowiskowa wykorzystania opakowań wielokrotnego użytku w momencie, gdy przedsiębiorstwo lub organy administracji publicznej wpływają na możliwość zwrotu opakowań.

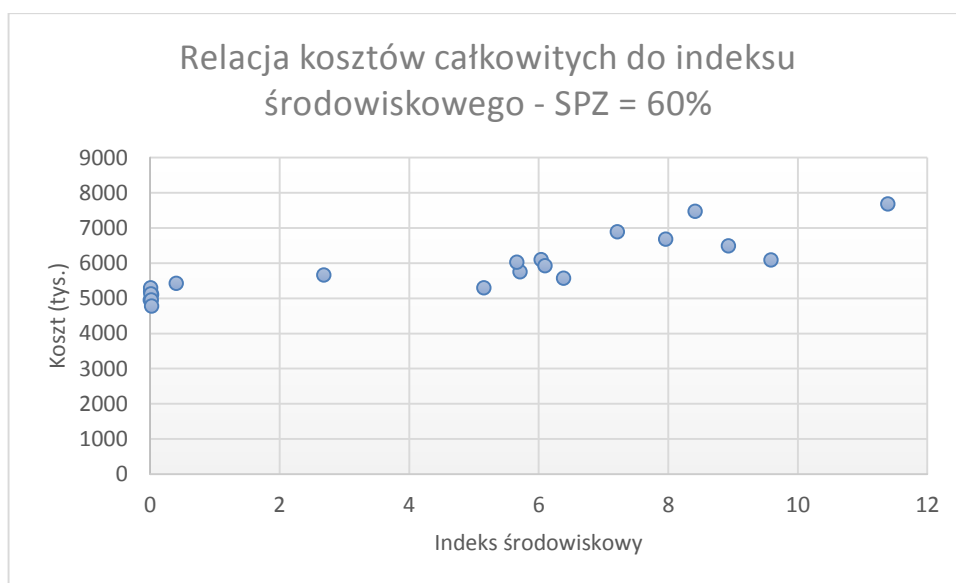
Pierwszym rozpatrywanym przypadkiem jest sytuacja, w której skłonność punktów zwrotu do przyjęcia opakowania zwrotnego (parametr SPZ) wynosił 50%. W danym przypadku statystycznie połowa prób konsumentów, którzy chcieli oddać zużyte opakowanie wielokrotnego użytku, zakończyła się niepowodzeniem. Zgodnie z założeniami modelu RUPSim, skłonność tych osób do oddania opakowania, czy też zakupu kolejnego produktu w opakowaniu zwrotnym sukcesywnie malała w trakcie trwania symulacji. Jak można zauważyć na Rys. 4-8 dla większości kombinacji strategii zachowań konsumentów występują wysokie koszty (powyżej 6 mln. j.p.) przy jednocześnie wysokim indeksie środowiskowym (powyżej 6). Oznacza to, że konsumenci zniechęceni porażką przy próbie oddania opakowania zwrotnego przestają kupować produkty w opakowaniach wielokrotnego użytku na rzecz opakowań jednorazowych, lub nie przejmując się dalszym losem opakowania pozbywają się go w najbardziej dla siebie dogodny sposób (przykładowo wyrzucając je do kontenerów na odpady komunalne). Świadczy o tym wysoka wartość indeksu środowiskowego (powyżej 8) w 11 na 21 kombinacjach strategii zachowań. Dla wartości SPZ = 50% średnie koszty wynoszą 6 294,23 tys. j.p.



Rys. 4-8 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 50%
 Źródło: opracowanie własne

Podwyższając SPZ do poziomu 60% (patrz Rys. 4-9) można zauważyć spadek kosztów, przy jednoczesnym zmniejszeniu indeksu środowiskowego. Koszty całkowite w tym przypadku ulegają zmniejszeniu w stosunku do kosztów całkowitych przy poziomie SPZ = 50% o 14%, do średniego poziomu 5533,12 tys. j.p. Należy również zauważyć, że wszystkie punkty

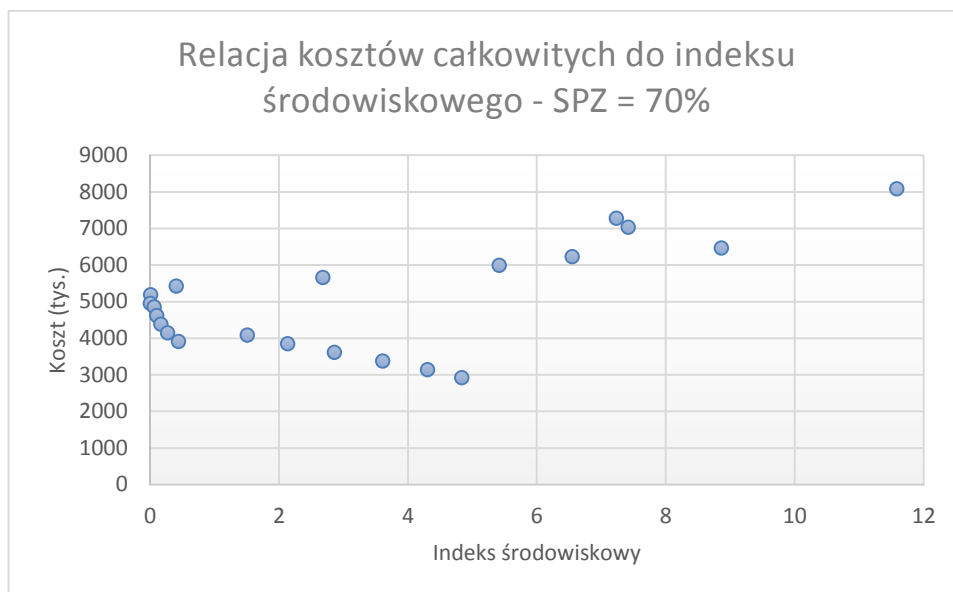
danych zaczynają przesuwac się sukcesywnie w kierunku środka wykresu, co oznacza, że konsumenci zaczynają w coraz większym stopniu korzystać z opakowań wielokrotnego użytku. Sytuacja ta jest uzasadniona, ponieważ w momencie, gdy rośnie szansa na oddanie opakowania – konsumenci chętniej będą próbowali takie opakowanie oddać, niezależnie od tego czy wynika to z pobudek ekologicznych (chęć nieszkodzenia środowisku) czy też ekonomicznych (zwrot kaucji za opakowanie).



Rys. 4-9 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 60%

Źródło: opracowanie własne

Dalsze podwyższenie poziomu SPZ o kolejne 10 punktów procentowych (por. Rys. 4-10) powoduje utrzymanie trendu zmniejszania kosztów całkowitych, jak również obniżania indeksu środowiskowego. W porównaniu do sytuacji kiedy SPZ = 60% poziom kosztów zmalał o 10%. Utrzymanie tendencji przy zwiększaniu szansy odbioru opakowań przez punkty zwrotu potwierdza jedynie poprzednią obserwację. Należy zauważyć, że tendencja obniżania kosztów zwalnia, w związku z czym można stwierdzić, że obowiązuje tu zasada malejących korzyści marginalnych, i że dalsze zwiększanie skłonności do odbioru opakowań będzie powodować relatywnie niższe oszczędności.



Rys. 4-10 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 70%

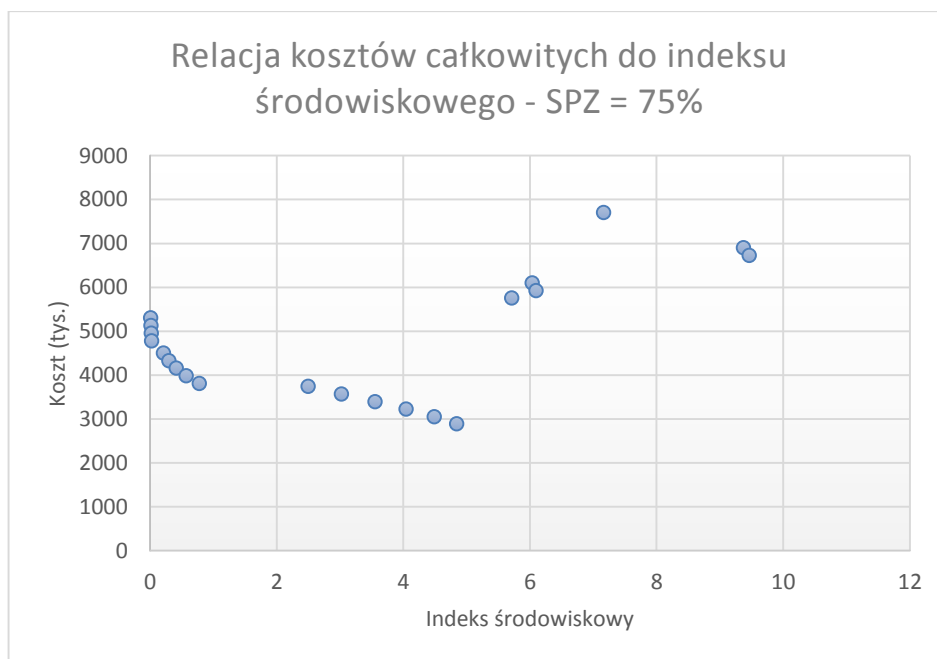
Źródło: opracowanie własne

Analizując poziom kosztów i indeksu środowiskowego poszczególnych wariantów parametru SPZ można dojść do wniosku, że dalsze jego wzrost (patrz Rys. 4-11) powoduje zwiększanie oszczędności (zmniejszanie kosztów) wynikające z podwyższonego poziomu zwrotów. Należy podkreślić, że tendencja ta widoczna jest dla dowolnej kombinacji strategii zachowań konsumentów. Można zatem stwierdzić, że inwestycje lub działania mające na celu zwiększenie SPZ spowodują obniżenie ogólnych kosztów systemu. Ważnym jest jednak, aby pamiętać, że zwiększanie szansy zwrotu opakowań działa podobnie jak wszelkie zależności obrazowane krzywą logistyczną. Sukcesywne zwiększanie poziomu SPZ powoduje coraz wolniejszy spadek kosztów, przy niewspółmiernie wysokich wydatkach poniesionych na wymuszenie tego wzrostu.

Zaobserwowany wzrost oszczędności w przypadku zwiększania współczynnika SPZ pozwala stwierdzić, że jest on głównym czynnikiem, od którego zależy poziom kosztów. Wynika z tego, że wzrost poziomu odebranych opakowań powoduje wzrost ekonomicznej efektywności danego systemu. Obserwacja ta pozwala na weryfikację postawionej na początku pracy hipotezy H2. W analizowanych danych widoczny jest również wpływ dominującej strategii zachowań konsumentów, niemniej pełni on drugorzędną rolę.

Dla większości zrównoważonych kombinacji strategii indeks środowiskowy zbliża się do pożądanego poziomu przyjmując wartości około 6 (por. 3.3.3). W przypadkach, w których

zaczyna dominować strategia ekonomiczna lub ekologiczna można zauważyć, że indeks środowiskowy przyjmuje wartości zbliżające się do 0, co jest zjawiskiem niepożądanym. W celu lepszego zrozumienia zaobserwowanej zależności przeanalizowano wyselekcjonowane sytuacje, w których dane 3 strategie występują jako warianty czyste, tj. 100% populacji postępuje zgodnie z jedną strategią zachowań. Można powiedzieć że eksperyment ten jest przykładem sugerowanych testów na wartościach skrajnych (por. 2.1).



