

**Andrzej RATKIEWICZ**

Politechnika Warszawska  
Wydział Transportu, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych  
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa  
ara@it.pw.edu.pl

**EFEKTYWNOŚĆ PROCESU KOMPLETACJI**

**Streszczenie:**

W artykule przedstawiono rozważania związane z określeniem efektywności i wydajności pracy pracowników realizujących proces kompletacji zleceń. Określono czynniki mające wpływ na efektywność procesu kompletacji. Wyróżniono wydajność jako składową efektywności. Przedstawiono wpływ rozmieszczenia towarów w strefie kompletacji oraz technologii wybierania na efektywność procesu kompletacji. Określono warunek konieczności kontroli skompletowanych jednostek ładunkowych.

Słowa kluczowe: komisjonowanie, kompletacja zamówień, efektywność, wydajność.

**WPROWADZENIE**

Kompletacja zamówień (ang. order picking) jest częścią składową procesu komisjonowania. Komisjonowanie w literaturze polskiej [9] określono jako rozdzielanie jednorodnych jednostek ładunkowych składowanych w magazynie na zbiory opakowań jednostkowych lub zbiorczych oraz zestawienie tych opakowań w jednostki ładunkowe skompletowane zgodnie z zamówieniami odbiorców.

Zgodnie z ww. definicją, komisjonowanie można przedstawić jako dwa powiązane ze sobą procesy technologiczne:

1. rozdzielanie jednostki ładunkowej jednorodnej (jłj) na zbiory opakowań jednostkowych lub zbiorczych i uzupełnianie strefy kompletacji;
2. kompletacja zamówienia.

Kompletacja zamówienia jest to zatem część procesu komisjonowania polegająca na zestawieniu opakowań jednostkowych lub zbiorczych w jednostki ładunkowe uformowane zgodnie z zamówieniami odbiorców.

Uformowanie jednostek ładunkowych zawierających zamówione przez klienta towary jest finalnym produktem procesu kompletacji. Na produkt ten składa się m.in. cykliczna sekwencja czynności pobierania opakowań towaru z regałów lub z jednostek ładunkowych paletowych jednorodnych (jłpj) oraz czynności odkładania tych opakowań w sposób racjonalizujący wykorzystanie kubatury wypełnianej (formowanej) jednostki ładunkowej.

Pojęcia efektywności i wydajności często traktowane są jako synonimy. W niniejszym opracowaniu pojęcie „efektywność” zgodnie z [14] będzie oznaczało „skuteczność”, natomiast „wydajność” zgodnie z [13] będzie traktowane jako „sprawność”.

W niniejszym opracowaniu rozpatrzono efektywność procesu kompletacji i wydajność pracowników realizujących pobieranie i odkładanie opakowań w procesie komisjonowania realizowanego dla (terminologia podana zgodnie z [9]):

- przemieszczania wg zasady „człowiek do towaru,

- pobierania (wybierania) dwuwymiarowego.

## 1. POBIERANIE OPAKOWAŃ

Sprawne pobieranie opakowań jest jednym z warunków efektywności procesu kompletacji. Pobieranie opakowań jest czynnością, efektywna realizacja której może być postrzegana w aspekcie statycznym i dynamicznym. Aspekt statyczny sprowadza się tu do zagadnienia rozmieszczenia towarów w strefie składowania. Aspekt dynamiczny pobierania towarów to zastosowania technologia (sposób) wybierania.

### 1.1 Rozmieszczenie towarów w strefie kompletacji

Zagadnienie rozmieszczenia towarów w strefie kompletacji ma wiele cech wspólnych z rozmieszczeniem towarów w strefie składowania. Rozmieszczenie towarów w obszarze istniejącej (zastanej) strefy komisjonowania jest bowiem rozpatrywane głównie w aspekcie zastosowania tzw. reguły Pareto lub w aspekcie opartych na tej regule metod rozmieszczenia zapasu (głównie metoda ABC, rzadziej metoda XYZ). Często rozważanym w literaturze problemem jest ustalenie liczby grup towarowych, na które dzielony jest asortyment. Tak w [19] zaleca się aby dla przypadku kompletacji ręcznej w regałach jednopoziomowych liczba grup towarowych wynosiła od 2 do 4; w [26] rozważono kompletacje przy użyciu automatycznej układnicy kompletacyjnej i ustalono, że dla tego przypadku najlepsza jest liczba grup towarowych wynosząca 6.

