

KŁODAWSKI Michał¹

Problematyka usprawniania procesu kompletacji

WSTĘP

Sukces zarządzania łańcuchem dostaw zależy od koordynacji, współpracy i działania wszystkich obiektów logistycznych w całym jego obszarze. Tego typu obiekty wykorzystywane są zazwyczaj do składowania, buforowania i transformacji strumieni materiałowych (ze względu na miejsce i postać), a także związanych z nimi informacji i strumieni finansowych. Każdy z nich musi również permanentnie usprawniać i optymalizować swoją działalność (realizowane procesy) tak, aby towary lub świadczone usługi mogły zostać szybko i niezawodnie dostarczone do klientów, przy jednocześnie odpowiednio niskich kosztach [26],[42].

Ze względu na duże zróżnicowanie zapotrzebowania klientów oraz ciągle rozwijający się rynek handlu elektronicznego i detalicznego, obsługa niejednorodnych asortymentowo jednostek ładunkowych jest częstym zadaniem z jakim muszą mierzyć się łańcuchy dostaw. To z kolei powoduje, iż coraz więcej czasu i środków poświęcanych jest kwestiom poprawy i zwiększenia wydajności procesów kompletacyjnych realizowanych w obiektach logistycznych.

Badania przeprowadzone przez Coyle J., Bardi E. J., Langley C. J [6] wskazują również, iż procesy kompletacyjne mogą generować blisko 65% całkowitych kosztów operacyjnych obiektów logistycznych (głównie obiektów magazynowych). Dodatkowo uznawane są one za wysoce czasochłonne i pracochłonne, gdyż mogą pochłaniać nawet do 60% czasu poświęcanego na wszystkie operacje magazynowe [11]. Wobec tego, można wnioskować, iż wydajność operacyjna obiektów logistycznych, jak również zrzeszających je łańcuchów dostaw jest silnie skorelowana z efektywnością realizowanych w nich procesów kompletacyjnych. Tak więc utrzymanie wysokiego poziomu wydajności i efektywności procesów kompletacyjnych jest kluczowym zadaniem wielu przedsiębiorstw logistycznych.

Problemy związane ze zwiększaniem wydajności procesów kompletacji i komisjonowania mogą zostać sklasyfikowane i przydzielone do obszarów tematycznych powiązanych z projektowaniem i kształtowaniem systemów komisjonowania, planowaniem i przygotowaniem procesu kompletacji jak również jego odpowiednim kierowaniem i kontrolą.

1 KSZTAŁTOWANIE SYSTEMÓW KOMISJONOWANIA

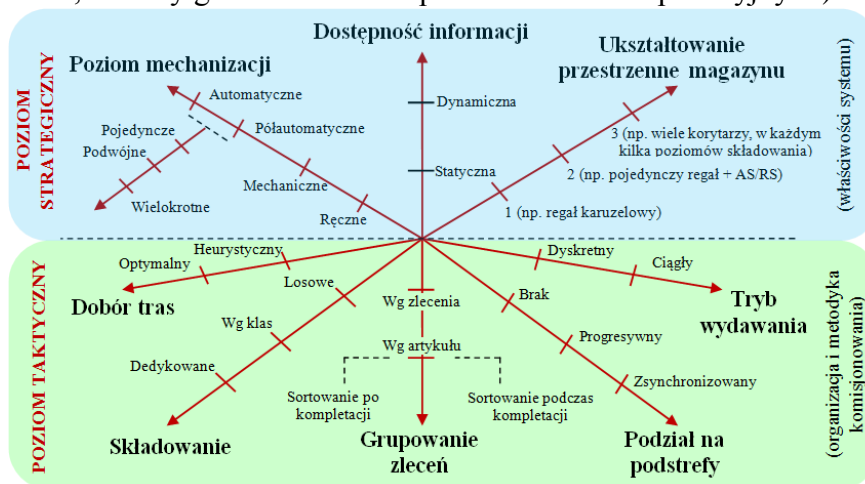
Problem wydajności procesu komisjonowania może i powinien być uwzględniany już na etapie projektowania systemów komisjonowania. Wówczas na podstawie analizy zadania logistycznego jakie musi realizować system komisjonowania możliwe jest odpowiednie ukształtowanie struktury systemu, powiązanie jego elementów i dobór technologii oraz metod realizacji procesu kompletacji. Odpowiednie ukształtowanie w tym przypadku rozumiane jest jako takie, które pozwala uzyskać najwyższą (lub ewentualnie na pożądanym poziomie) wartość wydajności procesów kompletacyjnych.

Kształtowanie, projektowanie i analiza systemów komisjonowania jest skomplikowanym i czasochłonnym zadaniem. Wymaga rozważenia i uwzględnienia dużej liczby czynników, parametrów i podejść oraz rozwiązania szeregu problemów związanych z ukształtowaniem i organizacją tego typu systemów.

Procedura projektowania systemów komisjonowania może zostać podzielona na dwie podstawowe części: strategiczną i taktyczną [16]. W pierwszej z nich niezbędne jest scharakteryzowanie elementów systemu (np. określenie wymiarów i układu strefy kompletacji, dostępności informacji w systemie komisjonowania oraz stopnia jego mechanizacji). Na poziomie „taktycznym”

¹ Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

projektowania systemów komisjonowania uwzględniane są zagadnienia dotyczące organizacji system i powiązania jego elementów, a także doboru podstawowych strategii realizacji procesów kompletacyjnych (np. sposobu wydawania zleceń kompletacyjnych, sposobu grupowania zleceń, ustalenia podstref organizacyjnych strefy komisjonowania, metody rozmieszczenia artykułów w miejscach oferowania, metody generowania tras pracowników kompletacyjnych) – patrz rysunek 1.



