

Andrzej Ratkiewicz, Paulina Majewska

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

ORGANIZACJA LINII KOMPLETACYJNEJ DLA ZRÓŻNICOWANEJ WYDAJNOŚCI PRACOWNIKÓW I OKREŚLONEJ STRUKTURY ZLECEŃ

Rękopis dostarczono: czerwiec 2017 r.

Streszczenie: W artykule omówiono proces kompletacji zleceń przy użyciu regału kompletacyjnego przepływowego. Przedstawiono dwie metody organizacji procesu kompletacji. Uwzględniając zróżnicowanie wydajności zatrudnionych pracowników, wspomniane metody zaimplementowano w ośmiu wariantach realizacji procesu kompletacji. Następnie, na podstawie symulacji przebiegu procesu, określono preferowany wariant organizacji procesu kompletacji dla określonej struktury zleceń.

Słowa kluczowe: organizacja i technologia magazynowania, kompletacja, wydajność pracowników.

1. WPROWADZENIE

Najczęstszym zadaniem wspólnym dla większości magazynów jest realizacja podstawowych procesów magazynowych, tj: przyjęcie, składowanie, wydanie materiałów. Jednak w przypadku magazynu dystrybucyjnego kluczową dla niego działalnością jest proces komisjonowania, a w szczególności zachodząca w ramach tego procesu kompletacja zamówień towarów, będąca przedmiotem badań zamieszczonych w niniejszym artykule. Kompletacja jest tu rozumiana jako zestawianie składowanych w magazynie opakowań jednostkowych lub zbiorczych w jednostki ładunkowe zgodnie (ilościowo oraz jakościowo) z zamówieniem klienta.

Można przyjąć, że głównym celem procesu kompletacji jest maksymalizacja poziomu obsługi klienta przy ograniczonych zasobach takich jak: kapitał, pracownicy, urządzenia. Jednak najważniejszym wymogiem wobec tego procesu jest prawidłowe skompletowanie danego zamówienia pod względem asortymentowym jak i ilościowym [1].

Efektywna realizacja procesu kompletacji może decydować o efektywności magazynu jako całości oraz o sprawnej współpracy z klientami. Rozwiązania technologiczne wykorzystywane w procesie kompletacji muszą uwzględniać aktualne wymagania rynku takie jak: terminowość dostaw, jakość oraz zgodność dostarczanych przesyłek z wymogami klienta. Z tego powodu można zaobserwować wyraźną ewolucję metod

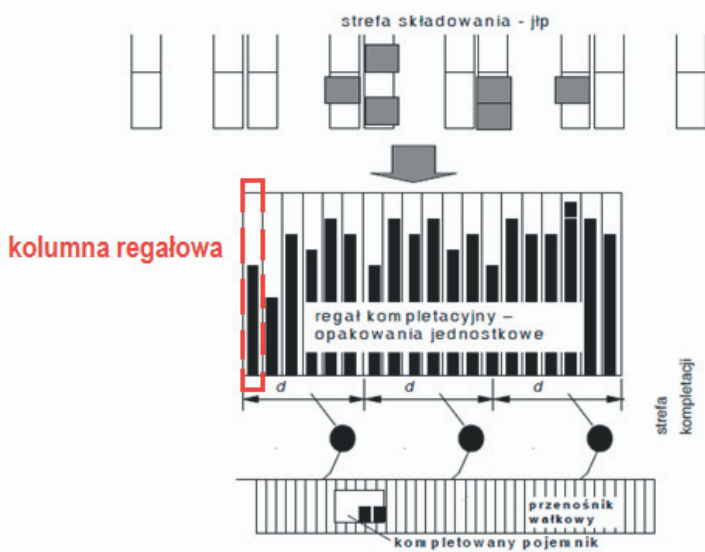
kompletacji oraz implementujących te metody systemów informatycznych. Dodatkowo systemy takie redukują liczbę popełnianych błędów oraz zmniejszają czas realizacji zlecenia na kompletację (ZnK). Przykładowym systemem wspomagającym proces kompletacji, którego zastosowanie założono w niniejszym opracowaniu, jest system Pick-by-Light.

