

Spis treści

Wstęp	9
Rozdział 1. Magazynowanie	13
1.1. Kompletacja zamówień i jej optymalizacja	13
1.2. Układ regałów w magazynie.....	15
1.3. Strefy kompletacyjne	18
1.4. Składowanie towarów	19
1.4.1. Warunki przydziału towarów do lokalizacji magazynowych.....	19
1.4.2. Klasyfikacja metod składowania towarów	20
1.4.3. Szacowanie popytu na towary składowane w klasach – krzywa ABC	23
1.5. Wyznaczanie trasy magazyniera.....	26
1.6. Tworzenie zleceń kompletacyjnych.....	29
Rozdział 2. Szacowanie średnich czasów kompletacji – podejście analityczne	31
2.1. Prace nad postacią analityczną funkcji czasu kompletacji – rys historyczny	31
2.2. Założenia	38
2.3. Szacowanie odległości i czasu kompletacji zamówień.....	41
2.3.1. Przyjęta notacja.....	42
2.3.2. Odległość w głównych korytarzach.....	43
2.3.3. Odległość w bocznych alejkach dla heurystyki <i>return</i>	46
2.3.4. Odległość w bocznych alejkach dla heurystyki <i>S-shape</i>	48
2.3.5. Odległość w bocznych alejkach dla heurystyki <i>midpoint</i>	50
2.3.6. Średni czas kompletacji zamówień.....	56
2.4. Optymalizacja składowania towarów opartego na podziale na klasy	57
2.5. Wybór metody składowania towarów i wyznaczania trasy magazyniera	68
Rozdział 3. Szacowanie średnich czasów kompletacji na podstawie symulacji	70
3.1. Podejście analityczne a symulacje.....	70
3.2. Warehouse Real-Time Simulator – parametry symulowanego magazynu	71
3.3. Raporty symulacji procesu kompletacji zamówień	76
3.3.1. Raport dotyczący zamówień.....	76
3.3.2. Raport wykorzystania pracowników	77

3.4. Uruchamianie i śledzenie procesu symulacji	77
3.5. Metamodelowanie, czyli tworzenie modeli analitycznych na podstawie symulacji.....	79
Rozdział 4. Optymalne składowanie towarów	82
4.1. Składowanie dedykowane towarów.....	82
4.2. Modele optymalizujące składowanie towarów	84
4.3. Model OOS minimalizujący odległość cykli kompletacyjnych.....	85
4.4. Model OOSDD dla zdecentralizowanego I/O	89
4.5. Model OOSDDC dla składowania opartego na podziale na klasy.....	93
4.6. Model OOSDDML dla wielu lokalizacji z tym samym towarem	96
4.7. Model OOSGCI grupujący towary komplementarne w alejkach.....	99
Rozdział 5. Poszukiwanie lokalizacji dla towarów komplementarnych – podejście heurystyczne	103
5.1. Dlaczego rozwiązanie przybliżone, a nie modele optymalizacyjne?.....	103
5.2. Nienadzorowane sztuczne sieci neuronowe – algorytm Kohonena.....	104
5.3. Zmodyfikowany algorytm Kohonena do wyznaczania lokalizacji magazynowych	107
5.3.1. Założenia	107
5.3.2. Przyjęta notacja.....	108
5.3.3. Opis algorytmu	109
5.3.4. Przykłady zastosowania	119
Podsumowanie	128
Dodatek.....	130
Literatura.....	136
Wykaz pojęć	145
Wykaz symboli	148
Indeks.....	150
Spis rysunków	151
Spis tabel	153
Summary	154

Wstęp

Optymalizacja przepływów w ramach łańcuchów dostaw stanowi istotny element działania przedsiębiorstw na konkurencyjnym rynku. W Stanach Zjednoczonych Ameryki koszty związane z logistyką stanowiły w ostatnich 30 latach około 8-12% PKB, z czego blisko 10% to koszty magazynowania (Wilson 2013). Z kolei Tompkins i in. (2010) podali, że około 55% kosztów operacyjnych funkcjonowania typowego magazynu generowanych jest przez proces kompletacji zamówień. Potrzeba ciągłego ulepszania zarówno procesu kompletacji zamówień, jak i bezpośrednio na niego oddziałującego procesu składowania towarów ma więc silną motywację finansową. Zadanie to może być wykonywane poprzez zmianę technicznych uwarunkowań funkcjonowania magazynu lub przez modyfikację sposobu działania magazynu przy istniejących zasobach. Pierwsza grupa zagadnień stanowi dziedzinę zainteresowania specjalistów od zarządzania i logistyki (por. np. Krawczyk (red.) 2011; Miłaszewicz i Rut 2014) i nie jest analizowana w tej książce. Autora interesuje wyłącznie drugi aspekt: usprawnienie procesów magazynowych poprzez lepsze wykorzystanie zasobów. Można tego dokonać, stosując metody badań operacyjnych¹.