Rys. 1. Graficzna prezentacja złożoności systemów komisjonowania [16]

Zaprezentowana w [16] procedura kształtowania i projektowania systemów komisjonowania skorelowana jest zatem z takimi elementami jak np.: strumień materiałów podlegających kompletacji (liczba jednostek ładunkowych materiału, wielkość, objętość, waga, szablon pakowania, wartość ekonomiczna, itp.), zamówienia klientów (liczba zamówień w danym okresie czasu, częstość i wielkość zamówień, liczba linii przypadających na zamówienie, liczba pozycji w linii, wartość zamówienia itp.), typy stref funkcjonalnych obszaru kompletacji i ich wyposażenie (np. materiały szybkorotujące kompletowane są w strefie kompletacji sztukowej z regałów przepływowych natomiast materiały rotujące wolniej z ramowych rządowych regałów paletowych w strefie rezerw), oraz wykorzystywane metody kompletowania (np. kompletacja wg artykułu bądź wg zlecenia, itp.).

Złożoność systemów komisjonowania wynika z ich zależności od wyżej wymienionych czynników. Za miarę ich złożoności uznać można odległość wybranego wariantu od punktu przecięcia wszystkich osi (rysunek 1). Im dalej umiejscowione są wybrane warianty czynników od punktu przecięcia osi, tym bardziej skomplikowany jest system komisjonowania i tym trudniej jest go kontrolować oraz nim sterować i zarządzać. Nie mniej jednak odpowiednio ukształtowane i skonfigurowane systemy komisjonowania, nawet te wysoce złożone i trudne do bieżącego zarządzania będą często charakteryzować się wysoką efektywnością i wydajnością realizowanych procesów kompletacyjnych.

Problematyka kształtowania systemów komisjonowania poruszana i analizowana była także w innych źródłach literaturowych. Yoon i Sharp [40] zaprezentowali trzystopniową procedurę projektowania systemów komisjonowania. W pierwszym z etapów uwzględniano rozważania na poziomie kierowniczym. Mogą one dotyczyć np. wielkości budżetu przeznaczanego na projektowaną inwestycję. Ponadto uwzględniane na tym etapie są ograniczenia operacyjno-organizacyjne, np.: całkowita dostępna przestrzeń do realizacji procesów kompletacji, oczekiwana liczba zamówień klientów niezbędna do zrealizowania oraz dane transakcyjne z określonego przedziału czasu, dotyczące produktów oraz zleceń i zamówień klientów. Na etapie drugim – etapie wyboru – należy podjąć decyzje dotyczące wyboru funkcji, jakie będą spełniały poszczególne podsystemy systemu komisjonowania. Uwzględniane w tym przypadku jest ich wyposażenie (np. rodzajów i typów regałów oraz wózków widłowych), a także dobierane metody oraz strategie realizacji kompletacji.

Na ostatnim, końcowym etapie procedury, sformułowane podsystemy łączone są ze sobą tworząc w ten sposób pewną całość, odwzorowującą wariant projektowy systemu komisjonowania. Następnie wariant ten oceniany jest pod względem jakościowym i wydajnościowym (np. ilości zajmowanej

powierzchni, generowanych kosztów eksploatacyjnych i operacyjnych, nakładów, oczekiwanej wydajności). W przypadku oceny negatywnej istnieje możliwość odrzucenia sformułowanego wariantu i powrót do wcześniejszych etapów procedury. Wobec tego widoczne jest, iż w prezentowanej procedurze Yoon i Sharp już podczas początkowych analiz i etapów projektowych uwzględniają badania wydajnościowe konstruowanych wariantów. Gwarantuje to uzyskanie w efekcie systemów komisjonowania, które charakteryzować się będą dużą wydajnością realizowanych procesów kompletacyjnych, a przy tym niskimi kosztami eksploatacyjnymi i operacyjnymi.

Inne podejście do projektowania systemów komisjonowania zostało przedstawione w [4], gdzie autorzy wykorzystywali tzw. metodę *zero-based*. Metoda ta wykorzystuje ocenę systemów komisjonowania jako podstawę do ich projektowania i/lub reorganizacji. Jej głównym założeniem jest podział zasobów zużywanych przez systemy komisjonowania na trzy części. Pierwsza dotyczy ilości pracy i czasu poświęcanego na pobieranie artykułów (jednostek) z miejsc ich składowania i oferowania oraz zestawianie z nich jednostek niejednorodnych asortymentowo. Druga część obejmuje straty czasu poniesione podczas odczytywania list kompletacyjnych, identyfikacji lokalizacji artykułów, przemieszczania się pomiędzy miejscami oferowania oraz oczekiwania pracowników (w wyniku kongestii w strefie komisjonowania). Ostatnia z grup dotyczy kosztów poniesionych w wyniku przygotowywania i zakończenia procesu kompletacji, sprawdzania poprawności wykonywanych czynności, utrzymywania jakości procesu oraz innych czynności administracyjnych. Estymacja i pomiar wielkości zużycia wszystkich wyszczególnionych zasobów przez konstruowane warianty systemu komisjonowania umożliwia ich ocenę i porównanie, a w konsekwencji wybór najlepszego z nich. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, iż minimalizacja zużycia ww. zasobów, a w szczególności czasu poświęconego na poszczególne czynności kompletacyjne będzie prowadziła do zwiększania wydajności procesu kompletacji realizowanego w kształtowanym systemie komisjonowania. Zasadniczą wadą proponowanego w [4] podejścia do projektowania systemów komisjonowania jest to, iż umożliwia ono kształtowanie, analizę i ocenę jedynie zbliżonych do siebie (organizacyjnie i technologicznie) systemów komisjonowania. Całkowicie rozbieżne warianty projektowe systemów (np. systemy ręczne i automatyczne) mogą wykazywać zapotrzebowanie na różnorodne zasoby, których porównywanie nie jest możliwe lub miarodajne, a w efekcie, dla których metoda *zero-based* nie jest możliwa do wykorzystania.

Niestandardowe podejście do projektowania systemów komisjonowania z uwzględnieniem wydajności realizowanych w nich procesów kompletacyjnych zostało przedstawione w [21]. W swojej metodzie autorzy zaproponowali wykorzystanie algorytmów mrówkowych do poszukiwania optymalnych wariantów systemów komisjonowania. Jako kryterium optymalności poszczególnych wariantów przyjęto czas poświęcony na realizację procesu kompletacji, który jest również podstawą do określania innych parametrów tego procesu, takich jak wydajność czy produktywność.