Warto zwrócić uwagę, że komisjonowanie, w którego skład wchodzi kompletacja, jest jednym z najbardziej pracochłonnych procesów i może pochłaniać nawet do 60% czasu wszystkich operacji wykonywanych w magazynie dystrybucyjnym. Dodatkowo, formowanie jednostek ładunkowych według zamówień klientów może generować aż 55% wszystkich kosztów operacyjnych przedsiębiorstwa, dlatego też podczas usprawnianiu pracy magazynu najwięcej uwagi zwraca się na zminimalizowaniu czasu realizacji zlecenia [1]. W niniejszym artykule zbadano możliwość zmniejszenia tego czasu poprzez porównanie różnych wariantów organizacji pracy na linii kompletacyjnej ze względu na wydajność pracowników.

2. METODY ORGANIZACJI PRACY

Najbardziej ogólny podział metod organizacji pracy linii kompletacyjnej przy regale przepływowym uwzględnia dwa podzbiory metod: bez podziału na podstrefy oraz z podziałem na podstrefy. W niniejszym opracowaniu zbadano metody zakładające podział linii kompletacyjnej na podstrefy. Założono, że do każdej strefy przydzielony jest pracownik, a długość poszczególnych stref zależy od wydajności pracowników i szybkości realizacji ZnK. Wydajność pracownika jest tu rozumiana jako przeciwieństwo czasu realizacji przez niego typowego zlecenia (im mniejszy czas, tym większa wydajność) i będzie odzwierciedlana poprzez liczbę przypisanych do danego pracownika kolumn regałowych. Opis wybranych metod organizacji pracy przedstawiono poniżej.

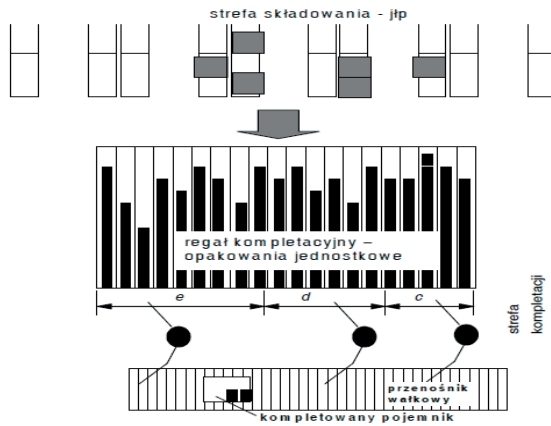
- Metoda I – polega na podziale całej linii kompletacyjnej na strefy równej długości. Na rysunku 1 pokazano strefy o długości d . Założono, że każdy pracownik jest przyporządkowany do jednej strefy, zatem liczba stref jest równa liczbie pracowników pracujących na danej linii. W tej metodzie rozróznilo dodatkowo dwa kolejne warianty organizacji pracy ze względu na wydajność pracowników:
 - a) czterech mało wydajnych pracowników; kolejność ustawienia na linii: mało wydajny – mało wydajny – mało wydajny – mało wydajny.
 - b) trzech średnio wydajnych pracowników; kolejność ustawienia na linii: średnio wydajny – średnio wydajny – średnio wydajny.



Rys. 1. Schemat organizacji pracy dla stref równej długości (źródło: opracowanie własne na podstawie [4])

W tym przypadku długość stref dla poszczególnych pracowników jest następująca:

- a) mało wydajny – 4,5 m (obsługujący sześć kolumn regałowych)
 - b) średnio wydajny – 6 m (obsługujący osiem kolumn regałowych)
- Metoda II – polega na podziale całej linii kompletacyjnej na strefy o różnej długości. Na rysunku 2 pokazano schemat pracy wg tej metody wraz z widocznymi długościami stref c, d, e. W tym przypadku przyporządkowanie pracownika do danej strefy zależy od jego wydajności. Tak jak poprzednio, założono, że każdy pracownik realizuje zlecenie tylko w swojej strefie, dlatego liczba stref jest równa liczbie pracowników pracujących na danej linii. W tej metodzie rozróżniono dodatkowo sześć kolejnych wariantów organizacji pracy ze względu na wydajność pracowników:
 - a) bardzo wydajny – średnio wydajny – mało wydajny,
 - b) bardzo wydajny – mało wydajny – średnio wydajny,
 - c) średnio wydajny – bardzo wydajny – mało wydajny,
 - d) średnio wydajny – mało wydajny – bardzo wydajny,
 - e) mało wydajny – średnio wydajny – bardzo wydajny,
 - f) mało wydajny – bardzo wydajny – średnio wydajny.



