

Marianna JACYNA¹, Michał KŁODAWSKI²

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
Zakład Logistyki i Systemów Transportowych
00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75

¹ maja@it.pw.edu.pl

² mkloda@it.pw.edu.pl

WYDAJNOŚĆ KOMPLETACJI PRZY WIELOBLOKOWYCH UKŁADACH STREFY KOMISJONOWANIA

Streszczenie:

W artykule przeanalizowano problem badania wydajności kompletowania zamówień klientów z uwzględnieniem dynamicznego podejścia do problemu. Szczególną uwagę zwrócono na procesy kompletacyjne realizowane według falowej metody kompletacji w wieloblokowych układach strefy komisjonowania. Obliczenia dotyczące wydajności wykonano z wykorzystaniem autorskiej aplikacji komputerowej przy założonej technologii i organizacji procesu kompletacji.

Słowa kluczowe: komisjonowanie, wydajność kompletacji, wieloblokowe układy strefy komisjonowania, dynamiczne podejście do problemu kompletacji

WPROWADZENIE

Strefa komisjonowania jest bardzo ważnym elementem niemal każdego istniejącego obiektu logistycznego. Stanowi częściowo bądź całkowicie wyodrębnioną w nich przestrzeń, wyposażoną w odpowiednie urządzenia i środki transportowe oraz pracowników realizujących czynności kompletacyjne. Wszystkie te elementy uzupełnione dodatkowo o podsystem informacyjny, tworzą jedną funkcjonalną całość – *system komisjonowania* [4].

Głównym i podstawowym zadaniem systemów komisjonowania jest efektywne realizowanie procesu kompletacji, czyli czynności związanych z wybieraniem z określonych miejsc składowania odpowiedniej liczby artykułów, oraz zestawienie ich w odrębną, wydzieloną całość, na podstawie informacji o zapotrzebowaniu klienta.

W aktualnej sytuacji gospodarczej, charakteryzującej się ciągłym wzrostem zapasów dóbr materialnych w magazynach, przy jednoczesnym rozszerzeniu mechanizacji prac magazynowych, szczególnego znaczenia nabiera ocena efektywności gospodarki magazynowej. Przez efektywność gospodarki magazynowej rozumie się wyniki jej działalności w danych warunkach techniczno-organizacyjnych. Ma ona na celu minimalizację środków zaangażowanych do realizacji zadań przy uzyskaniu możliwie dużych efektów [1].

Miarą efektywności i wydajności stosowaną często w analizach procesów magazynowych jest ich „produktywność”, definiowana jako wielkość efektu produkcyjnego uzyskanego z danych nakładów [2]. W przypadku procesów magazynowych (w tym także procesów kompletacyjnych) najczęściej mówi się o produktywności pracy magazynu przedstawianej jako np. stosunek liczby jednostek ładunkowych, zleceń kompletacyjnych, linii bądź też ton ładunku wysłanych z magazynu do liczby poświęconych na to roboczogodzin. W Tabeli 1 zestawiono inne przykładowe mierniki efektywności procesów kompletacyjnych.

Tabela 1. Mierniki efektywności procesu kompletacji

Koszt	Produktywność	Wykorzystanie	Jakość	Czas cyklu
Koszt realizacji jednej linii zlecenia kompletacyjnego	Liczba skompletowanych linii na jedną roboczogodzinę	Stopień (%) wykorzystania pracowników i urządzeń kompletacyjnych	Stopień (%) poprawnie skompletowanych linii	Czas realizacji jednego zlecenia kompletacyjnego

Źródło: [3].

W artykule analizie poddano wydajność procesu kompletacji realizowanego w wieloblokowej strefie komisjonowania przez wielu pracowników, trasowanych według heurystycznej metody S-Shape. Autorzy zaprezentują dynamiczne podejście do przedstawionego zagadnienia. Obliczenia przeprowadzone na potrzeby artykułu wykonano za pomocą autorskiej symulacyjnej aplikacji komputerowej – *SymPick*.

1. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO

Pomimo dużej różnorodności systemów komisjonowania, w praktyce najczęściej stosowane są systemy ręczne, realizowane wg zasady “człowiek do towaru”. W takich systemach asortyment składowany jest statycznie w regałach lub na posadzce magazynu, natomiast pracownicy poruszają się pomiędzy odpowiednimi miejscami składowania i pobierają z nich niezbędne artykuły.

Przedstawione w artykule badania dotyczą procesu kompletacji falowej (z ang. *wave picking*), polegająca na tym, iż zamówienia napływające od klientów nie są realizowane na bieżąco lecz grupowane. Następnie w odpowiednim momencie wszystkie zlecenia równocześnie wydawane są do realizacji przez określoną liczbę pracowników.

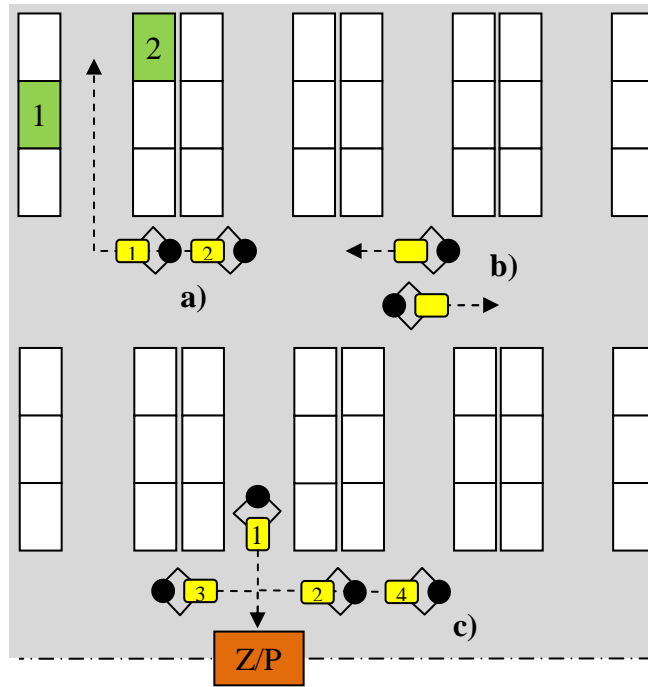
Wykorzystanie metody kompletacji falowej może skutkować pojawieniem się zjawiska “blokowania kompletującego”. Występuje ono w momencie, gdy czynności wykonywane przez osobę kompletującą zlecenie zakłócają się przez innego kompletującego. Prowadzi to do strat czasu związanego z oczekiwaniem na możliwość dalszej realizacji procesu. Czas poświęcony na takowe oczekiwanie w dalszej części artykułu będzie nazywany “czasem blokowania” kompletującego.

W przypadku ręcznych systemów komisjonowania “człowiek do towaru” sytuacje blokowania mogą pojawić się np.:

- w punkcie startu/końca kompletacji, tzw. punkcie zdawczo-pobraniowym (Rys. 1c),
- w korytarzach poprzecznych (Rys. 1a i 1b),
- w korytarzach roboczych (Rys. 2).

W przypadku kompletacji falowej wszyscy pracownicy równocześnie dostają zlecenia do zrealizowania i równocześnie chcą rozpocząć proces. Takie zachowanie powoduje zakłócenie swobodnego ruchu pracowników w obszarze punktu startu/końca kompletacji. Podobna sytuacja może mieć miejsce, gdy w danej chwili więcej niż jedna osoba chce zakończyć proces i odstawić jednostkę niejednorodną w miejscu końca kompletacji – punkcie zdawczo-pobraniowym (Rys. 1c).