2 PLANOWANIE I PRZYGOTOWYWANIE PROCESU KOMPLETACJI

2.1 Dobór układu strefy komisjonowania

Wydajność procesu kompletacji może być koordynowana i korygowana również poprzez odpowiednie ukształtowanie strefy komisjonowania. W tym przypadku główna uwaga powinna zostać zwrócona na dobór liczby, długości i szerokości korytarzy roboczych (kompletacyjnych) oraz korytarzy poprzecznych, liczby bloków regałowych, poziomów składowania i oferowania artykułów, a także lokalizacji punktu startu/końca kompletacji.

Problematyka kształtowania układu strefy komisjonowania była poruszana w literaturze już we wczesnych latach osiemdziesiątych. Wówczas Bassan, Roll i Rosenblat [2] zaprezentowali porównanie dwóch różnych układów strefy komisjonowania charakteryzujących się równoległymi korytarzami roboczymi. Analizowane były układy kompletacji niskiej (jednowymiarowej), czyli takiej, w której pracownik porusza się jedynie wzdłuż miejsc oferowania asortymentu, a artykuły są zlokalizowane na wysokości umożliwiającej ich pobranie bez konieczności wykorzystywania dodatkowych urządzeń. Główna uwaga zwrócona została na nakłady oraz koszty eksploatacyjne

i operacyjne (wynikające z czasochłonności procesu kompletacji) jakie generowały porównywane warianty.

Inne podejście do kształtowania strefy komisjonowania przedstawia Roodbergen w [35], [36]. W publikacjach zaproponowana została nieliniowa funkcja odwzorowująca długość drogi pokonywanej w trakcie realizacji zlecenia kompletacyjnego o określonej liczbie pozycji do pobrania oraz przy znanej, całkowitej długości korytarzy roboczych. Wartości jakie przyjmowała funkcja determinowały liczbę korytarzy roboczych w strefie kompletacji, a także lokalizację punktu startu/końca kompletacji. Minimalizacja długości drogi prowadzi do skrócenia długości czasu potrzebnego na wykonanie czynności kompletacyjnych, a tym samym zmniejszenie nakładów czasu i zwiększenie wydajności procesu. W prowadzonych badaniach autor prac [35], [36] uwzględniał warianty wykorzystujące losowe rozmieszczenie asortymentu w strefie kompletacji.

W podobny sposób do problemu konstruowania wydajnych układów strefy komisjonowania odniósł się Roodbergen i Vis w [11]. Autorzy przedstawili sformułowania matematyczne opisujące związek między układem strefy (liczbą, długością i szerokością korytarzy roboczych, lokalizacją punktu startu/końca kompletacji) a średnią długością tras kompletacyjnych. Dodatkowo w prezentowanych badaniach uwzględnione zostały różne metody generowania tras pracowników kompletacyjnych. W tym przypadku analizowano jedynie jedno-blokowe układy strefy komisjonowania oraz podobnie jak w [9], [10] losowe rozmieszczenia asortymentu.

W publikacji [31] Petersen przeanalizował różne układy strefy komisjonowania, uwzględniając jednocześnie konfigurację jej podstawowych podstref funkcjonalnych. Na potrzeby badań autor zamodelował strefę kompletacji wyposażoną w regały półkowe do składowania pojemników z artykułami oraz przeprowadził w niej symulacje procesu kompletacji. Asortyment w modelowanych układach strefy komisjonowania rozmieszczany był zarówno według metody losowej jak również metod typu *volume-based* (niezależnie klasyfikującej jednostki każdego dostępnego w systemie komisjonowania rodzaju asortymentu wg określonego parametru, np. częstości lub wielkości pobrań). Przeprowadzone badania symulacyjne umożliwiły pomierzenie i estymacja wielu parametrów procesu kompletacji, m.in.: długości dróg i czasu kompletacji. Uzyskane w ten sposób wyniki wykazały, iż układ, powierzchnia i pojemność strefy komisjonowania oraz jego podstref funkcjonalnych, liczba pozycji do pobrania na listach kompletacyjnych, a także metoda rozmieszczenia asortymentu w strefie kompletacji ma znaczący wpływ na wydajność procesu kompletacji i jego podstawowe parametry. Przedstawione w publikacji wyniki i wnioski oferują szereg rozwiązań menedżerskich pozwalających na usprawnienie systemów komisjonowania.

2.2 Problem podziału strefy komisjonowania

Kolejną z metod stosowanych do usprawnienia i ograniczenia pracochłonności procesu kompletacji jest podział strefy komisjonowania na dwie części - przednią i tylną. Część przednia wykorzystywana jest do tzw. „szybkiego kompletowania”. W niej lokowany jest asortyment najszybciej rotujący i cieszący się największym zainteresowaniem klientów. Tylna natomiast służy do przechowywania i kompletowania artykułów nieprzydzielonych do części przedniej (wolniej rotujących), a także składowania artykułów przeznaczonych do uzupełniania strefy przedniej. Powierzchnia i pojemność strefy szybkiego kompletowania jest przez projektantów zazwyczaj ograniczana. Ma to na celu skrócenia czasu i drogi pokonywanej w trakcie kompletacji, a tym samym zmniejszenia kosztów procesu komisjonowania. Należy przy tym ściśle określić rodzaje i liczbę artykułów, których oferowanie w tej strefie spowodowałoby wzrost wydajności i efektywności całego procesu. Podział strefy kompletacji na omówione części i przydzielenie im odpowiedniego rodzaju asortymentu w odpowiedniej liczbie znane jest w literaturze jako *forward-reserve* problem.