Innym obszarem rozmieszczenia towarów w strefie komisjonowania, podobnie jak dla strefy składowania, jest zagadnienie alokacji towarów. Rozróżnić można (np. [2]) metodę stałych miejsc adresowych (każdy towar jest składowany zawsze w tym samym przydzielonym tylko dla niego miejscu), metodę wolnych miejsc adresowych (towar może być składowany w dowolnym chwilowo niezajętym miejscu składowym) oraz metodę pośrednią, stanowiącą kombinację ww. metod. W [24] przedstawiono heurystyczny algorytm przydzielania poszczególnych pozycji asortymentowych do strefy składowania (kompletacji) z dokładnością do miejsca ładunkowego przeznaczony do zastosowania w systemach kompletacji cechujących się dużą zmiennością asortymentu. Podstawowym kryterium tego algorytmu jest minimalizacja całkowitego czasu realizacji zamówienia, określonego jako suma czasu kompletacji oraz czasu rekonfiguracji strefy komisjonowania związana z dużą zmiennością asortymentu.

Rozważania na temat alokacji towarów oraz podziału na grupy asortymentowe można znaleźć m.in. w [17], [11], [15].

Ciekawym pomysłem mającym zastosowanie w strefie komisjonowania jest rozmieszczenie towarów zgodnie z zasadą tzw. grupowania wg częstotliwości wspólnego zamawiania (ang. family-grouping). Istota tego pomysłu polega na obserwacji, że niektóre towary występują w zamówieniach w pewnych grupach (np. makaron spaghetti zamawiany jest często razem z pastą pomidorową) tworzących pewnego rodzaju rodzinę (stąd angielska nazwa tej metody rozmieszczania towarów). Istnieje kilka typów grupowania wg częstotliwości wspólnego zamawiania, szczegółowe rozważania na temat zastosowania tej zasady rozmieszczenia towarów można znaleźć w [10], [5], [27],