Rys. 4-11 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 75%

Źródło: opracowanie własne

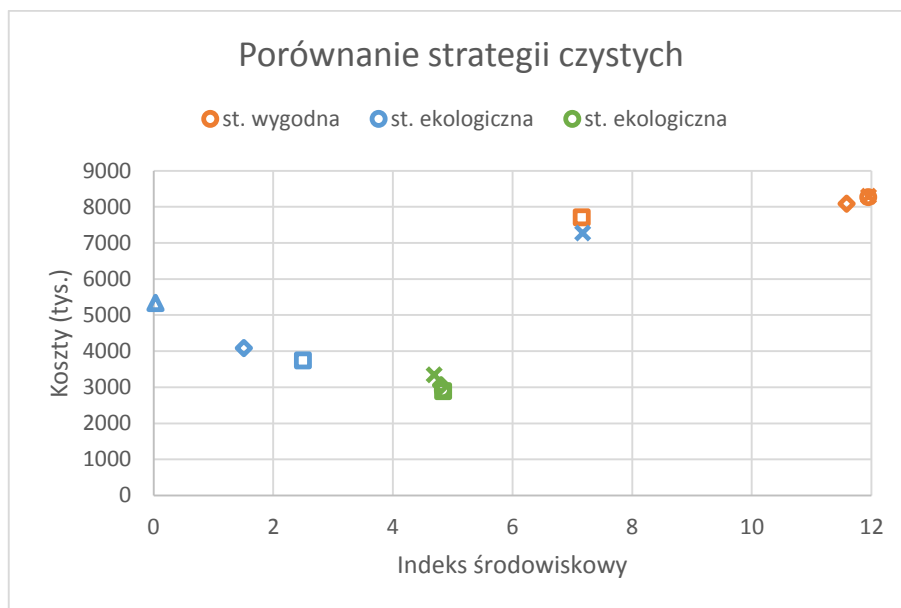
Sytuacja ta jest mało prawdopodobna w rzeczywistości, pozwala natomiast na lepsze zrozumienie analizowanego zjawiska. Wyniki poszczególnych strategii czystych zestawionych z 4 wartościami SKZ zilustrowano w postaci wykresu punktowego na Rys 4-12. Na wykresie każdy wariant procentowej skłonności do odbioru opakowania przez punkt zwrotu został oznaczony innym kształtem znacznika. Dla poszczególnych wariantów są to:

- 50% - okrąg
- 60% - trójkąt
- 70% - romb
- 75% - kwadrat

Analizując zaprezentowane wyniki można zauważyć, że strategia ekologiczna niezależnie od wysokości SKZ charakteryzuje się najniższymi kosztami przy umiarkowanym poziomie

indeksu środowiskowego. Stabilność ta wynika z faktu, że konsumenci zachowują się świadomie i uzyskują równowagę pomiędzy zakupami produktów w opakowaniach jednorazowych i wielokrotnego użytku.

W przypadku strategii ekonomicznej można dostrzec dużą rozbieżność pomiędzy SKZ a wysokością kosztów i wartością indeksu środowiskowego. Rozbieżność ta wynika z faktu, że w tym przypadku wpłynięcie na parametr SKZ pociąga za sobą wyłącznie reakcje wśród klientów mających na uwadze przede wszystkim korzyści materialne. Ułatwienie im procesu zwrotu zachęca ich do dalszego korzystania z opakowań wielokrotnego użytku, a co za tym idzie, do kupowania produktów opakowanych właśnie w ten rodzaj opakowań. Interesującą okazuje się również wartość indeksu środowiskowego, która z wartości umiarkowanej (7) w przypadku $SKZ = 50\%$ przechodzi w skrajne (0 - 2,5) dla większych wartości SKZ. Rozbieżność spowodowana jest przejściem przeważającej liczby konsumentów z zakupów produktów w opakowaniach jednorazowych do zakupów dóbr w opakowaniach wielokrotnego użytku. Taki obrót rzeczy jest niekoniecznie pożądany z ekologicznego punktu widzenia, ponieważ bardzo wysoki odsetek butelek wielokrotnego użytku powoduje zdecydowanie większe szkody dla środowiska. Można powiedzieć, że dla czystej strategii ekonomicznej i $SKZ = 60\%$ uzyskane wartości są wyjątkowo niekorzystne zarówno z punktu widzenia środowiskowego jak i kosztowego. Przy niższym SKZ indeks środowiskowy jest na zdecydowanie lepszym poziomie, podczas gdy przy wyższych SKZ zarówno indeks środowiskowy jak i koszty przybierają bardziej korzystne wartości. Przy takiej kombinacji parametrów należy zatem podjąć wszelkie możliwe działania w celu obniżenia lub podwyższenia SKZ. W przypadku gdyby nie było to możliwe, należałoby rozważyć szanse na zmianę struktury zachowań konsumenckich np. przez akcje społecznościowe.



Rys. 4-12 Porównanie strategii czystych

Źródło: opracowanie własne

W przypadku czystej strategii wygodnej, zmniejszenie poziomu kosztów wymaga znacznego zwiększenia poziomu SKZ, ponieważ jak można zauważyć na poniższym wykresie, dopiero w przypadku $SKZ = 75\%$ widać niewielki spadek kosztów, przy widocznym zmniejszeniu indeksu środowiskowego. Spowodowane jest to tym, że klienci postępujący zgodnie z tą strategią, zachęceni są wysokim poziomem odbioru zwrotów do oddawania opakowań wielokrotnego użytku. Zaczynają zatem kupować produkty w opakowaniach wielokrotnego użytku, jednakże stosunek opakowań zwrotnych do jednorazowych pozostaje nadal na tyle niewielki, że nie zapewnia widocznych korzyści ekonomicznych z perspektywy całego systemu. Na podstawie powyższych analiz można stwierdzić, że głównym czynnikiem determinującym ekologiczne następstwa wdrożenia opakowań wielokrotnego użytku jest dominująca wśród konsumentów strategia zachowań. Analiza strategii czystych wyraźnie pokazuje wystąpienie skrajnych wartości indeksu środowiskowego dla jednych strategii i zbliżenie do wartości optymalnych w przypadku innych. Zweryfikowano tym samym hipotezę H3. Niezaprzeczalne jest, że w indeks środowiskowy ulega widocznym zmianom w przypadku zmiany współczynnika SPZ. Wyraźne odchylenia zależne są jednak od dominujących strategii zachowań dlatego poziom odbioru opakowań jako czynnik determinujący ekologiczne konsekwencje wdrożenia opakowań jest na drugim miejscu.

4.2.2 Wnioski

Analizując dane będące wynikiem przeprowadzonych symulacji można zauważyć, że interdyscyplinarne podejście do problematyki równowagi ekonomiczno-ekologicznej w systemie o tak dużym poziomie złożoności, jakim jest system obrotu opakowaniami wielokrotnego użytku, jest niezwykle trudne. Fakt ten wynika z dużej liczby parametrów, od których zależy ostateczny wynik. Niemniej, podjęta w niniejszej pracy próba wyciągnięcia użytecznych wniosków przyniosła oczekiwane rezultaty.

Na początku można stwierdzić, że wraz ze wzrostem czynnika jakim jest skłonność punktów zwrotu do przyjęcia opakowania (SPZ), koszty obsługi całego systemu maleją, jednakże tylko w momencie gdy przeważająca część społeczeństwa postępuje zgodnie z opisaną wcześniej strategią ekologiczną lub ekonomiczną. Dla populacji, która ze względu na wygodę nie dba ani o aspekty ekonomiczne, ani o ekologię, nakłady poświęcone na zwiększenie tego parametru w systemie nie znajdują pokrycia w korzyściach wynikających ze zwiększonych oszczędności.

Ponadto interesującym spostrzeżeniem jest oddziaływanie zwiększającej się skłonności do odbioru zwrotów na aspekty ekologiczne. Biorąc pod uwagę aspekty środowiskowe, jedyną sytuacją, w której opłacalne byłoby zwiększanie parametru SPZ jest zdominowanie społeczeństwa przez osoby postępujące zgodnie ze strategią wygodną. Swoistego rodzaju nakłanianie ludzi do zwrotu opakowań wielokrotnego użytku przyniosłoby dla takiej struktury populacji wymagane rezultaty w postaci ochrony środowiska. Oczywiście należałoby w tym momencie kłaść większy nacisk na aspekty ekologiczne niż ekonomiczne.

Kolejnym wnioskiem nasuwającym się po analizie zaprezentowanych danych jest duża rozbieżność wyników dla konsumentów bazujących głównie na chęci zysków materialnych (strategia ekonomiczna). W warunkach, w których większość populacji wskazuje na takie zachowanie, można osiągać duże różnice wyników przy stosunkowo niewielkich zmianach innych parametrów.

Populacja nastawiona głównie na aspekty ekologiczne zachowuje natomiast bardzo silną równowagę, co można było zauważyć w silnej koncentracji kombinacji proekologicznych zachowań na wykresach (rys. 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12).

Pomimo wprowadzenia do systemu parametrów odzwierciedlających zarówno aspekty ekonomiczne jak i ekologiczne, należy zdawać sobie sprawę z zastosowanych uproszczeń. W modelu pominięto całkowicie aspekty społeczne (oddziaływanie jednych podmiotów na

drugie w zależności od prezentowanych przez nie zachowań), a także zminimalizowano potencjalny wpływ regulacji prawnych i administracyjnych (w modelu przewidziano wzrost lub spadek parametru SPZ, który częściowo zależny jest również od rozporządzeń państwowych). Z tego też powodu należy być bardzo ostrożnym w wyciąganiu definitywnych wniosków z wyników uzyskanych w opisanym w pracy eksperymencie symulacyjnym. Autor zdaje sobie sprawę z ograniczeń zaproponowanego modelu, niektóre z poruszonych powyżej aspektów zostały przytoczone i wyjaśnione w dalszej części rozdziału.

4.2.3 Sposoby wykorzystania modelu symulacyjnego w praktyce

Model RUPSim z założenia projektowany był w celu zapewnienia możliwości zastosowania go w praktyce biznesowej. Potencjalnym obszarem zastosowań modelu jest wykorzystanie go do określenia kosztocłonności działań podejmowanych przez przedsiębiorstwo w kontekście opłacalności wykorzystania opakowań wielokrotnego użytku. Dzięki skalowalności modelu RUPSim, możliwe jest jego zastosowanie również w innych branżach niż branża piwowarska, na której bazował eksperyment symulacyjny przedstawiony w niniejszej pracy. Przeprowadzenie eksperymentu służy pozyskaniu szacunkowych danych, które w dalszej kolejności można poddać analizie.

Główną trudnością w zastosowaniu modelu RUPSim jest jego odpowiednia parametryzacja, w celu odzwierciedlenia rzeczywistego stanu modelowanego systemu. Dlatego niezbędne jest określenie rzeczywistych wartości poszczególnych parametrów wchodzących w skład modelu. Wśród nich należy określić:

- Rzeczywiste koszty przystosowania opakowania zwrotnego do kolejnego wykorzystania. W skład tych kosztów wchodzi wszelkie czynności procesu przystosowawczego, takie jak: czyszczenie, sterylizacja, utylizacja odpadów operacyjnych itp.
- Koszty związane z zakupem poszczególnych rodzajów opakowań (jednorazowych i wielokrotnego użytku).
- Struktura populacji w kontekście zachowań podmiotów odpowiedzialnych za zagospodarowanie opakowania. Uzyskanie informacji na temat rzeczywistej struktury populacji podmiotów odpowiedzialnych jest często problematyczne. Wymaga zazwyczaj przeprowadzenia dodatkowych badań na reprezentatywnej próbie, na podstawie których możliwe staje skonfigurowanie struktury populacji.

- Rozłożenie poszczególnych elementów systemu na dwuwymiarowej tablicy. Można oczywiście zastosować w tym celu proponowany algorytm losowego rozłożenia uczestników, jednak lepszą dokładność modelu zapewni celowe rozłożenie obiektów na podstawie danych rzeczywistych. Dane te w przypadku podmiotów instytucjonalnych można pozyskać pobierając je z baz teleadresowych. Bardziej problematyczną sytuacją jest odwzorowanie rozłożenia konsumentów będących osobami fizycznymi.

Po przeprowadzeniu sugerowanej liczby symulacji (10 000, choć w zależności od wartości parametrów wielkość ta może ulec zmianie) przy danej konfiguracji parametrów użytkownik otrzyma zbiór wyników odzwierciedlających prognozowane wartości kosztów i indeksów środowiskowych. W momencie gdy przedsiębiorstwo planuje działania, mające na celu zmianę dowolnego parametru systemu, można przeprowadzić dalsze symulacje dla nowej kombinacji parametrów. W ten sposób otrzymane wyniki są podstawą do analizy porównawczej, na podstawie której możliwe jest stwierdzenie, czy nakłady związane ze zmianą jednego z parametrów znajdą odzwierciedlenie w oszczędnościach wynikających z wdrożenia danych rozwiązań.

4.3 Kierunki dalszych badań i rozszerzanie zakresu modelu RupSim

W trakcie prac nad modelem RUPSim, jak również podczas przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych wyszczególniono potencjalne obszary rozwoju opracowanego modelu, jak również jego implementacji. Obszary te zarówno rozszerzają obecny zakres modelu RUPSim, jak i uszczegóławiają już istniejący. Ze względu na postawione w pracy cele jak również istniejące ograniczenia, z których autor zdaje sobie sprawę (w postaci dostępnego czasu i środków potrzebnych do rozwijania oprogramowania), wyszczególnione w tym podrozdziale potencjalne prace nad modelem pozostawiono jako przedmiot dalszych badań nad logistyką opakowań zwrotnych w łańcuchu dostaw.