Pierwszym, który analizował ten problem w literaturze był Bozer. W 1985 roku w [3] zaproponował on podział regałów magazynowych w strefie składowania na dwie podstrefy. W skład pierwszej, traktowanej jako strefa rezerw, wchodziły miejsca składowania artykułów zlokalizowane na wyższych poziomach składowania. Z tych miejsc pobierane były jednostki asortymentu wykorzystywane do uzupełniania niższych poziomów, traktowanych jak strefa szybkiej kompletacji.

Bardziej holistyczne podejście do tego typu problemu zostało zaprezentowane przez Hackman'a i Rosenblatt'a [18]. Jako pierwsi sformułowali model dotyczący zagadnienia przedniej-tylnej strefy komisjonowania (*forward-reserve problem*), w którym rozważali zarówno problem wyboru asortymentu przydzielanego do każdej ze stref jak również problem liczebności artykułów danego rodzaju w strefie szybkiego kompletowania (strefie przedniej). Celem jaki chcieli osiągnąć była minimalizacja kosztów procesu komisjonowania oraz czynności związanych z uzupełnianiem miejsc oferowania. Jako rozwiązanie przedstawionego problemu zaproponowali własną metodę heurystyczną opartą na „problemie plecakowym”. Powyższy problem jak i propozycja jego rozwiązania zostały ponownie przeanalizowane w pracy [13], a następnie zaproponowano ich rozszerzenie i modyfikacje. Autorzy jako zmienną decyzyjną zadania optymalizacyjnego przyjęli wielkość strefy szybkiego kompletowania. W proponowanym przez nich modelu uwzględnione zostały nakłady i koszty utrzymania wyposażenia niemechanicznego przedniej strefy komisjonowania (przedstawione jako funkcja liniowo zależna od wielkości omawianej strefy) oraz koszty operacyjne procesu kompletacji i uzupełniania miejsc oferowania.

Autorzy powyższych publikacjach zakładali, że proces uzupełniania różnych pozycji asortymentowych może zostać wykonany w trakcie jednego cyklu transportowego. W przypadku pracy [39] van den Berg i inni rozważali problem, w którym w procesie uzupełniania wykorzystywane są jedynie jednorodne jednostki ładunkowe. Oznacza to, iż tylko jeden rodzaj asortymentu może być uzupełniany podczas pojedynczego cyklu. Dodatkowo założono, że strefa szybkiego kompletowania może być uzupełniana w odpowiednio krótkim czasie, zatem nie ma potrzeby składowania tam więcej niż jednej jednostki ładunkowej każdego rodzaju asortymentu. W [39] autorzy brali pod uwagę obszary magazynowe, w których występowały zarówno okresy zwiększonego natężenia pracy jak i okresy pewnych przestojów w intensywności pracy obiektów. Na tej podstawie założyli, iż istnieje możliwość takiego harmonogramowania procesów uzupełniania, aby zmniejszyć liczbę uzupełnień w okresach zwiększonego natężenia pracy, natomiast zwiększyć podczas przestojów. Van den Berg, Sharp, Gademan i Pochet zaproponowali własną metodę heurystyczną, opartą na „problemie plecakowym”. Jej celem było znalezienie takiego zbioru asortymentowego, przeznaczonego do oferowania w strefie szybkiej kompletacji, aby zminimalizować pracochłonność i czasochłonność procesu komisjonowania oraz uzupełniania asortymentu w okresach zwiększonego natężenia pracy.

2.3 Wybór metody rozmieszczenia asortymentu

Wydajność czy efektywność procesu kompletacji może być również warunkowana zastosowaną w systemie komisjonowania metodą rozmieszczenia asortymentu. Metody te są zbiorem zasad i reguł wykorzystywanych do odpowiedniego przydzielenia jednostek asortymentowych (SKUs - *stock keeping units*) do miejsc ich składowania i/lub oferowania w strefie rezerw i/lub komisjonowania. Wybór odpowiedniej metody rozmieszczenia asortymentu może prowadzić do znacznego skrócenia długości dróg kompletacji, czasu przemieszczania się pomiędzy miejscami oferowania artykułów, a w efekcie i czasu całego procesu kompletacji. Do najczęściej stosowanych i analizowanych w literaturze problemu zalicza się takie metody rozmieszczenia asortymentu jak: losowa, najbliższej wolnej lokalizacji, dedykowana (COI, volume-based), oparta na klasach asortymentowych (class-based), grupowania rodzinnego, itp..

W przypadku metod losowych, każda jednostka ładunkowa (jednostka ładunkowa paletowa, pojemnik z artykułami, itp.) zostanie przydzielona do dowolnej wolnej lokacji w strefie komisjonowania z równym prawdopodobieństwem [33]. Jeżeli doboru lokacji dokonuje pracownik, a nie nadrzędny system zarządzania magazynem, wówczas zazwyczaj wybierze on pierwsze napotkane i dostępne miejsce oferowania artykułów. Taka metoda w literaturze znana jest jako metoda najbliższej wolnej lokalizacji [7] i jest pewną odmianą metody losowej. Zasadniczą wadą metod losowych jest to, iż wymagają one wykorzystania systemu informatycznego, który będzie przechowywał informację o losowo przydzielonych miejscach składowania/oferowania (w której lokalizacji składowany jest jaki rodzaj asortymentu).

Dedykowane metody rozmieszczenia asortymentu charakteryzują się tym, iż lokują jednostki poszczególnych rodzajów asortymentu do konkretnych, przydzielonych im nich na stałe miejsc

składowania/oferowania. Żaden inny rodzaj asortymentu nie może być tam składowany, nawet jeżeli lokalizacje te są w danej chwili puste. bardzo często omawianymi w literaturze obcojęzycznej są: metoda COI (*Cube-per-Order Index*) oraz metoda *volume-based*. Pierwsza z nich po raz pierwszy została przedstawiona w literaturze problemu w 1963 roku [19]. Polega na klasyfikowaniu artykułów według współczynnika COI, będącego stosunkiem całkowitej przestrzeni niezbędnej do składowania wszystkich artykułów danego rodzaju asortymentu do liczby pobrań tego artykułu w rozpatrywanej jednostce czasu. Artykuły z najniższymi wartościami współczynnika COI lokowane są najbliżej punktu startu/końca kompletacji. W przypadku metody *volume-based* artykuły przydzielane są do miejsc składowania (oferowania) według ustalonego parametru, np. liczby pobrań na jednostkę czasu. Im częściej dane artykuły są pobierane tym bliżej startu/końca kompletacji są lokowane. Główną zaletą metod dedykowanych jest to, iż pracownicy realizujący procesy kompletacyjne zaznajamiają się i zapamiętują stałe miejsca oferowania poszczególnych rodzajów asortymentu, przez co skraca się czas ich poszukiwania podczas realizacji czynności kompletacyjnych. Niestety przy nieodpowiednim przydziale miejsc mogą równocześnie powodować wzrost powierzchni strefy komisjonowania /składowania, a przez to wydłużenie dróg kompletacyjnych.