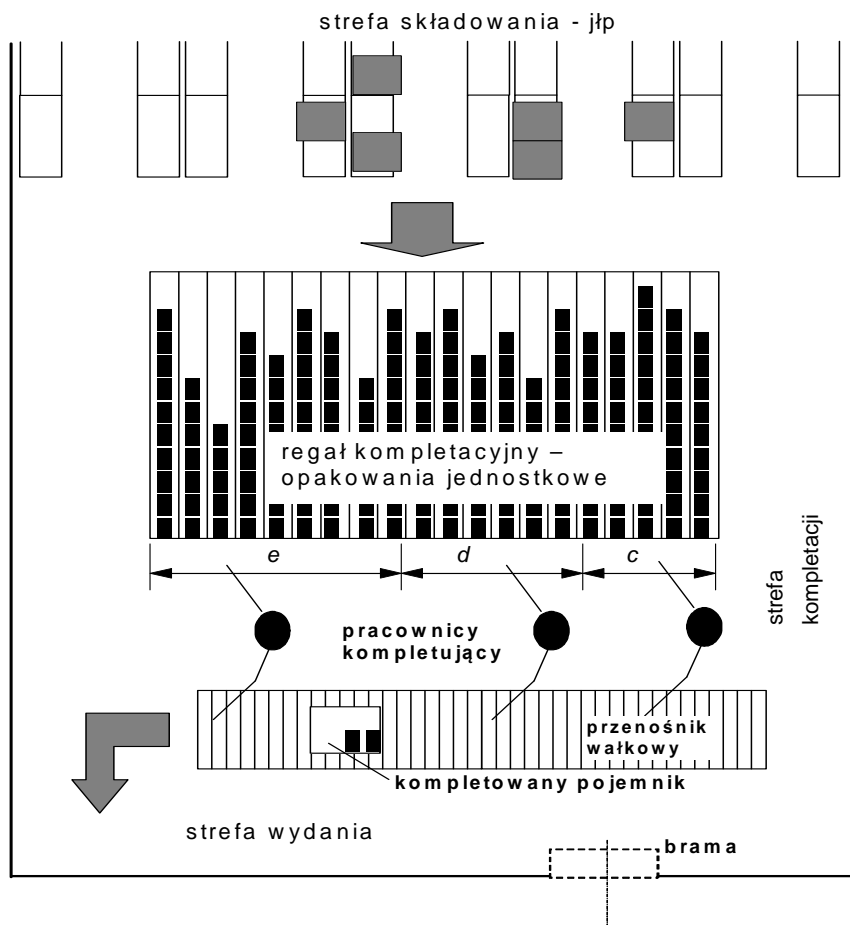
## 1.2 Technologia wybierania

Wpływ zastosowanej technologii wybierania na efektywność procesu kompletacji jest najbardziej widoczny w przypadku kompletacji w regale przepływowym. Wybieranie w regale przepływowym najczęściej odbywa się wg następujących reguł organizacyjnych:

- reguła 1: jedno zamówienie- jeden pracownik;
- reguła 2: jedno zamówienie – wiele pracowników, sekwencyjnie w strefach statycznych;
- reguła 3: jedno zamówienie – wiele pracowników, sekwencyjnie w strefach ruchomych.

Reguła 1 oznacza, że kompletacja zamówienia jest realizowana wyłącznie przez jednego pracownika przydzielonego do tego zadania.

Wybieranie wg reguły 2 oraz reguły 3 zilustrowano na rys. 1. Reguła 2 oznacza, że każdy z pracowników obsługujących regał przepływowy funkcjonuje w ramach przyporządkowanej dla niego przestrzeni na czole tego regału zwana strefą. Na rys. 1 pokazano strefy o szerokościach  $c$ ,  $d$ ,  $e$ . Przebieg kompletacji jest następujący: pracownik w strefie  $c$  pobiera zlecenie na kompletację (ZnK) oraz pojemnik, po czym pobiera opakowania z regału przepływowego i odkłada je do pojemnika przemieszczając się w kierunku strefy  $d$ . Po zakończeniu kompletacji w strefie  $c$  pracownik tej strefy przekazuje ZnK oraz kompletowany pojemnik pracownikowi strefy  $d$ . W strefach  $d$  i  $e$  kompletacja odbywa się analogicznie. Pokazany na rys. 1 nienapędzany przenośnik wałkowy umożliwia składowanie tymczasowe (buforowanie) kompletowanego pojemnika w sytuacji, kiedy pracownik następnej w sekwencji strefy nie jest gotowy do przejęcia kompletowanego pojemnika.



Rys. 1. Przebieg kompletacji (widok z góry) pojemników w strefach sekwencyjnych.

Źródło: opracowanie własne.

Reguła 3 zaprezentowana m.in. w [2] wyróżnia się przedstawionymi poniżej cechami. Przydział pracowników do stref jest przeprowadzony wg wydajności pracowników. Dla sytuacji zilustrowanej na rys. 1, najmniej wydajny pracownik zostaje przydzielony do strefy o szerokości  $c$ , najbardziej wydajny pracownik zostaje przydzielony do strefy  $e$ . Szerokości poszczególnych stref są zmienne.

Kompletacja wg reguły 3 rozpoczyna się podobnie, jak wg reguły 2. Różnica staje się dostrzegalna w chwili, kiedy pracownik strefy  $e$ , jako najbardziej wydajny, kończy kompletację swojej części zamówienia. Wówczas przejmuje on pojemnik od pracownika strefy  $d$ , który przejmuje pojemnik od pracownika strefy  $c$ , który rozpoczyna kompletację nowego zlecenia. Przy takiej organizacji pracy, szerokości poszczególnych stref stają się rozmyte, ruchome (stąd „strefa ruchoma” w nazwie tej reguły), istotna natomiast pozostaje sekwencja występowania stref i sztywny przydział pracowników do stref.

Analiza ww. reguł przeprowadzona m.in. w [22] wskazuje na zdecydowaną przewagę zastosowania wybierania zgodnie z regułą 3 w aspekcie efektywności procesu kompletacji.

## 2. WYPEŁNIANIE

Wpływ procesu wypełniania jednostki ładunkowej na efektywność całego procesu kompletacji jest bezsprzeczny. Formalnie, wypełnianie jednostki ładunkowej opakowaniami może być traktowane jako szczególny przypadek względnie dobrze opisanego w literaturze tzw. trójwymiarowego zagadnienia załadunku (ang. Tree Dimensional Bin Parking Problem), nazywany przez badaczy Pallet Loading [1], [3], [8], [12], [25] lub Container Loading [4], [6].