4.3.1 Rozwój funkcjonalności narzędzia informatycznego

W obecnej formie narzędzie informatyczne, którego bazą jest model RUPSim pozwala na losowe rozmieszczanie wykorzystanych podczas eksperymentów symulacyjnych obiektów na zdefiniowanej 2-wymiarowej tablicy. Sytuacja ta stanowi pewne uproszczenie rzeczywistości. Dla celów opracowania modelu zrezygnowano z reprezentacji następujących elementów rzeczywistych systemów:

- Uwzględnienia rzeczywistej gęstości zaludnienia – w rzeczywistości niektóre obszary zamieszkane przez potencjalnych konsumentów charakteryzują się wysoką gęstością zaludnienia, w przypadku której wielu konsumentów ma do przebycia identyczną drogę do punktu zwrotu opakowań. W modelu przyjęto, że na jednym wirtualnym polu może jednocześnie znajdować się jeden podmiot.
- Uwzględnienie rzeczywistych ograniczeń transportu opakowań – w obecnej implementacji klienci mogą poruszać się bez ograniczeń przechodząc pomiędzy poszczególnymi polami reprezentowanej przestrzeni wybierając zawsze najkrótszą trasę. W rzeczywistości występuje wiele ograniczeń, które muszą być brane pod uwagę, takich jak zagospodarowanie przestrzenne, rozkład dróg, chodników, budynków itp. Uszczegółowienie tego typu spowoduje wydłużenie drogi, którą muszą przebyć poszczególne podmioty, co wpłynie na zachowania między innymi konsumentów działających zgodnie ze strategią ekonomiczną.
- Rozmieszczenie punktów zwrotu, kontenerów do utylizacji ogólnych odpadów i kontenerów na odpady segregowane – w symulacji rozmieszczenie wszystkich obiektów jest określone losowo. Dla rzeczywistych zastosowań należałoby określić położenie każdego z nich w postaci koordynat odzwierciedlających długość i szerokość geograficzną.

W celu rozszerzenia możliwości modelu symulacyjnego można również wykorzystać istniejące, szeroko rozwinięte aplikacje map, dzięki którym istniałaby możliwość dokładnego odzwierciedlenia rzeczywistości. Przykładowo powszechnie wykorzystywany serwis Google Maps (<http://maps.google.com>) zapewnia wygodny w użyciu i w dodatku darmowy interfejs programistyczny (API), dzięki któremu możliwe jest opracowanie modułu do wdrożonego oprogramowania modelu RUPSim, pozwalającego na mapowanie poszczególnych elementów symulacji na rzeczywistej mapie. Mapowanie odbywa się przez umieszczanie znaczników reprezentujących poszczególne obiekty na mapie (przypisanie im koordynat). Ze względu na fakt, że obecnie wdrożone rozwiązanie już bazuje na rozmieszczaniu koordynatów przypisanych do poszczególnych obiektów, możliwość integracji systemu z zewnętrzną aplikacją nie tworzy potrzeby budowy całej aplikacji od nowa, dlatego też rozszerzenie danej funkcjonalności jest realnym kierunkiem dalszego rozwoju.

Rozpatrując rozszerzenie funkcji mapowania elementów w 2-wymiarowej przestrzeni, należy również wspomnieć możliwości automatycznego zasilania systemu symulacyjnego danymi, którymi dysponują instytucje odpowiedzialne za gospodarkę odpadami w jednostkach

samorządów terytorialnych. Przykładowo Związek Gminny Gospodarka Odpadami Aglomeracji Poznańskiej (GOAP) posiada pełną bazę danych poszczególnych kontenerów znajdujących się na terenie miasta Poznania, którą wykorzystują do zasilania systemów optymalizujących trasy śmieciarek przedsiębiorstw zajmujących się przepływami odpadów z kontenerów do miejsca ich składowania lub utylizacji. Istnieje zatem potencjalne źródło danych, z których można skorzystać.

4.3.2 Badanie wpływu liczby punktów zwrotu na wynik całego systemu

W symulacji założono, że liczba punktów zwrotu jest stała, i wynika ze średniej dostępności takich punktów dla przeciętnego mieszkańca Polski. Założeniem punktem zwrotu jest sklep detaliczny, mający w ofercie napoje, których opakowania są zwracane. W rzeczywistości punktem zwrotu niekoniecznie musi być sklep detaliczny. Specjalistyczne punkty skupu lub automaty przyjmujące opakowania zwrotne są powszechną formą odbioru opakowań wielokrotnego użytku w krajach Europy zachodniej. Wprowadzenie liczby punktów zwrotu jako elementu zmiennego pozwoli wykazać w jaki sposób zmiana wysokości nakładów na dostępność punktów zwrotu wpłynie na całkowity wynik ekonomiczno-ekologiczny badanego systemu. Dodatkowy parametr zwiększyłby jednak liczbę przeprowadzanych wariantów symulacji, dlatego w obecnej wersji modelu RUPSim został pominięty. Aby rozwiązanie to przyniosło spodziewane rezultaty należałoby założyć jednocześnie, że współczynnik SPZ jest różnicowany pomiędzy poszczególnymi punktami zwrotu. Wynika to z 2 przesłanek:

1. Automatyczne punkty zwrotów, w których nie ma czynnika ludzkiego, posiadają SPZ znacznie wyższy niż ich tradycyjne odpowiedniki. Przykładowo jedyną podstawą do nieprzyjęcia opakowania wielokrotnego użytku przez automat jest fizyczne uszkodzenie opakowania stwierdzone przez mechanizmy kontrolujące jego stan.
2. Wstępne wyniki badań przeprowadzonych z wprowadzeniem liczby punktów zwrotu jako dodatkowego parametru wykazały, że wpływ tego czynnika na wynik końcowy jest minimalny, a wręcz nieistotny (por. Tab. 4-3) w warunkach niezróżnicowanej wartości współczynnika SPZ. W obecnym modelu dominującą rolę stanowi zachowanie oddającego i przyjmującego, a nie liczba przyjmujących.

Liczba PZ	SPZ	Strat. Wygodna		Strat. ekonomiczna		Strat. ekologiczna	
		Ind. środ.	Koszty (tys.)	Ind. środ.	Koszty (tys.)	Ind. środ.	Koszty (tys.)
10	50%	11,95	8297,95	7,17	7281,89	4,69	3348,57
	60%	11,85	8265,34	0,03	5334,42	4,80	3053,76
	70%	11,59	8082,90	1,51	4087,41	4,83	2919,33
	75%	7,16	7701,42	2,50	3742,58	4,84	2887,38
15	50%	11,45	8225,95	7,37	7355,89	4,29	3295,57
	60%	11,85	8229,34	0,03	5160,42	4,30	2941,76
	70%	11,59	7907,90	1,71	4062,41	4,73	2706,33
	75%	6,66	7284,42	2,70	3652,58	4,84	2880,38
20	50%	10,95	8224,95	7,57	7258,89	4,39	3246,57
	60%	11,55	8261,34	0,47	5085,42	3,80	2720,76
	70%	11,59	7821,90	1,91	3981,41	4,23	2209,33
	75%	6,56	6820,42	2,20	3259,58	4,74	2920,38

Tab. 4-3 Wstępne porównanie oddziaływania liczby punktów zwrotu (PZ) na pozostałe parametry

Źródło: opracowanie własne

4.3.3 Rozszerzenie modelu o aspekty społeczne

Jak wspomniano wcześniej, w obecnej postaci model nie przewiduje kształtowania zachowań jednych podmiotów przez inne. Oznacza to, że każdy uczestnik symulacji działa autonomicznie i jedynymi przesłankami do zmian w przyszłych decyzjach jest to, czy dany podmiot odniósł sukces, czy porażkę w związku z próbą oddania opakowania. Nie uwzględniono w ogóle interakcji pomiędzy poszczególnymi podmiotami. Tym samym model bazuje wyłącznie na przesłankach ekonomicznych i ekologicznych. Rozszerzenie modelu o aspekty społeczne spowodowałoby dodatkowe elementy pozwalające na lepsze odwzorowanie modelowanej rzeczywistości. Czynniki społeczne można zaimplementować wprowadzając modyfikatory wynikające z zachowań jednostek sąsiadujących. Dla dalszego uwiarygodnienia mechanizmów społecznych, nieodzowne stałoby się wdrożenie symulacji procesów powstawania skupisk osób prezentujących dany typ zachowań. Dodanie aspektów społecznych w zaproponowanej formie mogłoby wywołać zjawisko odwrotne do zwiększania wskaźnika SPZ, stabilizując tym samym zachowania podmiotów (tj. jeśli wszyscy sąsiedzi nie przejmują się oddaniem butelek, to i ja nie będę). Jest to jednak jedynie przypuszczenie, które nie miało w trakcie powstawania niniejszej pracy żadnego potwierdzenia, może jednak stanowić interesującą hipotezę w dalszych badaniach.

4.3.4 Transport w modelu RUPSim

Kolejnym elementem upraszczającym model RUPSim była świadoma rezygnacja z odwzorowania procesów transportowych, które prezentują wysoki poziom skomplikowania

i często są przedmiotem eksperymentów symulacyjnych. Przyczyną rezygnacji z odwzorowania transportu były, oprócz potrzeby uproszczenia modelu, wyniki innych symulacji dotyczących logistyki zwrotnej, w których transport nie odgrywał kluczowej roli (por. 2.3.1). Jednakże w celu zwiększenia dokładności uzyskanych w trakcie eksperymentu symulacyjnego wyników można rozszerzyć model RUPSim o dodatkowe parametry, wśród nich:

- Koszty transportu – w obecnej postaci koszty te wynikają de facto z innych parametrów i występują w zagregowanej formie, tzn. rozszerzenie modelu o aspekty transportowe spowoduje, że wyniki wygenerowane w trakcie przeprowadzanych symulacji będą bardziej zbliżone do wartości rzeczywistych;
- Wielkości logistyczne – w modelu RUPSim przemieszczanie opakowań pomiędzy poszczególnymi elementami systemu odbywa się pojedynczo. Wdrożenie wielkości logistycznych, tj. założenie, że poszczególni uczestnicy systemu będą przemieszczać zużyte opakowania dopiero w momencie uzbierania pewnego progu ilościowego spowoduje zmiany w otrzymanych wynikach. Z wielkościami logistycznymi wiązałyby się oczywiście dodatkowe koszty takie jak koszty magazynowania.

Wprowadzenie dodatkowych parametrów z obszaru transportu wpłynęłoby niewątpliwie na poziom skomplikowania modelu pozwoliłoby jednak na zwiększenie adekwatności wyników kosztowych uzyskanych z symulacji.

Zakończenie

W pracy podjęto problematykę podejmowania decyzji dotyczących wyboru rodzaju opakowań wykorzystywanych przez podmioty gospodarcze. W czasach, w których poziom świadomości ekologicznej społeczeństwa ciągle wzrasta, a państwa zaostrzają wymogi ekologiczne, wybranie odpowiedniego rodzaju opakowań jest jedną z kluczowych decyzji która musi być podjęta przez zarząd przedsiębiorstwa. Znalezienie optymalnego rozwiązania, które byłoby jednocześnie ekonomicznie efektywne i spełniałoby wymogi ekologiczne wymaga wieloaspektowej analizy, która musi jednocześnie brać pod uwagę wewnętrzne, jak i zewnętrzne czynniki wpływające na funkcjonowanie przedsiębiorstw. Przedstawiona problematyka nie jest nowa, od wielu lat jest ona przedmiotem zainteresowań badaczy i praktyków biznesu, którzy opracowali liczne modele, metody i narzędzia, mające na celu wspomaganie podejmowania decyzji menadżerskich w tym zakresie. Opisane w literaturze modele są najczęściej jednoaspektowe. Biorą one pod uwagę albo kwestie ekonomiczne, albo ekologiczne. Wyniki przeprowadzonych przez autora badania pokazują, że można jednocześnie uwzględnić zarówno kwestie ekonomiczne jak i ekologiczne w zarządzaniu opakowaniami. Wyrażone zostało to przede wszystkim w autorskim modelu logistyki zwrotnej opakowań RUPSim.

