

Konrad LEWCZUK*

ZASADY ORGANIZACJI PRZEPIYWÓW MATERIAŁOWYCH W OBSZARACH FUNKCJONALNYCH MAGAZYNÓW

Streszczenie

W artykule dokonano klasyfikacji metod organizacji przepływów materiałowych w magazynach i ich obszarach funkcjonalnych w aspekcie wykorzystania ich w systemach kierowania magazynem WMS. Wybrano i omówiono kilkanaście tzw. logik magazynowych oraz przedstawiono trudności implementacyjne związane z wykorzystaniem tych logik w warunkach praktycznych. Zaprezentowano rolę systemów WMS w organizacji procesu magazynowego.

Słowa kluczowe: proces magazynowy, organizacja przepływu materiałów, WMS, Warehouse Management System

WPROWADZENIE

Do najważniejszych parametrów charakteryzujących magazyn zalicza się [3]:

- liczbę operacji wejścia/wyjścia możliwą do wykonania jednostce czasu,
- pojemność wyrażoną w liczbie jednostek, którą można przechowywać,
- stopień wykorzystania miejsc w strefach składowania czy komisjonowania.

Jeżeli powyższe parametry odniesie się do kosztów pracy magazynu możliwe staje się określenie jego efektywności, która jest podstawowym miernikiem oceny jakości rozwiązania. W przypadku magazynu wyznaczyć można m.in.: koszt przejścia średniej jednostki przez system lub obszar magazynu (zł/jednostkę), koszt realizacji operacji wejścia lub wyjścia (zł/jednostkę) i koszt składowania jednej jednostki przez okres doby (zł/dobę) [4].

Jeżeli wzór na liczbę urządzeń/pracowników ma postać [4]:

(1)

przy czym: λ – liczba powtórzeń zadania (np. operacji wejścia/wyjścia),

tc – czas wykonania jednego powtórzenia zadania,

td – czas dysponowany przeznaczony na wykonanie wszystkich zadań,

oraz zakładając, że liczba urządzeń n w systemie jest dana, łatwo można wyznaczyć liczbę operacji możliwą do zrealizowania w jednostce czasu:

(2)

Na tej podstawie widać, że zwiększenie liczby realizowanych operacji może być osiągnięte przez: a) wydłużenie czasu realizacji zadań td , b) skrócenie czasu realizacji jednego powtórzenia tc . Jakkolwiek prostym odwzorowaniem jest powyższy wzór, to ukazuje właściwy sens stosowania metod organizacyjnych w magazynach, które będą właśnie wpływały na oba wymienione czasy, co omówiono poniżej.

* Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Analogicznie wzór na pojemność Z obszarów składowania magazynu ma postać [4]:

(3)

przy czym: P^R – przeladunek roczny na wejściu (liczba operacji wejścia w roku),
 N – normatyw magazynowy; czas, jaki materiał średnio przebywa w magazynie,
 dr – liczba dni roboczych w roku.

Zakładając, że pojemność obszarów Z i normatyw N są dane, można wyznaczyć liczbę operacji wejścia możliwą do zrealizowania w funkcji pojemności magazynu:

(4)

Zwiększanie stopnia wykorzystania przestrzeni w magazynie poprzez odpowiednie metody organizacyjne będzie powodowało powstanie „nowych” miejsc do składowania i przez to zwiększenie liczby operacji wejściowych P^R możliwych do zrealizowania.

Osiągnięcie żądanej wydajności magazynu jest wynikiem: poprawnego projektu technologicznego obszarów magazynu, odpowiedniej organizacji pracy (harmonogram) oraz zastosowanych rozwiązań operacyjnych w zakresie:

- konstruowania przebiegów cykli transportowych, co wpływa na wydajność transportu wewnętrznego oraz na poziom wykorzystania przestrzeni w obszarach funkcjonalnych,
- rozmieszczenia asortymentu w lokacjach magazynowych.

W poniższym artykule skupiono się na dokonaniu przeglądu zasad organizacji przepływów materiałowych w obszarach funkcjonalnych magazynów w zależności od realizowanych zadań oraz wykorzystania tych zasad w algorytmach sterujących systemów kierowania magazynem: *Warehouse Management Systems* (WMS). Systemy WMS są narzędziami informacyjnymi, których zadaniem jest kierowanie pracą magazynu w sposób nakazowy, tj. poprzez określanie sposobu realizacji operacji i zasobu realizującego. System wydaje dyspozycje bazując na całościowym oglądzie stanów magazynowych, dostępności urządzeń i pracowników oraz aktualnym poziomie zaawansowania realizacji zleceń klientów.

Okazuje się, że wiele zasad przedstawionych w dalszej części artykułu ma zastosowanie w algorytmach WMS, jednakże część z nich jest zbyt skomplikowana lub implementowana nieumiejętnie, co prowadzi do strat w wydajności magazynu. Celem artykułu jest naświetlenie zagadnień związanych z gospodarką magazynową, które powinny zostać opatrzone metodami matematycznymi sformułowanymi z uwzględnieniem możliwości ich wdrożenia w systemach kierujących magazynami.

