

Konrad Lewczuk¹
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

Elementy organizacji procesu komisjonowania z dynamicznym przydziałem asortymentu do lokacji

1. WPROWADZENIE

Komisjonowanie i wydawanie materiałów zgodnie ze zleceniami klientów jest podstawowym procesem wpływającym na jakość usług w magazynie dystrybucyjnym. Jednym z kryteriów oceny jakości jest czas realizacji zleceń [3]. Z punktu widzenia klienta czas ten liczony jest od momentu złożenia zlecenia i otrzymania potwierdzenia przyjęcia go do realizacji (*faza realizacji zlecenia*). Wszystkie inne działania w magazynie, składające się na *fazę przygotowawczą*, są podporządkowane fazie realizacji i z punktu widzenia klienta nie są istotne. Koszt przeprowadzenia fazy przygotowawczej będzie wpływał na koszt usługi dla klienta, jednakże faza ta nie powinna wpływać na czas realizacji zlecenia (np. brak materiałów w magazynie uniemożliwiający realizację bieżących zleceń).

Z tego względu do projektowania obszarów komisjonowania w magazynach przykłada się szczególną wagę. Błędy popełniane w tym zakresie oraz opóźnienia wynikające z nieefektywnej pracy tych obszarów mają przełożenie na poziom zadowolenia klienta, co będzie wpływało na popyt na usługi [8].

Obszary komisjonowania w magazynie dysponują *lokacjami* o najlepszych cechach dostępowych. Reprezentowana jest w nich duża liczba *pozycji asortymentu* (p. a.) na względnie niewielkiej powierzchni, dzięki czemu możliwy jest swobodny dostęp do pojedynczych sztuk materiału i realizacja zleceń klientów. Z tego powodu są one najdroższe w utrzymaniu i zarządzaniu a jednocześnie kluczowe dla funkcjonowania magazynów dystrybucyjnych [1], [4], [5], [6], [8].

2. KONFIGURACJA OBSZARÓW KOMISJONOWANIA

2.1. Pojęcia podstawowe

Proces komisjonowania realizowany jest w *obszarach komisjonowania* magazynu dystrybucyjnego. Proces ten rozpoczyna się od podziału zleceń klientów na tzw. *linie*, które zawierają informację o tym ile sztuk danej pozycji asortymentu należy pobrać aby zrealizować zlecenie. *Pozycja asortymentu* (p. a.) jest określonym rodzajem materiału obsługiwanym w magazynie i jest opisana jednoznacznym numerem identyfikacyjnym. Liczba obsługiwanych w magazynie p. a. zależy od jego profilu działalności.

Obszary komisjonowania składają się z określonej liczby *lokacji*, tj. miejsc oferowania materiałów, o znanej pojemności i opisanych jednoznacznym adresem. Lokacje mają ustalone miejsce w przestrzeni. W pojedynczej lokacji oferuje się jeden rodzaj (pozycję) asortymentu. Realizacja procesu komisjonowania polega na przemieszczaniu się pracownika pomiędzy lokacjami, w których pobierane są materiały opisane w kolejnych liniach zleceń. Pracownik może dysponować listą linii do realizacji, lub kolejne linie są przydzielane automatycznie dzięki urządzeniom ADC² po zakończeniu realizacji poprzednich.

2.2. Profile działalności magazynowej

Konfiguracja obszarów komisjonowania jest efektem wyznaczania tzw. *profilu magazynowych*, czyli rozłożenia pracochłonności na: poszczególne pozycje asortymentu, grupy materiałowe, elementy procesu magazynowego, lokacje i obszary magazynowe oraz okresy czasu [2]. W ramach określania profili magazynowych analizowane są: historia zleceń, dane o produktach i formach pakowania oraz układ

¹ kle@it.pw.edu.pl

² Automated Data Collection

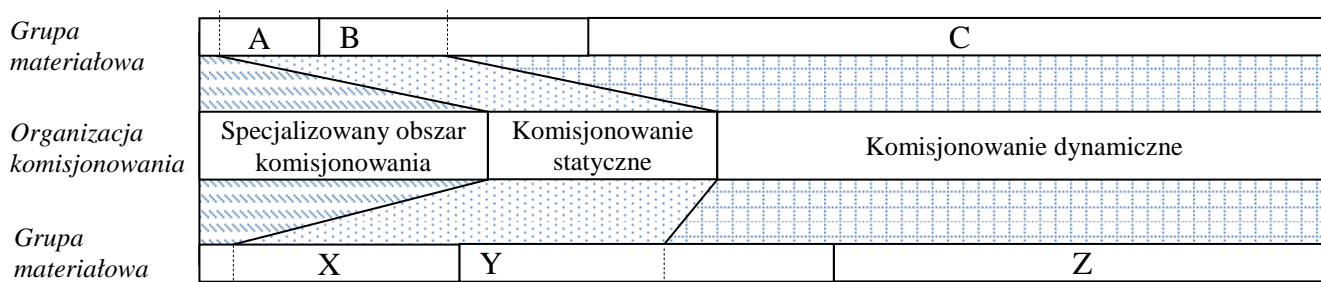
przestrzenny magazynu [5], [8]. Dzięki temu dokonuje się podziału asortymentu na grupy np. wg. zasad klasyfikacji ABC czy XYZ. Wyszukiwane są pozycje znaczące, tj. asortyment, którego obsługa generuje znaczącą część pracochłonności w magazynie lub wymaga zastosowania odrębnej technologii obsługi.

Taka analiza pozwala na podjęcie decyzji w zakresie: doboru technologii komisjonowania, wielkości i liczby obszarów komisjonowania, przydziału asortymentu do lokacji w obszarach komisjonowania (w tym przydzielanie tzw. statyczne i dynamiczne).

2.3. Statyczny i dynamiczny przydział pozycji asortymentu do lokacji

W obszarach komisjonowania oferowane są wybrane p. a. Przy znacznej ich liczbie nie jest możliwe stałe reprezentowanie wszystkich w obszarze komisjonowania ze względu na jego ograniczoną pojemność. Kwestia wyznaczenia niezbędnej pojemności obszaru jest zagadnieniem projektowym i zależy od wielu czynników [2], [6], [8].

Część p. a. będzie więc reprezentowana w obszarach komisjonowania ze *statycznym przydziałem asortymentu do lokacji* (tzw. komisjonowanie statyczne), gdzie p. a. są na stałe przypisane do lokacji i stosunkowo rzadko zmienia się to przypisanie. W pewnym uproszczeniu można stwierdzić, że asortyment należący do grup A i X, tj. o dużej rotacji, odpowiedniej wielkości jednorazowego pobrania i przewidywalnej strukturze zamówień kwalifikuje się do statycznych miejsc pobierania, w tym także obszarów specjalizowanych (przykład – rys. 1).



Rys. 1. Przykładowy przydział asortymentu do obszarów komisjonowania.

Źródło: opracowanie własne.

