

dr inż. Agnieszka Ponikierska
e-mail: agnieszka.ponikierska@put.poznan.pl
Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania

Metody oraz narzędzia wspierające optymalizację dystrybucji wyrobów o ograniczonej trwałości

Methods and tools supporting distribution optimization of products with limited shelf life

Zaprezentowane w artykule rozwiązanie jest dedykowane przedsiębiorstwom dystrybucyjnym, dla których priorytet stanowi szybka i sprawna dostawa towaru o krótkim terminie przydatności, bez utraty czy obniżenia jego jakości. Ta determinująca cecha oferowanych produktów sprawia, że optymalizacja funkcjonowania łańcucha dostaw, a w szczególności procesów dystrybucyjnych, wymaga przede wszystkim skrócenia czasu realizacji dostaw od producenta do finalnego odbiorcy. W rozwiązaniu zastosowano proste, a zarazem skuteczne metody optymalizacyjne w celu podniesienia efektywności tego procesu, oparte na systemie klasy Just in Time, przeładunku kompletacyjnym cross dock i metodzie komiwojażera. Efektem wprowadzonego rozwiązania jest znaczne skrócenie czasu realizacji zamówień, a co za tym idzie — wzrost zadowolenia klientów. Uzyskano także zmniejszenie zapotrzebowania na powierzchnię magazynową, wyeliminowanie konieczności utrzymywania zapasów, optymalizację tras przewozu, co doprowadziło do znacznego obniżenia kosztów prowadzonej działalności i zwiększenie jej efektywności.

Słowa kluczowe:

reengineerung, Just in Time, cross dock, optymalizacja, problem komiwojażera, Solver

Solution presented in this article is dedicated to distribution companies, that prioritize fast and efficient supply of products with limited shelf life without losing or lowering their quality. This determining feature of offered products, makes shortening of delivery time from producer to customer the key of supply chain optimization. This solution uses simple and effective optimization methods that are able to make the whole process more effective. These methods are based on class system 'Just in Time', cross docking and canvasser method. Implementation of presented solution results both in shortening the time of execution of the order and growth of customers satisfaction. Reduction of storage space demand, elimination of necessity to hold reserves and optimization of cargo routes were also the results of presented solution. All these changes lowered expenses of the company and made it more effective.

Key words:

reengineerung, Just in Time, cross dock, optimization, the traveling salesman problem, Solver

Wprowadzenie

W warunkach wolnego rynku coraz więcej przedsiębiorstw uświadamia sobie fakt, że ich zaistnienie i odniesienie sukcesu uzależnione jest w głównej mierze od harmonijnej współpracy wszystkich ogniw łańcucha dostaw, a zapewnienie wysokiej jakości oferowanych wyrobów i obsługi klienta jest ich zadaniem podstawowym. W szczególności dotyczy to branż, dla których sprawą kluczową jest dostarczenie produktów do klienta w stanie najwyższej, nie pogorszonej jakości. Problem ten występuje głównie

w branży spożywczej i farmaceutycznej. Determinuje on, w znaczący sposób, konieczność optymalizacji i reengineeringu wszystkich procesów logistycznych w całym łańcuchu dostaw.

Obecnie łańcuchy dostaw to bardzo złożone i skomplikowane systemy. To właśnie ta wysoka złożoność i skomplikowanie zachodzących w nich procesów wpływają na powstawanie błędów oraz występowanie czynników, które mogą negatywnie oddziaływać na dystrybuowany towar. Efektem wszelkich pomyłek, uchybień i niedociągnięć jest znacząca utrata jakości towaru. Jest to istotne wszędzie tam, gdzie

szczególnością zwraca się na satysfakcję i zadowolenie ostatecznego klienta z dostarczonego produktu, przy jednoczesnym osiągnięciu wysokiej efektywności i redukcji kosztów prowadzonej działalności. W takiej sytuacji przedsiębiorstwo dystrybucyjne, jako lider łańcucha dostaw, musi w umiejętny sposób wdrażać nowe rozwiązania, polegające na:

- priorytetowym traktowaniu jakości oferowanych produktów i obsługi klienta poprzez ukierunkowanie ich na spełnianie oczekiwań i satysfakcjonowanie klientów,
- minimalizacji poziomu zapasów i skracaniu czasu realizacji zamówień,
- optymalizacji tras przewozu i maksymalizacji wykorzystania środków transportowych,
- minimalizacji liczby operacji transportowych (Fertsch, Ponikierska, 1999, s. 35), uznając je za kluczowe.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie rozwiązania zastosowanego w procesie dystrybucji wyrobów o ograniczonej trwałości. Opiera się ono na użyciu metod optymalizacyjnych i synergicznej współpracy systemu cross dock i systemu klasy Just in Time (JIT). Jest ono odpowiedzią na rosnące wymagania klientów co do jakości oferowanego produktu oraz rozwijającą się sieć dystrybucji w badanym podmiocie. Jednakże rozwiązanie to wymusza na liderze łańcucha zapewnienie skrupulatnego zorganizowania i zsynchronizowania pracy wszystkich ogniw wchodzących w skład łańcucha dostaw. Zastosowanie metod optymalizacyjnych ma za zadanie przede wszystkim obniżenie kosztów prowadzonej dystrybucji.

