

Przykład algorytmu grupowania zleceń na komisjonowanie²

Grupowanie zleceń jest jedną z metod stosowanych w trakcie procesu komisjonowania. Metoda polega na łączeniu pewnej liczby zleceń na komisjonowanie w grupy oraz jednoczesną kompletacją wszystkich zleceń z danej grupy. Celem takiego działania jest zwiększenie efektywności procesu komisjonowania poprzez:

- skrócenie sumarycznej długości dróg kompletacyjnych jakie należy pokonać aby pobrać wszystkie artykuły znajdujące się analizowanej grupie zleceń – przez to komisjonowanie może być realizowane szybciej lub przy udziale mniejszej liczby pracowników i środków transportu wewnętrznego,
- pełniejsze wykorzystanie możliwości zastosowanych środków transportu wewnętrznego (zwłaszcza, kiedy komisjonowane są artykuły drobnicowe oraz na zleceniach na komisjonowanie znajduje się stosunkowo niewiele artykułów). Na ogół, w takich przypadkach wykorzystywany środek transportu wewnętrznego ma możliwości jednoczesnego przenoszenia artykułów z więcej, niż jednego bazowego zlecenia na komisjonowanie.

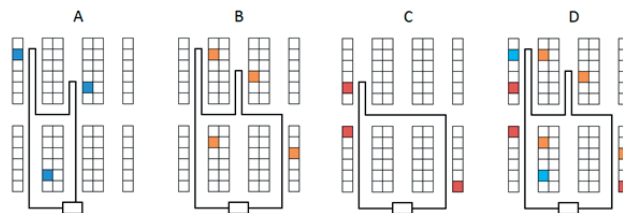
Ogólnie, algorytmy grupowania zleceń można podzielić na trzy zasadnicze podgrupy [5]:

1. Algorytmy bazujące na przyznawaniu pierwszeństwa dla zamówień według pewnego kryterium (ang. *priority rule based algorithms*). Jest to grupa najprostszych algorytmów, dwie najczęściej stosowane odmiany to:

- zasada „kto pierwszy” (*first come, first served*) – zamówienia po kolei (w chronologicznym porządku pojawiania się/spływania zamówień) są dodawane do grupy, dopóki kolejne zlecenie nie przekroczy możliwości transportowych przyjętego środka transportu. W takim wypadku obecna grupa zostaje zamknięta, a otworzona zostaje nowa grupa z właśnie tym zleceniem
- zasada równoległych partii – tworzone jest kilka (kilkanaście, kilkadziesiąt) równoległych partii, a kolejne zamówienie jest dodawane do grupy o najniższym numerze, która jednocześnie posiada jeszcze odpowiedni zapas miejsca (*first fit rule*) lub do grupy, która posiada zapas miejsca najbardziej zbliżony do rozmiaru danego zlecenia (*best fit rule*).

Algorytmy takie są stosunkowo proste, zarówno jeżeli chodzi o ich implementację, jak i o czas obliczeniowy potrzebny na ich wykonanie. Nie są tutaj wymagane żadne dodatkowe obliczenia, a analiza może być wykonana tylko i wyłącznie na podstawie zleceń na komisjonowanie.

2. Algorytmy „oszczędne” (*savings algorithms*) – działanie takich algorytmów polega na porównaniu, jak wiele drogi zostanie zaoszczędzone poprzez stworzenie danych grup zleceń oraz poszukiwaniu jak najkorzystniejszej kombinacji zleceń wchodzących w skład tych grup (oraz najbardziej korzystnej liczby grup). Zasada działania algorytmów oszczędnych została przedstawiona na rysunku 1, gdzie A, B, C to trasy kompletacyjne dla poszczególnych zleceń, natomiast D to trasa kompletacyjna dla połączonych zleceń A, B oraz C. Trasa łączona (D) jest dłuższa (lub co najwyżej równa) od każdej z tras wyznaczonych dla zleceń A, B, C, a jednocześnie długość trasy D jest wyraźnie mniejsza od długości sumy tras A, B i C. Dla powyższego przypadku „oszczędność” to różnica pomiędzy długością trasy D, a sumą długości tras A, B oraz C. Celem działania algorytmów oszczędnych jest zmaksymalizowanie sumy takich oszczędności.



Rys. 1. Przykład metody grupowania zleceń – algorytmu oszczędnego.
 Źródło: opracowanie własne.