Najlepiej znaną i najczęściej stosowaną metodą przydziału asortymentu do miejsc składowania/oferowania wg klas jest metoda ABC. Na jej podstawie wszystkie artykuły dzielone są na trzy grupy (klasy). W klasie A znajdują się artykuły najszybciej rotujące, w klasie B średnio-rotujące, natomiast w klasie C wolno-rotujące. Następnie całymi klasami są one przydzielane do miejsc składowania. I tak artykuły z klasy A lokalizowane są najbliżej punktu startu/końca kompletacji, a następnie klasy B i C. Przydzielanie artykułów do miejsc oferowania wewnątrz klas jest losowe.

Metoda XYZ jest pewną odmianą metody Pareto (ABC) charakteryzującą się tym, iż asortyment przydzielany jest odpowiednio do klas X, Y oraz Z na podstawie przewidywanej regularności zapotrzebowania klientów (regularności pobrań ze strefy komisjonowania) na dany rodzaj asortymentu lub przewidywanej regularności wielkości jego zapotrzebowania (równomierności liczby pobieranych sztuk asortymentu). Pozycje asortymentowe o niewielkich wahaniami częstości i/lub wielkości pobrań grupowane są w klasie X, a te o charakterze większych wahań sezonowych i bardzo nieregularnym przepływie przydzielane są odpowiednio do klas Y oraz Z.

Zagadnienie rozmieszczenia artykułów w magazynie według metod opartych na klasach wymaga rozważenia aspektu doboru odpowiedniej liczby i wielkości klas, do których przypisywane są poszczególne jednostki asortymentowe (SKUs), a także przydzielenia im odpowiednich lokacji w magazynie. W przypadku, gdy produkty przydzielane będą do niewielkiej liczby dużych klas może dojść do sytuacji, w której wysoko-rotujące produkty zostaną przydzielone do mniej dogodnych lokalizacji. Powodem tego może być to, iż w chwili ich dostarczenia lepsze (np. z punktu widzenia odległości od miejsca startu/końca kompletacji) miejsca składowania będą już zajęte przez produkty wolniej rotujące, należące do tej samej klasy, ale dostarczone wcześniej. W celu ograniczenia tego typu sytuacji stosowane są wieloklasowe metody rozmieszczenia asortymentu. Zauważono bowiem, iż przy takiej samej liczbie dostępnych miejsc składowania metody wielo-klasowego rozmieszczenia asortymentu mogą prowadzić do mniejszych średnich długości dróg kompletacji w porównaniu z metodami wykorzystującymi małą liczbę klas [12]. W [22] opracowany został model matematyczny rozmieszczenia artykułów w strefie kompletacji wg metody opartej na klasach asortymentu. Jako cel modelu uznano taki podział asortymentu na klasy i przydzielenie im odpowiednich lokacji w strefie kompletacji, dla którego koszty utrzymania powierzchni składowania i oferowania artykułów, a także koszty operacyjne procesu komisjonowania będą najniższe. Podobne badania prowadzone były w [28], [30]. W publikacjach zajęto się problemem doboru liczby i formułowania klas asortymentowych dla metody COI na potrzeby ich późniejszego przydzielenia do miejsc składowania. Celem autorów było ograniczenie powierzchni strefy kompletacji, redukcja kosztów utrzymania miejsc składowania i kompletacji oraz opracowanie efektywnej procedury osiągnięcia rozwiązań optymalnych z punktu widzenia wspomnianych kryteriów. Dodatkowo w 1990r. Geotschalckx i Ratliff [17] dowiedli, iż wykorzystanie metody składowania n -klasowego (wielo-klasowego) z kryterium COI, przy założeniu, że produkty z najniższą wartością parametru COI będą umieszczane

w najdogodniejszych lokalizacjach (np. najbliższej punktu startu/końca kompletacji), umożliwia osiągnięcie rozwiązania optymalnego z punktu widzenia czasu kompletacji. Inne próby usprawnienia systemów i procesów komisjonowania z wykorzystaniem klasowych metod rozmieszczenia zaprezentowano w np.: [23],[20],[29],[32].

Alternatywą do przedstawionych powyżej metod rozmieszczenia asortymentu jest metoda grupowania rodzinnego. Wykorzystuje ona powiązania i wspólne cechy różnego rodzaju asortymentu. Zazwyczaj na potrzebę jej wykorzystania niezbędne jest stosowanie metod statystycznych pozwalających na estymację wskaźnika korelacji pomiędzy poszczególnymi charakterystykami rodzajów asortymentu. Zgodnie z założeniami grupowania rodzinnego blisko siebie mogą być składowane artykuły, które np. często pojawiają się wspólnie w zamówieniach klientów [5]. Dla przykładu w publikacji [27] zaprezentowano tzw. metodę rozmieszczenia asortymentu zorientowaną na zamówienia klientów (z ang. *order oriented slotting policy*), która lokowała obok siebie pary artykułów, które wielokrotnie wspólnie pojawiały się na zleceniach kompletacji.

Innym podejściem do usprawnienia procesu kompletacji z punktu widzenia odpowiedniego rozlokowania asortymentu w strefie komisjonowania zaprezentowane zostało w [25], gdzie autor przedstawia opracowaną przez siebie metodę dynamicznego przydziału artykułów do miejsc oferowania.