W opracowaniu został przedstawiony zakres reengineeringu procesów w badanym przedsiębiorstwie. Przeobrażenia będą polegać przede wszystkim na zmianie systemu dostaw zaopatrzeniowych i zakupów na system JIT oraz przekształceniu dotychczasowego magazynu przystosowanego do składowania produktów w magazyn typu cross dock, wykorzystujący przeładunek kompletacyjny. Reorganizacji ulegnie również układ magazynu na taki, który spełnia wymagania stawiane przez przyjęte rozwiązanie. Ulegnie zmianie także dotychczasowa sieć dystrybucji. Pojawienie się dużej liczby nowych miejsc dostaw wymaga przeprowadzenia optymalizacji tras przejazdu, czego efektem jest wyodrębnienie stałych tras i relacji między wskazanymi miejscowościami. Do identyfikacji tego problemu wykorzystano metodę komiwojażera, która pomogła w wydzieleniu oraz optymalizacji stałych tras przejazdu obsługiwanych przez kierowców. Narzędziowo, wspomagając rozwiązanie problemu komiwojażera, użyto dodatku Solver. Jest on dostępny w oprogramowaniu Microsoft Office Excel. Dzięki wprowadzonym zmianom proces dystrybucji będzie łatwiejszy do kontroli, a zara-

zem nadający się do analizy jego przebiegu. Na końcu artykułu przedstawiono efekty uzyskanego rozwiązania i wnioski.

Definicja obszaru badawczego

Podmiotem, dla którego opracowano rozwiązanie, jest przedsiębiorstwo specjalizujące się w dystrybucji produktów o ograniczonej trwałości w regionie poznańskim, zaopatrujące w nie sieci i punkty sprzedaży detalicznej. Przyjęta — i z konsekwencją realizowana przez zarządzany przez przedsiębiorstwo łańcuch dostaw — misja: **rozbudzenie i zaspokajanie potrzeb klientów poprzez spełnienie warunku dostępności określonych dóbr o wyspecyfikowanych wymaganiach jakościowych, w pożądanej ilości, we właściwym miejscu i czasie, przy niskim poziomie kosztów i wysokiej efektywności funkcjonowania łańcucha, w cenach akceptowanych przez klientów**, spowodowała, że przedsiębiorstwo zyskało wielu nowych odbiorców. Wynikiem tego jest rozszerzenie prowadzonej działalności na teren innych miast, które rozumiane są jako punkty odbioru.

Przedsiębiorstwo dzierżawi w rejonie miasta Poznania powierzchnię magazynową, w której towary są przyjmowane, przechowywane i wydawane według klasycznego modelu. Dostawy towarów do magazynu realizowane są w systemie „na stan”. Dostawcy nie są certyfikowani, a kontrola odbiorcza dostaw odbywa się w magazynie. Odbiorcami są punkty sprzedaży detalicznej znajdujące się w promieniu około 200 km od magazynu. Przedsiębiorstwo realizuje spedycje towarów do punktów odbioru za pośrednictwem firmy outsourcingowej, rozliczając się za przejechane kilometry. Dotychczasowa metoda realizowania procesów logistycznych okazała się niewystarczająca w stosunku do potrzeb, stąd konieczność wprowadzenia zmian.

Metody oraz narzędzia wspierające optymalizację procesu dystrybucji

System Just in Time

Opis metody

Podstawową ideą systemu Just in Time jest „wprawianie rzeczy w ruch i poruszanie nimi szybko”. Cechą charakterystyczną wyróżniającą systemy klasy JIT jest „ssanie” produkcji przez rynek. Oznacza to dostosowanie wielkości produkcji i dostaw do wymagań rynku, na podstawie składanych

przez klientów zamówień. W systemie tym wszystkie czynności, a zwłaszcza dostawy produktu do klienta, muszą zachodzić dokładnie wtedy, kiedy trzeba. Nie później ani nie wcześniej, tylko dokładnie na czas. W takim kontekście konieczne jest dążenie do definiowania wobec całego łańcucha dostaw określonych wymagań, do których zaliczyć możemy: zero defektów i braków, zero czasu biernego, zero zapasów, zero operacji magazynowania, zero awarii, zero błędnych decyzji (Fertsch, Ponikierska, 1999, s. 36).

Zastosowanie metody Just in Time w obszarze badawczym

Realizacja koncepcji JIT w badanym obszarze oraz ochrona jakości produktów są podporządkowane spełnieniu przedstawionej na wstępie misji łańcucha dostaw. Wdrożenie koncepcji JIT prowadzi do zasadniczych zmian w realizacji procesu dostaw zaopatrzeniowych i procesu zakupów. Ogólny zakres tych zmian przedstawia poniższe zestawienie zamieszczone w tabeli 1.