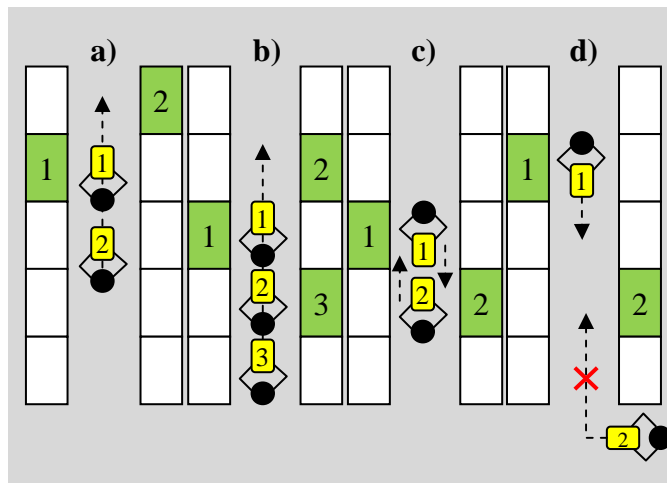
W większości przypadków korytarze poprzeczne strefy komisjonowania są na tyle szerokie, iż umożliwiają minięcie się dwóch pracowników. Jednak bardzo często w trakcie organizacji ruchu przyjmuje się (takie założenie przyjęto również do badań), iż w korytarzach poprzecznych minąć się mogą jedynie osoby poruszające się w przeciwnych kierunkach (Rys. 1b).



Rys. 1. Przykładowe zjawiska blokowania a), b) w korytarzach poprzecznych i c) punkcie zdawczo-pobraniowym

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku, poruszania się w tym samym kierunku osoby kompletujące przemieszczają się kolejno, jedna za drugą (Rys. 1a). Takie założenia ograniczają prędkość jazdy w korytarzach poprzecznych, przez co znacząco zwiększają bezpieczeństwo pracy w strefie komisjonowania.



Rys. 2. Przykładowe zjawiska blokowania w korytarzach roboczych

Źródło: Opracowanie własne.

Zjawiska blokowania się osób kompletujących mogą pojawić się także w wąskich korytarzach roboczych. Na Rys. 2 przedstawiono cztery przykłady takich sytuacji. W pierwszym z nich pracownik o numerze 1 pobiera artykuły z miejsca składowania o tym samym numerze i równocześnie blokuje pracownikowi drugiemu możliwość dotarcia do miejsca oferowania, które musi odwiedzić. Podobna sytuacja ma miejsce w przykładzie przedstawionym na Rys. 2b, gdzie przez pracownika pierwszego blokowani są zarówno drugi jak i trzeci. Bardzo niekorzystne jest zjawisko blokowania pracowników poruszających się w przeciwnych kierunkach w korytarzach roboczych (Rys. 2c). Ta sytuacja wymaga od

jednego z kompletujących zmiany kierunku jazdy i opuszczenia korytarza z innej strony niż wynika to z przebiegu wyznaczonej dla niego trasy. Wpływa to na wydłużenie drogi kompletacji jednego z pracowników, a tym samym dodatkową stratę czasu i wydłużenie czasu trwania całego procesu. W ostatnim z przedstawionych przykładów (Rys. 2d) pracownik nr 2 widząc, iż w korytarzu, który chce odwiedzić pracuje już inna osoba, nie wchodzi do niego, lecz czeka, aż korytarz zostanie zwolniony. Dwa ostatnie przypadki blokowania osób kompletujących można wykluczyć wprowadzając jednokierunkowy ruch w korytarzach roboczych. Takie rozwiązanie może jednak wpłynąć na wydłużenie się tras pokonywanych przez pracowników.

Podczas kształtowania, wymiarowania lub też organizowania systemów i procesów komisjonowania najczęściej wykorzystywane jest statyczne podejście do problemu. Efektem tych badań mogą być wskaźniki wydajności procesu kompletacji takie jak np. liczba zrealizowanych w ciągu godziny zamówień klientów czy też liczba linii zrealizowanych w ciągu jednej roboczogodziny. W przypadku analizy procesu kompletacji wykonywanego przez wielu pracowników, statyczne podejście zakłada, iż wydajność całego procesu rośnie proporcjonalnie wraz ze wzrostem liczby kompletujących. Podczas, gdy rozważając to samo zagadnienie dynamicznie zakłada się pewien trend wskazujący, iż wydajność procesu będzie początkowo rosła wraz ze wzrostem liczby realizujących go pracowników, a następnie spadać po osiągnięciu pewnej określonej wartości. Założenie to wynika z faktu uwzględniania czasu oczekiwania i blokowania kompletujących w trakcie realizacji procesu.