Stałe przypisanie ułatwia organizację pracy w obszarze komisjonowania ([5], [6]), szczególnie w zakresie konstruowania tras oraz minimalizowania czasu pobierania materiałów poprzez skracanie drogi do najpopularniejszych rodzajów materiału. Przydział taki powinien być weryfikowany z odpowiednią częstotliwością, aby uwzględnić zmiany w strukturze asortymentu i strukturze zamówień. Ponieważ materiały w takim obszarze nie będą przemieszczane między lokacjami, przeważnie umieszcza się je bezpośrednio na półkach – bez wykorzystania dodatkowych nośników, takich jak palety. Możliwe jest stosowanie różnych typów regałów w zależności od cech materiału.

Z kolei p. a. charakteryzujące się małą rotacją, czy też nieprzewidywalne pod względem struktury popytu (pozycje z grup C/Z – rys. 1) mogą zostać zakwalifikowane do obsługi w obszarach komisjonowania z *dynamicznym przydziałem asortymentu do lokacji* (tzw. komisjonowanie dynamiczne, w dalszej części artykułu obszar, w którym realizowane jest komisjonowanie dynamiczne będzie nazywany skrótowo *obszarem kdm*). Asortyment w takim przypadku przydzielany jest do lokacji zgodnie z bieżącym zapotrzebowaniem. Materiały są wprowadzane do obszaru na określony czas, w którym będą wykorzystane do realizacji zleceń, po czym są odbierane i przewożone z powrotem do obszarów rezerw. Dzięki temu możliwe jest komisjonowanie i realizacja zleceń przy ograniczonej pojemności obszaru komisjonowania.

Obszar kdm może spełniać w magazynie także inne funkcje, np. funkcję miejsca zdawczo-odbiorczego wykorzystywanego przy realizacji pozostałych zadań procesu magazynowego. Dodatkowo reprezentowane są w nim te pozycje asortymentu, których cechy fizyczne (gabaryty) uniemożliwiają oferowanie ich w obszarach komisjonowania statycznego.

Żeby obszar kdm mógł spełniać swoją rolę muszą zostać spełnione warunki:

- Obsługiwane materiały powinny znajdować się na nośnikach (np. paleta), dzięki czemu możliwe jest szybkie uzupełnienie lub opróżnienie lokacji. Mogą to być te same nośniki, których używa się w obszarze rezerw (eliminacja przepakowania).
- Obszar kdm powinien znajdować się niedaleko obszarów rezerw w celu skrócenia czasów cykli uzupełniania i wyprowadzania jednostek.
- Magazyn powinien dysponować systemem obsługi jednostek niepełnych, np. niepełnych i rozformowanych palet.
- Przy planowaniu pojemności obszaru kdm należy uwzględnić zarówno zadania komisjonowania jak i inne zadania realizowane w tym obszarze.
- Należy w drodze profilowania określić które pozycje asortymentowe będą reprezentowane w obszarach komisjonowania statycznego, a które w obszarze kdm.

2.4. Wydajność procesu komisjonowania dynamicznego

Wydajność procesu komisjonowania dynamicznego kdm będzie wrażana przez:

- a) maksymalną liczbę linii zleceń realizowanych w ciągu godziny/doby ($\lambda^{H/D}$),
- b) czas realizacji wszystkich zleceń (T^c),
- c) przeciętny czas realizacji zlecenia (T^a),
- d) pracochłonność realizacji wszystkich zleceń R (jako sumaryczny czas realizacji zleceń T^s).

Wydajność ta jest zależna od: pojemności obszaru kdm wyrażonej w liczbie lokacji, liczby pozycji asortymentu, które są do niego przydzielone i prawdopodobieństwa pojawienia się tych pozycji w zleceniach klientów, liczby komisjonujących oraz liczby urządzeń obsługujących obszar pod względem wymiany jednostek, czasu realizacji tych operacji, innych zadań realizowanych w obszarze i struktury pobrań [5].

3. ORGANIZACJA PRACY W OBSZARZE KDM

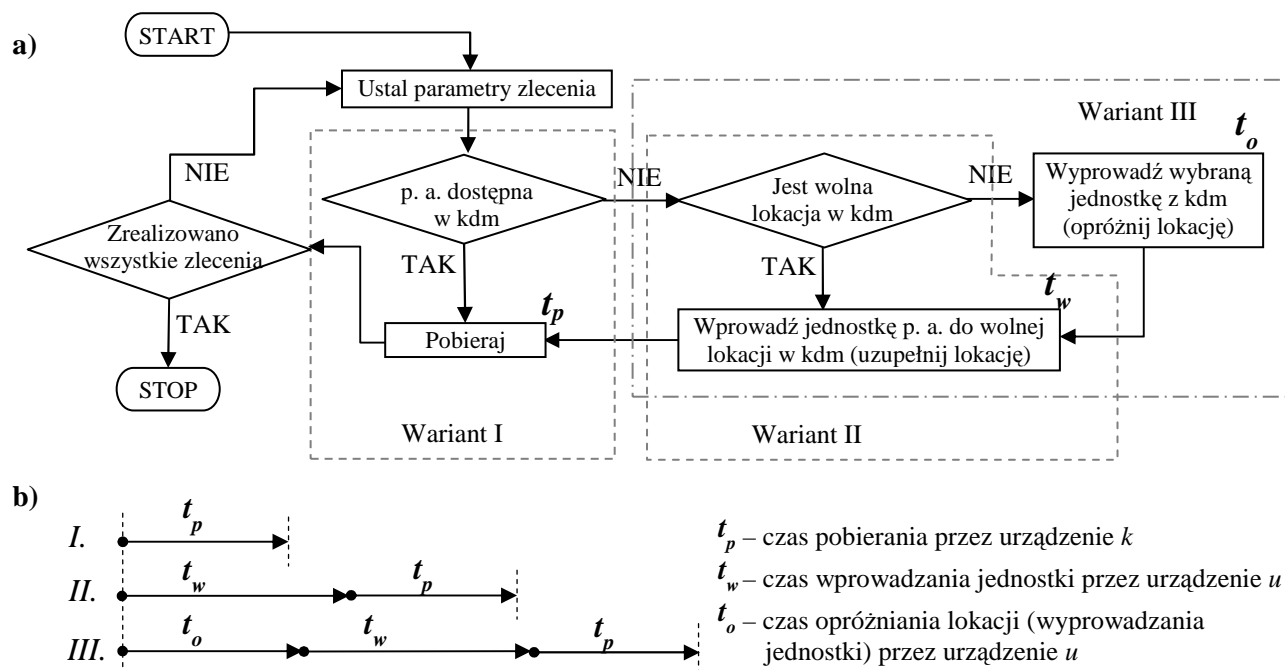
Istotnym elementem organizacji procesu komisjonowania z dynamicznym przydziałem asortymentu jest ustalenie sposobów opracowania zleceń klientów. Może to być dokonane następująco:

- Zlecenia pojawiają się w sposób losowy, a kolejne linie zleceń nie są znane do momentu zakończenia realizacji zlecenia bieżącego (np. natychmiastowa obsługa klientów pojawiających się bezpośrednio w centrum dystrybucji).
- Dokonuje się zbierania zleceń w określonym czasie (np. 2 h) lub w określonej liczbie (np. 100) i po ich przeanalizowaniu planuje uzupełnianie obszaru kdm. Działanie takie może być potraktowane jako pewien przypadek komisjonowania dwustopniowego i pozwala na wyeliminowanie dużej liczby ruchów wprowadzania i wyprowadzania materiałów z obszaru, jednak oznacza opóźnienie w realizacji zleceń.
- Zlecenia klientów są kolejgowane i wszystkie ruchy związane z opróżnianiem lokacji i czyszczeniem są planowane z uwzględnieniem określonej liczby linii zleceń oczekujących (np. 10).