3 KIEROWANIE I KONTROLA PROCESU KOMPLETACJI

3.1 Wybór strategii kompletacji

Strategia kompletacji określa sposób w jaki pracownicy będą realizowali procesy kompletacyjne. Mowa w tym przypadku głównie o podjęciu decyzji dotyczących: liczby zleceń kompletacyjnych realizowanych w pojedynczym cyklu, obszaru w jakim pracownik będzie wykonywał czynności kompletacyjne (w całej strefie kompletacyjnej lub jej części), sposobu wypełniania list kompletacyjnych przez poszczególnych pracowników (w całości lub częściowo), itp.. Główną przesłanką odpowiedniego doboru lub zmiany aktualnej strategii kompletacji jest zwiększenie wydajności procesu kompletacyjnego, skrócenie czas trwania oraz ograniczenia generowanych przez niego kosztów. Do podstawowych strategii kompletacji należą: kompletacja dyskretna (*discrete picking*), kompletacja grupowa (*batch picking*) oraz kompletacja strefowa (*zone picking*).

W przypadku, gdy zlecenia kompletacyjne realizowane są pojedynczo, tzn., gdy podczas pojedynczego cyklu kompletacyjnego pracownik może zestawiać artykuły tylko z jednego zlecenia, mamy do czynienia z kompletacją pojedynczego zlecenia (kompletacją dyskretną lub kompletacją według zlecenia) [24]. Ten typ kompletacji bardzo często wykorzystywany jest w sytuacji, gdy zamówienia napływające od klientów charakteryzują się dużą w stosunku do pojemności nośników jednostek niejednorodnych (np. palet, pojemników, kartonów, skrzyń) liczbą niezbędnych do pobrania artykułów. Kompletacja dyskretna jest najprostszą z omawianych strategii, przez co nie wymaga dużych nakładów czasowych i organizacyjnych potrzebnych do jej przygotowania, a także kierowania i nadzoru przebiegu procesu kompletacji.

W sytuacji, gdy zlecenia kompletacyjne są niewielkie, istnieje możliwość równoczesnej realizacji kilku list. W tym celu niezbędne jest pogrupowanie napływających od klientów zleceń, czyli realizacja tzw. *order batching'u*. Wobec tego *order batching* to nic innego jak grupowanie list (zleceń) kompletacyjnych wg określonego parametru bądź metody, w celu ich wspólnej realizacji w pojedynczym cyklu kompletacyjnym (przez jednego pracownika). Proces komisjonowania wykorzystujący powyższą metodę nazywany jest komisjonowaniem grupowym, natomiast proces równoczesnej kompletacji wielu zleceń - kompletacją grupową (*batch picking*). Wykorzystanie tej strategii umożliwia zwiększenie wydajności i produktywności procesu kompletacji, gdyż równoczesna realizacja wielu zleceń skraca sumaryczny czas poświęcany na przemieszczanie się pracowników pomiędzy miejscami oferowania artykułów i ich pobieranie. Jednak w niektórych układach komisjonowania może też prowadzić do wzrostu kongestii w strefie komisjonowania. Dodatkowo problem odpowiedniego połączenia i pogrupowania zleceń napływających do systemu komisjonowania (*order batching problem*) jest trudnym zadaniem klasyfikowanym jako NP-trudne.

Dlatego również w literaturze odnaleźć można wiele publikacji dotyczących się tego problemu i proponujących sposoby jego rozwiązania, np. w [15] zaproponowano dwie takie metody. Pierwsza z nich, dotycząca mniej skomplikowanych problemów wykorzystywała algorytm *branch-and-price*, druga natomiast, związana z przypadkami bardziej rozbudowanymi wykorzystywała algorytm *descent approximation*. W artykule [9] De Koster porównał wykorzystywanie dwóch algorytmów heurystycznych: *seed algorithms* i *savings algorithms* do rozwiązania problemu grupowania zleceń. W analizach rozpatrywano dwie heurystyczne metody poruszania się pracowników po strefie kompletacji: każdy korytarz (*S-shape*) oraz największej szczeliny (*Largest gap*). Algorytmy grupowania porównywane były ze względu na długość czasu kompletacji, liczbę sformułowanych grup zleceń, a także łatwość ich zastosowania w praktyce. Po przeprowadzonych badaniach autor pracy [9] stwierdził, iż:

- każda z analizowanych metod grupowania zleceń znacznie usprawnia procesy komisjonowania w stosunku do wyjściowej metody grupowania FCFS (*first-come first-serve*),
- algorytmy *seed algorithms* są znacznie wydajniejsze w połączeniu z metodą trasowania każdy korytarz (*S-shape*) oraz przy wykorzystywaniu nośników transportowych (palet, skrzyń, pojemników, itp.) o większych pojemnościach,
- algorytmy *savings algorithms* najlepiej stosować w połączeniu z metodą trasowania największej szczeliny (*Largest gap*) oraz przy wykorzystywaniu nośników transportowych (palety, skrzynie, pojemniki, itp.) o małych pojemnościach.

Kompletacja strefowa jest strategią, w której strefa komisjonowania dzielona jest na określoną liczbę podstref. Każda z podstref jest obszarem, w którym oferowane są ściśle określone rodzaje asortymentu i przydzielany jest do niego jeden lub więcej pracowników kompletacyjnych, którzy będzie pobierał artykuły tylko tam zlokalizowane. Zaletą tej strategii jest to, iż każdy z pracowników musi pokonywać mniejsze odległości podczas kompletacji, co powoduje skrócenie czasu przemieszczania się pomiędzy miejscami oferowania jak również szybko zapamiętuje lokalizacje poszczególnych artykułów, przez co mniej czasu traci na ich odnalezienie i pobranie. To rozwiązanie może prowadzić także do zredukowania problemu kongestii w obszarze komisjonowania. Należy jednak pamiętać, iż w przypadku strategii strefowej niezbędne jest wykonanie dodatkowych operacji polegających na konsolidacji zamówień realizowanych w poszczególnych podstrefach. Dopiero wówczas zamówienie może być wysłane do klienta.