Tabela 1

Zakres zmian w funkcjonowaniu sfery dostaw zaopatrzeniowych i procesu zakupów

Działania	Tradycyjna procedura zakupów	Just in Time
Liczba dostawców	wielu dostawców	ograniczenie liczby dostawców
Stosunki z dostawcami	walka o dominację, wykorzystywanie słabych stron	partnerstwo, pomoc w rozwoju
Cel negocjacji	możliwie najniższy poziom cen	wysoka jakość za dobrą cenę
Typ negocjacji	konfrontacyjny	kooperacyjny
Umowy	krótkoterminowe	długoterminowe
Wielkość partii dostawy	duża	większa ilość małych partii
Poziom jakości dostaw	akceptowalny poziom braków, np. 2%	braki niedopuszczalne
Kontrola dostaw	kontrola jakości dostaw	kontrola okresowa lub brak kontroli
Dokumentacja	sformalizowana w dużym stopniu	niewielki stopień formalizacji
Terminy płatności	wydłużane	przestrzegane z tendencją do skracania
Kontakty kierownictwa	sporadyczne	systematyczne

Źródło: Ponikierska, Ponikierski, 2000, s. 356.

Oprócz powyższych zmianie ulega również wielkość dostawy. W systemie JIT wielkość dostawy jest zgodna z bieżącymi zapotrzebowaniami odbiorców.

Łączna suma popytu o_j — popyt j -tego odbiorcy wyrażony wielkością zapotrzebowania ($j = 1, 2, 3, \dots, O$) wszystkich odbiorców (O_j) po asortymencie (a_i) danego (i -tego) dostawcy ($D_i, i = 1, 2, 3, \dots, D$) jest równa jego podaży d_i i i wyraża się wzorem 1 (Fertsch, Ponikierska, 1999, s. 37).

$$\sum_{j=1}^O \sum_{z=1}^{a_i} o_{j,z} = d_i$$

Zmiany zachodzą również w systemie dostaw. Towar dostarczany jest bezpośrednio od dostawców do strefy dyspozycji magazynu typu cross dock. Odbiór dostaw będzie realizowany w terminalu cross dock godzinach 4:00–4:30. Za zgodność dostawy z wymaganiami ilościowymi i jakościowymi odpowiada dostawca. Kontrola dostaw realizowana jest okresowo w sposób wyrwykowy. Rozwiązanie to pozwoli na wyeliminowanie zapasów magazynowych utrzymywanych na stanie i skrócenie do minimum procesów związanych z przyjęciem dostawy. Da to firmie możliwość skupienia się na jej kluczowych kompetencjach, obniży koszty i zwiększy satysfakcję ostatecznego klienta.

System cross dock

Opis metody

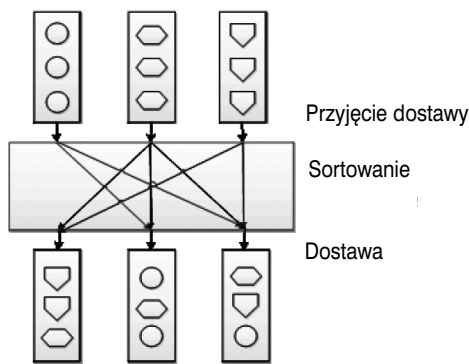
Głównym założeniem systemu cross dock jest kompletacja towarów z pominięciem fazy składowania towaru. Wszystkie czynności magazynowe powin-

ny zostać wykonane w czasie nie dłuższym niż 2 do 6 godzin. Po wejściu towaru do magazynu typu cross dock następuje dekonsolidacja otrzymanych przesyłek, a następnie konsolidacja zgodnie ze złożonymi przez klientów zapotrzebowaniami i natychmiast towar jest pakowany i przygotowywany do wysyłki. Ideę funkcjonowania systemu cross dock przedstawia rysunek 1.

Warunkiem stosowalności modelu jest system zamknięty, w którym dostawy towaru od dostawców dokonywane są codziennie, a wysyłki są dostarczane regularnie do tej samej grupy odbiorców (Cyplik, Hadaś, 2012, s. 72–76).

Rysunek 1

Schemat funkcjonowania koncepcji cross dock



Źródło: opracowanie własne.

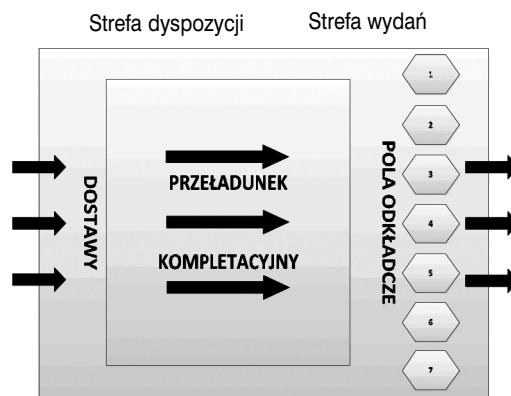
Zastosowanie metody w obszarze badawczym

Wdrożenie systemu cross dock wiąże się ze zmianami w zakresie reorganizacji procesów logistycznych w badanym przedsiębiorstwie. Takie rozwiązanie wymaga nowego podejścia do realizacji zamówień klientów, ponieważ produkty nie będą składowane w magazynie przedsiębiorstwa. Całość procesu przygotowania zamówień do dystrybucji będzie odbywała się w terminalu cross dock. Najważniejszymi procesami, które gwarantują sukces, są: szybkie przyjęcie i kontrola odbiorcza dostaw, sprawna i pozbawiona błędów kompleatacja zamówień pochodzących od klientów, bezbłędne zaetykietowanie, posortowanie i wydanie przesyłek do spedycji powyższego. Całkowita długość procesu realizacji zamówień nie przekracza 24h. Towary pochodzące od producentów, dostarczane w systemie JIT, będą przyjmowane do strefy dyspozycji. Tu także będą wykonywane wszystkie działania związane z kompleatacją zamówień klientów, pakowaniem, zabezpieczaniem, etykietowaniem, a następnie przesyłki trafiają do strefy wydań, gdzie będą odpowiednio sortowane i umieszczane w polach odkładczych z oznaczeniem numeru trasy, na jakiej znajduje się jego odbiorca. Stąd paczki będą odbierane do spedycji. Schemat funkcjonowania magazynu w systemie cross dock prezentuje rysunek 2.