Czynnikiem, który pozwala przedsiębiorstwom osiągać przewagę konkurencyjną na rynku, jest skłonność do wdrażania rozwiązań innowacyjnych. Porter (1990) zwrócił uwagę na szeroki aspekt innowacyjności, która dotyczy zarówno wprowadzania nowatorskich technologii, jak i po prostu nowych sposobów rozwiązywania dotychczasowych problemów. Zmiana technologii może się wiązać z koniecznością poniesienia znacznych nakładów finansowych i zazwyczaj powoduje też istotne zwiększenie wydajności procesu, którego dotyczy. Optymalizacja realizacji procesu, przy istniejących warunkach technologicznych i przy braku dodatkowych nakładów finansowych (ewentualnie przy niewielkich nakładach), często nie powoduje tak spektakularnego wzrostu efektów. Należy jednak pamiętać, że decyzje podejmuje się w określonych warunkach funkcjonowania przedsiębiorstwa, które powinny implikować wybór najbardziej korzystnego dla firmy rozwiązania. Jak podaje Prędko (2016), jednym z podstawowych pojęć, związanych z oceną działalności podmiotów gospodarczych, jest efektywność, która wyraża się w skuteczności przekształcania nakładów w efekty. Samo zwiększenie wydajności, jeśli wiąże się ze znaczącym wzrostem nakładów, oczywiście nie musi powodować polepszenia

¹ O genezie logistyki oraz badań operacyjnych i ich wzajemnych relacjach, wraz z przykładami z praktyki gospodarczej oraz militarnej, czytelnik może przeczytać w monografii Całczyńskiego i in. (2000).

efektywności, rozumianej zgodnie z koncepcją Farrella (por. Prędko 2016). W przypadku systemów magazynowych oznacza to wciąż nowe perspektywy dla rozwoju i wdrażania innowacji w magazynach z ręczną kompletacją wyrobów, której wybrany problemom poświęcona jest monografia.

W książce poruszono tematy związane z problematyką optymalizacji procesów magazynowych w systemach, w których kompletacja odbywa się ręcznie lub jest wspomagana mechanicznie, zgodnie z regułą „człowiek do towaru”. Autor przedstawił oryginalne i w przeważającej większości wcześniej niepublikowane modele i metody z zakresu badań operacyjnych, które pozwalają na bardziej efektywne przeprowadzenie procesu kompletacji zamówień. Zaprezentowano też modele programowania liniowego oraz nieliniowego (sprowadzalne do liniowych), algorytm wykorzystujący koncepcję nienadzorowanych sztucznych sieci neuronowych oraz metody oparte na podejściu symulacyjnym. Odwołano się również do możliwości zastosowania koncepcji programowania dynamicznego, a także metod z zakresu programowania wielokryterialnego w procesie optymalizacji i oceny proponowanych rozwiązań. W monografii przedstawiono również modele czasu kompletacji zamówień, zbudowane w oparciu o statystyczne rozkłady prawdopodobieństwa.

Książka składa się z pięciu rozdziałów. W rozdziale pierwszym omówione zostały podstawowe problemy związane z kompletacją zamówień w systemach typu „człowiek do towaru”. Wymieniono czynniki mające bezpośrednie przełożenie na przebieg procesu kompletacji oraz przedstawiono przegląd literatury dotyczący badania ich wpływu na czas kompletacji.