W pracy zidentyfikowano główne czynniki determinujące stosowanie opakowań zwrotnych oraz opracowano model symulacyjny służący do określenia ekonomicznych i środowiskowych następstw ich wykorzystania. Potwierdza to realizację celu głównego postawionego we wstępie pracy. W dysertacji wyznaczono dodatkowo pięć celów szczegółowych, które, w odczuciu autora zostały również zrealizowane:

- prowadząc badania literaturowe zebrano najważniejsze istniejące modele symulacyjne logistyki zwrotnej,
- przeanalizowano dostępne technologie służące do wdrażania modeli symulacyjnych i wybrano język programowania Java jako technologię do implementacji modelu symulacyjnego,
- wykorzystano modelowanie i symulacje komputerowe na potrzeby opracowania autorskiego modelu logistyki zwrotnej opakowań RUPSim,
- model RUPSim zaimplementowano w postaci programu komputerowego, wykorzystując w tym celu język programowania Java, a następnie przeprowadzono eksperyment symulacyjny przy jego użyciu,

- opisano wyniki analizy danych otrzymanych w trakcie przeprowadzonego eksperymentu symulacyjnego i wskazano potencjalne korzyści z zastosowania zaprojektowanego modelu symulacyjnego w praktyce gospodarczej.

Pierwszy etap prac badawczych dotyczył weryfikacji hipotezy H1. Jest to hipoteza, podobnie jak większość hipotez badawczych, bazująca na wstępnym rozpoznaniu problemu, analizie logicznej, intuicji badawczej i zdroworozsądkowym myśleniu, zgodna z rozpowszechnionymi przekonaniem. Wydawało się, że jej potwierdzenie jest tylko kwestią zastosowania metod naukowych. Jednak w trakcie postępowania badawczego powyższa hipoteza została sfalsyfikowana. Dlatego dążąc do definitywnego rozpoznania badanego problemu, w zakresie określonym celem głównym rozprawy, bazując na doświadczeniu i wiedzy zdobytych w pierwszym etapie badań przyjęto do weryfikacji hipotezy H2 i H3. Na podstawie przeprowadzonych w drugim etapie badań stwierdzono, że efektywność systemu zwrotów jest zależna od poziomu odbioru opakowań w systemie. Im mniejsze prawdopodobieństwo odbioru opakowania, tym mniej osób jest skłonnych zwrócić opakowanie przy jednoczesnym zwiększaniu kosztów obsługi systemu. Dodatkowo zauważono, że na efektywność wpływają również zachowania konsumentów, które są drugim czynnikiem determinującym opłacalność wdrożenia opakowań zwrotnych. Ponadto w rozprawie zajęto się równocześnie problematyką wpływu opakowań zwrotnych na ekologię. Po przeprowadzeniu analizy danych stwierdzono, że główną determinantą oddziaływania opakowań wielokrotnego użytku na ekologię są strategie zachowań klientów. Wpływ ekologiczny zależy głównie od tego jaka część społeczeństwa postępuje w sposób ekologiczny (oddając opakowania za wszelką cenę), ekonomiczny (oddają opakowanie dopóki jest to w interesie jednostki) lub wygodny (działając niezależnie od kwestii ekonomii i ekologii). Spostrzeżenia wynikające z przeprowadzonych badań pozwalają na potwierdzenie postawionych hipotez H2 i H3. Założono w nich, że główne czynniki determinujące użycie opakowań zwrotnych to przeważający model strategii zachowań konsumentów i poziom odbioru opakowań w systemie.

W rozprawie zaproponowano modele, metodykę i schemat analityczny, które można wykorzystać do ewaluacji ekonomicznych i środowiskowych następstw wdrożenia różnych rodzajów opakowań. Do ich konstrukcji wykorzystano koncepcje, metody i narzędzia z zakresu teorii informatyki, nauk o zarządzaniu i ekonomii. W istniejącej literaturze przedmiotu można znaleźć propozycje jednoaspektowej ewaluacji poruszanej problematyki, brakuje jednak podejścia interdyscyplinarnego. Opisany model RUPSim rozszerza dostępne modele o brakujący aspekt. Autor zdaje sobie jednak sprawę, że zaproponowane rozwiązania bazują na

licznych założeniach i uproszczeniach dających jednak możliwość formułowania uogólnień pozwalających na wykorzystanie opisanego podejścia nie tylko w jednej branży. Implementacja opracowanych rozwiązań w praktyce gospodarczej wymagałyby uszczegółowienia i wdrożenia dodatkowych modułów odwzorowujących dalsze, bardziej szczegółowe obszary modelowanej rzeczywistości. Przykładowo, w rozprawie skupiono się na aspektach kosztowych i ekologicznych pomijając w modelu RUPSim aspekty transportu i magazynowania opakowań. Trzeba jednak zaznaczyć, że dzięki uproszczeniom model jest bardziej elastyczny i uniwersalny. Z tego powodu pozostawia on możliwości w zakresie doskonalenia zaproponowanych rozwiązań i prowadzenia dalszych badań. Również przedstawione w rozprawie potencjalne korzyści biznesowe, wynikające z zastosowania modeli symulacyjnych do ewaluacji poszczególnych wariantów opakowań, stanowią motywację do podjęcia kolejnych prac badawczych nad przedstawionym modelem.

Bibliografia

1. Abdolhossein, S., Ismail, N., Ariffin, M.K.A., Zulkifli, N., Mirabi, H., Nikbakht, M., 2012 *Closed-Loop Supply Chain Networks: an Overview*, International Journal of Innovative Ideas, vol. 12, no. 4.
2. Aberdeen Group, 2002 *Making E-sourcing Strategic*, Aberdeen Group.
3. Ahrweiler, P., Pyka, A., Gilbert, N., 2011 *A new model for university-industry links in knowledge-based economies*, Journal of Product Innovation Management, vol. 28, no. 2.
4. Amini, M., Retzlaff-Roberts, D., Beinstock, C.C., 2005 *Designing a Reverse Logistics Operation for Short Cycle Time Repair Services*, International Journal of Production Economics, s. 367-380.
5. Ammer, D.S., 1974 *Is your purchasing department a good buy?*, Harvard Business Review, Marzec – Kwiecień, s. 36-42, 154-157.
6. Andrew, C., Inkpen, A.C., Beamish, P.W., 1997 *Knowledge, Bargaining Power, the Instability of International Joint Ventures*, vol. 22, no. 1, styczeń, s. 183.
7. Ansoff, H.I., 1965 *Corporate Strategy*, s. 8.
8. Antosike, A., Zhang, D., 2006 *Dynamic reconfiguration, simulation of manufacturing systems using agents*, Journal of Manufacturing Technology Management.
9. Axelrod, R., 1997 *Advancing the art of simulation in the social sciences*, in Conte, R., Hegselmann, R., Terna, P., ed. *Simulating social phenomena*, Berlin: Springer.
10. Balou, R.H., 2007 *The evolution, future of logistics, supply chain management*, vol. 19, no. 4, s. 341.
11. Banks, J., 1998 *Handbook of simulation. Principles, Methodology, Advances, Applications,, Practice*, New York: John Wiley & Sons.
12. Barabasi, A.L., 2003 *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else, What It Means*, Pengiun Group.
13. Barabási, A.L., 2009 *Scale-Free Networks: A Decade, Beyond*, vol. 325, no. 5939, Lipiec, s. 413.

14. Barabási, A.L., Albert, R., 1999 *Emergence of Scaling in Random Networks*, *Science*, vol. 286, no. 5439, Październik, s. 509-512.
15. Barbosa, J., Leitao, P., 2011 *Simulation of Multi-agent Manufacturing Systems using Agent-based Modelling Platforms*, Proceedings of the 2011 9th IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN, s. 477-48.
16. Baron, J.P., Shaw, M.J., Bailey, A.D., 2000 *Web-based e-catalog systems in B2B procurement*, vol. 43, no. 5, Maj, s. 96.
17. Beamon, B.M., 1999 *Designing the green supply chain*, *Logistics Information Management*, vol. 12, no. 4, s. 332-342.
18. Beer, S., 1999 *On the nature of models*, *Informing Science*, vol. 2, no. 3.
19. Bendkowski, J., Wengierek, M., 2002 *Logistyka odpadów, Tom I, Procesy logistyczne w gospodarce odpadami*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
20. Bendkowski, J., Wengierek, M., 2002 *Logistyka odpadów, Tom I, Procesy logistyczne w gospodarce odpadami*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
21. Benkler, J., 2008 *Bogactwo sieci*, WAiP.
22. Berger, P.L., Luckmann, T., 1983 *Spoleczne tworzenie rzeczywistości*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
23. Berryman, K., 2000 *Electronic commerce: three emerging strategies*, *The McKinsey Quarterly*, s. 129-36.
24. Blumberg, D.F., 2005 *Introduction to Management of Reverse Logistics, Closed-loop Supply Chain Processes*, Boca Raton: CRC Press.
25. Błaszczak, B., 2012 *Odpowiedź podsekretarza stanu w Ministerstwie Środowiska - z upoważnienia ministra - na interpelację nr 19497*, <http://orka2.sejm.gov.pl/IZ6.nsf/main/0289BBC7> [dostęp: 10.12.2012].
26. Booz Allen & Hamilton, 2000 *E-sourcing: 21 Century Purchasing*, Booz Allen & Hamilton.
27. Braun, A., Rosner, H.J., 2011 *Disturbance, succession. Potential of agent-based systems for modeling vulnerable ecosystems. Application to land degradation processes*, Proceedings of the Geoinformatics Forum Salzburg, s. 12-21.
28. Brdulak, H., Michniewska, K., 2009 *Logistyka odzysku*, *Logistyka*, s. 16-21.

29. Breen, L., 2006 *Give me back my empties or else! A preliminary analysis of customer compliance in reverse logistics practices*, (UK), Management Research News, pp. 532-551.
30. BRIDGE, 2009 *Bridge Project High Level Design for Discovery Services*, <http://www.bridge-project.eu> [dostęp: 27.08.2011].
31. Brilman, J., 2002 *Nowoczesne metody i koncepcje zarządzania*, Warszawa: PTE.
32. Browning, J.M., Zabriskie, N.B., Huellmantel, A.B., 1983 *Strategic Purchasing Planning*, Strategic Purchasing Planning, Journal of Purchasing, Materials Management.
33. Brzozowski, M., 2007 *Istota organizacji wirtualnej*, Przegląd Organizacji, s. 10.
34. Bultje, R., Wijk van, J., 1998 *Taxonomy of Virtual Organisations, based on definitions, characteristics, typology*, vol. 2, no. 3, s. 9-12.
35. Burn, J., Barnett, M.L., 1999 *Communicating for Advantage in the Virtual Organisation*, IEEE Transactions on Professional Communication, vol. 42, no. 4, s. 1-8.
36. Burn, J., Marshall, P., Wild, M., 1999 *When Does Virtual Have Value?*, w: Romm, C.T., Sudaweeks, F., ed. *Doing Business on the Internet: Opportunities, Pitfalls*, London: Springer Verlag.
37. Burn, J., Tetteh, E.O., 2000 *A Strategic Approach to the Development of an Infrastructure for Small, Medium EBusiness*, Bled E-Commerce Conference, Bled.
38. Burt, D.N., Soukup, W.R., 1985 *Purchasing's Role in New Product Development*, Wrzesień - Październik, s. 90-96.
39. Byrne, J.A., 1993 *The virtual corporation*, Business Week, 8 Luty, s. 36.
40. Caddick, J.R., Dale, B.G., 1987 *The Determination of Purchasing Objectives, Strategies: Some Key Influences*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, vol. 17, no. 3, s. 5-16.
41. Cagliano, R., Caniato, F., Spina, F., 2005 *Reconsidering e-business strategy, the impact on supply chains*, International Journal of Operations & Production Management.

42. Cantero, J.J., in., i., 2010 *A Design for Secure Discovery Services in the EPCglobal Architecture*, w: Ranasinghe, D.C., in., i. *Unique Radio Innovation for the 21st Century*, Berlin Heidelberg: Springer.
43. Carlson, P.F., 1990 *The Long, Short of Strategic Planning*, *Journal of Business Strategy*, vol. Maj - Czerwiec, s. 15-19.
44. Castels, M., 2008 *Spoleczeństwo sieci*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
45. CCL, 2013 *NetLogo Manual, Documentation by The Center for Connected Learning, Computer-Based Modeling*, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo> [dostęp: 20.06.2013].
46. Chaberek, M., Jezierski, A., 2010 *Informatyczne narzędzia procesów logistycznych*, Warszawa: Wydawnictwo CeDeWu.
47. Chaberek, M., Mańkowski, C., 2004 *Modelowanie procesów i systemów logistycznych*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego*, no. 28.
48. Chandra, C., Grabis, J., 2007 *Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions,, Applications*, New York: Springer.
49. Chesbrough, H.W., Teece, D.J., 1996 *When is Virtual Virtuous: Organizing for Innovation*, Styczeń - Luty.
50. Chmielewski, P., 2010 *Odpowiedzialność społeczna browarów*, <http://www.smaki-piwa.pl/tematy-okolopiwne/odpowiedzialnosc-spoeczna-ciag-dalszy/> [dostęp: 12.04.2012].
51. Christopher, M., 2000 *Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw*, Warszawa: Wydawnictwo PCDL.
52. Coase, R.H., 1937 *The Nature of the Firm*, *Economica*, vol. 4, no. 16.
53. Corbin, C., 1998 *Survey: EDI Growth Slowed by Internet*, *Supermarket News*.
54. Cox, J.C., Sadiraj, K., Sadiraj, V., 2008 *Implications of trust, fear,, reciprocity for modeling economic behavior*, *Experimental Economics*, s. 2.
55. Coyle, J.J., Bardi, E.J., Langley, C.J., 2002 *Zarządzanie logistyczne*, Warszawa: Wydawnictwo PWE.
56. CSCMP, 2010 *Supply Chain Management Terms, Glossary*, http://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary.pdf [dostęp: 13.01.2013].