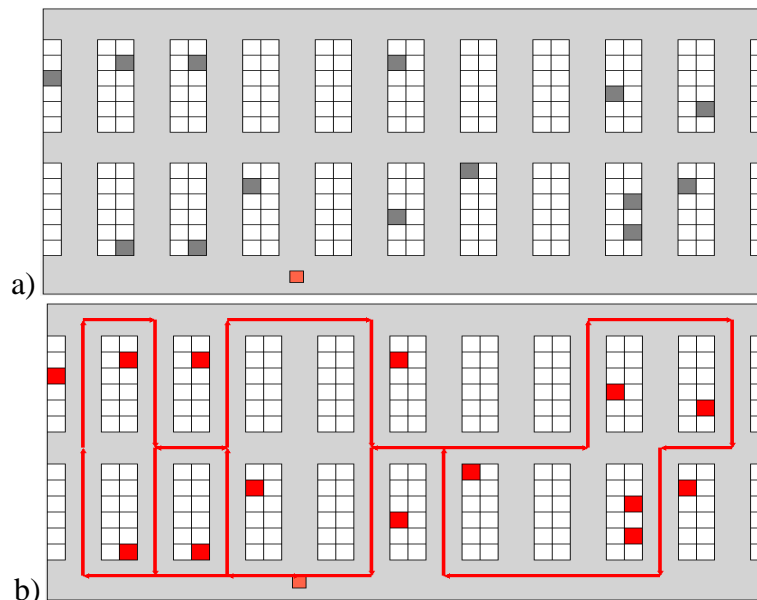
2. SYMULACJE OBLICZENIOWE

2.1. Założenia do analizowanego problemu

Na potrzeby badań wydajności procesu kompletacji, przyjęto następujące założenia:

- Proces kompletacji realizowany jest ręcznie wg metody falowej „człowiek do towaru”;
- W analizowanej strefie komisjonowania występują dwa bloki regałowe. W każdym z bloków znajduje się dziesięć równoległych korytarzy roboczych, zawierających po 12 kolumn regałowych (po sześć w rzędzie regałowym) Rys. 3a.;
- Punkt zdawczo-pobraniowy zlokalizowany jest w przednim korytarzu poprzecznym pierwszego bloku regałowego na wysokości czwartego korytarza roboczego Rys. 3a.;
- Artykuły składowane są w regałach półkowych na wysokości umożliwiającej pobieranie ich przez pracowników bez konieczności wykorzystywania dodatkowych urządzeń;
- Asortyment rozmieszczony jest w strefie komisjonowania według metody losowej. Dodatkowo w jednym miejscu oferowania może znajdować się tylko jeden rodzaj asortymentu;
- Pracownicy poruszają się według heurystycznej metody „S-Shape”. Oznacza to, że odwiedzane będą tylko te korytarze, w których znajduje się co najmniej jedna pozycja do pobrania (w przeciwnym wypadku korytarz jest pomijany) Rys. 3b.;
- Korytarze robocze (międzyregałowe) są wąskie i uniemożliwiają minięcie się w nich pracowników. Ruch w tych korytarzach odbywa się w obu kierunkach. Ponadto założono, iż korytarze robocze w analizowanych układach strefy komisjonowania będą miały takie szerokości, które umożliwiają pobieranie artykułów z obu ich stron bez konieczności przemieszczania się wózka w kierunku poprzecznym. Korytarze poprzeczne są odpowiednio szerokie i umożliwiają mijanie się w nich pracowników;
- W modelu nierozważane są czasy przyśpieszania i hamowania wózka kompletacyjnego. Autorzy przyjmują stałą prędkość poruszania się pracowników (ok. 5,5km/h);