Rys. 2. Schemat organizacji pracy dla stref różnej długości (źródło: [3])

W tym przypadku długość stref dla poszczególnych pracowników jest następująca:

- mało wydajny – 4,5 m (obsługujący 6 kolumn regałowych)
- średnio wydajny – 6 m (obsługujący 8 kolumn regałowych)
- bardzo wydajny – 7,5 m (obsługujący 10 kolumn regałowych)

Wyodrębniono łącznie 8 wariantów organizacji pracy ze względu na wydajność pracowników obsługujących regał przepływowi o długości 18 m składający się z 24 kolumn regałowych. Każda z kolumn zawiera 3 gniazda regałowe, co pozwala na składowanie w regale $24 \cdot 3 = 72$ pozycji asortymentowych.

3. CZAS REALIZACJI ZLECENIA

Czas realizacji ZnK będzie obliczany z zależności (1), skonstruowanej na podstawie obserwacji pracy na linii kompletacyjnej z wykorzystaniem systemu Pick-by-Light. Warto zwrócić uwagę, iż niektóre składowe wzoru (1) występują tylko w poszczególnych strefach. Wynika to ze specyfiki pracy przy linii kompletacyjnej.

$$T_p = t_{sk} + t_{pk} + t_{sw} + t_{od} + (t_{sww} + t_{odw} + t_w) \cdot w' + (t_{pob} + t_{odl}) \cdot p + 2x \cdot t_{prz} + t_k \quad (1)$$

gdzie:

- t_{sk} – czas zeskanowania kartonu kompletacyjnego (występuje tylko w pierwszej strefie)
- t_{pk} – czas podjęcia kartonu kompletacyjnego (występuje poza pierwszą strefą),

- t_{sw} – czas skierowania wzroku na główny elektroniczny wyświetlacz pokazujący numer kartonu kompletacyjnego oraz liczbę wierszy do skompletowania
- t_{od} – czas odczytania z głównego wyświetlacza numeru kartonu (sprawdzenie czy numer na wyświetlaczu zgadza się z numerem kartonu) oraz liczbę wierszy do zrealizowania)
- t_{sww} – czas skierowania wzroku na wyświetlacz przypisany danemu wierszowi
- t_{odw} – czas odczytania z wyświetlacza podrzędnego liczby sztuk jednostek opakowań do pobrania z danego wiersza
- t_w – czas potwierdzenia skompletowania danego wiersza (wyciśnięcie przycisku)
- w' – liczba wierszy do zrealizowania przypadająca na pracownika
- t_{pob} – czas pobrania 1 jednostki opakowania (założono, że pracownik pobiera opakowania pojedynczo)
- t_{odl} – czas odłożenia 1 jednostki opakowania do kartonu kompletacyjnego
- p – średnia liczba pozycji do pobrania przez pracownika 1 strefy przypadająca na dany wiersz w ZnK
- x – długość strefy
- t_{prz} – czas przejścia przez pracownika odległości 1 m
- t_k – czas przesunięcia skompletowanego kartonu z przenośnika wałkowego (występuje tylko w ostatniej strefie)

Czasy poszczególnych czynności określono za pomocą metody MTM. Założono, że czasy poszczególnych czynności będą zróżnicowane dla poszczególnych pracowników w sposób następujący:

- pracownik mało wydajny – czasy czynności powiększone o 10%
- pracownik średnio wydajny – czasy określone w wyniku uśrednienia pomiarów
- pracownik bardzo wydajny – czasy czynności zmniejszone o 10%

4. OKREŚLENIE STRUKTURY ZLECEŃ ORAZ LIST KOMPLETACYJNYCH

Jak wspomniano w rozdziale 2, w regale składowanych jest 72 pozycje asortymentowe, dlatego zastosowano losowy przydział liczby w do kolejnych ZnK, generując liczby całkowite z przedziału $(0, 72)$. Założono, że w tablicy 1 kolejne numery wierszy oznaczają typ pozycji asortymentowej, utożsamiony z lokalizacją tej pozycji w regale kompletacyjnym. Wspomniane lokalizacje zanumerowano w regale rosnąco, zgodnie z kierunkiem przepływu materiałów.

W celu odwzorowania różnorodności struktury wierszy w i pozycji p występujących w warunkach rzeczywistych ZnK, wygenerowano losowo 9 podstawowych typów list kompletacyjnych różniących się między sobą liczbą wierszy oraz średnią liczbą pozycji.