Kiedy zlecenie klienta zostanie podzielone na linie, dokonuje się sprawdzenia, czy p. a. z danej linii znajduje się w obszarze kdm. Jeżeli tak, oraz ilość materiału jest odpowiednia, następuje *pobranie* (wariant I). Jeżeli nie, to należy sprawdzić, czy w obszarze są wolne lokacje. Jeżeli tak, to do tej lokacji *wprowadzany* jest materiał i następnie wykonane jest pobieranie (wariant II). Jeżeli nie ma wolnych miejsc, należy wybrać lokację do opróżnienia, dokonać *opróżnienia lokacji* i wprowadzenia odpowiedniego materiału i dopiero wtedy pobrać (wariant III). Schematycznie powyższy proces przedstawiono na rysunku 2a. Na rysunku 2b przedstawiono interpretację czasu realizacji pobierania materiału z danej linii zlecenia w każdym możliwym wariantcie.

Opróżnianie lokacji w obszarze kdm nie musi zachodzić wyłącznie w momencie całkowitego zapełnienia. Możliwe jest tzw. *czyszczenie obszaru*, które przeprowadza się kiedy zapełnienie przekroczy pewien ustalony poziom, tzw. *poziom czyszczenia*. Czyszczenie kontynuowane jest aż do zejścia poniżej tego poziomu. Ze względu na to, że *obsługa obszaru* kdm, tj. wprowadzanie jednostek, opróżnianie lokacji i czyszczenie realizowane są przez te same urządzenia, priorytet działań jest następujący: 1) wprowadzanie,

2) opróżnianie, 3) czyszczenie. W związku z tym może okazać się, że przy względnie wydajnym procesie pobierania i niedostatecznej liczbie urządzeń do obsługi, czyszczenie nigdy nie będzie miało miejsca.



Rys. 2. Schemat realizacji pobierania w obszarze kdm (a), warianty czasu realizacji (b).

Źródło: opracowanie własne.

Z powyższego można wyciągnąć następujące wnioski:

- Im więcej lokacji w obszarze kdm, tym większe prawdopodobieństwo, że opcje I i II (rys. 2b) będą realizowane częściej, co zmniejszy m.in. całkowity czas realizacji zleceń T^c oraz pracochłonność T^s .
- Im większa liczba p. a. oferowanych w obszarze kdm, tym większe prawdopodobieństwo zajęcia opcji II i III, co wydłuża całkowity czas realizacji zleceń T^c .
- Im większa liczba urządzeń do obsługi obszaru, tym całkowity czas realizacji zleceń T^c krótszy.
- Im większa liczba urządzeń do komisjonowania pracujących równolegle, tym bardziej prawdopodobna jest opcja III oraz mniejsza szansa na realizację czyszczenia strefy, gdyż wszystkie urządzenia pomocnicze są zajęte przy uzupełnianiu i wprowadzaniu, które mają większy priorytet.

Ponadto charakterystyki obszaru kdm w warunkach rzeczywistych dane są zmiennymi losowymi. Powyższe obserwacje skłaniają do wypracowania metod organizacji obszarów kdm z uwzględnieniem:

- Pojemności obszaru wyrażonej w liczbie lokacji przy zadanej liczbie pozycji asortymentu o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się w zamówieniach klientów.
- Liczby urządzeń (pracowników) do pobierania oraz obsługi obszaru.
- Czasu realizacji pobierania, uzupełniania, wyprowadzania i oczyszczania.
- Możliwości powstawania kolejek, albo oczekiwania na wstawienie materiału do obszaru kdm.
- Poziomu czyszczenia obszaru kdm.
- Sposobu grupowania zleceń klientów.

4. ZAPIS FORMALNY ZAGADNIENIA ORGANIZACJI PRACY W OBSZARZE KDM

Dany jest obszar kdm o opisany poprzez:

- Zbiór numerów lokacji $D = \{1, 2, \dots, d, \dots, D\}$, przy czym D jest pojemnością, tj. liczbą lokacji równo-uprzywilejowanych w obszarze.
- Zbiór numerów pozycji asortymentowych $A = \{1, 2, \dots, a, \dots, A\}$ o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się w zamówieniach klientów.

- Zbiór numerów urzędzeń (pracowników) realizujących pobieranie $K = \{1, 2, \dots, k, \dots, K\}$.
- Zbiór numerów urzędzeń do obsługi obszaru $U = \{1, 2, \dots, u, \dots, U\}$.
- Czas pobierania materiałów t_p oraz czasy obsługi obszaru, tj. czas opróżniania lokacji t_o i czas wprowadzania materiałów t_w .
- Poziom czyszczenia obszaru kdm, $C \in (0,1)$.

Dany jest wektor zleceń $\mathbf{Lz} = [a_{lz} : \varphi(a, lz) = 1; a \in A; lz = \overline{1, Lz}]$, gdzie $\varphi(a, lz) = 1$ jeżeli w lz -tej linii zlecenia pojawia się asortyment $a \in A$ do pobrania. Lz jest liczbą linii zleceń.

Proces realizacji zleceń jest realizowany od momentu przydzielenia pierwszego zlecenia (w chwili $t = 0$), do momentu zakończenia pobierania ostatniego zlecenia ($t = T^c$), tak więc dany jest zbiór numerów odcinków czasu $T = \{1, 2, \dots, t, \dots, T^c\}$ o określonej długości pozwalającej wyrazić wszystkie wielkości czasowe w zadaniu. Pracochłonność realizacji wszystkich zleceń R równa jest sumarycznemu czasowi ich realizacji T^s . W każdej chwili czasu t możliwe jest określenie zapełnienia obszaru Z^t wyrażonego w liczbie lokacji, w których znajdują się materiały, przy czym $Z^t \leq D$.

Dodatkowo przyjęto następujące założenia:

- Przed rozpoczęciem realizacji danej partii zleceń obszar kdm jest pusty ($Z^{t=0} = 0$).
- Linie zleceń realizowane są zgodnie z kolejnością pojawiania się.
- Nie jest znana zawartość zleceń następujących po bieżącym, dopóki nie zostaną przydzielone do realizacji któremuś z k -tych urzędzeń.
- Zlecenia spływają tworząc kolejkę i są natychmiastowo przydzielane do wolnych urzędzeń k -tych.
- Nie rozważa się wielkości pobrania. Założono, że liczba jednostek materiału znajdująca się na nośniku (np. palecie) w lokacji jest znacznie większa niż przeciętna wielkość pobrania i może być wykorzystana do zrealizowania względnie dużej liczby linii zamówień. Z tego względu na tym etapie badań pomijane jest zagadnienie szacowania ilości danego materiału w obszarze kdm.
- Dana pozycja asortymentu może znajdować się wyłącznie w jednej lokacji w obszarze.
- Czasy pobierania t_p , wprowadzania t_w i opróżniania lokacji t_o są uśrednione, stałe i nie zależą od lokacji.
- W obszarze nie są realizowane inne zadania.
- Realizacja kolejnych zleceń może nastąpić wg wariantów I, II lub III, jak to przedstawiono na rys. 2.