Zastosowanie rozwiązania cross dock skutkuje zmniejszeniem zapotrzebowania na powierzchnię użytkową przeznaczoną na magazynowanie, wyeliminowaniem konieczności utrzymywania i obsługi zapasów oraz mniejszym nakładem finansowym na działania zapewniające obsługę procesu, co prowadzi w ostatecznym rozrachunku do redukcji kosztów procesów logistycznych.

Rysunek 2

Schemat funkcjonowania magazynu w systemie cross dock



Źródło: opracowanie własne.

Metoda komiwojażera

Opis metody

Metoda wędrującego komiwojażera (ang. TSP — Travelling Salesman Problem) określana jest również jako problem, ponieważ komiwojażer ma za zadanie odwiedzić zdefiniowaną liczbę miast i wrócić do punktu początkowego. Rozwiązując zadanie, można szukać zarówno najkrótszej drogi do przebycia, jak i, którą przebyć można po najniższym koszcie lub w jak najkrótszym czasie. Poszukiwanie minimum zależy od tego, jakiemu kryterium nadamy najwyższą wagę. W terminologii grafów miasta są wierzchołkami grafu, a trasy pomiędzy nimi to krawędzie z wagami. Waga krawędzi może odpowiadać odległości pomiędzy miastami połączonymi tą krawędzią, czasowi podróży lub kosztom przejazdu — w zależności od tego, co chcemy w podróży komiwojażera zminimalizować. Trasa komiwojażera jest cyklem przechodzącym przez każdy wierzchołek grafu dokładnie jeden raz — jest to zatem cykl Hamiltona.

Formułowanie problemu komiwojażera należy przeprowadzić w następujący sposób:

- 1) budowa grafu ważonego, którego wierzchołki są nazwami miast, które komiwojażer musi odwiedzić,
- 2) każdą parę miast należy połączyć krawędziami,
- 3) każdej krawędzi należy nadać wagę; wagą jest odległość między daną parą miast.

Wynikiem działań będzie graf pełny, posiadający tyle wierzchołków, ile miast musi odwiedzić komiwojażer. Odwiedzenie wszystkich miast odpowiada cyklowi, który przechodzi przez każdy wierzchołek grafu dokładnie raz. Poszukiwany jest więc cykl o minimalnej sumie wag krawędzi. Jako przykład weźmy sobie graf zupełny (ang. *complete graph* — graf, w którym każdy wierzchołek jest połączony z każ-

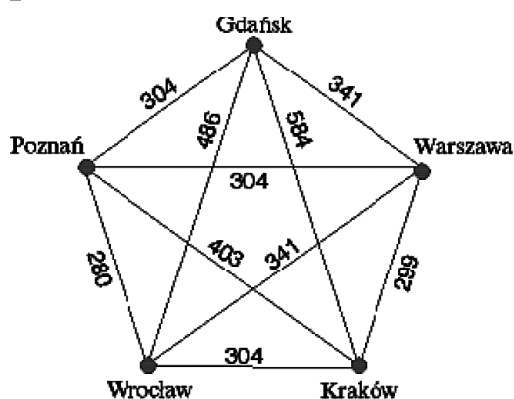
dym) o pięciu wierzchołkach. Rysunek 3 prezentuje graf powiązań dla miast Warszawa, Gdańsk, Poznań, Wrocław i Kraków. Komiwojażer wyrusza z Warszawy i ma za zadanie odwiedzić wszystkie pozostałe cztery miasta, a następnie wrócić do Warszawy. Jak powinien zaplanować podróż, aby przebył możliwie najmniejszą liczbę kilometrów? Ile różnych cykli Hamiltona zawiera taki graf? Przy zdefiniowanych pięciu miastach liczba rozwiązań, czyli możliwości tras podróży, wynosi:

$$L_H = 4 * 3 * 2 * 1 = 4!$$

Dla n wierzchołków grafu:

$$L_H = (n - 1) \cdot (n - 2) \cdot \dots \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = (n - 1)!$$

Rysunek 3
Graf zupełny, problem komiwojażera



Źródło: www.mini.pw.edu.pl/MiNiWyklady/grafy/prob-komiw.html

Tabela 2
Ustalenie odległości pomiędzy miastami

		Warszawa	Wrocław	Gdańsk	Kraków	Poznań
		1	2	3	4	5
Warszawa	1	0	341	341	299	304
Wrocław	2	341	0	486	304	280
Gdańsk	3	341	486	0	584	304
Kraków	4	299	304	584	0	403
Poznań	5	304	280	304	403	0

Źródło: opracowanie własne.