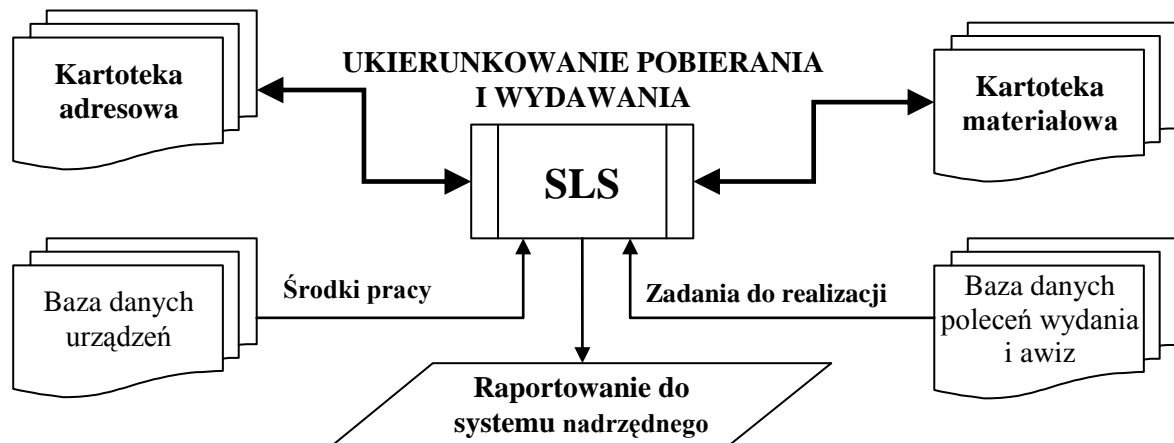
ORGANIZACJA PRZEPLÝWÓW MATERIAŁOWYCH A SYSTEM KIEROWANIA MAGAZYNEM WMS

Systemy WMS są w gruncie rzeczy implementacją bazodanową papierowych kartotek materiałowych i asortymentowych wykorzystywanych w magazynach przed rozwiązaniami informatycznymi. WMS opierają się więc na relacyjnej bazie danych aktualizowanej równoległe z wielu źródeł w czasie rzeczywistym, która zawiera m.in. dane o wszystkich lokacjach w magazynie oraz o wszystkich rodzajach materiałów obsługiwanych przez magazyn. Problemem decyzyjnym jest w tym przypadku odpowiedź na pytania [7]:

1. Skąd pobrać jednostkę określonego materiału (gdzie się ona znajduje)?
2. Gdzie odłożyć daną jednostkę materiału (tj. gdzie ma się znaleźć)?

3. Jaka powinna być sekwencja pobrań/odłożeń?
4. Kto, kiedy i czym ma realizować zadanie?

Odpowiedzi na te pytania muszą opierać się o algorytmy obliczeniowe, których celem nadrzędnym ma być minimalizowanie pracochłonności procesu technologicznego. Zadanie to w systemach WMS spełnia system lokowania asortymentu (*Stock Locator System – SLS*, rys. 1) [3].



Rys. 1. Uproszczony schemat Warehouse Management System
Źródło: opracowanie własne

Celem stawiania tych pytań i poszukiwania odpowiedzi jest zredukowanie pracochłonności realizacji procesu magazynowego, skrócenie czasu realizacji zlecenia klienta i zmniejszenie liczby błędów. Zasady umożliwiające odpowiedź na te pytania określane są niekiedy w literaturze przedmiotu jako *warehouse logics* – logiki magazynowe [7].

Algorytmy logik magazynowych są zadaniami optymalizacyjnymi, często o znacznej złożoności obliczeniowej (*NP-zupełne*). Są to m.in. zagadnienia: komiwojażera i wielu komiwojażerów, plecaka, przydziału zasobów do zadań, szeregowania zadań, minimalizacji pustych przebiegów. Dodatkowe ograniczenia wynikają z: teorii masowej obsługi (teorii kolejek) czy też mechanik i wytrzymałość konstrukcji.

WMS jako oprogramowanie komputerowe wymaga implementacji algorytmów opartych na logikach magazynowych. Złożoność tych algorytmów musi z jednej strony zapewniać racjonalną realizację zadań, a z drugiej strony powinna umożliwiać równoległe rozwiązywanie dużej liczby realnych zadań w akceptowalnym czasie. Wykorzystanie WMS do kierowania magazynem wymaga parametryzacji ([1], [2], [3], [5], [8]):

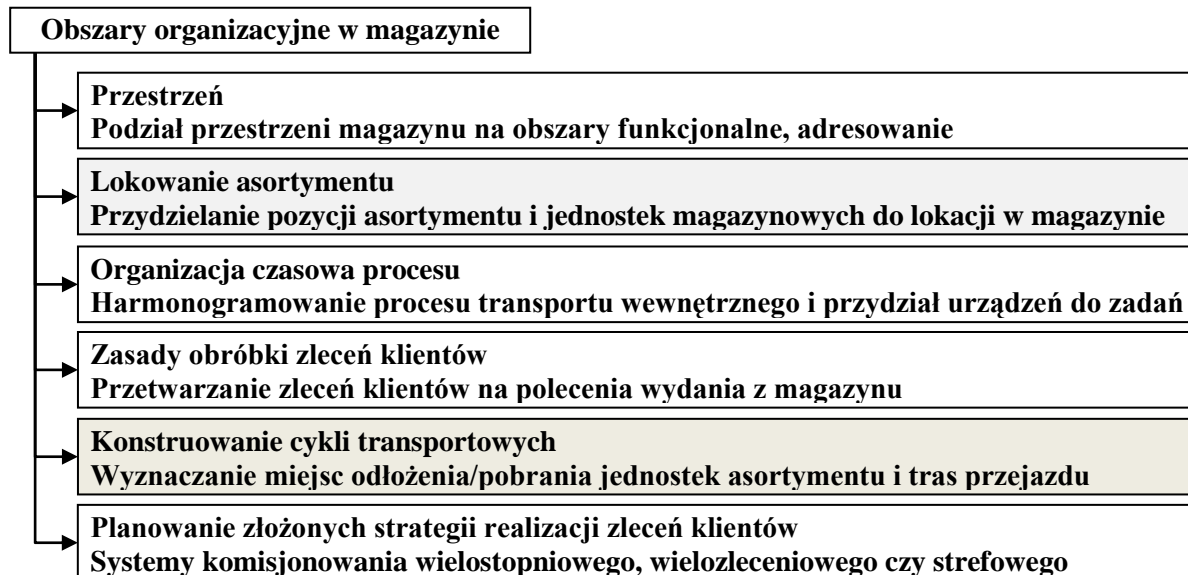
1. danych stałych produktów (wszystkie wymagane informacje opisujące produkty),
2. jednostek magazynowych (rodzaje jednostek, służących do grupowania produktów),
3. obszarów magazynowych/transportowych (do przechowywania i obsługi jednostek),
4. stref magazynowych/transportowych, sektorów magazynowych, gniazd, lokacji magazynowych (jako kolejne poziomy w hierarchii podziału magazynu),
5. ustawienia dostępu do obszarów/produktów,
6. struktury zleceń i profili pracy (wzorce pracy),
7. organizacji procesu magazynowego.