Przy powyższych założeniach określono przestrzeń zdarzeń Ω . Warianty realizacji linii zleceń są zdarzeniami losowymi: X_1 , pobieranie następuje wg wariantu I, X_2 wg wariantu II i X_3 wg wariantu III. Zdarzenia te są parami rozłączne: $X_1 \cap X_2 = \emptyset$, $X_1 \cap X_3 = \emptyset$, $X_2 \cap X_3 = \emptyset$ oraz:

$$P(X_1) + P(X_2) + P(X_3) = 1. \quad (1)$$

Zlecenie może zostać przydzielone do urzędzenia k -tego, kiedy jest ono wolne. Urzędzenia mogą znajdować się w kilku stanach w zależności od wykonywanego zadania (rys. 3). Urzędzenia $u \in U$: 1) wolne, 2) wprowadza (dowodzi do lokacji materiały potrzebne do realizacji bieżących zleceń), 3) opróżnia (odwozi materiały zbędne) oraz $k \in K$: 1) wolne, 2) oczekuje (na wprowadzenie materiału do obszaru), 3) wykonuje (pobieranie zgodnie ze zleceniem klienta).

Stan *wolne* charakteryzuje w danej chwili t urządzenie, które zakończyło realizację zadania. W przypadku urzędzeń $k \in K$, jeżeli któreś z nich jest wolne i są jeszcze niezrealizowane linie zleceń, to w chwili $t + 1$ kolejna linia zlecenia zostanie do niego przydzielona.

W tym samym momencie dokonuje się sprawdzenia, który wariant realizacji zadania będzie wykonywany (rys. 2a oraz 3). Przy założeniu, że prawdopodobieństwo pojawienia się dowolnej p. a. ze zbioru A w zleceniu jest równe co do wartości dla wszystkich pozycji asortymentu i wynosi:

$$P(a_{lz} = a) = 1/A, \quad (2)$$

gdzie: $a \in A$ oraz $a_{lz} \in \mathbf{Lz}$ stwierdzono, że:

- prawdopodobieństwo tego, że dana linia zlecenia przydzielona w chwili t do urzędzenia k -tego zostanie zrealizowana wg wariantu I wynosi:

$$P(X_1) = \frac{Z^t}{A}, \quad (3)$$

– prawdopodobieństwo, że linia zlecenia zostanie zrealizowana wg wariantu II wynosi:

$$P(X_2) = \frac{A - Z^t}{A} \cdot P(Z^t < D) \quad (4)$$

gdzie: $P(Z^t < D)$ jest prawdopodobieństwem, że w t -tej chwili w obszarze znajduje się wolna lokacja.

– prawdopodobieństwo, że linia zlecenia zostanie zrealizowana wg wariantu III wynosi:

$$P(X_3) = \frac{A - Z^t}{A} \cdot P(Z^t = D) \quad (5)$$

gdzie: $P(Z^t = D)$ jest prawdopodobieństwem, że w t -tej chwili cały obszar jest zapełniony oraz $P(Z^t < D) + P(Z^t = D) = 1$.

Przy zadanej liczbie linii zleceń Lz określono prawdopodobieństwo sytuacji, w której m linii zostało zrealizowanych wg wariantu X_1 , n linii wg wariantu II oraz o linii wg wariantu X_3 i wynosi ono:

$$P_{(m,n,o)}^{Lz} = \frac{Lz!}{m! \cdot n! \cdot o!} P(X_1)^m \cdot P(X_2)^n \cdot P(X_3)^o, \text{ przy czym } m + n + o = Lz. \quad (6)$$

Wówczas pracochłonność realizacji wszystkich linii zleceń wyniesie:

$$R \equiv T^s = m \cdot t_p + n \cdot (t_p + t_w) + o \cdot (t_p + t_w + t_o) = Lz \cdot t_p + t_w(n + o) + t_o \cdot o. \quad (7)$$

Jeżeli $K = 1$, wtedy $T^s = T^c$.

Dokonując przeglądu zupełnego wartości $P_{(m,n,o)}^{Lz}$ względem m, n, o dla ustalonych $P(X_1), P(X_2), P(X_3)$ można określić rozkład tego prawdopodobieństwa i wartość oczekiwaną pracochłonności R .

Prawdopodobieństwa $P(X_1), P(X_2), P(X_3)$ są zależne od liczby urządzeń pobierających K , liczby urządzeń do obsługi obszaru U , poziomu czyszczenia C oraz czasów trwania zadań i innych parametrów. Duża liczba urządzeń pobierających względem liczby urządzeń obsługujących U sprawia, że $P(Z^t < D) \ll P(Z^t = D)$ co skutkuje $P(X_2) \ll P(X_3)$ gdyż operacje pobierania i wprowadzania mają większy priorytet, niż operacje czyszczenia, dzięki którym w obszarze pojawia się wolne miejsce. Z kolei mała wartość K (względem U) zmienia te nierówność. Rozważono tutaj jedynie przykład, gdyż do tego należy uwzględnić czasy t_p, t_w, t_o oraz stosunek wartości U do K . Dodatkowo wzajemna relacja pomiędzy pojemnością obszaru D i liczbą p. a. A ma wpływ na prawdopodobieństwo $P(X_1)$. Zatem stosunek wartości prawdopodobieństw $P(X_1), P(X_2), P(X_3)$ jest zależny od układu parametrów $(K, U, C, D, t_p, t_w, t_o)$.