W rozdziale drugim wyprowadzono postać analityczną czasu kompletacji jako funkcji takich parametrów, jak długość i liczba alejek w magazynie, sposób składowania towarów o różnych współczynnikach rotacji czy przyjęta heurystyka wyznaczania trasy magazyniera. Otrzymany wzór wykorzystano następnie do ustalenia najlepszych sposobów podziału lokalizacji magazynowych na klasy, w których należy składować towary o zbliżonych wartościach współczynników rotacji, oraz do przypisania tym sposobom najlepszych heurystyk służących do wyznaczania trasy, po której w magazynie powinien poruszać się magazynier.

Z kolei w rozdziale trzecim skonfrontowano podejście analityczne do szacowania wydajności systemów magazynowych z symulacjami. Omówiono mocne i słabe strony oraz możliwości zastosowania obu podejść. Zwrócono uwagę na to, że za pomocą modeli analitycznych nie można precyzyjnie ocenić jakości rozwiązań zaproponowanych w rozdziałach czwartym i piątym, gdzie przedstawione zostały modele i algorytmy składowania towarów, wykorzystujące korelację między nimi. Zaprezentowany został również autorski program Warehouse Real-Time Simulator². Pokaza-

² O możliwości wykorzystania programu Warehouse Real-Time Simulator do badania wydajności procesu kompletacji zamówień autor pisał już w nierecenzowanych materiałach roboczych, tzw. *working papers*. Wersja programu omówiona w książce jest dużo bardziej kompletna niż ta omówiona w materiale nierecenzowanym (Tarczyński 2013a).

no także, w jaki sposób wyniki symulacji mogą posłużyć do stworzenia modelu analitycznego, pozwalającego zbadać interakcje między magazynierami równocześnie pracującymi w tej samej strefie kompletacji³.

W rozdziałach czwartym i piątym, jak już wspomniano, zbadano możliwość wykorzystania informacji o współwystępowaniu towarów na zamówieniach do optymalizacji składowania towarów. W rozdziale czwartym przytoczono model OOS autorstwa Mantela i in. (2007), a następnie wyprowadzono autorskie modele uwzględniające inne parametry magazynu i kryteria oceny proponowanych rozwiązań niż te, które występują w modelu OOS. Zwrócono uwagę na walor teoretyczny tych modeli, ale również pewne ograniczenia związane z praktycznym ich zastosowaniem.

W przypadku dużych zadań poszukiwanie rozwiązań modeli optymalizacyjnych wymaga bardzo czasochłonnych obliczeń. Problem wyznaczenia lokalizacji magazynowych dla towarów może się jednak odbywać również z wykorzystaniem heurystyk. Jedną z takich metod heurystycznych jest zaprezentowany w rozdziale piątym, zaproponowany przez autora monografii, oryginalny algorytm wykorzystujący koncepcję nienadzorowanych sztucznych sieci neuronowych (oparty na popularnym algorytmie Kohonena). Metoda ta pozwala skorzystać z informacji pochodzących z zamówień historycznych, aby – rozwiązując klasyczne zadanie przydziału – znaleźć takie lokalizacje magazynowe dla towarów, przy których proces kompletacji zamówień będzie odbywał się szybciej i bardziej płynnie.

Dzięki dynamicznemu rozwojowi handlu internetowego w ostatnich latach z problemem efektywnej realizacji procesu kompletacji zamówień mierzy się coraz większa liczba przedsiębiorstw wysyłkowych. Bindi i in. (2007) zwracają uwagę na branże, w których kompletacja jest powszechna: przemysł odzieżowy, przemysł spożywczy, producenci mebli z drewna oraz coraz popularniejsze firmy świadczące usługi outsourcingu logistycznego. Firmy działające we wszystkich wymienionych sektorach poszukują coraz nowszych i lepszych rozwiązań, mogących zwiększyć wydajność procesu kompletacji zamówień, co z kolei powinno mieć przełożenie zarówno na redukcję kosztów, jak i zwiększenie poziomu obsługi klientów (Manzini i in. 2012). Przedstawione w monografii metody i algorytmy stanowią przynajmniej częściową odpowiedź na te poszukiwania, dostarczając tego typu rozwiązań.

³ Fragmenty podrozdziału 3.5 stanowią jedyny fragment książki, który został wcześniej opublikowany w recenzowanym czasopiśmie (Tarczyński 2017a). Zdaniem autora uwzględnienie ich w książce jest niezbędne, aby omawiany problem optymalizacji procesów magazynowych zaprezentowany został w sposób bardziej kompletny.