W celu prawidłowego działania, taki algorytm wymaga wyznaczenia tras kompletacyjnych (i ich długości) dla każdego z wariantów grupowania zleceń. Liczba możliwych wariantów jest również bardzo wysoka – na przykład dla 100 zleceń na komisjonowanie można stworzyć prawie 4 mln różnych 4-elementowych grup zleceń. Nawet przy wykorzystaniu algorytmów heurystycznych wyznaczania trasy kompletacyjnej, obliczenia niezbędne dla wszystkich możliwych rozwiązań będą bardzo czasochłonne, a ze względu na złożoność obliczeniową, staną się praktycznie niewykonalne przy wykorzystaniu algorytmu optymalnego wyznaczania trasy kompletacyjnej. Dodatkowo, poza samą liczbą wymaganych obliczeń, grupowanie zleceń wydłuża listę kompletacyjną, co może mieć znaczący negatywny wpływ na wydajność takiego algorytmu. Z tego powodu optymalne rozwiązanie problemu grupowania zleceń dla algorytmów oszczędnych jest uznawane za problem NP-trudny.

¹ M. Kacprzak – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

² Artykuł recenzowany

3. Algorytmy bazujące na wyborze zamówienia „pierwotnego” (*seed*) oraz zamówień „towarzyszących/dodatkowych” (*additional orders*) według pewnych kryteriów (*seed algorithms*) – ta grupa algorytmów stanowi ogniwo pośrednie jeżeli chodzi o wydajność oraz prędkość obliczeń pomiędzy dwoma wymienionymi powyżej typami algorytmów. Ogólną zasadę działania tej grupy algorytmów można opisać następująco [10]:

- wyberz początkowe zlecenie (zgodnie z przyjętym kryterium), tworząc nową grupę zleceń,
- wyberz dodatkowe zlecenie (zgodnie z przyjętym kryterium), które może wejść w skład grupy stworzonej w punkcie 1,
- powtarzaj punkt 2, dopóki istnieją nie pogrupowane zlecenia, które mogą wejść w skład danej grupy lub dana grupa osiągnęła maksymalną liczbę,
- powtarzaj punkty 1-3 do momentu, kiedy wszystkie zlecenia zostaną zgrupowane lub nie można stworzyć więcej grup zleceń (zgodnie z przyjętym kryterium/kryteriami).

Do przykładowych kryteriów wyboru zlecenia pierwotnego należą:

- wybór losowy
- zlecenie o najmniejszej/największej liczbie miejsc pobrania do odwiedzenia (najdłuższa/najkrótsza lista kompletacyjna)
- zlecenie o najmniejszej/największej liczbie korytarzy roboczych do odwiedzenia
- zlecenie o najmniejszej wartości sumy wag korytarzy roboczych, które należy odwiedzić (każdy korytarz roboczy ma przypisaną pewną wagę – rosnącą wraz ze wzrostem odległości danego korytarza od pkt Z-O).

Kryteriami doboru zleceń dodatkowych mogą być:

- minimalizacja liczby dodatkowych (w stosunku do zlecenia pierwotnego) korytarzy roboczych jakie należy odwiedzić
- pokrywanie się obszarów wyznaczonych (ograniczonych) poprzez punkty zlecenia pierwotnego oraz dodatkowego
- minimalizacja przyrostu wielkości obszaru „zajmowanego” przez zgrupowane zlecenie po dodaniu danego zlecenia dodatkowego
- maksymalizacja przyrostu wielkości obszaru „zajmowanego” przez zgrupowane zlecenie po dodaniu danego zlecenia dodatkowego
- wybór losowy dodatkowego zlecenia.

Problemem praktycznym dla projektantów stref komisjonowania jest podjęcie decyzji, czy wykorzystywać jakąś metodę grupowania zleceń, a jeżeli tak, to z jakiego algorytmu skorzystać. W dalszej części artykułu przedstawiono przykład algorytmu należącego do trzeciej z wymienionych powyżej grup. Algorytm ten oferuje stosunkowo duże redukcje sumarycznej długości dróg kompletacyjnych dla dosyć szerokiego zakresu danych wejściowych (układ przestrzenny strefy komisjonowania, średnia liczba artykułów na zleceniu na komisjonowanie).