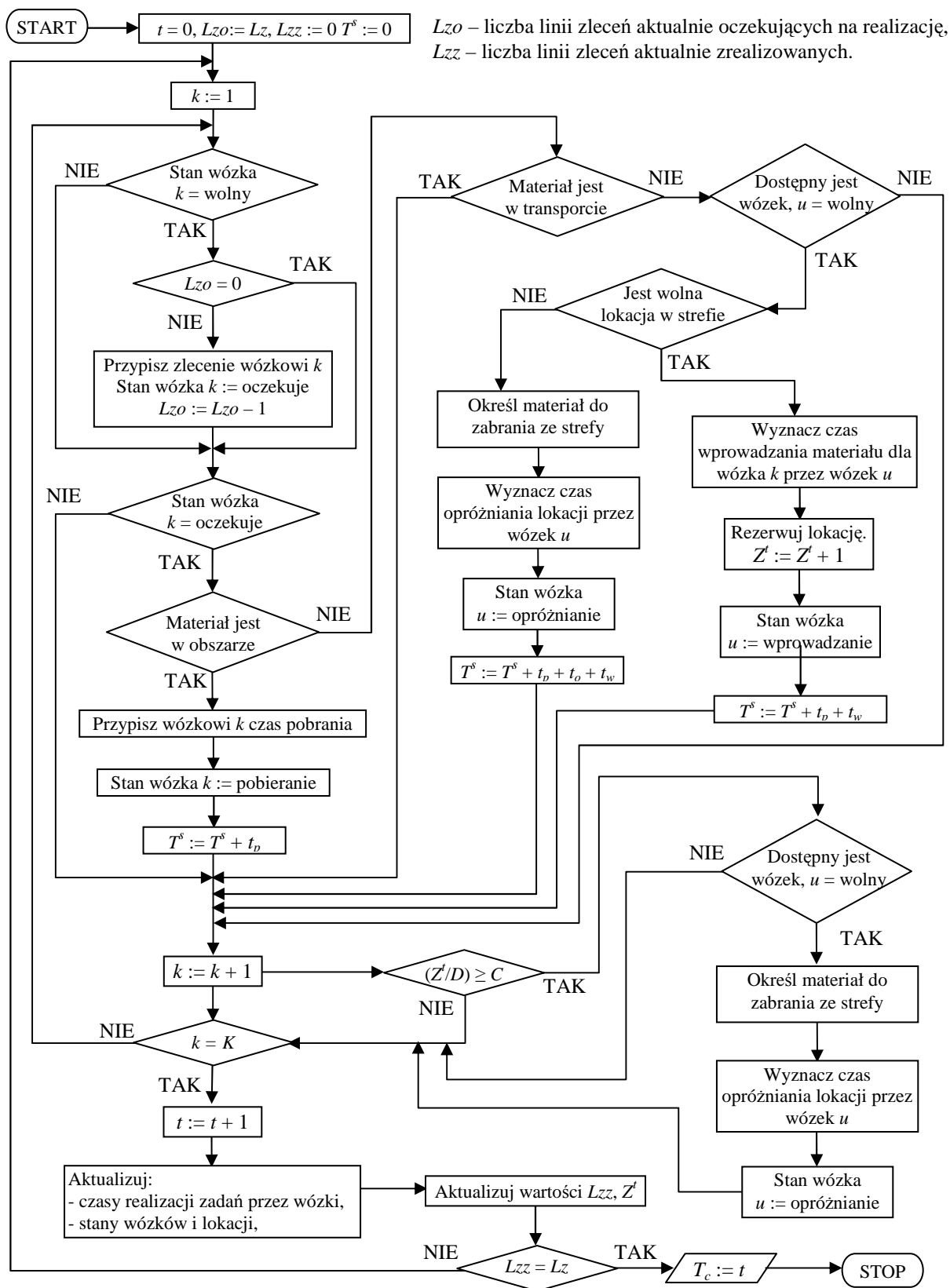
Na potrzeby badania zależności pomiędzy parametrami obszaru kdm opracowano program symulujący pracę obszaru przy założeniach przedstawionych wyżej. Algorytm programu przedstawiono na rys. 4.

5. SYMULACJA KOMISJONOWANIA Z DYNAMICZNYM PRZYDZIAŁEM ASORTYMENTU DO LOKACJI

W celu przeprowadzenia symulacji pracy obszaru kdm przygotowano program symulacyjny wg. algorytmu przedstawionego na rys. 3. Następnie sformułowano dane testowe.

W badanym przykładzie komisjonowanie odbywa się z palet ustawionych na posadzce, na poziomie „0” regału paletowego. Uzupełnianie obszaru odbywa się ze strefy rezerw znajdującej się na wyższych poziomach regału. Obsługa obszaru realizowana jest przez wózki podnośnikowe z masztem wysuwym

z przednim podparciem widel (reach-truck), a pobieranie realizowane jest przez pracowników pieszych z wózkami prowadzonymi unoszącymi.



Rys. 3. Schemat blokowy aplikacji symulującej działanie obszaru kdm

Źródło: opracowanie własne.

Z wykorzystaniem programu dokonano symulacji dla różnych zestawów danych odzwierciedlających parametry obszaru kdm oraz charakteryzujących proces kdm. Wybrane wyniki symulacji zestawiono w tabeli 1.

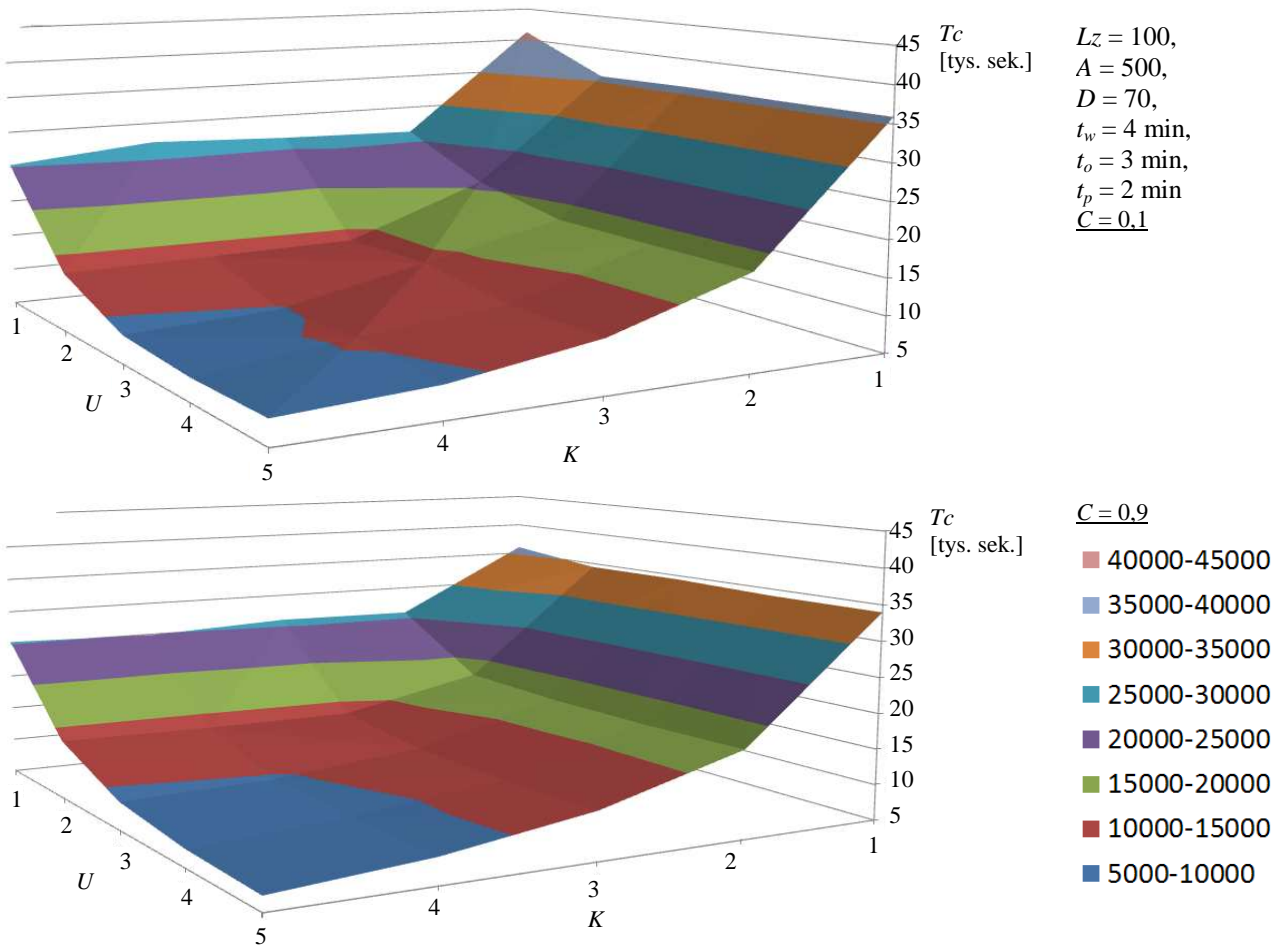
Tabela. 1. Wybrane wyniki symulacji czasu całkowitego realizacji zleceń przy różnych parametrach kdm [h/min/s].