Należy zaznaczyć, że dla rozwiązania różnych odmian zagadnienia załadunku istnieją obecnie solidne podstawy teoretyczne, względnie skromna jest natomiast literatura poświęcona istotnemu z punktu widzenia efektywności procesu kompletacji podejściu stosowanemu do tego zagadnienia [20]. Przykładem takiego podejścia jest np. uwzględnienie ograniczenia związanego z naciskami powierzchniowymi występującymi na kolejnych warstwach odkładanych opakowań [7], [16], [21]. Ergonomiczne aspekty zastosowania znanych metod rozwiązywania zagadnienia załadunku przedstawiono np. w [18].

## 3. EFEKTYWNOŚĆ KONTROLI WYBIERANIA

Konieczność kontroli finalnego procesu technologicznego jest zagadnieniem poruszonym zarówno w obszarze produkcji, jak i w obszarze dystrybucji. Jednym z ważniejszych pytań rozważanych w ramach tego zagadnienia jest następujący dylemat: czy skompletowana jednostka ładunkowa powinna być poddana całkowitej kontroli (wiąże się to z jej rozformowaniem), czy też należy uznać, że nie popełniono błędów w trakcie kompletacji i zrezygnować z kontroli.

Warunek konieczności pełnej kontroli uformowanej jednostki ładunkowej można przedstawić następująco:

$$\sum_{q=1}^Q K_q \cdot P(q) > \sum_{q=1}^Q k(Rr_q + Rk_q) \quad (1)$$

gdzie:

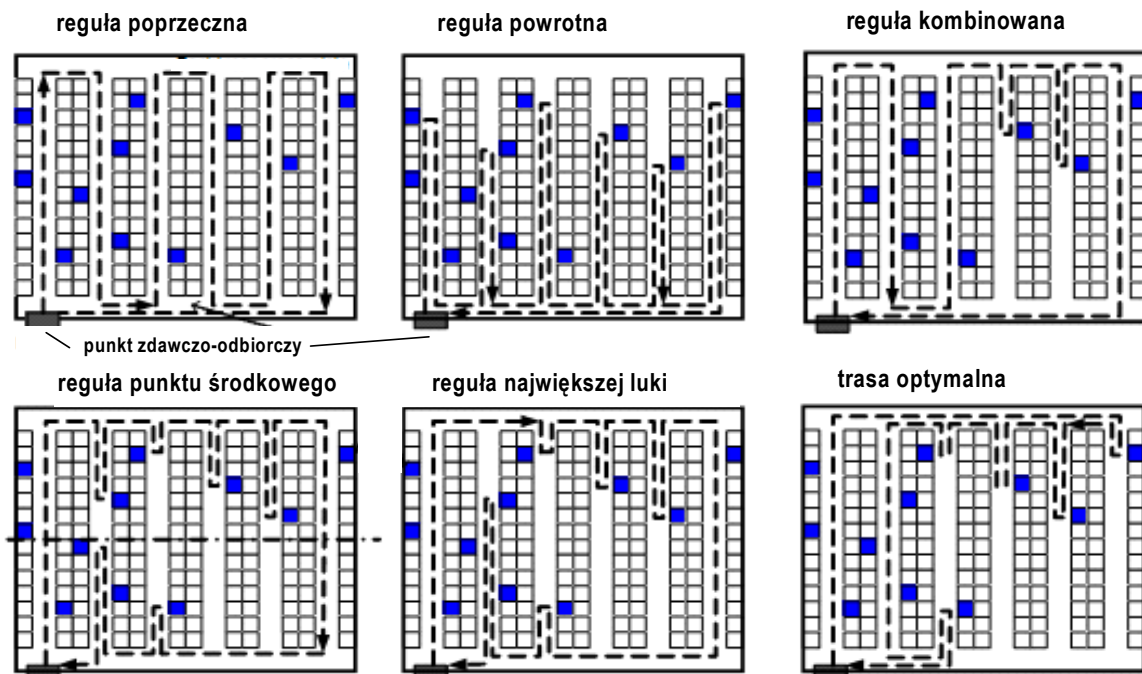
- $Q$  – liczba klientów obsługiwanych w procesie kompletacji zamówień;
- $q$  – numer klienta,  $q = 1, 2, \dots, Q$ ;