Pewną odmianą kompletacji strefowej jest strategia *bucket brigades* zaproponowana w [1]. Jest to strategia, w której wielkości stref są zmienne i wynikają tylko z aktualnej wydajności poszczególnych pracowników w nich kompletujących. Każdy z nich porusza się wzdłuż czoła regału, z którego pobiera artykuły i przestrzega zasady "kompletuj do momentu, aż następny pracownik nie przejmie twojej listy, wówczas wróć po kolejną i zacznij ją wypełniać". Ten typ kompletacji szczegółowo omawiany jest w pozycji [1].

3.2 Generowanie tras kompletacji

Metoda generowania tras kompletacji określa sekwencję miejsc oferowania, które pracownik będzie odwiedzał podczas realizacji zamówień klientów oraz sposób (trasę) przemieszczania się pomiędzy nimi. Odpowiednio dobrana metoda może prowadzić do skrócenia długości dróg i czasu kompletacji, wobec czego jest jednym z aspektów niezbędnych do uwzględnienia na potrzeby usprawnienia procesu kompletacji.

Trasy kompletacji mogą być wyznaczone zarówno za pomocą metod heurystycznych jak i optymalizacyjnych. W [34] zaprezentowano próbę znalezienia trasy optymalnej. Autorzy w prowadzonych badaniach wykorzystali zagadnienie komiwojażera (*travelling salesman problem*), teorię grafów oraz programowanie dynamiczne. Opracowany przez nich algorytm umożliwił znalezienie optymalnej trasy kompletacji (pod względem kryterium jej długości) dla ściśle określonego układu strefy komisjonowania. Należy jednak zauważyć, że w rzeczywistych warunkach magazyny mają bardzo zróżnicowane układy stref komisjonowania, przez co implementacja tego i wielu innych algorytmów optymalizacyjnych mogłaby nie być możliwa. Dodatkowo, bardzo często trasy wyznaczone przy zastosowaniu metod optymalizacyjnych, mogą wydawać się dla pracowników

nielogiczne, a w związku z tym proponowane rozwiązania mogą być przez nich ignorowane. Ponadto, w przypadku metod optymalizacyjnych kłopotliwe jest uwzględnienie problemu kongestii w korytarzach kompletacyjnych, która znacznie wydłuża czas kompletacji i obniża jej wydajność. Dlatego jako alternatywę dla optymalnych metod wyznaczania tras kompletacji stosuje się metody heurystyczne. Do najbardziej znanych heurystycznych metod wyznaczania tras w magazynie zaliczamy m.in.: metodę każdego korytarza (*S-shape*), metodę powrotną (*return*), metodę punktu środkowego (*mid-point*), metodę największej szczeliny (*largest gap*), metodę kombinowaną (*combined*) oraz metodę optymalną (*optimal*). Metody te szczegółowo opisano i scharakteryzowano w 7. Początkowo opracowane zostały one do wyznaczania tras w jedno-blokowych układach strefy składowania/komisjonowania, ale w [35] i [36] zaprezentowano ich modyfikacje, przez co mogą być one z powodzeniem implementowane także w układach wielo-blokowych. Problematyka generowania tras kompletacyjnych jest często analizowana w literaturze, gdzie można odnaleźć wiele wyników badań wskazujących zasadność ich wykorzystania do usprawnienia procesów kompletacyjnych w różnych układach i wariantach systemów komisjonowania.

WNIOSKI

W artykule zaprezentowano różne podejścia do usprawniania procesu kompletacji i komisjonowania. Szczególna uwaga zwrócona została na złożoność tego rodzaju procesów oraz systemów, w których one zachodzą. Zaproponowano również potrzebę holistycznego podejścia do ich analizy. Przedstawiono główne zagadnienia jakie należy uwzględnić na potrzeby poprawy podstawowych parametrów tego typu procesów, np. długości pokonywanej drogi, czasu kompletacji oraz jej wydajności.

Zaprezentowane podejścia do zwiększania wydajności procesów kompletacji i komisjonowania zostały sklasyfikowane i przydzielone do obszarów tematycznych związanych z projektowaniem systemów komisjonowania, planowaniem i przygotowaniem procesu kompletacji jak również jego kierowaniem i kontrolą. Dla każdego z nich wybrane zostały odpowiednie źródła literaturowe, w których odnaleźć można więcej szczegółów dotyczących omawianych zagadnień oraz wyników badań prowadzonych przez innych autorów.

Streszczenie

Proces kompletacji jest jednym z kluczowych czynników i determinantów efektywności wielu obiektów logistycznych, jak również całych łańcuchów dostaw, w których te obiekty są zlokalizowane. Wobec tego zwiększenie efektywności i wydajności tego typu procesów stało się zasadniczym problemem wielu przedsiębiorstw przemysłowych i logistycznych. W niniejszym artykule zaprezentowano wybrane zagadnienia związane z efektywnością procesów kompletacji i komisjonowania oraz sposoby jej zwiększania. Główną uwagę autor zwrócił na złożoność tego rodzaju procesów oraz systemów, w których one zachodzą, jak również zasugerował, w których ich elementach można poszukiwać usprawnień. Zaprezentowane podejścia do zwiększania wydajności procesów kompletacji i komisjonowania zostały sklasyfikowane i przydzielone do obszarów tematycznych związanych z projektowaniem systemów komisjonowania, planowaniem i przygotowaniem procesu kompletacji jak również jego kierowaniem i kontrolą.

Some aspects of improving order picking process

Abstract

Order picking process (OPP) is one of the key factors for efficiency of many logistics facilities and even supply chains. Therefore, improving OPP is a crucial problem of many industrial and logistics enterprises. This paper presents selected aspects of improving order picking process. Author paid attention on complexity of that process and suggested where could be found solutions for its improvement. Presented problems were classified according to methodologies of designing order picking systems (OPS), planning and preparing order picking process and its controlling and steering. For each of them were selected relevant references.