Liczba urzędzeń		Zestaw 1			Zestaw 2			Zestaw 3		
		$L_z = 100, A = 500, D = 70, t_w = 4 \text{ min}, t_o = 3 \text{ min}, t_p = 2 \text{ min}$			$L_z = 300, A = 250, D = 50, t_w = 4 \text{ min}, t_o = 3 \text{ min}, t_p = 3,5 \text{ min}$			$L_z = 100, A = 75, D = 25, t_w = 1,2 \text{ min}, t_o = 1,35 \text{ min}, t_p = 2,35 \text{ min}$		
U	K	$C = 0,1$	$C = 0,5$	$C = 0,9$	$C = 0,1$	$C = 0,5$	$C = 0,9$	$C = 0,1$	$C = 0,5$	$C = 0,9$
1	1	11/26/59	10/27/54	10/0/27	37/6/46	35/31/20	34/7/12	5/52/34	5/36/29	5/24/28
2	1	9/55/9	9/36/44	9/33/32	37/11/34	35/41/52	34/18/31	5/52/49	5/37/39	5/24/43
3	1	9/59/10	9/31/56	9/33/28	37/11/33	35/51/33	34/13/7	5/51/36	5/39/50	5/26/22
4	1	9/57/34	9/42/21	9/26/51	37/16/22	35/51/33	34/27/26	5/50/25	5/39/37	5/24/43
5	1	9/58/22	9/41/31	9/26/17	37/21/58	35/43/33	34/27/31	5/49/13	5/38/37	5/28/4
1	2	7/14/30	7/11/43	7/8/45	27/27/39	27/20/35	26/33/31	3/7/16	3/3/1	3/6/51
2	2	5/45/22	5/12/21	4/58/21	18/34/57	18/10/34	17/39/30	2/56/2	2/49/15	2/43/33
3	2	5/1/58	4/54/20	4/47/33	18/22/33	17/56/35	17/24/17	2/49/49	2/46/36	2/46/33
4	2	4/59/46	4/54/34	4/44/44	18/37/4	17/50/37	17/26/56	2/54/36	2/49/46	2/45/17
5	2	4/59/22	4/51/34	4/46/57	18/32/33	18/2/56	17/19/45	2/51/59	2/46/41	2/44/1
1	3	7/21/0	7/8/46	7/11/32	26/26/16	26/46/40	25/28/29	2/34/22	2/33/20	2/34/21
2	3	3/48/46	3/42/20	3/45/40	13/49/44	14/16/40	13/44/16	1/56/49	1/54/58	1/54/57
3	3	3/52/45	3/30/51	3/17/57	12/22/57	11/52/45	11/48/19	1/56/44	1/51/54	1/50/44
4	3	3/22/46	3/15/45	3/10/56	12/12/27	11/54/28	11/43/10	1/54/7	1/50/51	1/50/59
5	3	3/21/58	3/17/34	3/14/22	12/5/19	11/54/9	11/39/4	1/55/15	1/53/49	1/51/3
1	4	7/32/43	7/21/17	6/54/19	26/14/39	26/12/14	26/9/42	2/28/32	2/24/42	2/27/11
2	4	3/42/49	3/44/33	3/43/9	13/12/30	13/17/29	13/20/37	1/35/51	1/30/18	1/33/39
3	4	2/43/25	2/38/7	2/41/19	9/57/40	9/44/55	9/39/19	1/26/53	1/26/5	1/24/37
4	4	2/52/34	2/40/3	2/27/44	9/15/27	8/54/51	8/49/38	1/27/16	1/25/56	1/22/24
5	4	2/34/22	2/30/44	2/23/57	8/58/16	8/50/15	8/48/10	1/24/59	1/25/4	1/23/2
1	5	7/0/24	7/5/47	7/1/38	25/43/38	25/34/42	25/16/10	2/32/45	2/19/56	2/23/35
2	5	3/37/17	3/42/59	3/44/31	13/20/10	12/57/27	12/52/17	1/21/46	1/21/31	1/23/49
3	5	2/26/29	2/29/31	2/29/38	8/45/17	8/59/16	8/56/29	1/10/28	1/9/2	1/11/19
4	5	2/14/41	2/8/29	2/5/2	7/35/8	7/31/20	7/28/19	1/8/54	1/7/52	1/8/41
5	5	2/17/59	2/3/8	1/57/7	7/20/32	7/6/27	7/8/22	1/10/3	1/9/40	1/8/10

Źródło: opracowanie własne.

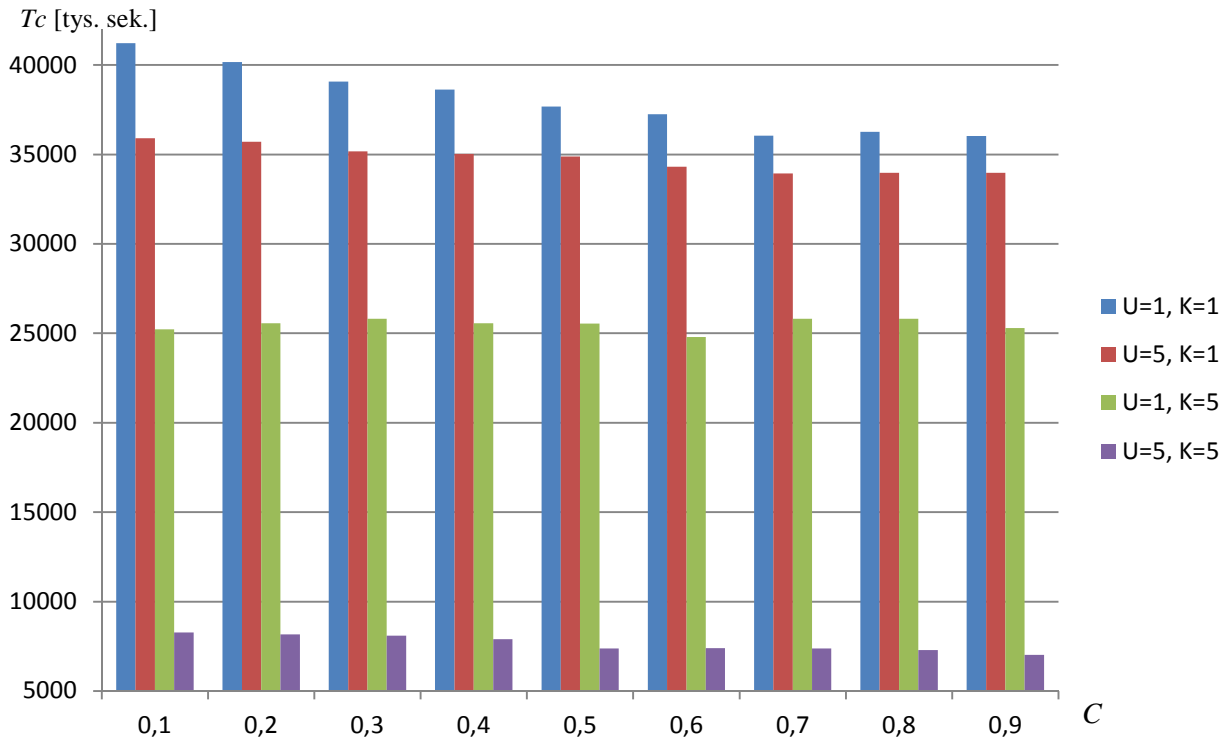
Na podstawie wyników symulacji, dla danych z Zestawu 1 (tab. 1) sporządzono wykresy płaszczyznowe obrazujące zależność całkowitego czasu realizacji wszystkich linii zleceń od parametrów obszaru kdm, w szczególności K , U i C (rys. 4) oraz wykres całkowitego czasu realizacji zleceń T^c dla kolejnych wartości poziomu czyszczenia C (rys. 5).