Następnie do różnych kombinacji tak zdefiniowanych danych o lokacjach, produktach, jednostkach magazynowych oraz zamówionych ilościach przypisuje się logiki magazynowe mające na celu zwiększenie efektywności procesu magazynowego. Logiki magazynowe, należą do metod organizacyjnych stosowanych w magazynowaniu. Podstawowe rodzaje

metod organizacyjnych, czy też obszarów organizacji w magazynie przedstawiono na rys. 2. Pozycje oznaczone kolorem szarym zostały omówione w dalszej części artykułu.

Na potrzeby dalszych rozważań zdefiniowano następujące pojęcia charakterystyczne dla gospodarki magazynowej:

Obszar magazynu: fizycznie wydzielona przestrzeń magazynu realizująca określony fragment procesu magazynowego, w której znajdują się określone lokacje magazynowe, w których jednostki magazynowe są przechowywane, między którymi są przemieszczane czy też przetwarzane w związku z realizacją zleceń klientów.



Rys. 2. Obszary organizacyjne w magazynie

Źródło: opracowanie własne

Lokacja: miejsce w magazynie opisane jednoznacznym adresem, o znanych cechach fizycznych (wymiary, pojemność, nośność), przystosowane do przechowywania jednostek magazynowych określonego rodzaju (jednej lub więcej). Lokacja jest opisana poprzez: a) stan (zajęty/wolny), b) ile i jakich pozycji asortymentu/jednostek logistycznych się w niej znajduje, c) ile i jakich pozycji asortymentu/jednostek logistycznych może się w niej znaleźć.

Pozycja asortymentu (produkt, materiał): rodzaj produktu o określonych cechach handlowych i fizycznych, opisany jednoznacznym numerem identyfikacyjnym (często: SKU – *Storage Keeping Unit*) mający określone jednostki magazynowe, do których może być formowany.

Jednostka magazynowa: przeważnie ustandaryzowana forma pakowania materiałów pozwalająca na ich transport, składowanie i manipulowanie w obrębie magazynu. Znane są wymiary, masa oraz możliwość przypisania jednostka-lokacja w magazynie.

LOGIKI MAGAZYNOWE

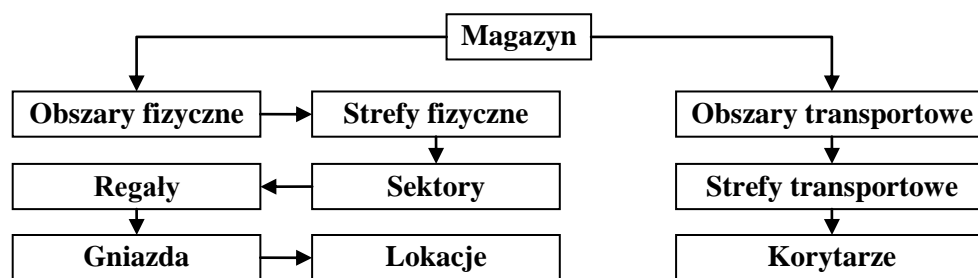
Poniżej przedstawiono wybrane logiki magazynowe wykorzystywane w systemach kierowania magazynem WMS (opracowano na podstawie: [5], [6], [7], [8]):

1. Przydział strefowy

Logika ta zakłada podział magazynu bądź jego obszarów (szczególnie obszaru kompletacji) na strefy. Do każdej strefy przypisane są lokacje magazynowe. Rozdział na strefy może wynikać m.in. z: podziału asortymentu na grupy ABC/XYZ, typów obsługiwanych w nich jednostek, właściwości produktów, uwarunkowań dostępowych ludzi i urządzeń czy szczegółowych uwarunkowań procesu komisjonowania. Często strefy wydziela się ze względu na fragment procesu magazynowego, który w nich jest realizowany. Wewnątrz strefy zawsze stosuje się inną logikę do wskazania konkretnej lokacji do pobrania/odłożenia materiału, gdyż logika ta jedynie ukierunkowuje przepływ na obszar, nie wskazuje zaś konkretnych lokacji w jego obrębie.

Systemy WMS zawsze oferują możliwość podziału przestrzeni magazynowej na mniejsze fragmenty funkcjonalne i wykorzystują ten podział w realizacji swoich funkcji. Zakres, stopień czy liczba poziomów takiego podziału zależne są od producenta WMS. Wydzielenie stref umożliwia w systemach WMS m.in.: przydzielanie do nich określonych urządzeń, czy realizację procesu kompletacji, a także odzwierciedlenie procesu magazynowego. Podział na strefy umożliwia ukierunkowanie pracy na etapie organizacji procesu.

Na etapie parametryzacji systemu konieczne jest podanie ścisłej informacji o podziale przestrzennym. Przykład podziału przestrzeni magazynu w systemie WMS przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Podział obszaru magazynu w systemie WMS

Źródło: opracowanie własne

2. Stałe lokacje (stałe miejsca adresowe)

Jest to najprostsza logika magazynowa. Każdej pozycji asortymentu przydziela się stałą, pre-definiowaną lokację (lub grupę lokacji), z których realizuje się pobieranie i odkładanie. Najczęściej wykorzystywana jest w popularnych – podstawowych miejscach pobierania materiałów sztucznych i opakowań zbiorczych (np. na czole strefy komisjonowania). Rzadziej jest wykorzystywana mających gorsze warunki dostępowe.