Założono, że liczba wierszy w nie przekracza dla dowolnego zlecenia wartości 25. Badana struktura list kompletacyjnych przedstawia się następująco:

- duża liczba wierszy w oraz duża liczba pozycji p (25 x 10)
- duża liczba wierszy w oraz mała liczba pozycji p (25 x 2)
- duża liczba wierszy w oraz średnia liczba pozycji p (25 x 5)
- mała liczba wierszy w oraz duża liczba pozycji p (5 x 10)
- mała liczba wierszy w oraz mała liczba pozycji p (8 x 3)
- duża liczba wierszy w oraz średnia liczba pozycji p (6 x 4)
- średnia liczba wierszy w oraz średnia liczba pozycji p (8 x 6)
- średnia liczba wierszy w oraz duża liczba pozycji p (12 x 10)
- średnia liczba wierszy w oraz mała liczba pozycji p (14 x 2)

Tablica 1.

Schemat k -tej listy kompletacyjnej

Numer wiersza	Liczba pozycji do pobrania
w_1	p_1
w_2	p_2
...	...
w_k	p

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Następnie (Tablica 2) wygenerowano kolejność 15 zleceń z puli 9 list kompletacyjnych według których będzie odbywać się kompletacja poszczególnych ZnK.

Tablica 2.

Rozkład kolejności zleceń

Numer zlecenia	Numer listy kompletacyjnej
1	6
2	9
3	4
4	8
5	5
6	6
7	2
8	6
9	3
10	8
11	1
12	7
13	8
14	9
15	3

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

5. PORÓWNANIE CZASÓW KOMPLETACJI DLA RÓŻNYCH METOD ORGANIZACJI PRACY

Dla poszczególnych wariantów organizacji pracy z zależności (1) zostały obliczone czasy kompletacji wygenerowanych losowo (funkcja LOS w MS Excel) 15 zleceń. Przykładowo, opisany w rozdziale 2 wariant organizacji pracy Ib charakteryzuje się parametrami czasowymi, przedstawionymi w tabelicy 3 oraz, po uwzględnieniu ewentualnej utraty płynności przejścia pomiędzy poszczególnym strefami, w tabelicy 4.

Tabela 3.

Czasy kompletacji w wariantcie Ib

Numer listy	Czas kompletacji przez pracownika 1 strefy [s]	Czas kompletacji przez pracownika 2 strefy [s]	Czas kompletacji przez pracownika 3 strefy [s]	Zsumowany czas kompletacji 1 zlecenia[s]
6	54,52	50,01	48,27	152,81
9	46,92	37,97	42,89	127,79
4	95,08	92,79	91,05	278,93
8	101,74	99,45	93,27	294,47
5	51,83	42,88	41,14	135,86
6	54,52	50,01	48,27	152,81
2	51,36	46,85	53,99	152,21
6	54,52	50,01	48,27	152,81
3	70,53	79,34	66,50	216,38
8	101,74	99,45	93,27	294,47
1	108,40	105,34	108,81	322,56
7	66,56	70,93	62,53	200,03
8	101,74	99,45	93,27	294,47
9	46,92	37,97	42,89	127,79
3	70,53	79,34	66,50	216,38
Zsumowany czas kompletacji 15 zleceń				3119,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Tablica 4.

Całkowite skorygowane czasy kompletacji dla pracowników strefy 1 i 2 dla wariantu Ib

Numer listy	Czas kompletacji przez pracownika 1 strefy [s]	Czas kompletacji przez pracownika 2 strefy [s]	Różnica w czasie kompletacji [s]	Utracony czas wynikający z braku płynności [s]
6	54,52	50,01	-54,52	-54,52
9	46,92	37,97	3,09	3,09
4	95,08	92,79	-57,11	-54,02
8	101,74	99,45	-8,95	-8,95
5	51,83	42,88	47,62	47,62
6	54,52	50,01	-11,64	35,98
2	51,36	46,85	-1,35	34,63
6	54,52	50,01	-7,67	26,96
3	70,53	79,34	-20,52	6,44
8	101,74	99,45	-22,40	-15,96
1	108,40	105,34	-8,95	-8,95
7	66,56	70,93	38,78	38,78
8	101,74	99,45	-30,81	7,97
9	46,92	37,97	52,53	60,50
3	70,53	79,34	-32,56	27,94

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Występujące w kolumnie 4 tablicy 4 wartości dodatnie świadczą o tym, że pracownik pierwszej strefy zakończył kompletację danego zlecenia i pozostawia karton kompletacyjny na początku strefy drugiej, podczas gdy pracownik drugiej strefy nadal kompletuje swoje zlecenie. Natomiast wartości ujemne występują wówczas, gdy pracownik drugiej strefy zakończy swoje zlecenie, wróci na początek swojej strefy, ale nie może rozpocząć realizacji następnego zlecenia, gdyż pracownik strefy pierwszej nadal kompletuje swoje zlecenie. Obliczenia wartości w kolumnie 5 przeprowadzono z uwzględnieniem następujących zaobserwowanych w rzeczywistości sytuacji:

- Sytuacja 1 – jeśli wartość w kolumnie 4 tablicy 4 wskazuje, że pracownik drugiej strefy będzie czekał na zlecenie (liczby ujemne), ale nie skończył jeszcze poprzedniego zlecenia i ma opóźnienie (liczby dodatnie w poprzednim wierszu), należy skorygować ten wynik pomniejszając utracony czas o różnicę w czasie kompletacji.
- Sytuacja 2 – jeśli pracownik drugiej strefy ma opóźnienie, natomiast wartości kolumny 4 w tablicy 4 wskazują, że przy realizacji następnego zlecenia też wystąpi opóźnienie. W tym przypadku opóźnienia te trzeba zsumować.

Skorygowane w ten sposób czasy kompletacji dla pracowników strefy drugiej i trzeciej dla wariantu Ib przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5.

Skorygowane czasy kompletacji dla pracowników strefy 2 i 3 dla wariantu Ib

Numer listy	Czas kompletacji przez pracownika 2 strefy [s]	Czas kompletacji przez pracownika 3 strefy [s]	Różnica w czasie kompletacji [s]	Utracony czas wynikający z braku płynności [s]
3	79,34	66,50	-36,45	19,81

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Czas utraty płynności wystąpi pomiędzy wszystkimi strefami znajdującymi się na całej linii kompletacyjnej. Dopiero po jego uwzględnieniu można obliczyć całkowity czas kompletacji 15 zleceń, uwzględniający przestoje wynikające z braku płynności przejścia pomiędzy poszczególnymi strefami. Zatem całkowity czas kompletacji 15 zleceń jest sumą wartości umieszczonych w ostatnich wierszy i kolumn tablic 3, 4 oraz 5 i wynosi $3119,8 + 27,94 + 19,81 = 3167,55$ [s]

W tablicy 6 zostały zestawione wszystkie czasy kompletacji realizacji 15 zleceń dla różnych wariantów organizacji pracy.

Tablica 6.

Czasy kompletacji dla poszczególnych metod organizacji pracy

Wariant	Czas realizacji 15 zleceń [s]	Czas realizacji 15 zleceń [min]
Ia	3917	65,27
Ib	3168	52,79
IIa	3162	52,69
IIb	3171	52,84
IIc	3156	52,59
IId	3170	52,84
IIE	3158	52,63
IIf	3154	52,57

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

6. OKREŚLENIE KOSZTÓW ROBOCIZNY

Roczne koszty robocizny można wyliczyć za pomocą poniższej zależności:

$$K_{TLj}^R = k_{Loj} \cdot (1 + \gamma_{TL}) \cdot g_{oj} \cdot n_{Lj} \quad (2)$$

gdzie:

K_L^{Rj} – roczne koszty robocizny pracownika j -tej kategorii pracy w transporcie wewnętrznym,

k_{Lo}^j – stawka godzinowa pracownika j -tej kategorii pracy,

g_0 – nominalna liczba godzin pracy pracownika j -tej kategorii pracy w ciągu roku,

n_L^j – liczba pracowników j -tej kategorii pracy.

Obliczenie rocznych kosztów robocizny wymaga ustalenia wartości parametrów zawartych w zależności (2):

- stawka godzinowa pracownika – w tym przypadku pracownicy będą wynagradzani ze względu na swoją wydajność i tak:
 - a) pracownik mało wydajny – 12zł/h
 - b) pracownik średnio wydajny – 14zł/h
 - c) pracownik bardzo wydajny – 16zł/h
- nominalna liczba godzin pracy pracownika w ciągu roku – wszyscy pracownicy pracują w ciągu roku po 8h, 270 dni w ciągu roku co daje 2160h/rok
- liczba pracowników zależy od wariantu organizacji pracy (rozdz. 2)
- wskaźnik kosztów zakładowych – świadczy o zapewnieniu dogodnych warunków pracy takich jak: zaplecze socjalne, odpowiednie ubrania do pracy, itp. Przyjęto wartość wskaźnika równą 0,7.

Roczne koszty robocizny dla badanych w niniejszym opracowaniu wariantów organizacji pracy przedstawiono w tabelicy 7.

Tablica 7.