Dodatkowo na rys. 6 i 7 przedstawiono wybrane wykresy stopniaapełnienia Z obszaru kdm dla danych z Zestawu 1.



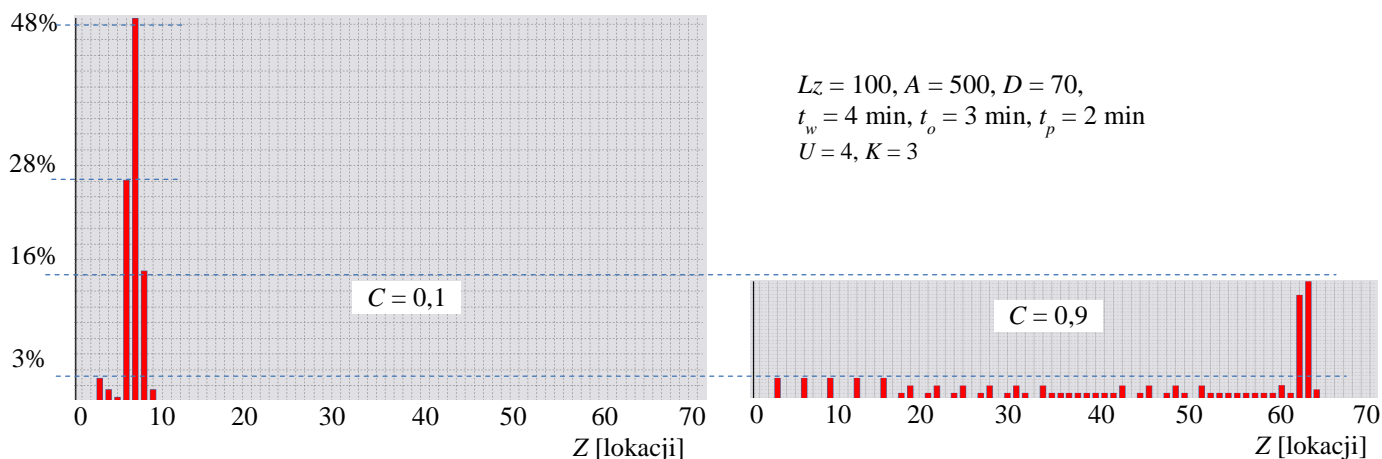
Rys. 4. Wykresy płaszczyznowe całkowitego czasu realizacji zleceń (Zestaw 1 z tabeli 1.)

Źródło: opracowanie własne.



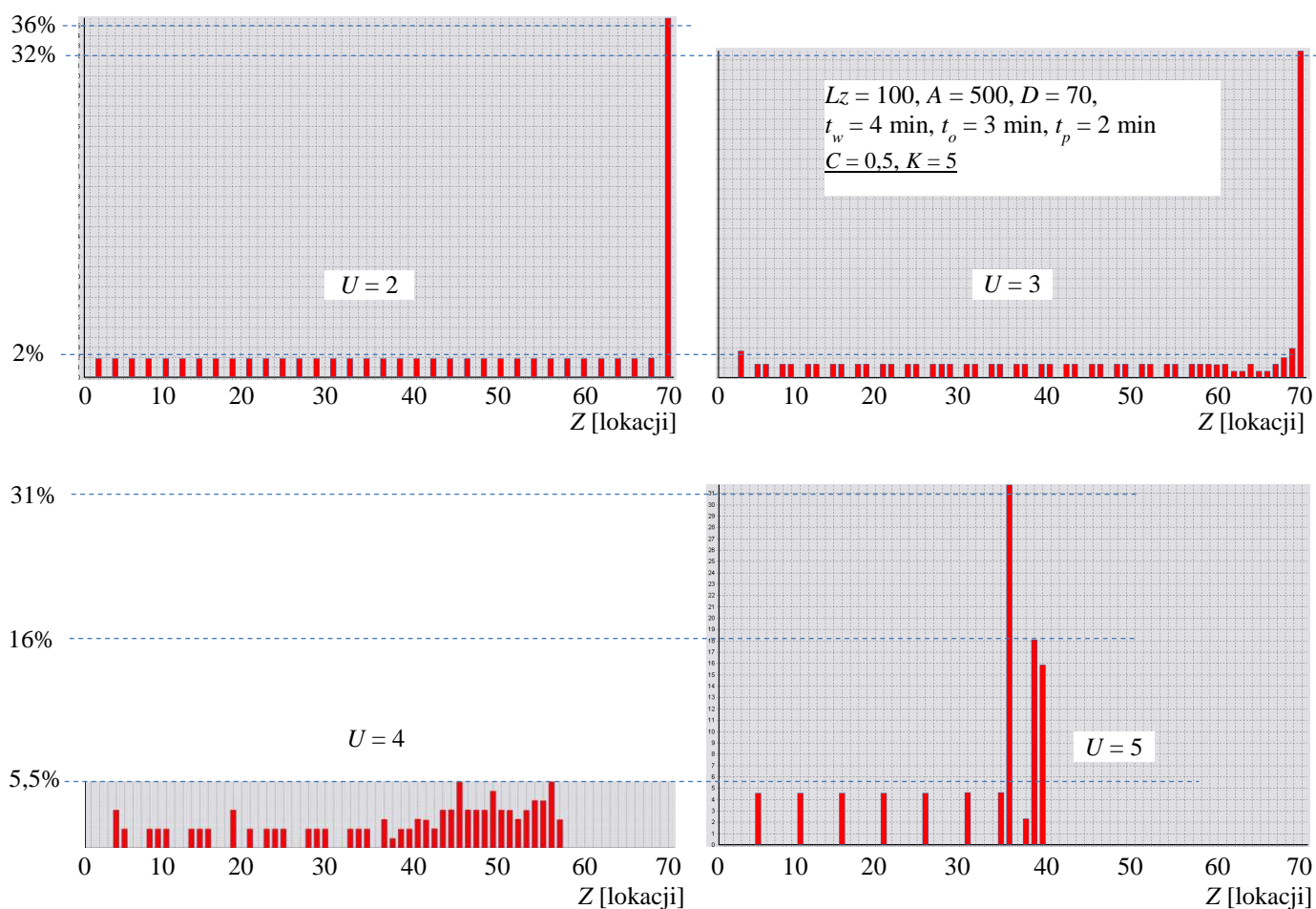
Rys. 5. Całkowity czas realizacji zleceń (Zestaw 1 z tabeli 1.) dla różnych wariantów organizacji obszaru kdm

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Obciążenie obszaru kdm wyrażone przez liczbę zajętych lokacji dla danych z Zestawu 1 (tab. 1) przy zmiennym poziomie czyszczenia.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Obciążenie obszaru kdm wyrażone przez liczbę zajętych lokacji dla danych z Zestawu 1 (tab. 1) przy zmiennej liczbie urządzeń do obsługi kdm.