BIBLIOGRAFIA

1. Bartholdi J.J., Hackman S.T., Warehouse & Distribution Science, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1998
2. Bassan Y., Roll Y., Rosenblat M.J., Internal layout design of a warehouse, AIIE Transactions, 12 (4), 1980
3. Bozer Y.A., Optimizing throughput performance in designing order picking systems, PhD thesis, Department of Industrials and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, 1985
4. Brynzer H., Johansson M., Medbo L., A methodology for evaluation of order picking systems as a base for system design and managerial decisions, International Journal of Operations and Production Management, 14(3), 1994
5. Brynzér, H., & Johansson, M. I., Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. International Journal of Production Economics, 46-47, 1996
6. Coyle J., Bardi E. J., Langley C. J., The management of business logistics, St. Paul MN: West, 1996
7. De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K. J., Design and control of warehouse order picking: A literature review. European Journal of Operational Research, 182(2), 2007
8. De Koster, Van der Poort E. S., Wolters M., Efficient order batching methods in warehouse, International Journal of Production Research 37(7), 1999
9. De Koster, Van der Poort E. S., Wolters M.: Efficient orderbatching methods in warehouse, International Journal of Production Research 37(7), 1999
10. De Koster, Warehouse assessment in a single tour, Facility Logistics. Approaches and solutions to next generation challenges, New York, 2008
11. Drury J., Towards more efficient order picking, IMM monograph No.1, The Institute of Materials Management, Cranfield, 1988
12. Francis R.L., McGinnis L.F., White J.A., *Facility layout and location: An analytical approach*, second edition Prentice Hall International, Englewood Cliffs, USA, 1992
13. Frazelle E.H., Hackman S.T., Passy U., Platzman L.K., The forward-reserve problem. In: Ciritani T.A., Leachman R.C., Optimization in industry, 2, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1994
14. Gademann A. J. R. N., Van de Velde S., Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse, IIE Transactions 37 (1), 2005
15. Gademann A. J. R. N., Van de Velde S.: Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse, IIE Transactions 37, 2005
16. Geotchalckx M., Ashayeri J., Classification and design of order picking systems, Logistics World, 1989
17. Geotchalckx M., Ratliff H.,D.: *Shared storage policies based on the duration stay of unit loads*, Management Science 34 (9), 1990, 1120-1132
18. Hackman S.T., Rosenblatt M.J., Allocating items to an automated storage and retrieval system, IIE Transactions 22 (1), 1990
19. Heskett, J. L., Cube-per-order index-a key to warehouse stock location. Transportation and distribution Management, 3(1), 1963.
20. Jarvis J., McDowell R.D., Optimal product layout in an order picking warehouse, IIE Transactions, 23 (1), 1991
21. Kłodawski M., Jachimowski R., Ant algorithms for designing order picking systems, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport 97, 2013
22. Kłodawski M., Problem przydziału artykułów do lokacji w funkcji minimalizacji kosztów obiektu logistycznego, Czasopismo Logistyka 4, 2014
23. Le-Duc T., De Koster R.B.M., Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse , European Journal of Operational Research, Rotterdam, 176 (1), 2007
24. Le-Duc T.: Design and control of efficient order picking processes, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2005

25. Lewczuk K., Elementy organizacji procesu komisjonowania z dynamicznym przydziałem asortymentu do lokacji, *Logistyka* 4/2012, str. 495-506, ISSN 1231-5478.
26. Lewczuk K., Wybrane aspekty projektowania terminali cross-dockingowych, *Prace Naukowe PW Transport* z. 97 strony: 327-336, OWPW Warszawa 2013 r.
27. Mantel, R. J., Schuur, P. C., & Heragu, S. S.. Order oriented slotting: a new assignment strategy for warehouses. *European Journal of Industrial Engineering*, 1 (3), 2007
28. Muppani V. R., Adil G.K., *A branch and bound algorithm for class based storage location assignment*, *European Journal of Operational Research* 189, 2008, 492-507
29. Petersen C.G., Aase G., Heiser D.R., Improving order picking performance through the implementation of class-based storage, *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, 34 (7), 2004
30. Petersen C.G., Aase G., Heiser D.R., *Improving order picking performance through the implementation of class-based storage*, *International Journal of Physical Distribution & Logistic Management*, 34 (7), 2004
31. Petersen C.G., Consideration in order picking zone configuration, *International Journal of Operations & Production Management*, 22 (7), 2002
32. Petersen C.G., The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency, *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (10), 1999
33. Petersen, C. G., & Aase, G., A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 2004
34. Ratliff H. D., Rosenthal A.S., Order picking in a rectangular warehouse: solvable case of the Travelling Salesman Problem, *Operations Research*, 31(3), 1983
35. Roodbergen K.J., De Koster R., Routing methods for warehouses with a multiple cross aisles, *European Journal of Production Research*, 39 (9), 2001
36. Roodbergen K.J., De Koster R., Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle, *European Journal of Operational Research*, 133 (1), 2001
37. Roodbergen K.J., Vis I. F. A., A model for warehouse layout, *IIE Transactions*, 38 (10), 2006
38. Schleyer M., Discrete time analysis of batch process in material flow systems, *Universitat Karlsruhe, Germany, Ph.D. Dissertation*
39. Van den Berg J.P., Sharp G.P., Gademan A.J.R.M.N., Pochet Y., Forward-reserved allocation in warehouse with unit-load replenishments, *European Journal of Operational Research*, 111 (1), 1996
40. Yoon C.S., Sharp G.P., A structured procedure for analysis and design of order pick systems, *IIE Transactions*, 28, 1996
41. Yoon C.S., Sharp G.P., Example application of the cognitive design procedure for an order pick system: case study, *European Journal of Operational Research*, 87, 1995
42. Żak J., Szczepański E.: The Phases Network as a tool for the equipment selection of the transport system, *Carpathian Logistics Congress – Congress Proceedings. Edition 1st, pp. 697-702, December 9th - 11th 2013, Cracow, Poland, EU*