Roczne koszty robocizny dla różnych metod organizacji pracy

Wariant	Roczne koszty robocizny [PLN/rok]
Ia	176 256
Ib	154 224
IIa	154 224
IIb	154 224
IIc	154 224
IId	154 224
IIe	154 224
IIf	154 224

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

7. OKREŚLENIE KOSZTÓW REALIZACJI 1000 ZLECEN

Założony w omawianym badaniu stopień zróżnicowania wydajności oraz płac poszczególnych pracowników okazał się zbyt mały, aby wnioskować o wyższości

któregokolwiek z wariantów organizacji Ib – IIf według kryterium rocznych kosztów robocizny (Tabl. 7). Dlatego jako kryterium wyboru preferowanego wariantu organizacji wybrano koszt realizacji 1000 zleceń. W tym celu należy obliczyć koszt realizacji 1 zlecenia. Koniecznym krokiem pośrednim staje się wówczas określenie maksymalnej liczby zleceń zrealizowanych w ciągu roku (tabl. 8). Ostatecznie, koszt zrealizowania 1000 zleceń przedstawiono w tablicy 9.

Tablica 8.

Maksymalna liczba zleceń zrealizowanych zleceń w ciągu roku

Wariant	Czas realizacji 15 zleceń [s]	Czas realizacji 15 zleceń [min]	Liczba zrealizowanych 15 zleceń w skali roku	Max. liczba zrealizowanych zleceń w skali roku
Ia	3917	65,27	1985	29780
Ib	3168	52,79	2455	36823
IIa	3162	52,69	2459	36892
IIb	3171	52,84	2453	36792
IIc	3156	52,59	2464	36964
IId	3170	52,84	2453	36792
IIf	3158	52,63	2462	36936
IIf	3154	52,57	2465	36982

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Tablica 9.

Koszt zrealizowania 1000 zleceń kompletacyjnych

Wariant	Roczny koszt robocizny [zł/rok]	Max. liczba zrealizowanych zleceń w ciągu roku	Koszt zrealizowania 1 zlecenia [PLN]	Koszt zrealizowania 1000 zleceń [PLN]
Ia	176 256	29780	5,919	5918,57
Ib	154224	36823	4,188	4188,21
IIa	154224	36892	4,180	4180,39
IIb	154224	36792	4,192	4191,73
IIc	154224	36964	4,172	4172,19
IId	154224	36792	4,192	4191,71
IIf	154224	36936	4,175	4175,35
IIf	154224	36982	4,170	4170,24

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

8. WNIOSKI

Opisane w niniejszym artykule badania określają jednoznacznie wariant organizacji Ia jako najbardziej niekorzystny. Zawartość tabl. 9 wskazuje wariant IIf jako preferowany, chociaż maksymalna różnica w wartości kryterium (warianty Ib – IIf, tabl. 9) wynosi $100 \cdot (4191,73 - 4170,24) / 4170,24 = 0,5\%$, co nie daje podstaw do orzekania o wyraźnej dominacji wariantu preferowanego. Dlatego niezbędne wydają się być dalsze badania, prowadzone w warunkach urealnienia stopnia zróżnicowania wydajności oraz płac poszczególnych pracowników. Należy też dążyć do określenia zbioru zleceń testowych uwzględniających rzeczywiste uwarunkowania typowe dla badanego przedsiębiorstwa.

Bibliografia

1. Jacyna M., Kłodawski M.: Czas procesu kompletacji jako kryterium kształtowania strefy komisjonowania, *Czasopismo Logistyka* 2/2011
2. Majewska P.: Analiza kosztów procesu kompletacji w regałach przepływowych ze względu na wydajność pracowników. Praca inżynierska obroniona na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017
3. Ratkiewicz A.: Efektywność procesu kompletacji. *Czasopismo Logistyka* 4/2011
4. Ratkiewicz A., Pyza D.: Wydajność pracowników w procesie komisjonowania. 4th International Conference Financial And Logistics Management 2005 Malenovice, June 9 - 10, 2005 Czech Republic

THE PICKING LINE ORGANIZATION FOR THE DIVERSITY OF STAFF EFFICIENCY AND SPECIFIED ORDERS STRUCTURE

Summary: this paper presents the order picking process using the flow rack. Two methods of picking organization are presented. Taking into account the diversity of staff efficiency, these methods were implemented in 8 variants of the picking process. Then, based on the process simulation, the preferred variant of the organization of the picking process for the particular order structure was defined.

Keywords: storage organization and technology, picking, staff efficiency.