- Czas realizacji procesu kompletacji dotyczyć będzie skompletowania czterdziestu pojedynczych linii, z których każda zawiera średnio cztery pozycje do pobrania. Założono, że czas pobrania jednego artykułu wynosi w przybliżeniu jedną sekundę.
- Wszyscy pracownicy realizujący proces kompletacji są równomiernie obciążeni pracą. W przypadku, gdy pracuje dwóch kompletujących, muszą oni zrealizować po dwadzieścia linii, w przypadku 4 pracowników po 10 linii, itd.. Wyjątek stanowią warianty z 13 i 14 pracownikami. W pierwszym z nich jeden z kompletujących musiał zrealizować o jedną linię więcej w stosunku do pozostałych, natomiast w drugim przypadku o dwie mniej;
- W badaniach symulacyjnych uwzględniane są sytuacje blokowania pracowników w korytarzach roboczych i korytarzach poprzecznych, a także w okolicach punktu zdawczo-pobraniowego;
- W przypadku korytarzy poprzecznych mijać mogą się jedynie pracownicy poruszający się w przeciwnych kierunkach. Pracownicy przemieszczający się w tym samym kierunku poruszają się jeden za drugim (Rys. 1a i Rys. 1b);
- W korytarzu roboczym może znajdować się tylko jeden pracownik na raz. W przypadku, gdy dany korytarz jest zajęty, pracownik chcący się do niego dostać musi czekać, aż inny kompletujący go opuści (Rys. 2d).



Rys. 3. Schemat układu strefy komisjonowania wraz z zaznaczonymi miejscami oferowania niezbędnych do odwiedzenia (a) oraz wyznaczoną przykładową trasą wg metody S-Shape (b).

Źródło: autorska aplikacja komputerowa – *SymPick*.

2.2. Wyniki badań

Uwzględniwszy założenia przedstawione w pkt. 2.1 przeprowadzono badania symulacyjne procesu kompletacji falowej, z wykorzystaniem aplikacji *SymPick*. Uzyskane w ten sposób wyniki zestawiono w Tabeli 2. Przedstawiono w niej liczbę pracowników realizujących proces kompletacji, drogę jaką pokonuje w trakcie procesu każdy z pracowników, czas kompletowania i blokowania każdego z pracowników, stopień wykorzystania czasu pracy przez pracownika, jak również całkowity czas realizacji procesu kompletacji dla danego wariantu symulacyjnego.

W Tabeli 3 zestawiono wartości wyznaczonych dodatkowych mierników wydajności procesu, takich jak: całkowity czas realizacji procesu, liczba linii zrealizowanych w ciągu jednej minuty oraz średnie wykorzystanie czasu pracy przypadające na jednego pracownika.

Tabela 2. Wyniki uzyskane z symulacji procesu kompletacji za pomocą aplikacji *SymPick*

Liczba pracowników	Nr pracownika	Długość drogi [m]	Czas kompletowania [min]	Czas blokowania [min]	Stopień wykorzystania czasu pracy [%]	Całkowity czas procesu [min]
1	1	300,00	5,80	0,000	100,00%	5,8
2	1	240,38	4,04	0,017	99,59%	4,42
	2	246,38	4,42	0,329	92,55%	
4	1	177,00	2,72	0,079	97,09%	2,92
	2	169,13	2,56	0,071	97,24%	
	3	173,25	2,77	0,225	91,88%	
	4	163,88	2,92	0,408	86,00%	
5	1	146,25	2,25	0,042	98,14%	2,75
	2	141,38	2,30	0,192	91,65%	
	3	129,38	2,15	0,133	93,79%	
	4	171,75	2,75	0,321	88,35%	
	5	149,63	2,56	0,354	86,16%	
8	1	128,50	1,95	0,106	94,59%	2,49
	2	113,00	1,80	0,222	87,65%	
	3	142,00	2,14	0,267	87,56%	
	4	135,00	2,13	0,244	88,54%	
	5	105,50	1,74	0,311	82,17%	
	6	131,50	2,24	0,383	82,88%	
	7	125,50	2,49	0,739	70,31%	
	8	117,50	1,70	0,078	95,42%	
10	1	95,00	1,53	0,117	92,36%	2,04
	2	87,00	1,29	0,056	95,71%	
	3	100,50	1,50	0,122	91,85%	
	4	104,50	1,69	0,239	85,86%	
	5	106,50	1,79	0,289	83,90%	
	6	82,50	1,26	0,167	86,73%	
	7	81,00	1,31	0,183	86,02%	
	8	102,00	1,84	0,478	74,02%	
	9	104,50	2,04	0,644	68,39%	
	10	103,50	1,96	0,539	72,52%	
13	1	84,00	1,37	0,150	89,02%	1,93
	2	87,00	1,20	0,017	98,61%	
	3	96,00	1,52	0,217	85,71%	
	4	87,00	1,17	0,000	100,00%	
	5	103,50	1,32	0,017	98,73%	
	6	102,00	1,93	0,583	69,83%	
	7	105,00	1,67	0,283	83,00%	
	8	87,00	1,38	0,333	75,90%	
	9	99,00	1,53	0,200	86,96%	
	10	123,00	1,75	0,500	71,43%	
	11	105,00	1,90	0,500	73,68%	
	12	93,00	1,68	0,600	64,36%	
	13	81,00	1,83	0,567	69,09%	
14	1	90,00	1,23	0,017	98,65%	2,23
	2	100,50	1,45	0,100	93,10%	
	3	61,50	1,02	0,117	88,52%	
	4	87,00	1,60	0,400	75,00%	
	5	100,50	1,30	0,050	96,15%	
	6	75,00	0,92	0,233	74,55%	
	7	76,50	1,47	0,483	67,05%	
	8	105,00	1,98	0,583	70,59%	
	9	114,00	2,23	0,750	66,42%	
	10	75,00	1,30	0,517	60,26%	
	11	52,50	1,52	0,700	53,85%	
	12	75,00	0,83	0,033	96,00%	
	13	97,50	1,82	0,817	55,05%	
	14	67,50	1,12	0,033	97,01%	