Wynik jest bardzo niekorzystny, ponieważ prowadzi do wykładniczej klasy złożoności obliczeniowej $O(n!)$. Problemy algorytmiczne o złożoności wykładniczej są traktowane jako nierozwiązywalne dla du-

żych n (http://eduinf.waw.pl/inf/alg/001_search/0140.php, 4.04.2019).

Na podstawie powyższego grafu zbudowano macierz zawierającą odległości między miastami w kilometrach, przyjmując dowolną sekwencję trasy podróży.

Macierz przedstawia tabela 2. Aby wykonać model zadania, należy przyjąć, że dowolna sekwencja liczb od 1 do 5 będzie wskazywała wstępną kolejność odwiedzanych miast. Kolejnym krokiem będzie sekwencje liczb od 1 do 5, które są określonymi zmiennymi i będą wartościami poszukiwanymi w taki sposób, aby uzyskać najkrótszą trasę przejazdu przez wymienione miejscowości (tabela 3). Trasa wejściowa w losowej kolejności to: Warszawa, Wrocław, Gdańsk, Kraków, Poznań, Warszawa. Całkowita długość trasy wynosi 2118 km. Wartość ta przyjmuje rolę komórki celu i ma za zadanie dążyć do minimum. Powyższe założenia przyjęte przy budowie modelu stanowią dane wejściowe do dokonania obliczeń optymalizacyjnych przy pomocy aplikacji Solver.

Tabela 3
Trasa wejściowa, losowa kolejność odwiedzania miast

	1	2	3	4	5
Warszawa	Warszawa	Wrocław	Gdańsk	Kraków	Poznań
	304	341	486	584	403

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie metody w obszarze badawczym

Przedsiębiorstwo na podstawie dotychczasowej sieci dystrybucji zdefiniowało listę miast, w których

Tabela 4

Macierz odległości pomiędzy miastami na trasie nr 5

		Poznań	Konin	Września	Inowrocław	Gniezno	Swarzędz	Słupca	Trzemeszno	Mogilno
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Poznań	1	0	107	47,2	117	52,1	15,8	73,4	70,4	86,3
Konin	2	107	0	58,4	71,6	67,3	97,4	28,3	61,8	63,3
Września	3	47,2	58,4	0	83	27,2	40,3	22,7	35,9	52,8
Inowrocław	4	117	71,6	83	0	67,5	111	71,5	49,4	35,8
Gniezno	5	52,1	67,3	27,2	67,5	0	43,9	39,8	18,4	34,3
Swarzędz	6	15,8	97,4	40,3	111	43,9	0	64	62,9	75,4
Słupca	7	73,4	28,3	22,7	71,5	39,8	64	0	36,5	53,4
Trzemeszno	8	70,4	61,8	35,9	49,4	18,4	62,9	36,5	0	16,1
Mogilno	9	86,3	63,3	52,8	35,8	34,3	75,4	53,4	16,1	0

Źródło: opracowanie własne.

zlokalizowane są punkty odbioru. Są to głównie punkty sprzedaży detalicznej. Zbiór ten podzielono na 7 tras. Do wyróżnionych tras przejazdu przypisano, w dowolnej kolejności, następujące miejscowości:

- Trasa numer 1: Poznań, Wolsztyn, Puszczykowo, Kościan, Komorniki, Mosina, Czempień, Śmigiel, Grodzisk Wielkopolski.
- Trasa numer 2: Poznań, Opalenica, Nowy Tomyśl, Pniewy, Międzychód, Zbąszynek, Plewiska, Buk.
- Trasa numer 3: Poznań, Oborniki, Krzyż Wielkopolski, Piła, Chodzież, Czarnków, Szamotuły, Wronki, Trzcianka.
- Trasa numer 4: Poznań, Środa Wielkopolska, Leszno, Śrem, Jarocin, Gostyń, Kórnik, Pleszew.
- Trasa numer 5: Poznań, Konin, Września, Inowrocław, Gniezno, Swarzędz, Słupca, Trzemeszno, Mogilno.
- Trasa numer 6: Poznań, Wągrowiec, Żnin, Bydgoszcz, Murowana Goślina, Janowiec Wielkopolski, Nakło nad Notecią, Szubin, Pobiedziska.
- Trasa numer 7: miasto Poznań (niebrana do obliczeń optymalizacyjnych).

Przedstawiono w postaci tabeli wszystkie miasta przydzielone do danej trasy. Na podstawie map zdefiniowano odległości wyrażone w kilometrach pomiędzy miastami i wpisano wartości do tabel. Następnie zsumowano liczbę kilometrów pomiędzy wymienionymi miastami. Wyniki powyższych działań, wykonane dla przykładu na trasie nr 5, przedstawia tabela 4.