Przegląd literatury

W polskojęzycznej literaturze zagadnieniu grupowania zleceń nie poświęcono wiele publikacji. Niewielkie odniesienia można znaleźć na przykład w [8]. Rozbudowaną klasyfikację algorytmów oraz metod można odszukać w: [5], [6], [10], [14]. Kompleksowy przegląd literatury z lat 1980 - 2000 na temat grupowania zleceń znajduje się w [2]. Porównanie wydajności wybranych algorytmów oszczędnych oraz bazujących na wyborze zlecenia pierwotnego oraz zleceń dodatkowych może być odnalezione w [12].

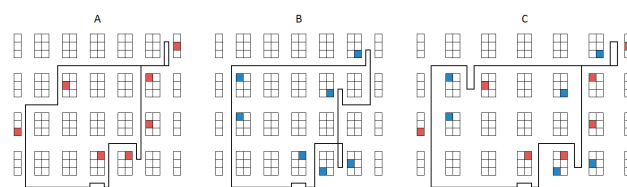
Analiza metod dla strefy kompletacji z dokładnie jednym blokiem roboczym znajduje się w [6], natomiast w [7] została przedstawiona analiza problemu, gdzie zadanie logistyczne przewiduje realizację 500 - 2000 zleceń kompletacyjnych na godzinę.

Grupowanie zleceń jest często łączone z innymi zagadnieniami (niekoniecznie opracowanych z myślą o zastosowaniu w procesie kompletacji):

- przykłady wykorzystania algorytmu genetycznego (*genetic algorithm*) dla grupowania zleceń przedstawiono w: [1], [9],
- algorytm ILS (*Iterated Local Search*) wraz z algorytmem mrówkowym dla grupowania zleceń został wykorzystany w pracy [4], a z kolei połączenie algorytmu ILS oraz algorytmu przeszukiwania tabu (*Tabu Search – TS*) w zbliżonej pracy [3],
- prace [15] oraz [11] podejmują tematykę połączenia zagadnień grupowania zleceń oraz podziału strefy komisjonowania na pod-strefy (*zoning*),

Metoda badawcza

Przykładem algorytmu grupowania zleceń jest algorytm grupowania zleceń podobnych.



Rys. 2. Przykład działania algorytmu grupowania zleceń podobnych: A, B – zlecenia bazowe, C – wynik zgrupowania zleceń A i B.
Źródło: opracowanie własne.

W trakcie kompletacji zlecenia A należy odwiedzić 7 korytarzy roboczych, przy kompletacji zlecenia B jest to 6 korytarzy. Jednocześnie 5 z 7 korytarzy odwiedzanych w trakcie kompletacji zamówienia A, należy odwiedzić przy kompletacji zamówienia B, tak więc na potrzeby omawianego algorytmu:

- zlecenie A jest „podobne” do B w 83 % (kompletując zamówienie B, 5 z 6 odwiedzanych korytarzy roboczych jest wspólnych z korytarzami roboczymi odwiedzanymi przy kompletacji zamówienia A)
- zlecenie B jest podobne do A w 71% (5 z 7 korytarzy jest wspólnych).

Podobieństwo pomiędzy zamówieniem A oraz B rozumiane będzie jako:

$$Pod(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A|} \quad (1)$$

gdzie:

- A – zbiór wszystkich korytarzy jakie należy odwiedzić przy kompletacji zamówienia A,
- B – zbiór wszystkich korytarzy jaki należy odwiedzić przy kompletacji zamówienia B.

Jeżeli obliczone podobieństwo pary zamówień przekracza założone minimum, te dwa zlecenia mogą zostać połączone w całość. Opis działania algorytmu dla określonej liczby zleceń wygląda następująco:

- zostaje wyznaczona macierz podobieństw pomiędzy wszystkimi zleceniami na komisjonowanie
- na tej podstawie utworzona zostaje lista par zleceń wraz ich wskaźnikiem podobieństwa; lista zostaje posortowana w kolejności malejącej według wskaźnika podobieństwa
- jeżeli wskaźnik podobieństwa pomiędzy daną parą zleceń jest większy (bądź równy) założonemu poziomowi podobieństwa, te zamówienia zostają połączone (zgrupowane) w nowe zamówienie.

Tym samym, można powiedzieć, że algorytm ten jest odmianą „seed algorithm”, gdzie zarówno zlecenie pierwotne, jak i zlecenie dodatkowe, jest wybierane na podstawie tego samego kryterium. Minusem wspomnianego rozwiązania jest fakt, że zgrupowane zostają tylko i wyłącznie dwa zlecenia. Oczywiście można zastosować ten sam algorytm wielokrotnie, w ten sposób zwiększając liczbę grupowanych zleceń.