Systemy WMS wykorzystują tę logikę najczęściej w obrębie najdroższych lokacji w magazynie, tj. czoła strefy komisjonowania lub wybranych miejscach w obszarach rezerw. Zastosowanie tej logiki wymaga znacznej pracy wdrożeniowej w zakresie analizy zamówień klientów i poprawnej identyfikacji wszystkich pozycji asortymentu (*profilowanie magazynu*) i następnie implementacji w tablicach systemowych wyników tych działań w postaci przypisania pozycji asortymentów do lokacji w określonej ilości.

Niestety często niedostateczny wysiłek włożony w etap przygotowania danych przy wdrożeniu WMS oraz brak stałej aktualizacji tych danych w trakcie użytkowania systemu, zwłaszcza przy dużych zmianach w strukturze zleceń klientów i asortymentu wpływa na spadek wydajności newralgicznych elementów magazynu, jakimi są obszary komisjonowania.

3. Przydzielanie losowe

Przydzielanie lokacji w sposób losowy (przeważnie w obrębie określonej strefy). Logika ta stosowana jest głównie w obszarach, w których nie jest stosowana logika stałych lokacji lub inna strategia. Jej zastosowanie ma miejsce wyłącznie w przypadku braku systemu informatycznego i pracy opartej o decyzje pracowników, przy czym zawsze taka decyzja jest związana z chęcią skrócenia przez pracownika czasu cyklu, czyli wybrania miejsca względnie najbliższego wg jego uznania.

W WMS nie stosuje się tej logiki nigdy. Względnie łatwiej jest wybrać numer „pierwszy z brzegu” lokacji niż wdrażać mechanizmy losujące wraz z kłopotliwą pseudolosowością. Zamiast niej implementowana jest prawie zawsze sekwencja lokalizacji.

4. Przydzielanie dynamiczne

Logika alternatywna do *stałych lokacji* polega na wyborze pewnej liczby lokacji, do których przypisuje się pozycje asortymentu wtedy, kiedy wystąpi na nie zapotrzebowanie. Wybór, do której konkretnie lokacji z pośród dostępnych produkt ma być przydzielony dynamicznie, następuje wg innych reguł, np. *sekwencji lokacji*.

Systemy WMS używają tej logiki głównie do realizacji bieżących zadań komisjonowania. Jeżeli liczba pozycji asortymentu w magazynie przekracza liczbę miejsc oferowania w strefie komisjonowania to należy określić, które materiały będą na stałe reprezentowane w tej strefie, a które będą tam wprowadzane doraźnie. Stąd asortyment zamawiany względnie często – w niewielkich ilościach (grupy A/X¹), będzie miał stałe miejsca w strefie komisjonowania. Zaś asortyment pojawiający się w zleceniach nieregularnie lub nieregularnie i w dużych ilościach będzie miał miejsca przydzielane dynamicznie w strefie kompletacji.

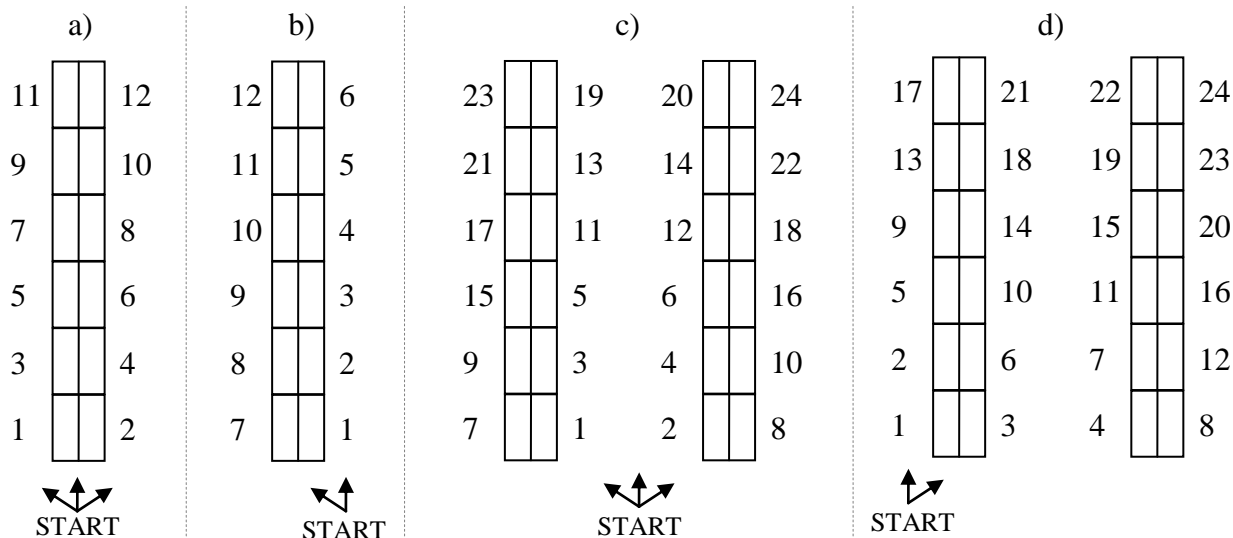
Systemy WMS wykorzystują *przydzielanie dynamiczne* lokacji dzięki możliwości konsolidacji zleceń klientów. Jeżeli możliwe jest opóźnienie realizacji wybranych zleceń zawierających pozycje asortymentowe np. z grup C/Z, wtedy nastąpi spiętrzenie i wystarczy jeden cykl uzupełniania dynamicznej strefy komisjonowania zamiast kilku oddzielnych.

5. Sekwencja lokalizacji

Jest względnie prostą metodą stosowaną tam, gdzie nie ma przesłanek do zastosowania innych metod. Każda lokacja w obszarze ma przypisany kolejny numer, przy czym lokacje najkorzystniejsze ze względu na czas dostępu mają najniższe numery. Droga przemieszczania definiowana jest przez ustalanie sekwencji lokacji o najmniejszej sumie łącznej tych numerów. W celu odstawienia jednostki w obszarze wyszukuje się pasującą do jednostki pustą lokację o najniższym numerze, zaś w celu pobrania produktu wyszukuje się lokację o najniższym numerze zawierającą dany produkt.