Wykorzystanie dodatku Solver przy rozwiązywaniu modelu komiwojażera

Opis narzędzia

Solver jest aplikacją, która jest dodatkiem do programu Microsoft Excel. Program ten wykorzystywany

jest do przeprowadzania analiz warunkowych. Solver umożliwia znalezienie optymalnej wartości minimalnej bądź maksymalnej w jednej komórce, nazywanej komórką celu. Analiza podlega ograniczeniom, które są definiowane jako limity. Dotyczą one wartości innych komórek znajdujących się w arkuszu. Dodatek Solver pracuje z grupą komórek, zwanych zmiennymi decyzyjnymi, które służą do obliczania formuł w komórkach celu i komórkach ograniczeń. Dodatek dostosowuje wartości w komórkach zmiennych decyzyjnych tak, aby spełnić limity obejmujące komórki ograniczeń i uzyskać pożądany wynik w komórce celu. Narzędzie Solver wymaga zapisania modelu matematycznego, który składa się z następujących elementów:

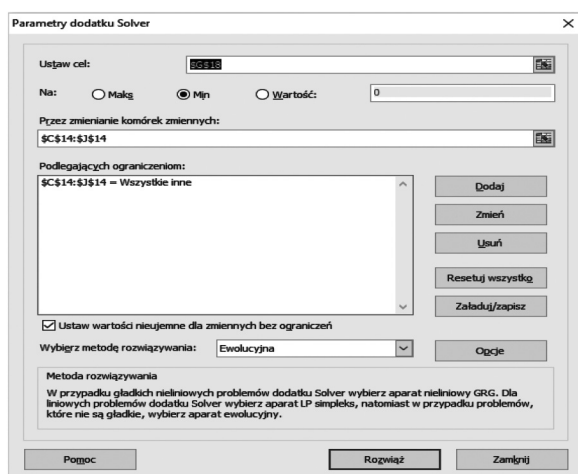
- Komórki celu — inaczej nazywanej funkcją celu,
- Komórek zmiennych — to komórki zawierające poszukiwane wartości,
- Komórek ograniczeń — to formuła zawierająca ograniczenia.

Po wprowadzeniu danych i wykonaniu obliczeń narzędzie Solver zaprezentuje wyniki, które polegają na optymalizacji tras przejazdu przez wskazane miejscowości. Dodatek wspomaga rozwiązanie problemu komiwojażera, czyli znalezienie jak najkrótszej trasy przejazdu przez wyznaczone punkty.

Kontynuując przykład z punktu 3.1.1., wprowadzono w okno dialogowe narzędzia Solver (rysunek 4) konieczne elementy modelu matematycznego, które ma za zadanie zwrócić wymaganą wartość funkcji celu, jaką jest długość trasy dążąca do minimum. W wyniku obliczeń Solvera otrzymano minimalną wartość trasy przejazdu, redukując wyjściowy wynik z 2118 km do 1528 km, czyli aż o 590 km. Trasa wyjściowa po optymalizacji jej długości ma postać: Warszawa — Kraków — Wrocław — Poznań — Gdańsk — Warszawa lub Warszawa — Gdańsk — Poznań — Wrocław — Kraków — Warszawa. Rozwiązanie problemu komiwojażera przedstawia tabela 5.

Rysunek 4

Okno dialogowe narzędzia Solver



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5

Rozwiązanie problemu komiwojażera przez narzędzie Solver

Gdańsk	Warszawa	Kraków	Wrocław	Poznań
3	1	4	2	5
304	341	299	304	280

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać na powyższym przykładzie, narzędzie Solver pozwala szybko na uzyskanie optymalnego rozwiązania problemu komiwojażera. Jego zaletą jest jego ogólna dostępność, gdyż jest to dodatek do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Office Excel, oraz fakt, że jest narzędziem bardzo prostym w obsłudze.

Zastosowanie dodatku Solver w rozwiązywaniu metody komiwojażera w badanym przedsiębiorstwie

Kontynuując zadanie znalezienia najkrótszych tras przewozu towarów o ograniczonej trwałości wyróżnionych w punkcie 4.3.2, wykorzystano narzędzie So-

lver. Dla każdej z tras ustalono cel dążący do minimum, odnoszący się do sumy kilometrów w sytuacji początkowej. Kolejno zdefiniowano komórki zmienne oraz ich ograniczenia, czyli nazwę miasta. Efektem przeprowadzonej analizy jest wyznaczenie optymalnej trasy uwzględniającej najkrótszą drogę do pokonania przez kierowcę, zaczynającą i kończącą się w punkcie startowym. Poniżej, w tabeli 6, zaprezentowano wynik obliczeń dla trasy 5 i danych wejściowych zawartych w tabeli 4.

Rozwiązanie problemu komiwojażera dla trasy numer 5: Długość trasy przed — 562,7 km

Długość trasy po — 299,8 km

Rozwiązanie, jakie zaproponowało narzędzie Solver dla trasy numer 5, to pokonanie jej w kolejności: Poznań — Swarzędz — Gniezno — Trzemeszno — Mogilno — Inowrocław — Konin — Słupca — Września — Poznań. Rysunek 5 ilustruje na mapie kolejność odwiedzanych miast na trasie nr 5. Trasa pokazuje dokładnie kolejność przejazdu oraz drogi, z których powinni korzystać kierowcy. Dzięki wykorzystaniu narzędzia Solver do optymalizacji trasy przejazdu zgodnie z przyjętym tokiem analizy na podstawie problemu komiwojażera przedstawioną trasę zredukowano o 46,7% w stosunku do sytuacji wejściowej.

Poniżej przedstawiono wyniki optymalizacji długości przejazdów dla wszystkich sześciu tras:

- rozwiązanie problemu komiwojażera dla trasy numer 1: długość trasy przed — 339,9 km, długość trasy po — 171,4 km.