Należy zauważyć, że do działania powyższego algorytmu konieczne jest tylko określenie rozmieszczenia punktów pobrań dla analizowanych zleceń (w szczególności nie jest konieczne wyznaczenie tras kompletacyjnych dla poszczególnych zleceń). Efektywność algorytmów grupowania zleceń zależy od szeregu czynników: samego algorytmu, metody rozmieszczania asortymentu w strefie komisjonowania, struktury zleceń na komisjonowanie, metody wyznaczania trasy kompletacyjnej, maksymalnego rozmiaru grupy zleceń (patrz [2]).

Omówiony powyżej algorytm został zaimplementowany w autorskim programie komputerowym służącym do symulowania działania strefy komisjonowania. Na podstawie symulacji komputerowej otrzymano wyniki (długości dróg kompletacyjnych poszczególnych zleceń) dla różnych zestawów danych wejściowych oraz wariantów rozwiązania.

Wyniki obliczeń

W trakcie obliczeń zmienne czynniki, jakie zostały wzięte pod uwagę, to: długość listy kompletacyjnej, minimalna wartość wskaźnika podobieństwa zamówień, układ przestrzenny strefy komisjonowania (patrz tabela 1). Pozostałe parametry obliczeń: asortyment 250 artykułów, 1000 losowych zleceń, klasowy algorytm rozłożenia asortymentu wewnątrz strefy, trasa kompletacyjna wyznaczona za pomocą algorytmu „kombinowana” [12].

Tab. 1. Wykorzystane układy przestrzenne strefy komisjonowania.

Liczba bloków	Liczba korytarzy	Liczba miejsc w korytarzu	Wszystkich miejsc
1	10	30	600
2	5	30	600
2	10	15	600
3	5	20	600
4	5	15	600
5	5	12	600

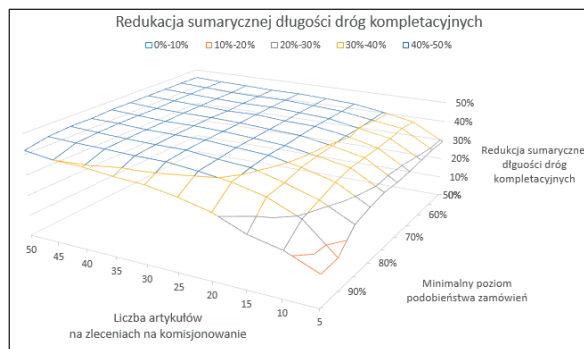
Źródło: opracowanie własne.

Obliczenia dokonano bez wykorzystania algorytmu grupowania zleceń podobnych (jest to baza do dalszych porównań) oraz z wykorzystaniem opisywanej powyżej metody, dla szeregu różnych wartości minimalnej wielkości wskaźnika podobieństwa zamówień. Tabela 2 przedstawia uśrednione (spośród wszystkich analizowanych układów przestrzennych strefy komisjonowania) wielkości redukcji sumarycznej długości dróg kompletacyjnych dla poszczególnych wariantów obliczeniowych. Rysunek 3 stanowi graficzną reprezentację tabeli 2. Z kolei tabele 3 i 4 przedstawiają minimalne oraz maksymalne wielkości redukcji sumarycznej długości dróg kompletacyjnych dla różnych wariantów obliczeniowych.

Tab. 2. Redukcja sumarycznej długości dróg kompletacyjnych przy zastosowaniu algorytmu grupowania zleceń podobnych dla różnej liczby artykułów na zleceniach na komisjonowanie oraz różnej minimalnej wartości wskaźnika wzajemnego podobieństwa zamówień. Wartość procentowa określa poziom redukcji długości dróg kompletacyjnych w stosunku do rezultatów otrzymanych bez wykorzystania algorytmu łączenia zleceń.