Aby zastosować tą metodę należy wcześniej zdefiniować i rozpoznać tzw. rozplywy materiałowe na planie obiektu by móc odpowiedzieć na pytanie: które lokacje są „najlepsze”? Na rys. 4. zaprezentowano przykłady schematów numerowania lokacji w rzędach regałowych, z tą uwagą, że w rzeczywistym systemie należy jeszcze wziąć pod uwagę trzeci wymiar przestrzeni.

¹ Klasyfikacja ABC bądź XYZ pozycji asortymentu

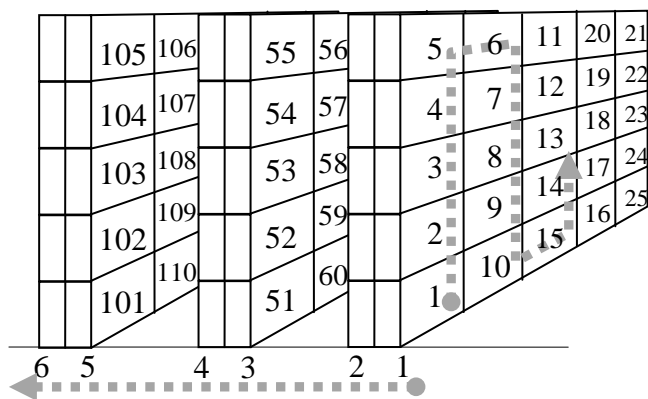


Rys. 4. Przykłady schematów numerowania lokacji w rzędach regałowych
 Źródło: opracowanie własne

Implementacja tej logiki w systemie WMS daje możliwość względnie szybkiego działania i jest to formuła stosowana powszechnie. Niesie ona jednak ryzyko przeciążenia pewnych wybranych lokacji magazynowych oraz niedociążenia lokacji „gorszych” i powstawanie kongestii ruchu. Ponadto konieczne jest zastosowanie dodatkowego zabezpieczenia, które zadba o to, aby produkty najstarsze znajdujące się w lokacjach dalszych nie uległy przeterminowaniu. W tym przypadku w okresach względnie małego i średniego obciążenia zamiast sekwencji lokacji stosuje się zasadę FIFO, a przy dużym okresowym obciążeniu pracą – w celu doraźnego zwiększenia efektywności transportu wewnętrznego – można przy wydawaniu użyć *sekwencji lokacji*, która teoretycznie powinna zapewnić krótsze cykle transportowe.

Większość WMS używa tej logiki tylko w celu ukierunkowania odstawiania, podczas gdy pobieranie ukierunkowane jest w większości przypadków przez FIFO.

Należy podkreślić, że zbudowanie rankingu lokacji jest pracochłonnym zadaniem, które często jest pomijane na etapie wdrożenia WMS. W takim przypadku dostawcy systemu stosują standardowe sekwencjonowanie lokacji, co nie zawsze jest racjonalne. Przykład takiego sekwencjonowania pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Najczęstszy schemat numerowania lokacji w rzędach regałowych
 Źródło: opracowanie własne

6. Ukierunkowanie pobierania ze względu na wiek produktów

Do najważniejszych zasad w tym zakresie zalicza się trzy podstawowe:
First-in-first-out (FIFO): ukierunkowanie pobierania na materiały znajdujące się najdłużej w magazynie.

Last-in-first-out (LIFO): logika przeciwna do FIFO, ukierunkowująca pobieranie na materiały, które najkrócej znajdują się w magazynie.

First-expired-first-out (FEFO): ukierunkowanie pobierania na produkt o zbliżającej się dacie zużycia. Logika podobna do FIFO, jednakże częściej wykorzystywana w magazynach dystrybucyjnych umiejscowionych w końcowych fragmentach łańcucha dostaw.

Algorytmy WMS przy planowaniu wydania bardzo rzadko wykorzystują ścisłą informację o czasie przybycia jednostki do magazynu, gdyż niepotrzebnie obciążałoby to system, utrudniało konsolidację materiałów w strefach magazynowych i oznaczało konieczność lokalizowania za każdym razem konkretnej jednostki, zamiast wybrać jednostkę np. z tego samego miesiąca znajdującą się znacznie bliżej. Należy zwrócić uwagę, że duża część produktów w sprzedaży detalicznej ma datę przydatności uproszczoną do miesiąca. W warunkach praktycznych w WMS zasadę FIFO implementuje się przeważnie w zaokrągleniu do miesiąca produkcji, rzadziej do tygodnia. Z kolei zasada LIFO stosowana jest kiedy przewiduje się, że dalsze składowe w łańcuchu dostaw (np. transport) mogą trwać na tyle długo, że materiały o krótkim terminie użycia będą już niezdatne, kiedy dotrą do klienta. W tym przypadku zaokrąglenie powinno dotyczyć dni.

Systemy WMS mają standardowo zaimplementowane mechanizmy FIFO jednakże problemy mogą pojawić się, kiedy planowanie operacji wejścia/wyjścia powinno dodatkowo uwzględniać zasady LIFO czy FEFO dla części materiałów.

Częstym efektem konfrontacji FIFO i FEFO, zwłaszcza przy wielkości pojedynczego zamówienia bliskiej wielkości partii produkcyjnej, są niewielkie ilości materiału pominięte w procesie wydawania ze względu na sprzeczność zasad wydawania. Poprawna parametryzacja systemów WMS w tym zakresie jest trudna.

7. Wielkość pobrania

W logice tej pobierana ilość materiału decyduje o lokacji (przeważnie także o strefie), z której będzie on pobierany.