57. Cygler, J., 2008 *Kooperencja przedsiębiorstw w układzie międzynarodowym*, in Dworzecki, Z., Romanowska, M. *Strategie przedsiębiorstw w otoczeniu globalnym*, Warszawa: Wydawnictwo SGH.
58. Daugherty, P.J., Myers, M.B., 2002 *Information support for reverse logistics: the influence of relationship commitment*, *Journal of Business Logistics*, Styczeń, s. 85-106.
59. Davidsson, P., Holmgren, J., Persson, J.A., Ramstedt, L., 2008 *Multi Agent Based Simulation of Transport Chains*, *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents, multiagent systems*, s. 1153-1160.
60. de Brito, M.P., Flapper, S.D.P., Rommert, D., 2002 *Reverse Logistics: a review of case studies*, <http://repub.eur.nl/res/pub/561/feweco20020605160859.pdf> [01.02.2013].
61. de Brito, M.P., Konings, R., 2002 *Container management strategies to deal with the East-West flows imbalance*, http://www.fucam.ac.be/S\C3%A9minaires,\%20conf\C3%A9rences\%20et\%20colloques/Nectar/images/debrito_konings.pdf [dostęp: 12.01.2013].
62. de Brito, M.P., Rommert, D., 2002 *Reverse Logistics - a framework*.
63. de la Fuente, M.V., Ros, L., Cardos, M., 2008 *Integrating Forward, Reverse Supply Chains: Application to a metal-mechanic company*, *International Journal of Production Economics*, vol. 111, no. 2, s. 782-792.
64. de Lorena Diniz Chaves, G., Alcântara, R.L.C., 2006 *Reverse Logistics, the Relation Between Industry, Retail in the After-Sale Reverse Flow Management*, *Proceedings of the Third International Conference on Production Research - Americas Region 2006*, Curitiba, Brazil.
65. de Man, A.P., 2004 *The network economy: strategy, structure, management*, Edward Elgar Publishing.
66. Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Wassenhove, L.N.V., 2004 *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains.*, Berlin: Springer.
67. Deloitte; SAP, 2005 *Profitable growth, value creation in the beer industry. A view from Deloitte, SAP*, [http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Australia/Local%20Assets/Documents/White%20Paper_Beer\(1\(1.pdf](http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Australia/Local%20Assets/Documents/White%20Paper_Beer(1(1.pdf) [dostęp: 11.07.2013].

68. Earthshift Inc., 2013 *Packagesmart*, <http://www.earthshift.com/software/packagesmart> [dostęp: 18.01.2013].
69. Ellram, L.M., Carr, A., 1994 *Strategic purchasing: A history, review of the literature*, International Journal of Purchasing, Materials Management, s. 10-18.
70. Eltayeb, T.K., Zailani, S., Ramayah, T., 2011 *Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia, environmental sustainability: Investigating the outcomes*, Resources, Conservation, Recycling, vol. 55, no. 5, s. 495-506.
71. Engardio, P., Arndt, M., Foust, D., 2006 *Future of Outsourcing*, Business Week, s. 50-58.
72. EPCglobal, 2007 *EPC Information Service Version 1.0.1 – Specification. Ratified Standard*.
73. Farmer, D., 1981 *Developing Purchasing Strategies*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, s. 114.
74. Fechner, I., 2007 *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Poznań: Wyższa Szkoła Logistyki.
75. Fekir, A., Benamrane, N., 2011 *Segmentation of medical image sequence by parallel active contour*, Advances in Experimental Medicine, Biology, s. 515-522.
76. Fertsch, M., Pawlewski, P., 2009 *Comparison of process simulation software technics*, Modelling of modern enterprises logistics, Poznań.
77. Fishman, G., 1981 *Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
78. Fleishmann, M., 2001 *Quantitative models for reverse logistics*, Berlin: Springer.
79. Fleishmann, M., Bloemhof-Ruwaar, J., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E., van Wassenhove, L.N., 1997 *Quantitative models for reverse logistics: a review*, European Journal of Operational Research, s. 125-142.
80. Folinias, D., Manthau, V., Sigala, M., Vlachopoulou, M., 2004 *E-volution of a supply chain: cases, best practices*, Internet Research.
81. Forrester, J.W., 1980 *Industrial dynamics*, Londyn: John Wiley & Sons.
82. Franke, U.J., 1999 *The virtual web as a new entrepreneurial approach to network organizations*, Entrepreneurship & regional development, s. 204.

83. Franke, U.J., 2001 *The Concept of Virtual Web Organisations, its Implications on Changing Market Conditions*, Journal of Organizational Virtualness.
84. Franke, U.J., Hickmann, B., 1999 *Is the Net-Broker an Entrepreneur? What Role does the Net-Broker play in Virtual Webs, Virtual Corporations?*, Journal of Organizational Virtualness, s. 122.
85. Friman, M., Garling, T., Millett, B., Mattsson, J., Johnston, R., 2002 *An analysis of international business-to-business relationships based on the Commitment-Trust theory*, Industrial Marketing Management, Volume, Sierpień, s. 404.
86. Fukas-Płonka, Ł., 2010 *Zarządzanie Gospodarką Odpadami*, Poznań: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski.
87. Fuks, K., 2005 *Potop informacji - bariera na drodze do ery społeczeństwa informacyjnego*, w: Kleban, J., Wieczerzycki, W. *Era społeczeństwa informacyjnego: wyzwania, szanse, zagrożenia*, Poznań: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Komunikacji i Zarządzania w Poznaniu.
88. Fuks, K., 2009 *Elektroniczna wymiana danych*, w: red. Długosz, J. *Nowoczesne technologie w logistyce*, Warszawa: PWE.
89. Fuks, K., 2009 *SCOR - model referencyjny łańcucha dostaw*, in Ciesielski, M. *Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw*, Warszawa: PWE.
90. Fuks, K., Kawa, A., 2009 *Simulation of Resource Acquisition by e-Sourcing Clusters Using NetLogo Environment*, Lecture Notes in Computer Science.
91. Fuks, K., Kawa, A., 2010 *e-Sourcing Cluster Strategies: Empathy vs. Egoism*, Lecture Notes in Computer Science.
92. Fuks, K., Kawa, A., 2011 *Virtual Organization Networking Strategies – Simulations Experiments*, Lecture Notes in Computer Science.
93. Fuks, K., Kawa, A., Wieczerzycki, W., 2007 *Dynamic Configuration, Management of e-Supply Chains Based on Internet Public Registries Visited by Clusters of Software Agents*, Lecture Notes in Computer Science.
94. Fuks, K., Kawa, A., Wieczerzycki, W., 2008 *Improved e-Sourcing Strategy with Multi-Agent Swarms*, International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies, Internet Commerce - IAWTIC08, s. 488-493.

95. Fuller, J., Muhlbacher, H., Matzler, K., Jawecki, G., 2009 *Consumer Empowerment Through Internet-Based Co-creation*, Journal of Management Information Systems, Zima, s. 71.
96. Gadde, L., Hakansson, H., 1994 *The Changing Role of Purchasing : Reconsidering Three Strategic Issues*, European Journal of Purchasing, Supply Management, s. 33.
97. Gładzik, B., 2009 *Wprowadzenie do systemów logistycznych gospodarki odpadami w przedsiębiorstwach hutniczych*, Logistyka, s. 29-33.
98. Główny Urząd Statystyczny *Serwis informacyjny Głównego Urzędu Statystycznego*, <http://stat.gov.pl> [dostęp: 30.06.2013].
99. Gnyawali, D.R., He, J., Madhavan, R., 2006 *Impact of Co-Opetition on Firm Competitive Behavior: An Empirical Examination*, Journal of Management, vol. 32, s. 508.
100. Godziszewski, B., 1999 *Potencjał konkurencyjności przedsiębiorstwa jako źródło przewag konkurencyjnych i podstawa stosowanych instrumentów konkurowania*, w: Stankiewicz, M.J. *Budowanie potencjału konkurencyjności przedsiębiorstwa*, Toruń: TNOiK „Dom Organizatora”.
101. Golińska, P., 2009 *Ekologiczne i ekonomiczne aspekty logistyki*, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
102. Gordon, G., 1974 *Symulacja Systemów*, 1st edition, Warszawa: WNT.
103. Gorynia, M., 1998 *Zachowania przedsiębiorstw w okresie transformacji. Mikroekonomia przejścia*, Poznań: Wydawnictwo AE.
104. Gorynia, M., 2000 *Luka konkurencyjna w przedsiębiorstwach a przystąpienie Polski do Unii Europejskiej*, Gospodarka Narodowa, Lipiec - Sierpień.
105. Gorynia, M., Łązniewska, E., 2009 *Kompendium wiedzy o konkurencyjności*, PWE.
106. Gottfredson, M., Puryear, R., Phillips, S., 2005 *Strategic Sourcing. From Periphery to the Core*, vol. 83, no. 2, s. 133.
107. Górski, M., Rynkiewicz, K., 2009 *Ustawa o opakowaniach i odpadach opakowaniowych: komentarz*, Warszawa: Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o.
108. Greasley, A., 1999 *Simulation Management in Business*, Cheltenham: Stanley Thornes, Publishers Ltd.

109. Greasley, A., 2003 A simulation of a workflow management system, *Work Study, now International Journal of Productivity, Performance Management*.
110. Greasley, A., 2004 *Simulation Modelling for Business*, Aldershot: Asgate Publishing Company.
111. Greasley, A., 2004 Using a simulation model for capacity management, *Control*.
112. Greasley, A., Barlow, S., 1998 Using simulation modelling for BPR: resource allocation in a police custody process, *International Journal of Operations & Production Management*.
113. Grimm, V., 2006 A standard protocol for describing individual-based, agent-based models, *Ecological Modelling, International Journal on Ecological Modelling, Systems Ecology*, s. 116.
114. Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., 2006 A standard protocol for describing individual-based, agent-based models., *Ecological Modelling*, s. 115-126.
115. Grudzewski, W.M., Hejduk, I.K., Sankowska, A., Wańtuchowicz, M., 2007 *Zarządzanie zaufaniem w organizacjach wirtualnych*, Warszawa: Difin.
116. Grudzewski, W.M., Koźmiński, A.K., 1996 Teoria i praktyka zarządzania jako czynnik rozwoju gospodarczego., *Organizacja i Kierowanie*, s. 3-23.
117. Grupa Carlsberg, 2013 *BUTELKA ZWRÓCONA – PRZYRODA CHRONIONA*, http://www.carlsbergpolska.pl/Zrownowazonyrozwoj/wiadomosci/Pages/BUTELKA_ZWROCONA.aspx [dostęp: 13.10.2013].
118. Grupa Żywiec, 2013 *Zielony Opener - akcja Grupy Żywiec*, <http://www.grupazywiec.pl/csr/aktualnosci/zielony-opener-czyli-recycling-w-festiwalowym-wydaniu.html> [dostęp: 15.08.2013].
119. Gruszecki, T., 2002 *Współczesne teorie przedsiębiorstwa*, PWN.
120. GS1, 2007, <http://www.gs1.org/gsm/kc/epcglobal/discovery> [dostęp: 10.05.2011].
121. Gulati, R., Nohria, N., Zaheer, A., 2000 *Strategic Networks*, *Strategic Management Journal*, s. 212.