Minimalny poziom podobieństwa zleceń (%)	Liczba artykułów na zleceniach na komisjonowanie									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
50	29,2%	34,3%	37,8%	40,1%	41,3%	42,2%	42,6%	43,1%	43,4%	44,3%
55	28,3%	34,1%	37,4%	40,1%	41,3%	42,2%	42,7%	43,1%	43,5%	44,3%
60	27,8%	33,5%	37,2%	39,8%	41,1%	42,1%	42,7%	43,1%	43,5%	44,2%
65	26,5%	32,5%	36,7%	39,4%	40,8%	42,0%	42,4%	42,9%	43,4%	44,2%
70	23,5%	31,1%	36,0%	39,0%	40,6%	41,8%	42,2%	42,8%	43,2%	44,1%
75	23,8%	29,1%	33,7%	37,8%	39,9%	41,3%	42,0%	42,5%	42,9%	43,9%
80	19,0%	25,8%	31,6%	35,9%	38,6%	40,3%	41,2%	42,0%	42,4%	43,3%
85	16,4%	20,3%	25,0%	30,9%	34,4%	36,5%	38,3%	39,3%	40,2%	41,4%
90	7,0%	15,0%	19,3%	25,0%	28,2%	29,9%	32,2%	33,7%	35,2%	36,8%
95	6,8%	7,4%	10,0%	14,2%	17,9%	19,4%	21,4%	22,7%	23,9%	25,6%

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Redukcja sumarycznej długości dróg kompletacyjnych w zależności od liczby artykułów na zleceniu oraz minimalnej wartości wskaźnika wzajemnego podobieństwa zamówień.

Tab. 3. Maksymalna oraz minimalna redukcja sumarycznej długości dróg kompletacyjnych (w zależności od zastosowanego układu przestrzennego strefy komisjonowania) przy zastosowaniu algorytmu grupowania zleceń podobnych dla różnej liczby artykułów na zleceniach na komisjonowania oraz różnej minimalnej wartości wskaźnika wzajemnego podobieństwa zamówień. Liczba artykułów na poszczególnych zleceniach na komisjonowania 5-25.

Liczba artykułów	5		10		15		20		25		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Minimalny poziom podobieństwa zleceń	50%	27,0%	30,7%	31,8%	37,5%	35,7%	40,3%	38,5%	42,7%	40,3%	43,5%
	55%	24,8%	30,2%	31,1%	38,1%	35,6%	40,2%	38,4%	42,5%	40,1%	43,4%
	60%	25,5%	28,9%	30,1%	37,1%	34,9%	39,9%	38,4%	42,6%	40,0%	43,5%
	65%	23,9%	28,5%	28,0%	36,8%	33,5%	40,4%	36,7%	42,7%	39,4%	43,1%
	70%	18,0%	27,4%	25,4%	36,7%	31,9%	39,7%	35,7%	42,3%	39,0%	43,0%
	75%	17,9%	27,8%	21,7%	36,5%	26,9%	39,4%	33,9%	41,8%	36,7%	42,9%
	80%	12,1%	26,4%	16,1%	34,9%	23,3%	38,8%	28,9%	41,8%	34,0%	42,7%
	85%	7,7%	24,2%	8,6%	31,9%	11,1%	36,7%	17,8%	40,8%	23,9%	41,9%
	90%	1,2%	15,5%	2,5%	29,1%	5,4%	35,7%	9,1%	39,2%	10,8%	41,2%
	95%	0,7%	15,0%	0,5%	21,5%	0,3%	24,9%	1,3%	31,2%	3,0%	34,9%

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 4. Maksymalna oraz minimalna redukcja sumarycznej długości dróg kompletacyjnych (w zależności od zastosowanego układu przestrzennego strefy komisjonowania) przy zastosowaniu algorytmu grupowania zleceń podobnych dla różnej liczby artykułów na zleceniach na komisjonowania oraz różnej minimalnej wartości wskaźnika wzajemnego podobieństwa zamówień. Liczba artykułów na poszczególnych zleceniach na komisjonowania 30-50.

Liczba artykułów	30		35		40		45		50		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Minimalny poziom podobieństwa zleceń	50%	41,0%	44,1%	41,4%	44,1%	41,5%	44,6%	41,9%	45,0%	42,7%	45,8%
	55%	41,1%	44,2%	41,7%	44,1%	41,6%	44,6%	42,3%	45,0%	42,5%	45,7%
	60%	40,5%	44,2%	41,4%	44,0%	41,5%	44,6%	42,0%	45,0%	42,7%	45,6%
	65%	40,7%	44,1%	40,7%	44,0%	41,0%	44,6%	41,7%	45,0%	42,5%	45,6%
	70%	40,3%	43,8%	40,7%	44,2%	41,0%	44,6%	41,7%	44,9%	42,2%	45,7%
	75%	38,9%	43,7%	40,1%	44,1%	40,2%	44,6%	41,0%	44,9%	41,7%	45,8%
	80%	36,3%	43,8%	37,3%	43,9%	38,9%	44,6%	39,4%	45,0%	40,6%	45,8%
	85%	26,8%	43,5%	30,0%	43,5%	31,8%	44,2%	32,9%	44,5%	34,5%	45,2%
	90%	11,9%	42,7%	16,2%	42,8%	18,7%	43,4%	20,9%	44,0%	23,8%	45,2%
	95%	1,5%	37,5%	2,5%	39,6%	1,9%	41,4%	2,4%	42,8%	2,9%	43,4%

Źródło: opracowanie własne.