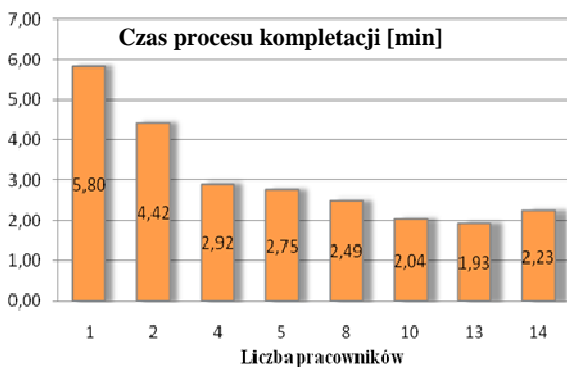
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Obliczone wartości mierników wydajności procesu kompletacji

Liczba pracowników	Całkowity czas procesu [min]	Średnie wykorzystanie czasu pracy [%]	Liczba zrealizowanych linii [linii/min]
1	5,80	100,0%	6,90
2	4,42	96,1%	9,06
4	2,92	93,1%	13,71
5	2,75	91,6%	14,52
8	2,49	86,1%	16,07
10	2,04	83,7%	19,62
13	1,93	82,0%	20,69
14	2,23	78,0%	17,91

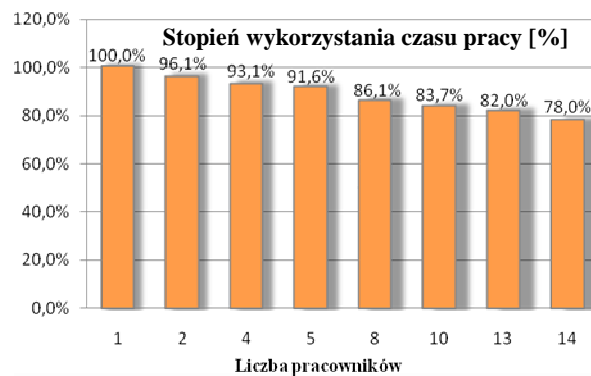
Źródło: opracowanie własne.

W celu zobrazowania zależności poszczególnych mierników wydajności kompletacji od liczby pracowników, na Rys. 4 przedstawiono wartości czasu procesu kompletacji realizowanego przez ustaloną liczbę pracowników.



Rys. 4. Wykres zależności czasu procesu kompletacji od liczby kompletujących pracowników

Źródło: opracowanie własne.