122. Guo, J., 2009 *Collaborative conceptualisation: towards a conceptual foundation of interoperable electronic product catalogue system design*, Enterprise Information Systems, s. 60.
123. Gupta, S., 2009 *Social Network Marketing: What Works?*, <http://hbswk.hbs.edu/item/6187.html> [dostęp: 19.03.2010].
124. Hagel, J., Armstrong, A., 1997 *Net gain: expanding markets through virtual communities*, Harvard Business School Press, s. 17.
125. Hajdu, I., Major, A., Lakner, Z., 2007 *Consumer behaviour in the Hungarian beer market*, Studies in Agricultural Economics, s. 89-104.
126. Halcon, F.A., 2012 *Environmental Economics: a framework in analysing problems in sustainability*, Singapur.
127. Halvey, J.K., Murphy Melby, B., 2007 *Business Process Outsourcing. Process, Strategies, Contracts*, Wiley & Sons.
128. Hamel, G., Doz, Y.L., Prahalad, C.K., 1989 *Collaborate with Your Competitors, Win*, Harvard Business Review, Styczeń-Luty, s. 139.
129. Handy, C., 1996 *Wiek paradoksu*, Warszawa: Dom Wydawniczy ABC.
130. Harrison, A., van Hoek, R., 2010 *Zarządzanie logistyką*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
131. Hartley, J.L., 2006 *Exploring the barriers to the adoption of e-auctions for sourcing*, International Journal of Operations & Production Management, s. 202-203.
132. Herrmann, J., Lin, E., Pundoor, G., 2003 *Supply chain simulation modeling using the supply chain operations reference model*, Chicago.
133. Huang, Y., Verbraeck, A., 2009 *A Dynamic Data-Driven Approach For Rail Transport System Simulation*, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, s. 2553-2562.
134. Huston, L., Sakkab, N., 2006 *Connect, Develop. Insider Procter & Gambles New Model for Innovation*, Harvard Business Review.
135. Internet Standards, 2009 *Raport e-commerce 2009*.
136. Internet Standards, 2010 *Raport e-commerce 2010*.

137. Jakowski, S., 1994 *Zasady właściwego doboru opakowań*, *Opakowanie*, no. 8.
138. Jakowski, S., 1996 *Projekt modelu obliczeniowego ekobilansu opakowań*, *Czasopismo opakowanie*.
139. Jang, D.H., in., i., 2007 *Developing a decision model for business process outsourcing*, vol. 34, no. 12.
140. Jasiczak, J., Korzeniowski, A., 1998 *Funkcje opakowań w strategii jakości towarów*, *Opakowanie*, no. 9.
141. Jayant, A., Pardeep Gupta, S.K.G., 2011 *Design, Simulation of Reverse Logistics Network: A Case Study*, http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011_pp872-876.pdf [dostęp: 10.09.2012].
142. Kanter, R.M., 1994 *Collaborative Advantage: The Art of Alliances*, *Harvard Business Review*, Lipiec-Sierpień, s. 100.
143. Kaplan, S., Sawhney, M., 2000 *E-hubs: the new B2B marketplaces*, *Harvard Business Review*, s. 97-104.
144. Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernick, H., 2007 *Simulation modelling of reverse logistics networks*, *International Journal of Production Economics*, s. 61-69.
145. Kärkkäinen, M., Ala-Risku, T., Herold, M., 2004 *Managing the rotation of reusable transport packaging – a multiple case study*, Innsbruck.
146. Kasiewicz, S., Możaryna, H., 2004 *Teoria przedsiębiorstwa. Wybrane zagadnienia*, Warszawa: Wydawnictwo SGH.
147. Kawa, A., 2009 *Simulation of Dynamic Supply Chain Configuration Based on Software Agents, Graph Theory*, *Lecture Notes in Computer Science*.
148. Keifer, S., 2010 *B2B e-Marketplaces – A Look Back Ten Years Later*, GXS Insights.
149. Keller, A.M., Genesereth, M.R., 1996 *Multi-Vendor Catalogs: Smart Catalogs, Virtual Catalogs*, *EDI Forum*, s. 90.
150. Kempny, D., 2001 *Logistyczna Obsługa Klienta*, Warszawa: Wydawnictwo PWE.
151. King, J., 1994 *Network tools of the virtual corporation*, *Network World*, s. 29.

152. Klimov, R., Merkuryev, Y., 2008 *Simulation model for supply chain reliability evaluation*, Baltic Journal on Sustainability.
153. Kompania Piwowarska, 2012 „*Ekologia się oplaca*” – *Kompania Piwowarska przekonuje do butelek zwrotnych*, <http://www.kp.pl/dla-mediow/aktualnosci/ekologia-sie-oplaca-kompania-piwowarska-przekonuje-do-butelek-zwrotnych.html> [dostęp: 20.12.2012].
154. Korzeniowski, A., J.Kwiatkowski, 1994 *Towaroznastwo opakowań*, Poznań: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
155. Korzeniowski, A., Skrzypek, M., 1994 *Bilanse ekologiczne opakowań*, Logistyka, Magazynowanie, Transport, Automatyczna Identyfikacja.
156. Korzeniowski, A., Skrzypek, M., 1999 *Ekologistyka zużytych opakowań*, Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
157. Korzeniowski, A., Skrzypek, M., Szyszka, G., 2010 *Opakowania w systemach logistycznych*, 3rd edition, Poznań: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Logistyki.
158. Korzeniowski, A., Skrzypek, M., 1999 *Ekologistyka zużytych opakowań*, Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
159. Korzeń, Z., 2001 *Ekologistyka*, Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
160. Korzon, T., 1914 *Historia handle w zarysie*, Warszawa: nakł. b. Wychowanków Szkoły Handlowej im. Leopolda Kronenberga.
161. Kowalska-Styczeń, A., 2007 *Symulowanie złożonych procesów ekonomicznych za pomocą automatów komórkowych*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
162. Kraljic, P., 1983 *Purchasing must become supply management*, Harvard Business Review, Wrzesień-Październik.
163. Kroon, L., Vrijens, G., 1995 *Returnable containers: an example of reverse logistics*, International Journal of Physical Distribution, Logistics Management, s. 56-68.
164. Kurschner, C., in., i., 2008 *Discovery Service Design in the EPCglobal Network. Towards Full Supply Chain Visibility*, w: Floerkemeier, C., in., i. *The Internet Of Things*, Lecture Notes in Computer Science.
165. Lam, R., 2007 *Agent-based simulations of service policy decisions*, Proceedings of the 39th conference on Winter simulation: 40 years! The best is yet to come.

166. Lamoureux, M., 2008 *The e-Sourcing Handbook: A Modern Guide to Supply & Spend Management Success*, Indianapolis USA.
167. Landeros, R., Monczka, R.M., 1989 *Cooperative Buyer/Seller Relationships, a Firms Competitive Strategy*, Journal of Purchasing, Materials Management, Jesień, s. 9-18.
168. Lawrence, P.R., Lorsch, J., 1967 *Differentiation, Integration in Complex Organizations*, Administrative Science Quarterly, s. 1-30.
169. Lee, J.-E., Gen, M., Rhee, K.-G., Lee, H.-H., 2012 *Building a Reusable Reverse Logistics Model, Its Optimization Considering the Decision of Backorder/Next Arrival of Goods*, Electronics, Communications in Japan, s. 42-55.
170. Lethbridge, N., 2001 *An I-Based Taxonomy of Virtual Organisations, the Implications for Effective Management*, Developing Effective Organisations.
171. Lorscheid, I., Bernd-Oliver, H., Meyer, M., 2011 *Opening the Black Box of Simulations: Transparency of Simulation Models, Effective Results Reports Through the Systematic Design of Experiments*, Hamburg University of Technology, TUHH.
172. Lorscheid, I., Heine, B.-O., Meyer, M., 2011 *Opening the Black Box of Simulations: Increased Transparency of Simulation Models, Effective Results Reports through the Systematic Design of Experiments*, Research Papers Series Hamburg University of Technology.
173. Lysons, K., 2004 *Zakupy zaopatrzeniowe*, PWE.
174. Mallenkopf, D., Closs, D., Tweede, D., Lee, S., Burges, G., 2005 *Assessing the viability of reusable packaging: a relative cost approach*, Journal of Business Logistics, s. 169-196.
175. Marshall, P., McKay, J., Burn, J., 2001 *The Three Ss of Virtual Organisations: Structure, Strategy, Success Factors*, in Davnes, Hunt, ed. *E-Commerce, V-Business*, Butterworth Heinemann.
176. Mata, T.M., Costa, C.A.V., 2001 *Life Cycle Assessment of Different Reuse Percentages for Glass Beer Bottles*, International Journal of Life Cycle Assessment, s. 307-319.
177. Mazur, H., Mazur, Z., 2002 *Wirtualne organizacje – szansa, czy zagrożenie?*, Zeszyty Naukowe AE Wrocław, s. 39.

178. Melissen, F., de Ron, A.J., 1999 *Defining Recovery Practices - Definitions, Terminology*, International Journal of Environmentally Conscious Manufacturing, Design, s. 1-18.
179. Mesjasz-Lech, A., 2011 *Makroekonomiczne aspekty logistyki zwrotnej*, Logistyka, no. 2, s. 443-454.
180. Michniewska, K., 2006 *Nowe trendy w logistyce: logistyka odzysku a ekologiczność*, Logistyka.
181. Michniewska, K., 2013 *Logistyka odzysku w opakowalnictwie*, Warszawa: DIFIN.
182. Mielczarek, B., 2009 *Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu - Symulacja dyskretna*, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
183. Miles, R.E., Snow, C.C., 1986 *Organizations: new concepts for new forms*, California Management Review, s. 64.
184. Millman, H., 1998 *A Brief History of EDI*, InfoWorld.
185. Mitchell, S., 2009 *Unsimple truths: Science, complexity, policy*, Chicago: University of Chicago Press.
186. Mohamad, M.N., Julien, D.M., Kay, J.M., 2009 *Global sourcing practices: the perceived importance of success factors, issues of actual implementation*, International Journal of Logistics: Research, Applications, vol. 12, no. 5, s. 363–379.
187. Mohrman, S.A., Finegold, D., Klein, J.A., 2002 *Designing the Knowledge Enterprise: Beyond Programs, Tools*, Organizational Dynamics, s. 137.
188. Morgan, K., 1997 *The Learning Region: Institutions, Innovation, Regional Renewal*, Regional Studies, s. 149.
189. Mowshowitz, A., 1986 *Social dimensions of office automation*, Advances in Computers, s. 335-404.
190. Mruk, H., Rutkowski, I., 1994 *Strategia produktu*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
191. Newman, M.E.J., 2003 *The structure, function of complex networks*, SIAM Review, s. 20.
192. Niemczyk, O., Olejczyk, K., 2005 *Organizacja wirtualna*, w: Krupski, R. *Zarządzanie przedsiębiorstwem w turbulentnym otoczeniu*, Warszawa: PWE.

193. Nowak, M., 2007 *Symulacja komputerowa w problemach decyzyjnych*, Katowice: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adameckiego.
194. Nowak, I., 2010 *Logistyka Odzysku - nie tylko na czas kryzysu*, *Logistyka*, s. 13-16.
195. OECD, 2009 *Highlights of OECD Science*, OECD.
196. Ogden, J.A., in., i., 2008 *Explaining the Key Elements of Information Systems-Based Supply-Chain Strategy That Are Necessary for Business-to-Business Electronic Marketplace Survival*, *Supply Chain Forum An International Journal*, vol. 9, no. 1, s. 92-110.
197. Omar, A., Davis-Sramek, B., Myers, M.B., Mentzer, J.T., 2012 *A Global Analysis of Orientation, Coordination, Flexibility in Supply Chains*, *Journal of Business Logistics*, s. 128-144.
198. Pawlewski, P., 2010 *Technologie informatyczne używane w symulacji procesów logistycznych*, *Logistyka*, no. 1.
199. Percin, S., 2008 *Fuzzy multi-criteria risk-benefit analysis of business process outsourcing*, *Information Management & Computer Security*, s. 214.
200. Perry, M., 1999 *Small Business, Network Economies*, Routledge.
201. Pfohl, H.C., 2001 *Systemy logistyczne. Podstawy organizacji i zarządzania*, Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
202. Polskie Wydawnictwo Naukowe, 2013 *Słownik języka polskiego*, <http://sjp.pwn.pl> [dostęp: 20.06.2013].
203. PolyFlex, 2012 *Returnable Packaging Vs. Disposable One-Way Packaging*, <http://www.polyflexpro.com/information-articles/returnable-packaging-vs-disposable-one-way-packaging> [dostęp: 15.03.2013].
204. Pomar, C., Harris, D.L., Minvielle, F., 1991 *Computer simulation model of swine production systems: II. Modeling body composition, weight of female pigs, fetal development, milk production, growth of suckling pigs.*, *Journal of Animal Science*, s. 1489-1502.
205. Porter, M.E., 1998 *Clusters, the New Economics of Competition*, *Harvard Business Review*, Listopad-Grudzień, s. 80.