Wnioski

Przedstawiony algorytm grupowania zleceń okazał się być skuteczną metodą na redukcję sumarycznej długości dróg kompletacyjnych. W zależności od szczegółowych parametrów, redukcja ta może nawet przekroczyć 40% w stosunku do wariantów, gdzie nie zastosowano algorytmu grupującego. Efektywność algorytmu zależy zarówno od liczby artykułów na zleceniu jak i przyjętego minimalnego poziomu podobieństwa zamówień. Można wskazać pewien zakres tych parametrów gdzie wydajność algorytmu jest zbliżona, oscylując w granicach 30-40% redukcji długości dróg kompletacyjnych. Porównując wartości minimalne i maksymalne redukcji dróg kompletacyjnych można wywnioskować, że także przyjęty układ przestrzenny strefy komisjonowania może mieć zasadnicze znaczenie dla efektywności tego algorytmu – w najbardziej skrajnych przypadkach, dla stałych pozostałych parametrów, zmiana układu przestrzennego może mieć 30-40% wpływ na rezultaty obliczeń.

Streszczenie

Artykuł zawiera opis problemu grupowania zleceń na komisjonowanie. Przedstawiony zostaje przykładowy algorytm (algorytm grupowania zleceń podobnych). Dokonana zostaje analiza efektywności przykładowego algorytmu dla różnych parametrów obliczeniowych (układ przestrzenny strefy komisjonowania, długość listy kompletacyjnej, parametry samego algorytmu).

Słowa kluczowe: kompletacja, komisjonowanie, grupowanie zleceń.

An example of order batching algorithm

Abstract

This paper presents order batching problem during order picking process. Example algorithm for order batching is presented. Effectiveness of said algorithm is tested and compared for various input data sets (pick list length, pick-area layout, parameters of algorithm itself).

Keywords: order picking, order batching, seed algorithm.

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

- Chen K.-Y., Chen M.-C., Hsu C.-M., *Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms*, "Computers in Industry", vol. 56, 2010.
- Gu J., Goetschalckx M., McGinnis L., *Research on warehouse operation: A comprehensive review*, "European Journal of Operational Research", vol. 177, 2007.
- Henn S., Schmid V., *Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems*, "Computers & Industrial Engineering", vol. 66, 2013.
- Henn S., Koch K., Doerner K., Strauss C., Wascher G., *Metaheuristics for the order batching problem in manual order picking systems*, Magdeburg University: working paper series vol. 20/2009, Magdeburg 2009.
- Henn S., Koch S., Wascher G., *Order batching in order picking warehouses: A survey of solution approaches*, Magdeburg University: working paper series vol. 1/2011, Magdeburg 2011.
- Ho Y.-C., Su T.-S., Shi Z.-B., *Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles*, "Computers & Industrial Engineering", vol. 55, 2008.
- Hong S., Johnson A., Peters B., *Large-scale order batching in parallel-aisle picking systems*, Department of Industrial and Systems Engineering, Texas University.
- Kłodawski M., *Problematyka usprawniania procesu kompletacji*, "Logistyka", nr 6/2014.
- Oncan, T., *A Genetic Algorithm for the Order Batching Problem in Low-Level Picker-to-Part Warehouse Systems*, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists vol. 1, Hong Kong 2013.
- Pan C.-H., Liu S.-Y., *A Comparative Study of Order Batching Algorithms*, International Journal of Management Sciences, vol. 23, 1995.
- Parikh P., Meller R., *Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center*, Transportation Research Part E, vol. 44, 2008.
- Roodbergen K., *Layout and Routing Methods for Warehouses*, Ph.D. Thesis, The Netherlands TRIAL Research School, 2001.
- Rosenwein M., *A comparison of heuristics for the problem of batching order for warehouse selection*, "International Journal of Production Research", vol. 34, 1996.
- Van der Poort E., De Koster M., Wolters M., *Efficient order-batching methods in warehouses*, "International Journal of Production Research", vol. 37, 1999.
- Yu M., De Koster R., *The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance*, "European Journal of Operational Research", vol. 198, 2009.