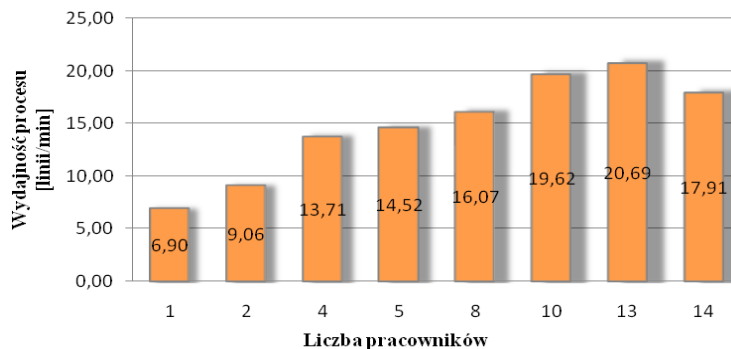


Rys. 5. Wykres zależności średniego stopnia wykorzystania czasu pracy przez pracownika od liczby kompletujących osób

Źródło: opracowanie własne.

Natomiast na Rys. 5 zobrazowano zmianę średniego stopnia wykorzystania czasu pracy przypadającą na jedną osobę w wyniku zmiany całkowitej liczby pracowników realizujących proces kompletacji falowej.

Najistotniejszym, zdaniem Autorów, spośród wszystkich analizowanych w artykule mierników wydajności kompletacji jest liczba linii realizowanych w ciągu minuty. Wartości jakie przyjmuje w zależności od liczby pracowników kompletujących zlecenie przedstawiono na Rys. 6.



Rys. 6. Zależność liczby linii zrealizowanych w ciągu minuty od liczby pracowników

Źródło: opracowanie własne.

WNIOSKI

Przeprowadzone w artykule badania wskazują, iż wykorzystanie dynamicznego podejścia do analizy efektywności procesu kompletacji jest całkowicie słuszne. Wbrew założeniom statycznego podejścia do problemu wydajność badanego procesu nie rośnie cały czas proporcjonalnie do liczby pracowników. Istotną rolę odgrywa tu czas oczekiwań i blokad osób kompletujących, wydłużający całkowity czas procesu jak również zmniejszający stopień wykorzystania czasu pracy przez pracowników oraz liczbę linii zrealizowanych w określonej jednostce czasu.

Ważna w tym przypadku jest również umiejętność określenia liczby pracowników, przy której następuje załamanie trendu wzrostu wydajności procesu wraz ze wzrostem liczby osób kompletujących. Granica ta ściśle związana jest z wielkością analizowanego układu strefy komisjonowania, liczbą występujących w nim korytarzy roboczych, metodą trasowania, pracowników, liczbą zleceń/linii do zrealizowania, jak również organizacją całego procesu.

Podsumowując wyniki symulacji należy zauważyć, że najdłuższy czas realizacji procesu kompletacji przypada na wariant pierwszy, w którym proces realizowany był przez jednego pracownika. W tym przypadku osoba kompletująca miała do zrealizowania wszystkie 40 linii, co skutkowało najdłuższą do pokonania drogą.

W przypadku wariantu z czternastoma kompletującymi następuje załamanie trendu skracania czasu kompletacji wraz ze wzrostem liczby kompletujących. Przy takiej liczbie pracowników i analizowanym dwublokowym układzie strefy komisjonowania czas oczekiwania pracowników na możliwość kontynuacji procesu (czas blokowania się pracowników) stał się na tyle istotny i znaczący, iż wydłużył on całkowity czas realizacji procesu w stosunku do wariantów wcześniejszych.

Adknowledge: "Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy". Projekt N N509 601839 pt. Metodyka kształtowania sieci transportowo-logistycznej w wybranych obszarach.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dudziński Z., Stachowiak A., Efektywność gospodarki magazynowej – metody oceny, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1975.
- [2] Encyklopedia PWN, portal <http://www.pwn.pl>
- [3] Frazelle Edward, World-Class Warehousing and Material Handling, McGraw-Hill, USA, 2001.
- [4] Jacyna M., Kłodawski M., Czas procesu kompletacji jako kryterium kształtowania strefy komisjonowania, Czasopismo Logistyka 2/2011.

ORDER PICKING PRODUCTIVITY AT MULTIBLOCK ORDER PICKING AREA LAYOUT

Summary:

This paper analyzes the problem of customer orders fulfillment productivity. Main attention was paid to order picking processes at multiblock order picking area. Calculations on order picking productivity were made at assumed technology and organization.

Key words: order picking, order picking area, order picking productivity