206. Porter, M.E., 2000 *Location, Competition, Economic Development: Local Clusters In a Global Economy*, Economic Development Quarterly.
207. Porter, M.E., 2001 *Porter o konkurencji*, PWE.
208. Porter, M., 2006 *Strategia konkurencji. Metody analizy sektorów i konkurentów.*, Warszawa: Wydawnictwo PWE.
209. Porter, M.E., Kramer, M.R., 2011 *Creating Shared Value*, Harvard Business Review, Styczeń-Luty, s. 62-67.
210. Powell, W.W., 1987 *Hybrid Organizational Arrangements: New Form or Transitional Development*, California Management Review, s. 67-87.
211. Powell, W.W., 1990 *Neither Market Nor Hierarchy: Network Forms of Organization*, Research in Organizational Behavior.
212. Prahalad, C.K., Hamel, G., 1990 *The Core Competence of the Corporation*, Harvard Business Review.
213. Prahalad, C.K., Krishnan, M.S., 2008 *The new age of innovation: Driving co-created value through global networks*, McGraw-Hill.
214. Prasad, B., 2001 *Total value management - a knowledge management concept for integrating TQM into concurrent product, process development*, Knowledge, Process Management.
215. PRé, 2013 *LCA Methodology*, <http://www.pre-sustainability.com/lca-methodology> [dostęp: 12.06.2012].
216. PricewaterhouseCoopers, 2010 *Reaping the benefits of global sourcing*, w: *Why global sourcing? Why now? Creating competitive advantage in today's volatile marketplace*, Advisory Services.
217. Princeton, 2010, <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn?s=resource> [dostęp: 17.08.2010].
218. Quinn, J.B., Hilmer, F.G., 1994 *Strategic Outsourcing*, Sloan Management Review, s. 43-55.
219. Radosiński, E., 1988 *Symulacja komputerowa jako metoda poznania systemów ekonomicznych*, Wrocław: Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej.

220. Recycling International, 2012 *Glass recycling rates stuck*, <http://www.recyclinginternational.com/recycling-news/6295/other-news/europe/feve-european-glass-recycling-rates-stuck-68> [dostęp: 11.09.2012].
221. Reid, D.R., 1990 *Purchasing, Manufacturing Strategy*, Research Symposium.
222. Reiss, J., 2011 *A Plea for, Good Simulations: Nudging Economics Toward an Experimental Science*, *Simulation & Gaming*, no. 42, pp. 243-264.
223. Reverse Logistics Association, 2012 *Reverse Logistics*, <http://www.reverselogisticstrends.com/reverse-logistics.php> [dostęp: 18.11.2012].
224. Richey, R.G.J., Tokman, M., Wright, R.E., Harley, M.G., 2000 *Monitoring Reverse Logistics Programs: A Roadmap to Sustainable Development in Emerging Markets*, *The Multinational Business Review*.
225. Riordan, M.H., Williamson, O.E., 1985 *Asset specificity, economic organization*, *International Journal of Industrial Organization*, s. 376.
226. Robertson, D.A., 2005 *Agent-Based Modeling Toolkits NetLogo, RePast, Swarm*, <http://www.duncanrobertson.com/research/AMLE.pdf> [dostęp: 10.12.2012].
227. Robinson, S., 2004 *Simulation: The Practice of Model Development and Use* Chichester: John Wiley & Sons.
228. Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., 1999 *Going backwards: reverse logistics trends, practices.*, Pittsburgh: Reverse Logistics Executive Council.
229. Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., 2001 *An overview of reverse logistics practices*, *Journal of Business Logistics*.
230. Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., 2002 *Differences between forward, reverse logistics in a retail environment*, *Supply Chain Management: An International Journal*, s. 271-282.
231. Roussel, J., Cohen, S., 2005 *Strategic supply chain management: the five disciplines for top performance*, MacGraw-Hill.
232. Sadowski, A., 2008 *Zrównoważony rozwój z perspektywy logistyki zwrotnej*, *Problemy ekorozwoju*, s. 129-132.
233. Sadowski, A., 2009 *Zarys rozwoju logistyki zwrotnej*, *Logistyka*, s. 12-15.

234. Sadowski, A., 2010 *Ekonomiczne i ekologiczne aspekty stosowania logistyki zwrotnej w obszarze wykorzystania odpadów*, Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
235. Schary, P.B., Skjøtt-Larsen, T., 2002 *Zarządzanie globalnym łańcuchem podaży*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
236. Schemm, J., Legner, C., Otto, B., 2007 *Global Data Synchronization. Current Status, Future Trends.*, Institute of Information Management, University of St. Gallen.
237. Schilling, M.A., 2000 *Toward a General Modular Systems Theory, its Application to Interfirm Product Modularity*, *Academy of Management Review*, s. 312-334.
238. Schneider, G., 2008 *Electronic Commerce*, Course Technology.
239. Scholz, C., 1998 *Towards the Virtual Corporation: A Complex Move Along Three Axes*, University of Saarland.
240. Scholz, C., 2000 *The virtual corporation: empirical evidences to a three dimensional model*, *Academy of Management 2000 Conference*, Toronto, 5.
241. Shi, Y., 2007 *Today's Solution, Tomorrow's Problem: The Business Process Outsourcing Risk Management Puzzle*, *California Management Review*, s. 30.
242. Skjøtt-Larsen, T., Kotzab, H., Grieger, M., 2003 *Electronic marketplaces, supply chain relationships*, *Industrial Marketing Management*, s. 199-200.
243. Skowrońska, A., 2008 *Technologie logistyczne jako przykład technologii środowiskowych na drodze do równoważenia rozwoju*, *Logistyka*, s. 85-90.
244. Solvel, O., 2008 *Clusters. Balancing Evolutionary, Constructive Forces*, Sztokholm: Ivory Towers Publishers.
245. Sölvell, O., Lindqvist, G., Ketels, C., 2006 *Zielona Księga Inicjatyw Klastrowych*, Sztokholm: Center for Strategy, Competitiveness.
246. Sołdaczuk, J., Misala, J., 2001 *Historia handlu międzynarodowego*, PWE.
247. Spekman, R., 1981 *A Strategic Approach to Procurement Planning*, *Journal of Purchasing, Materials Management*, Zima, s. 3-9.
248. Sriram, R.S., Arunachalam, V., Ivancevich, D.M., 2000 *EDI Adoption, Implementation: An Examination of Perceived Operational, Strategic Benefits, Controls*, *Journal of Information Systems*, s. 50.

249. St. John, C.H., Young, S.T., 1990 *The Strategic Consistency Between Purchasing, Production*, International Journal of Purchasing, Materials Management, s. 15-20.
250. Stanek, S., Pańkowska, M., Żytniewski, M., 2008 *Agenci interfejsu i ich projektowanie*, in Ganzha, M., Paprzycki, M., Sroka, H., Stanek, S., ed. *Rozwój informatycznych systemów wieloagentowych w środowiskach społeczno – gospodarczych*, Wydawnictwo Placet.
251. Suhadolnik, N., Galimberti, J., Da Silva, S., 2010 *Robot traders can prevent extreme events in complex stock markets*, Physica A: Statistical Mechanics, its Applications, s. 5182-5192.
252. Szoltysek, J., 2009 *Logistyka Zwrotna; Reverse Logistics*, Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
253. Szumiło, U., 2007 *Logistyka zwrotna a pozycja konkurencyjna łańcucha dostaw*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, no. 2.
254. Świerczek, A., 2005 *Elektroniczne łańcuchy dostaw*, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, no. 4, s. 6.
255. Teece, D.J., 1998 *Capturing Value from Knowledge Assets: The New Economy, Markets for Know-How, Intangible Assets*, California Management Review, s. 58.
256. The Brewers of Europe, 2012 *The Brewers of Europe Annual Statistics*, http://www.brewersofeurope.org/docs/publications/2012/stats_2012_web.pdf [dostęp: 29.06.2013]
257. Timmers, P., 1998 *Business Models for Electronic Markets*, European Commission, vol. 8, no. 2, Kwiecień, s. 5.
258. Tissue, S., Wilensky, U., 2004 *NetLogo: Design, Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment*, SwarmFest.
259. Todeva, E., 2006 *Business Networks. Strategy, Structure*, Routledge Studies in Business Organizations, Networks.
260. Traub, K., 2010 *The EPCglobal Architecture Framework*, EPCglobal Inc.
261. Trent, R.J., Monczka, R.M., 2002 *Pursuing competitive advantage through integrated global sourcing*, Academy of Management Executive, s. 69.

262. Trent, R.J., Monczka, R.M., 2005 *Achieving Excellence In Global Sourcing*, MIT Sloan Management Review, a. 28.
263. Triantaphyllou, E., 2000 *Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers.
264. Tsay, A.A., 1999 *The Quantity Flexibility Contract, Supplier-Customer Incentives*, Management Science, s. 1341-1342.
265. Twede, D., 2003 *Logistics Issues in Returnable Packaging*, <http://http://mhlnews.com/transportation-amp-distribution/logistics-issues-returnable-packaging> [dostęp: 05.12.2012].
266. Ucherek, M., 2005 *Opakowanie a ochrona środowiska*, Kraków: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie.
267. Van Doorselaer, K., Lox, F., 1999 *Estimation of the Energy Needs in Life Cycle Analysis of One-way, Returnable Glass Packaging*, Packaging technology, science, Grudzień, s. 235-239.
268. Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O., Pěchouček, M., 2012 *Using Multi-agent Simulation to Improve the Security of Maritime Transit*, Lecture Notes in Computer Science, s. 44-58.
269. Venkatraman, N., Handerson, J.C., 1998 *Real Strategies for Virtual Organizing*, Sloan Management Review, Jesień.
270. Vogel, G., Hauer, W., 1994 *Ökologischer und ökonomischer Vergleich des Einsatzes von Mehrweg-Pfand-Glasflaschen und von Verbundkartons für 1.0 Liter Trinkmilch im Bereich der GROMO-Dornbirn unter Berücksichtigung der Verbesserungen der Umweltauswirkungen*, Schriftenreihe Umweltschutz und Ressourceökonomie.
271. Wal-Mart Inc., 2006 *Walmart Packaging Scorecard Unveiled*, <http://news.walmart.com/news-archive/2006/11/01/wal-mart-unveils-packaging-scorecard-to-suppliers> [01.06.2013].
272. Werner, K., Mierzwiak, R., 2012a *Internetowe giełdy odpadów - innowacyjne rozwiązania w logistyce zwrotnej, cz. 1*, Logistyka, no. 1.
273. Werner, K., Mierzwiak, R., 2012b *Internetowe giełdy odpadów - innowacyjne rozwiązania w logistyce zwrotnej, cz. 2*, Logistyka, no. 1.

274. Wieczerzycki, W., 2004 *PSM: A Model of Collaborative Agents for E-Markets*, 15th International Workshop on Database, Expert Systems Applications, s. 294-298.
275. Wieczerzycki, W., 2005 *Polymorphic Agent Clusters – the Concept to Design Multi-Agent Environments Supporting Business Activities*, Lecture Notes in Artificial Intelligence.
276. Wieczerzycki, W., 2005 *Zastosowanie technologii agentowej w elektronicznym biznesie*, Era społeczeństwa informacyjnego: wyzwania, szanse, zagrożenia, s. 15-22.
277. Wieczerzycki, W., 2009 *Giędy elektroniczne*, w: Ciesielski, M., ed. *Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw*, Warszawa: PWE.
278. Wieczerzycki, W., Fuks, K., Kawa, A., 2008 *Adaptation of Extended Polymorphic Self-Slimming Agent Model into e-Sourcing Platform*, International Multiconference on Computer Science, Information Technology. Proceedings. Volume 3, s. 25-29.
279. Wieczerzycki, W., Kawa, A., 2005 *Technologia RFID podstawą funkcjonowania społeczeństwa informacyjnego i elektronicznej gospodarki*, Era społeczeństwa informacyjnego: wyzwania, szanse, zagrożenia, s. 161-170.
280. Wieliński, J., Wieczerzycki, W., 2003 *Polymorphic, Self-Slimming Agents - the Concept of Highly Mobile Software Modules Supporting E-Supply Chains*, Information Systems Applications, Technology ISAT 2003 Seminar, 193-200.
281. Wilensky, U., 1999 *NetLogo itself*, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [dostęp: 20.08.2011].
282. Winiczenko, R., 2012 *Model sieciowy logistyki zwrotnej*, *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, no. 1, s. 21-24.
283. Witek, L., 2008 *Proces kształtowania ekologicznych zachowań konsumentów*, *Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, s. 75-83.
284. Witkowski, J., 2003 *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Warszawa: Wydawnictwo PWE.
285. Wooldridge, M., Jennings, N., 1995 *Agent Theories, Architectures, Languages: a Survey*, in Wooldridge, M., Jennings, N., ed. *Intelligent Agents*, Berlin.
286. Yim, T., 2012 *Lean Logistics: Key Factors to a Returnable Packaging System*, <http://leanlogisticsblog.leancor.com/2012/05/15/lean-logistics-key-factors-to-a-returnable-packaging-system/> [dostęp: 18.03.2013].