Logika ta bardzo często jest implementowana w WMS. Najczęstszym przykładem jej zastosowania jest ukierunkowanie pobierania przy realizacji zleceń klientów. Względnie niewielkie ilości materiału pobierane są ze stref komisjonowania (gdzie oferowane są pojedyncze sztuki), a duże ilości pobierane są bezpośrednio ze stref rezerw (np. pobrania całopaletowe). Dzięki temu unika się dodatkowych cykli związanych z uzupełnianiem strefy komisjonowania, co zwiększa wydajność transportu wewnętrznego. Logika ta jest łatwa do zaimplementowania, gdyż opiera się wyłącznie na porównaniu wielkości zamówienia na dany rodzaj asortymentu z progiem pobierania charakterystycznym dla tego asortymentu. Zastosowanie tej logiki w WMS wymaga jednak pewnej pracy przy określeniu progów pobierania i stałej kontroli tych progów.

8. Najmniejsza liczba lokacji

Jest to logika magazynowa stosowana głównie w celu chwilowego zwiększenia efektywności transportu wewnętrznego. Podczas realizacji pobierania wykorzystuje się informację o zapelnieniu lokacji do ustalenia najmniejszej liczby lokacji, z których możliwe jest pobranie całego zamówienia. Jeżeli wielkość pobrania jest mniejsza niż zawartość lokacji, efektem może być pozostawianie niewielkich ilości produktu w różnych miejscach w magazynie. Z kolei przy realizacji odkładania do najmniejszej liczby lokacji możliwe jest ignorowanie lokacji niepełnych i z małą ilością produktu.

9. Pobieranie z niepełnych lokacji

Logika o charakterze odwrotnym niż *najmniejsza liczba lokacji*. Lokacja niepełna w tym przypadku oznacza lokację, w której znajduje się pewna ilość materiału, jednak całkowita pojemność lokacji nie jest wykorzystana. Pobieranie ukierunkowane jest na lokację z najmniejszą ilością materiału, co zapewnia dobre wykorzystanie przestrzeni, jednakże możliwe jest znaczne wydłużanie drogi transportowej w celu dotarcia do lokacji niepełnych.

Paradoksalnie rzadkością wśród wykorzystywanych obecnie WMS jest możliwość samoczynnego lub manualnego przestawiania systemu na tryby pracy doraźne zwiększające wydajność transportu wewnętrznego w warunkach dużego natężenia pracy lub zwiększające stopień wykorzystania przestrzeni przy względnym spokoju, chociaż mechanizm ten nie wydaje się być skomplikowany do wdrożenia. Przyczyn takiego stanu rzeczy jest kilka:

1. zbyt duże kompetencje w zakresie decydowania o miejscach odłożenia/pobrania mają pracownicy, a system wykorzystywany jest wyłącznie do zapisu stanów magazynowych,
2. słaba jakość wdrożenia skutkująca niskiej jakości danymi o lokacjach, asortymencie i stanie magazynu uniemożliwia dokładne planowanie,
3. brak mechanizmów warunkujących (wskazujących potrzebę) przełączania trybu pracy systemu,
4. brak elastyczności wdrożonego systemu magazynowego.

10. Rezerwacja lokacji

Określone lokacje są przydzielane do wykonywania wyłącznie jednego rodzaju operacji, np. możliwe jest tylko pobieranie lub tylko odkładanie do tych lokacji (np. wejście i wyjście kanału regału przepływowego lub obszar *cross-dockingowy*).

W przypadku systemów magazynowych WMS *rezerwacja lokacji* jest przeważnie implementowana na tej samej zasadzie co *podział strefowy* i jest z nią tożsama.

11. Najbliższa lokacja

Lokację do odłożenia lub pobrania materiału wybiera się tak, aby znajdowała się możliwie najbliżej miejsca, w którym znajduje się pracownik. Jednakże kwestią do rozważenia jest, czy najkrótsza droga (np. w linii prostej) oznacza najkrótszy czas dotarcia do lokacji? Z tego względu przy zastosowaniu tej logiki konieczna jest duża praca wstępna przy parametryzacji i testach systemu kierującego magazynem a wynikająca z konieczności uwzględniania rozmieszczenia konstrukcji regałowych i korytarzy roboczych. Spodziewanym rezultatem jest poprawa efektywności transportu wewnętrznego.

Wykorzystanie tej logiki w magazynie w praktyce oznacza rozwiązanie zadania poszukiwania najkrótszej drogi w sieci. Efektem rozwiązania może być wyłącznie wskazanie lokacji docelowej lub wskazanie lokacji docelowej z opisem drogi dotarcia do tej lokacji. W przypadku obszarów magazynowych dysponujących nierzadko setkami tysięcy lokacji, uwzględniając zależności geometryczne konstrukcji regałowych i korytarzy roboczych, odnalezienie rozwiązania jest skomplikowanym zadaniem obliczeniowym. Systemy WMS pracują w czasie rzeczywistym, tak więc odnalezienie rozwiązania powinno być natychmiastowe, co wymusza poszukiwanie rozwiązań przybliżonych w akceptowalnym czasie. W praktyce rzadko wykorzystuje się więc tą logikę na rzecz *sekwencji lokacji*, która daje odpowiedź przybliżoną praktycznie natychmiastowo.

Logika ta ukazuje bardzo ważny aspekt wdrażania algorytmów sterujących w rozwiązaniach przemysłowych: czas rozwiązywania zadań (podejmowania decyzji)

w pracy operacyjnej powinien być względnie krótki, co często eliminuje rozwiązania teoretyczne z wykorzystania praktycznego na rzecz prostych – konstruowanych na bazie doświadczenia człowieka – rozwiązań takich jak *sekwencja lokacji*. Taka tendencja ciągle sprawia, że systemy kierujące pracą magazynów właściwie pełnią rolę nadzorcą nad realizacją metod będących przełożeniem doświadczeń projektanta i nie umożliwiają *optymalizacji* pracy magazynu.

12. Dopelnianie wymiarów

Logika bazująca na porównywaniu objętości jednostek magazynowych z objętością lokacji. Decyzja o przydzieleniu lokacji do odłożenia danej jednostki podejmowana jest na podstawie stopnia wypełnienia lokacji przez materiał, tj. określonego analitycznie wskaźnika wykorzystania przestrzeni przez tą jednostkę w obrębie lokacji.