Rozwiązanie, jakie zaproponowało narzędzie Solver dla trasy numer 1, to pokonanie jej w następującej kolejności: Poznań — Puszczykowo — Mosina — Czempin — Kościan — Śmigiel — Wolsztyn — Grodzisk Wielkopolski — Komorniki — Poznań;

- rozwiązanie problemu komiwojażera dla trasy numer 2: długość trasy przed — 319,4 km, długość trasy po — 230,9 km.

Rozwiązanie, jakie zaproponowało narzędzie Solver dla trasy numer 2, to pokonanie jej w kolejności: Poznań — Pniewy — Międzychód — Zbąszynek — Nowy Tomyśl — Opalenica — Buk — Plewiska — Poznań;

- rozwiązanie problemu komiwojażera dla trasy numer 3: długość trasy przed — 426,9 km, długość trasy po — 297,7 km. Rozwiązanie, jakie zaproponowało narzędzie Solver dla trasy numer 3, to po-

Tabela 6

Tabela wyników dla trasy 5

Inowrocław	Konin	Słupca	Września	Poznań	Swarzędz	Gniezno	Trzemeszno	Mogilno
4	2	7	3	1	6	5	8	9
35,8	71,6	28,3	22,7	47,2	15,8	43,9	18,4	16,1

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5

Mapa przebiegu trasy przejazdowej nr 5



Źródło: opracowanie własne.

konanie jej w kolejności: Poznań — Szamotuły — Wronki — Krzyż Wielkopolski — Czarnków — Trzcianka — Piła — Chodzież — Oborniki — Poznań;

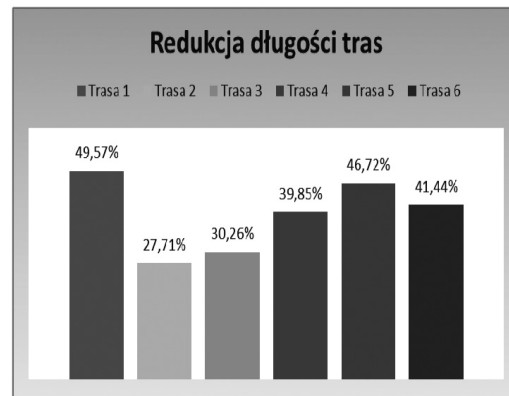
- rozwiązanie problemu komiwojażera dla trasy numer 4: długość trasy przed — 446,2 km, długość trasy po — 268,4 km. Rozwiązanie, jakie zaproponowało narzędzie Solver dla trasy numer 4, to pokonanie jej w kolejności: Poznań — Kórnik — Śrem — Leszno — Gostyń — Pleszew — Jarocin — Środa Wielkopolska — Poznań;
- rozwiązanie problemu komiwojażera dla trasy numer 6: długość trasy przed — 477,3 km, długość trasy po — 279,5 km. Rozwiązanie, jakie zaproponowało narzędzie Solver dla trasy numer 6, to pokonanie jej w kolejności: Poznań — Murowana Goślina — Wągrowiec — Nakło nad Notecią — Bydgoszcz — Szubin — Żnin — Janowiec Wielkopolski — Pobiedziska — Poznań.

Zastosowanie narzędzia Solver pozwoliło na zoptymalizowanie i zredukowanie dość znacznie długości każdej z tras. Średnio długość obniżyła się o 39% od sytuacji wejściowej. Największą obniżkę odnotowano na trasie numer 1, a najmniejszą — na trasie numer 2. Wyniki wszystkich tras prezentuje rysunek 6.

W przypadku konieczności dokonania zmian w kolejności trasy przejazdu w wyniku np. rozwoju sieci dystrybucji, wykorzystując dodatek Solver, można szybko dokonać jej modyfikacji. Takie podejście do problemu dystrybucji wyrobów o ograniczonej trwałości, gdzie istotną zmienną jest czas, pozwala ulepszyć i usprawnić funkcjonowanie łańcucha dostaw. Sprzyja to także osiągnięciu przewagi konkurencyjnej dzięki redukcji czasu dostawy i kosztów związanych ze spedycją wyrobów, dzięki czemu przedsiębiorstwo poprawia swój wizerunek na tle innych rywali w branży.

Rysunek 6

Procentowa obniżka długości tras przejazdu



Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Analizowane przedsiębiorstwo, jako dystrybutor produktów leczniczych, dzięki zastosowaniu przeładunku kompletacyjnego wychodzi naprzeciw kluczowym wymaganiom klientów, jakimi są m.in. szybkość, terminowa i niezawodna dostawa towaru. Systemy Just in Time i cross dock zmieniają całkowicie zasady funkcjonowania całego łańcucha dostaw. Zmiany te polegają głównie na tym, że towar dostarczany jest według bieżących i aktualnych potrzeb definiowanych przez odbiorców. Przeładunek kompletacyjny gwarantuje dostawę wielu towarów pochodzących z licznych źródeł zaopatrzenia w jednej przesyłce. Wzrasta szybkość reakcji na potrzeby klienta, a czas realizacji zamówienia zostaje skrócony do minimum. Elementy te są istotnym czynnikiem wpływającym na satysfakcję klienta. Przechodząc na techniki Just in Time i cross dock, przedsiębiorstwo obniża koszty i uwalnia kapitał przeznaczony wcześniej na wynajem znacznie większej przestrzeni magazynowej oraz utrzymywanie określonego poziomu zapasów ściśle związanego z przyjętym poziomem obsługi klienta. Redukcji podlegają również koszty logistyczne związane ze składowaniem i tworzeniem zapasów oraz obsługą i ochroną magazynu. W nowym rozwiązaniu zapasy ograniczone są do zapasu obrotowego wynikającego z zapotrzebowań klientów. Skupianie się na kluczowych procesach: przyjmowania zamówień oraz kompletacji i pakowania, daje przedsiębiorstwu możliwość sprawnego i efektywnego zarządzania nimi. Przejmując pełną kontrolę prowadzonych procesów, możliwe jest całkowite wyeliminowanie błędów.