287. Yusuf, Y.Y., Gunasekaranb, A., Adeleyec, E.O., Sivayoganathanc, K., 2004 *Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives*, European Journal of Operational Research, s. 381.
288. Zalejski, J., Faszczewska, K., 2012 *Zachowania polskich konsumentów wobec produktów ekologicznych*, Ekonomia i Zarządzanie, s. 92-104.
289. Zimniewicz, S., 2010 *Orkiestracja sieci według Li & Fung Ltd*, w: Ciesielski, M. Zarządzanie łańcuchami dostaw, PWE.

Summary

Simulation modeling of unit packaging reverse logistics in supply chains

The ongoing process of globalisation, a constant increase in the consumption rate of goods as well as ever growing consumer requirements concerning eco-friendly manufacturing, have been the base of modern political trends in developed countries, leading to serious changes in the economic environment of enterprises. Firms were forced to focus more on elements of sustainable growth, corporate social responsibility, which they could ignore in the past. Those changes had their effects on the process structure within modern supply chains. Companies started to see potential in reverse processes, in which products were transferred from the customer to the manufacturer as a mean to gain competitive advantage. One area of reverse processes is the usage of reusable packaging. Since the beginning of human economic activities, the choice of the type of packaging was an important decision, affecting among other things, the profitability of the company's activities. Over the years, the trends in the usage of reusable packaging were constantly changing. They depend on many factors, among them are technological improvements and changes in legal regulations. With the development of technology, plastic began to replace glass and wood. It provided an effective way to produce one way packaging and thus caused changes in packaging trends.

The problems associated with the decision whether to use reusable packaging or not is not new. In the last century, a number of studies talked about different models of packaging management which were aimed to provide a decision which would be either cost effective or eco-friendly. The results achieved were satisfactory at the time of their creation. However, ever changing conditions in technology, legal regulations and ecological awareness, are a constant motivation to work on new solutions in the described area. It is mainly an interest point for logisticians, because packaging affects many aspects of supply chain management. Introducing changes to the types of packaging used in complex systems like supply chains is a difficult and risky task. It requires the introduction of changes in all management levels. Continuous evolution in packaging management requires changes in both - the organizational and technological area of supply chain management.

Currently, the choice of packaging is extremely difficult, due to the number of its determinants. Enterprises are looking for ways to optimize profitability, also by reducing costs, including those related to packaging. At the same time, they must meet strict environmental standards imposed by governments and societies. Packaging management, mainly at large scale

business enterprise levels, creates many problems. In the case of reusable packaging, one of the biggest problems is the recovery of packaging from clients. This process is dependent not only on the organizational factors which affect businesses, but also on social ones which don't depend on the company. Depending on the behavior of consumers (regardless whether they are individual consumers or institutions), the decision to use reusable packaging can bring benefits to the company, or be the cause of further problems. For this reason, it becomes essential to develop comprehensive methods for evaluating a priori the consequences of the implementation of a specific variant of packaging in given market conditions. The mentioned factors have become the motivation to begin research on a comprehensive view on returnable packaging economic and ecologic issues.

Several research methods have been used in this dissertation. In the theoretical part the most common methods of scientific study have been used, in particular, analysis and synthesis which allowed the identification and structuring of the research problem. Furthermore computer simulations were used. In the empirical part, simulation experiments based on the developed RUPsim model (Returnable Unit Packaging Simulation) have been performed. The implemented model is based on analytical methods used in business practice, including LCA (Life Cycle Assessment). LCA was the main base for the models environmental index. A number of other scientific models, described by different authors were used as guidelines for the development of RUPsim. It is worth noting, that the use of simulation models as an approach to solving problems in the area of reverse logistics is not yet well recognized. This is a relatively new problem, a universal methodology for developing effective reverse logistics models has not been proposed yet. Available studies on this topic are not sufficient, did not provide a comprehensive research approach to the addressed subject. The legitimacy of the selection of the research method is confirmed by the opinions of many researchers who claim, that simulation modeling is an approach that allows a better understanding of the problems faced by modern enterprises, and enables the development of tools meant to improve the process of solving them.

The main objective of this dissertation was to identify the major factors determining the use of returnable packaging. In order to get to the main goal, subsequent objectives had to be achieved:

1. collection of existing simulation models of reverse logistics in both domestic and foreign literature,

2. identification of known technologies adapted to the implementation of the simulation tool, the choice of technology best suited to the requirements of the proposed model,
3. developing a model for reverse logistics packaging management (RUPSim),
4. the implementation of the proposed simulation model in the form of a computer program, and using it to conduct simulation experiments,
5. identification of potential business benefits resulting from the application of the model, based on data obtained from computer simulations.

The dissertation seeks to ensure that the solutions, in particular improvements, are useful in a variety of industries, whose specificity allows the fulfilment of assumptions described in the model. The work erected following the given research hypothesis:

H1: The increase in the percentage of consumers returning reusable packaging always increases the economic and ecological attractiveness of using returnable packaging by the company.

It was a hypothesis, based on the initial diagnosis of the problem, logical analysis, intuition, research and common sense. It seemed that her confirmation is only a matter of the application of specific scientific methods. However, in the course of several tests, this hypothesis has been proven false. Therefore, trying to define a definitive diagnosis of the studied problem, two further hypotheses have been formulated:

H2: The economic effectivity of return systems is mainly determined by its packaging acceptance ratio.

H3: Customer behavior strategies are the main factor affecting the ecological balance of a return system.

Research performed in the second stage of the study, confirmed in its entirety the truth of statements contained in H2 and H3 which brings new content to the current knowledge in the field of reverse logistics, and can be useful in business practice for solving problems related to the choice of the nature of the packaging.

The primary scope of the research are supply chains. Returnable unit packaging flows are a special case, in particular in the food industry, often used for drinks. However, observing the trends on western markets, it can be assumed that solutions based on returnable packaging will become more popular, thereby increasing the range of applications of models described in this dissertation. In order to better illustrate the proposed solutions, the subject scope of the

presented model is limited only to companies of the brewing industry in which the processes of return flows are very transparent. The time horizon of the research covers the years from 2004 to 2014. This range was picked due to changes in laws on the management of packaging, introduced after the Polish accession to the European Union. The spatial extent was limited to companies operating on the Polish market, although the way of operating of foreign entities with similar characteristics is almost the same. The differences are mainly visible in the parameterization of the modeled system, particularly they concern global parameters, which have, in the case of foreign markets, significantly different values.

As part of the research activities, a prototype of the RUPsim model was implemented. This aimed to present the previously mentioned observations, assumptions, their verification in a practical way. The model is used to verify the implementation of the cost-effectiveness of returnable packaging unit in the supply chain while considering the environmental impact of such an approach. The model was implemented using the Java programming language. Thanks to that, it can omit any restrictions that might arise from the use of any other commercially available simulation environment. During the implementation, the model has been properly optimized with the use of mathematical methods and computer techniques. The simulation model was subjected to numerous experiments that were designed to provide data necessary for the analysis of selected interactions between different parameters of the model. During the simulation, different variants depending on the individual parameters reflecting the reverse logistics processes were tested.

The method adopted for research, their goals are reflected in the design of the dissertation. The work is divided into four chapters. In chapter one, theoretical considerations regarding reverse logistics, existing theories and several approaches to the subject, presented by different authors, were described. In particular, the different approaches of reverse logistics relationships with business networks were discussed.

The second chapter deals with the subject of simulation modeling in theory and business practice. It presents various tools, simulation environments, as well as approaches to modeling of logistics systems. It also contains a detailed comparison of the mentioned tools ordered by their complexity, limitations, advantages and disadvantages. The last part of the chapter presents the potential application areas of simulations. Reverse logistic simulations have been given special attention.

The subsequent chapters include research results, which are the author's original contribution. The third chapter contains a description of various components needed to build a simulation model. It describes the industry, used as a base during the development of the RUPSim model. Next, existing theoretical models which can be found in economic theory and practice were referenced. The description of the above models was included to illustrate the general problems of the sector. Then research objectives, assumptions relating to the proper model were presented. Moreover various parameters of the model from a substantive point of view were described.

The last chapter focuses on the implementation stage of the model described above. It presents the technical details of the used development environment, technical aspects of the model parameters and their implementation. Moreover algorithms used in the model were shown in the form of pseudocode or diagrams. Furthermore, the chapter describes various scenarios of performed simulation experiments. The chapter is summarized with a presentation of simulation results, their analysis and potential possibilities of using the created model in business practice. The last part of the dissertation contains a summary of the performed work and suggestions for further study. The work also includes a summary statement of figures and tables.

Spis rysunków

Rys. 1-1: Procesy niezależnej logistyki zwrotnej.....	18
Rys. 1-2: Typowy zamknięty łańcuch dostaw dla produktów zaawansowanych technologicznie	19
Rys. 1-3: Alternatywny system zamknięty dla produktów zaawansowanych technologicznie	20
Rys. 1-4: System zamknięty dla artykułów konsumpcyjnych	21
Rys. 1-5: Pozycja logistyki powtórnego zagospodarowania w kompleksie zależności funkcji ochrony środowiska i logistyki	32
Rys. 3-1 Produkcja piwa w Polsce w latach 2000-2011	80
Rys. 3-2 Udziału poszczególnych typów opakowań w branży piwowarskiej w 2011 roku w Polsce i UE	81
Rys. 3-3 Kluczowi kontrahenci i relacje w łańcuch dostaw w branży piwowarskiej	82
Rys. 3-4: Uproszczony schemat drogi życia opakowania.....	87
Rys. 3-5: Schemat modułu ujmującego przepływ materiału i energii	88
Rys. 3-6 Równowaga rynkowa modelu ekonomiczno-ekologicznego	91
Rys. 3-7 Ekonomiczny i ekologiczny zakres przepływów w modelu RUPSim	92
Rys. 3-8 Schemat postępowania klienta w strategii ekologicznej.....	102
Rys. 3-9 Schemat postępowania klienta w strategii ekonomicznej.....	103
Rys. 3-10 Schemat postępowania klienta w strategii wygodnej	104
Rys. 3-11 Uproszczony schemat organizacji zachowań obiektów w symulacji	106
Rys. 4-1 Główne okno implementacji modelu RUPSim.....	109
Rys. 4-2 Okno modyfikacji ustawień strategii postępowania klientów	110
Rys. 4-3 Okno ustawień implementacji RUPSim	110
Rys. 4-4 Metoda <i>next</i> liniowego generatora kongruencyjnego w języku Java	111
Rys. 4-5 Algorytm rozmieszczania elementów systemu	113
Rys. 4-6 Algorytm wyznaczania najbliższego punktu zwrotu opakowań.....	114
Rys. 4-7 Struktura system-podsystemy	117
Rys. 4-8 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 50%	125

Rys. 4-9 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 60%	126
Rys. 4-10 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 70%	127
Rys. 4-11 Relacja kosztów całkowitych do indeksu środowiskowego - skłonność do przyjęcia zwrotu 75%	128
Rys. 4-12 Porównanie strategii czystych	130

Spis tabel

Tab. 1-1: Różnice pomiędzy logistyką zwrotną i tradycyjną.....	23
Tab. 1-2: Zestawienie funkcjonujących internetowych giełd odpadów.....	37
Tab. 2-1: Porównanie narzędzi do symulacji komputerowych.....	53
Tab. 2-2: Porównanie głównych pakietów symulacyjnych w technologii wieloagentowej.....	60
Tab. 2-3: Zestawienie wskaźników systemów kontenerowych.....	74
Tab. 3-1 Parametry modelu RUPSim.....	97
Tab. 4-1 Współczynnik zmienności dla różnej liczby powtórzeń.....	121
Tab. 4-2 Średnie wartości kosztów całkowitych dla głównych kombinacji strategii w ramach struktury populacji i poszczególnych wielkości współczynnika SPZ.....	124
Tab. 4-3 Wstępne porównanie oddziaływania liczby punktów zwrotu, PZ) na pozostałe parametry.....	136