Logika ta jest często wykorzystywana przez WMS do określania czy dana jednostka magazynowa (bądź pewna liczba jednostek) może być odstawiona we wskazanej lokalizacji. Ważnymi pytaniami w tym przypadku są: czy cechy materiałów pozwalają na dopelnianie niekompletnych lokacji? W przypadku stref rezerw przeważnie nie jest to możliwe, gdyż składowane są tam jednorodne jednostki magazynowe, które z założenia wypełniają całą lokację (jednak czy wypełniają całą przestrzeń?). W przypadku obszarów gdzie operuje się jednostkami luzem i istnieje możliwość dopelnienia lokacji częściowo opróżnionej ustala się: wskaźnik wypełnienia lokacji, który będzie opisywał fizyczne wypełnienie miejsca i przez to stopień wykorzystania przestrzeni. Wskaźnik ten definiuje się jako iloraz bieżącego wypełnienia lokacji i jej całkowitej pojemności wyrażonych w odpowiednich jednostkach. W praktyce wartość tego wskaźnika zawsze jest mniejsza niż 1,0. W przypadku miejsc kompletacji, które nie powinny zostać opróżnione całkowicie, gdyż mogłoby to wstrzymać proces kompletacji, określa się także tzw. poziom uzupełniania, tj. wartość opisującą liczbę sztuk materiału, poniżej której wydawane jest polecenie uzupełniania. Określenie tych dwóch wskaźników wymaga znacznego wysiłku implementacyjnego i przeważnie dokonywane jest na bazie empirycznych doświadczeń.

Funkcjonalność *dopelniania wymiarów* jest zaimplementowana w większości WMS jednak rzadko wykorzystywana. Przyczyna leży w trudności i niedokładności występujących przy określaniu wymiarów różnorodnych jednostek trafiających do magazynu przy jednoczesnej różnorodności wymiarów lokacji. Nieprecyzyjne określanie tych wartości często prowadzi do sytuacji, w której wprowadzana jednostka wg systemu powinna się zmieścić w lokacji, podczas gdy fizycznie nie jest to możliwe. Takie sytuacje wymagają podjęcia dodatkowych działań i przyczyniają się dalszego pogorszenia sytuacji.

13. Konsolidacja materiałów

W tym przypadku poszukiwana jest lokacja z tym samym produktem mająca odpowiednią ilość wolnego miejsca do odłożenia (dołożenia) danej jednostki/tek materiału. Konsolidacja generuje dodatkowe ruchy nie wynikające bezpośrednio z realizacji zleceń klientów, więc wpływa negatywnie na wydajność transportu wewnętrznego, jednakże poprzez agregowanie tego samego produktu składowanego w wielu lokacjach (niedopelnione lokacje, niepełne lokacje, przeniesienie do lokacji większej) uzyskuje się lepsze wykorzystanie przestrzeni. Przy odpowiedniej organizacji istnieje możliwość dopelnienia wielu lokacji w jednym cyklu transportowym.

Systemy WMS wdrażane w polskich magazynach w większości przypadków posiadają tą funkcję zaimplementowaną, jednakże bardzo często nie jest ona wykorzystywana. Jeżeli takie działania mają miejsce, to wynikają głównie z decyzji pracowników, a ich efekt jest

jedynie raportowany w systemie. *Konsolidacja* jest działaniem porządkującym, które mogłoby być stosowane w okresach mniejszego natężenia ruchu w magazynie, jednakże te same przyczyny, które sprawiają, że *dopełnianie wymiarów* faktycznie rzadko jest wykorzystywane mają miejsce przy *konsolidacji materiałów*.

Znacznie częściej, zamiast *konsolidacji* dokonuje się grupowania jednostek danego materiału w sąsiadujących lokacjach. Nie porównuje się przy tym wymiarów lokacji z wymiarami jednostek. Przykładem takiego działania jest *konsolidacja serii*.

14. Konsolidacja serii

Logika ta wykorzystuje dane o serii/partii produktu (numery, daty, nazwy dostawców itp.) do planowania ruchów.

Konsolidacja serii produktów jest często wykorzystywana w WMS. Jeżeli nie stosuje się ściśle zasady FEFO, to ta logika ułatwia sprawowanie kontroli nad materiałami w magazynach przyprodukcyjnych. Dzięki ulokowaniu materiałów z jednej serii produkcyjnej w jednym miejscu (np. dogodnym pod względem pobierania) materiały te w pierwszej kolejności są wykorzystane do realizacji zleceń klientów. Ponadto działanie takie umożliwia lepsze sprawowanie kontroli nad zapasem.

Działania konsolidujące mają przeważnie niski priorytet, więc wykonywane są w okresach małego natężenia ruchu w ramach przygotowania do spodziewanych pików natężenia pracy. Aby możliwe było zastosowanie tej logiki system magazynowy musi dysponować mechanizmem oceniającym natężenie pracy bądź umożliwiać ręczne jej uruchamianie. W grę wchodzi tu te same trudności, jakie wymieniono przy *pobieraniu z niepełnych lokacji*.

15. Przeplatanie zadań

Przeplatanie zadań – czyli realizacja cykli kombinowanych w transporcie wewnętrznym jest jedną z najtrudniejszych do zrealizowania w WSM logik magazynowych. Czas jazd (zwłaszcza przy cyklach pełnopaletowych) to około 50-60% całego czasu pracy wózków. Zmniejszenie dystansów choćby o 20% poprzez połączenie operacji odkładania i pobierania w cykle kombinowane będzie skutkowało znacznymi oszczędnościami w kosztach pracy. Implementacja tej logiki jednakże nastęca znacznych trudności wynikających z:

1. utrudnień dostępu do niektórych stref i obszarów dla wybranych typów urządzeń,
2. braku możliwości obsługi pewnych typów jednostek magazynowych przez wybrane typy urządzeń,
3. braku uprawnień dostępowych pracowników do określonych materiałów (niebezpiecznych, ściśle rachowanych, wartościowych itd.),
4. różnych priorytetów zadań (zadania priorytetowe nie powinny być opóźniane nawet kosztem wydłużenia sumarycznego czasu jazd),
5. znaczącego obciążenia obliczeniowego systemu, który musi stale porównywać aktualne miejsca przebywania urządzeń/pracowników z listą zadań do wykonania i planować trasy z uwzględnieniem kryterium minimalizacji odległości (podobnie jak w logice *najbliższa lokacja*).