Źródło: opracowanie własne.

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone symulacje wykazały zależności pomiędzy zidentyfikowanymi parametrami obszarów kdm w magazynach dystrybucyjnych a wydajnością obszaru wyrażoną w całkowitym czasie realizacji zleceń.

Zasadnicze znacznie dla wydajności obszaru kdm ma liczba urządzeń U i K , oraz czasy wykonywania zadań [7] (por. wykresy na rys. 4). Przy pewnych wartościach tych parametrów duże znaczenie ma także poziom czyszczenia obszaru C (rys. 5), który decyduje o tym, czy w dowolnej wybranej chwili czasu w obszarze dostępne są wolne miejsca do wprowadzenia jednostek. Dzięki takim wolnym miejscom – zwłaszcza przy bardzo dużej liczbie pozycji asortymentu A możliwe jest szybkie reagowanie na zamówienia klientów, z kolei reprezentowanie większej liczby jednostek we wszystkich dostępnych miejscach zwiększa prawdopodobieństwo, że zamówiony materiał już jest w strefie. Nie jest możliwe jednoznaczne wskazanie wartości uniwersalnej parametru C , chyba że w zestawieniu z innymi parametrami obszaru.

Wyniki symulacji wskazały też, że parametr ten może tracić swoje znaczenie przy pewnych konfiguracjach obszaru kdm (np. zbyt mała liczba urządzeń U względem K). Ze względu na priorytet bieżących zadań pobierania może dochodzić do sytuacji, kiedy ciągły brak wolnych urządzeń do obsługi obszaru sprawi, że zadanie czyszczenia nie zostanie nigdy wykonane.

Poziom czyszczenia może mieć duży wpływ na poziom zapełnienia obszaru Z (por. rys. 6 i 7). Szacowanie średniego zapełnienia obszaru wynikającego z realizacji komisjonowania może być przydatne w planowaniu wielkości obszaru kdm przy określonej liczbie urządzeń i strukturze zleceń. Może być również przydatne przy planowaniu dodatkowych operacji w obszarze.

Zapis formalny zagadnień związanych z organizacją obszarów kdm jest trudny ze względu na współzależność pomiędzy wszystkimi rozpatrywanymi parametrami obszaru oraz stochastyczny charakter wielu wielkości. W warunkach rzeczywistych czasy realizacji pobierania, wprowadzania i opróżniania nie są stałe i zależą od wielu czynników, podobnie jak prawdopodobieństwo pojawiania się określonej pozycji asortymentu w zleceniach. Do tego dochodzi także pominięta w symulacji kwestia liczby jednostek pozycji asortymentowych umieszczonych w zamówieniach i liczby jednostek dostępnych w lokacjach.

Ponadto urządzenia nie zawsze przypisane są na stałe do obszaru kdm i są zaangażowane także w inne zadania w magazynie, co zakłóca działanie obszaru. Obszary takie mogą spełniać także inne funkcje, co wpływa na wydajność procesu komisjonowania [7].

Uwzględnienie tych czynników predestynuje narzędzia symulacyjne jako najlepsze do badania zagadnień organizacji w obszarach komisjonowania. Badania takie polegają na porównywaniu różnych konfiguracji obszarów poprzez uźmiennianie wybranych parametrów. W ten sposób poszukuje się rozwiązań racjonalnych w danych warunkach.

Obszary komisjonowania z dynamicznym przydziałem miejsca są spotykane w większości magazynów dystrybucyjnych i w związku z tym są odwzorowywane w standardowych modułach systemów kierowania magazynem WMS. Przeprowadzone rozpoznanie wskazuje, że brak jest metod formalnych parametryzowania tych obszarów przy wdrażaniu rozwiązań WMS. Stosunkowo niewiele jest też badań na ten temat.

Powyższy artykuł jest przyczynkiem do szerszych badań w tym zakresie. Zagadnienie to kryje w sobie potencjalną możliwość zastosowania elementów teorii przydziału zasobów do zadań i szeregowania zadań (przydział n zadań do m procesorów) oraz teorii kolejek i teorii masowej obsługi. Powinno ono być rozszerzone i osadzone w procedurze projektowania obiektów logistycznych.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane elementy organizacji procesu komisjonowania z dynamicznym przydziałem asortymentu do lokacji w magazynie dystrybucyjnym. Zidentyfikowano proces komisjonowania jako element procesu magazynowego wpływający na jakość usług realizowanych w magazynie. Następnie opisano zagadnienie komisjonowania z dynamicznym przydziałem asortymentu do lokacji oraz parametry obszarów, w których jest ono realizowane i przedstawiono zasady organizacji i kształtowania tych obszarów. Zapisano podstawowe zależności odwzorowujące proces komisjonowania z przydziałem dynamicznym asortymentu i przedstawiono schemat blokowy aplikacji symulującej ten proces. Następnie przedstawiono wyniki przeprowadzonych symulacji opatrzone wnioskami.

Słowa kluczowe: komisjonowanie, dynamiczny przydział lokacji, organizacja obszaru komisjonowania, magazyn.

The elements of organizing order picking areas with dynamic material assignment**Abstract**

The article presents selected aspects of organizing order picking process with dynamic assignment of material to locations in distributional warehouses. Picking process was identified as an element of warehousing process affecting quality of warehouse services. The problem of order picking with dynamic material assignment was described and parameters of picking areas of this kind were identified. The principles of configuring and organizing dynamic picking were presented. Basic rules of process were formally denoted and depicted on the block diagrams of an application that simulates discussed process. Results of simulations were gathered and discussed.

Key words: order picking, dynamic material assigning, picking area organization, warehouse.

LITERATURA

- [1] Fijałkowski J., Technologia magazynowania, Wybrane Zagadnienia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995.
- [2] Frazelle E., World-Class Warehousing and Material Handling, McGraw-Hill 2002 r.
- [3] Institute of Material Management, Toward more efficient order picking, Cranfield Institute of Technology, 1988.
- [4] Jacyna M., Kłodawski M., Czas procesu kompletacji jako kryterium kształtowania strefy komisjonowania, Logistyka 02/2011,
- [5] Jacyna M., Kłodawski M., Matematyczny model kształtowania strefy komisjonowania, AUTOMATYKA 2011, z. 2., tom 5., Wyd. AGH.
- [6] Jacyna M., Kłodawski M., Wpływ układu strefy komisjonowania na długość drogi kompletowania. Logistyka 04/2010, str. 18.
- [7] Lewczuk K. Organizacja procesu magazynowego a efektywność wykorzystania zasobów pracy, Logistyka 4/2011, str. 563-570.
- [8] Petersen C. G., Siu C., Heiser D. R., "Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 25 Iss: 10 pp. (2005) 997 – 1012.