Ponadto to magazyn przeznaczony do przeładunku kompletacyjnego musi być odpowiednio do

tego przystosowany. Przez magazyn przepływać będzie szybko duży strumień przesyłek, więc musi być on przystosowany technicznie i organizacyjnie do prowadzenia takiego procesu. Musi posiadać wydzielone strefy zapewniające sprawny przepływ materiałów oraz optymalnie rozmieszczone pola odkładcze. Wyposażenie powinno charakteryzować się dużą liczbą doków przeładunkowych, wysoką jakością środków transportu bliskiego, urządzeń do automatycznej identyfikacji i techniki obliczeniowej. Wdrożenie cross dockingu wymaga również wprowadzenia niezawodnego, a zarazem odpowiedniego, ściśle dopasowanego do potrzeb systemu IT. System ten ma za zadanie szybką, prowadzoną w czasie rzeczywistym, automatyczną wymianę danych. Dzięki temu każdy proces logistyczny będzie w pełni analizowany, kontrolowany i korygowany.

Należy wspomnieć o tym, że przeładunek kompletacyjny jest procesem szybkim, ale także wymagającym sprawnego i niezawodnego zarządzania. Nienaganna organizacja pracy powinna być wpro-

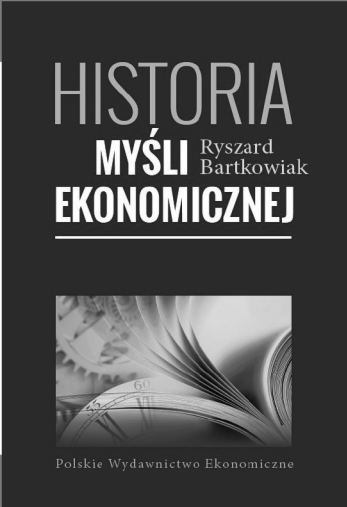
wadzona w każdym ogniwie łańcucha dostaw. Zamówienia pakowane przez dostawców muszą być przygotowywane bezbłędnie, gdyż są one podstawą kompletacji zapotrzebowań składanych przez klientów. Załoga prowadząca proces kompletacji w terminalu musi być przeszkolona, zdyscyplinowana i świadoma wagi wypełnianych obowiązków. Realizacja procesów dystrybucyjnych musi być prowadzona w najwyższym standardzie przez „najlepszych z najlepszych”. Zlecenie usług na zewnątrz obarczone jest zawsze pewnym ryzykiem. Jednakże narzucenie usługodawcy pewnych danych do określonego sposobu realizowania procesu dystrybucji w postaci prawidłowo zaetykietowanych przesyłek oraz wyznaczonych i zoptymalizowanych pod względem długości tras przewozu pozwala na minimalizację tego ryzyka.

Oczywiście przedstawione rozwiązanie posiada swoje wady i zalety, dlatego każde przedsiębiorstwo chcące wdrożyć podobne rozwiązanie musi je rozważyć i być świadome zarówno korzyści, jak i ryzyka płynących z takiego rozwiązania.

Bibliografia

- Baj-Rogowska, A. (2013), Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver jako zadanie logistyczne w małej firmie. W: R. Miler, T. Nowosielski, B. Pac (red.), *Optymalizacja systemów i procesów logistycznych* (169–178). Warszawa: Wydawnictwo CeDeWu.
- Cyplik, P., Hadaś Ł. (2012), *Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw*, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Fertsch, M., Ponikierska, A. (1999). Project of the physical distribution system of dairy goods using Just in Time strategy. W: J. Axelsson, B. Bergman, J. Eklund (red.), *Proceedings of the International Conference on TQM and Human Factors — towards successful integration* (t. 2). Linköping: Centre for Studies of Humans, Technology and Organization.
- Ponikierska A., Ponikierski W. (2000.) Impact of the Just in Time strategy on supplier's selection in supply chain management. W: *Proceedings of the 3rd International Conference on Building People and Organization Excellence*, Aarhus: The Aarhus School of Business.

PWE poleca



Podręcznik prezentuje rozwój myśli ekonomicznej na tle zmieniającej się gospodarki – od XVIII do końca XX wieku. Od XVIII wieku główną formą gospodarowania jest gospodarka rynkowa, dlatego ówczesnie sformułowane teorie i powstałe nurty myśli ekonomicznej są w dużej części nadal aktualne i wykorzystywane w formułowaniu wytycznych dla polityki gospodarczej. Z tego powodu poznanie historii myśli ekonomicznej jest niezbędne dla zrozumienia zasad funkcjonowania współczesnej gospodarki.

Księgarnia internetowa www.pwe.com.pl