Pozostałe

Spośród innych niewymienionych tutaj zasad dodatkowo do rozważenia pozostają: kompletacja falowa (*wave-picking*), kompletacja strefowa (*zone-picking*) oraz kompletacja

wielozleceniowa (*batch-picking*). Opis teoretyczny tych logik jest dostępny w literaturze przedmiotu i nie będzie przytaczany. Te trzy logiki dotyczą głównie procesu komisjonowania w rozbudowanych układach dystrybucyjnych obsługujących przeważnie bardzo dużą liczbę pozycji asortymentu o znacznym zróżnicowaniu materiałowym, dużej złożoności zleceń klientów oraz dużych przepływach. Są one niezwykle trudne do implementacji w WMS, jednakże poprawne wdrożenie tych metod przeważnie jest opłacalne (np. w centrach dystrybucji w handlu elektronicznym).

Należy pamiętać, że w przeciwieństwie do wymienionych wyżej 15-stu reguł, te trzy logiki są specjalizowanymi rozwiązaniami o dużym poziomie złożoności, które rzadko są dostępne w standardowych – uniwersalnych wersjach WMS. Jeżeli klient zgłasza potrzebę wdrożenia którejś z tych zasad to bardzo prawdopodobne jest, że zostaną one zaimplementowane w WMS w ramach usługi ponadstandardowej. Systemy komisjonowania, które wymagają takich zasad będą z dużym prawdopodobieństwem stanowiły centralny element magazynu dystrybucyjnego, co sprawi, że zadanie wdrożeniowe będzie zrealizowane z dużą starannością.

PODSUMOWANIE

Organizacja pracy w magazynie wymaga stosowania *kombinacji* wymienionych wyżej logik magazynowych w zależności od zadania logistycznego magazynu. Jeżeli zadanie to zmienia się sezonowo, bądź też okresowo w ciągu tygodnia czy nawet doby, wskazane jest wdrożenie mechanizmów sterujących, które pozwolą na bieżące dopasowanie profilu pracy magazynu do aktualnego zapotrzebowania.

Taka elastyczność jest względnie trudna do osiągnięcia, gdyż zawsze wymaga indywidualnego podejścia do procesu. Indywidualne podejście przy wdrażaniu WMS przez firmę zewnętrzną z kolei będzie zawsze względnie drogie – droższe niż wdrożenie rozwiązania standardowego. Klienci chcąc uniknąć dodatkowych kosztów są w stanie nagiąć swój proces technologiczny do wymogów wdrażanego narzędzia, co może skutkować utratą zdolności konkurencyjnej i wymuszeniem zmian niekorzystnych dla systemu.

Bieżące utrzymanie systemów WMS, a więc i utrzymanie sprawności użycia wymienionych logik, wymaga stałej aktualizacji baz danych o produktach, lokacjach i strefach w magazynie, a także profilach magazynowych (*Warehouse Activity Profiling*), zleceniach klientów itd. Dodatkowo konieczne jest realizowanie procesu magazynowego ze świadomością, że występujące w praktyce niedokładności nie mogą zostać zrozumiane przez system informacyjny, tak więc proces technologiczny powinien być ustalony, realizowany dokładnie i precyzyjnie współpracować z zapisami konfiguracyjnymi WMS. Jest to warunek niezbędny wykorzystania omówionych logik. Jeżeli tak nie będzie, pozostanie jedynie *przydzielanie losowe* miejsc pobrania i odłożenia materiałów, jako jedyne niewymagające dużej pracy wdrożeniowej.

W powyższym artykule przedstawiono rozważania obejmujące bardzo szeroki temat sterowania w transporcie wewnętrznym i organizacji procesów magazynowych. Każda w wymienionych logik wymaga opracowania formalnego i określenia jej przydatności w warunkach operacyjnych.

LITERATURA

- [1] Ambroziak T., Lewczuk K., Ocena obciążenia pracą urzędzeń w aspekcie harmonogramowania procesu transportu wewnętrznego, *Logistyka* 2/2011.

- [2] Ambroziak T., Lewczuk K., Wybrane aspekty harmonogramowania procesu magazynowego. Współczesne wyzwania transportu w logistyce, Prace Naukowe PW Transport z. 64 strony: 5-12, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008 r.
- [3] Bartholdi J., Hackman St. Warehouse & distribution science” 2009, www.warehouse-science.com
- [4] Fijałkowski J., Technologia magazynowania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995
- [5] Frazelle E. H., World-Class Warehousing, McGraw-Hill 2002.
- [6] Hompel t. M., Schmidt T., Warehouse Management. Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2007
- [7] Piasecki D. J., Inventory Accuracy: People, Processes, & Technology, Ops Publishing 2003
- [8] Tompkins J. A. (red.), Smith J. D. (red.), The Warehouse Management Handbook, Wydanie II, Tompkins Press 1998,

PRINCIPLES OF MATERIAL FLOW ORGANIZATION IN FUNCTIONAL AREAS OF WAREHOUSES

Abstract

Article present classification of methods of organization material flows in warehouses and in their functional areas in aspect of applying these methods in Warehouse Management Systems (WMS). Several so-called warehouse logics were selected and described according to common implementation problems met in practice. The role of Warehouse Management Systems in organizing warehousing process was presented.

Keywords: warehousing process, material flow organization, WMS, Warehouse Management System