- $K_q$  – koszt likwidacji niezgodności skompletowanego ładunku ze specyfikacją zamówienia od  $q$ -tego klienta (w tym ewentualne straty związane z odejściem niezadowolonego klienta);
- $P(q)$  – prawdopodobieństwo wystąpienia niezgodności skompletowanego ładunku ze specyfikacją zamówienia od  $q$ -tego klienta;
- $k$  – koszt godzinowy pracy pracownika kontroli
- $Rr_q$  – uśredniona pracochłonność rozformowania i ponownego uformowania wysyłki do  $q$ -tego klienta;
- $Rk_q$  – uśredniona pracochłonność czynności kontrolnych dla wysyłki do  $q$ -tego klienta.

Konieczność operowania uśrednionymi wartościami wynika ze znacznego stopnia losowości, który cechuje proces kompletacji. Jest to związane z trudnoprzewidywalnym zachowaniem klientów wynikającym z mnogości uwarunkowań istniejących na rynku.

#### 4. EFEKTYWNOŚĆ PROCESU I WYDAJNOŚĆ PRACOWNIKÓW

Ogólnie, należy spodziewać się wzrostu efektywności procesu kompletacji wraz ze wzrostem wydajności pracowników realizujących pobieranie i wypełnianie. W procesie kompletacji zamówienia może jednak wystąpić mała efektywność przy względnie dużej wydajności pracowników. Dowód tego stwierdzenia wynika z analizy rys. 2. Porównując realizację kompletacji zgodnie z regułą poprzeczną oraz zgodnie z trasą optymalną, należy przy założonej *a priori* jednakowej (dużej) wydajności pracowników spodziewać się znacznie większej efektywności procesu kompletacji w przypadku stosowania trasy, oznaczonej na rys. 2 jako trasa optymalna. Głównym powodem jego przypuszczenia jest znacznie krótsza droga kompletacji dla trasy optymalnej.

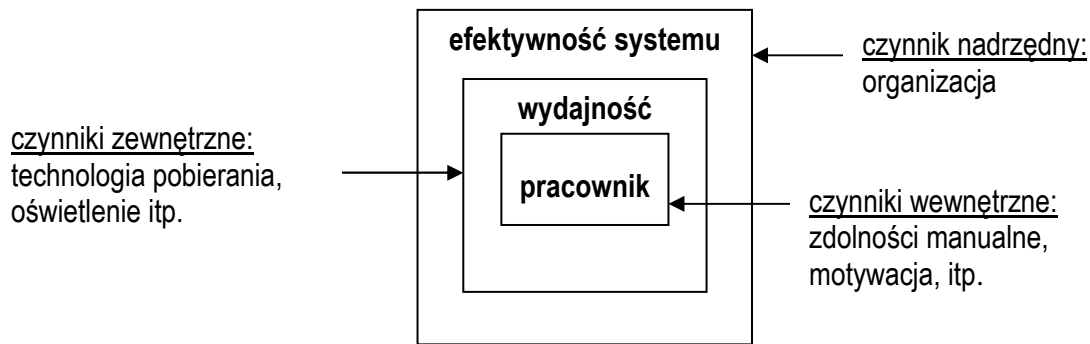


Rys. 2. Heurystyczne reguły przebiegu trasy kompletacji oraz przebieg trasy optymalnej dla wybranego przypadku kompletacji.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [23]

## PODSUMOWANIE

Efektywność procesu kompletacji zamówień jest złożonym zagadnieniem uzależnionym od wielu czynników. Jednym z istotniejszych czynników wpływających na efektywność jest wydajność pracowników realizujących proces pobierania. Rozpatrując pracownika jako jądro systemu kompletacji zamówień, jego umiejscowienie w układzie współzależności odzwierciedlającym efektywność kompletacji można intuicyjnie przedstawić następująco (rys. 3):



Rys. 3. Ilustracja układu współzależności.

Źródło: opracowanie własne.

Jak wynika z rys. 3, efektywność procesu kompletacji zamówień może być zwiększona pośrednio poprzez dopracowany system motywacji pracowników, zachęcający ich do wydajnej pracy oraz innowacyjną technologię (systemy Pick by Voice, Pick by Light); może być zwiększona bezpośrednio poprzez odpowiednią organizację pracy

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Abdou G., Yang M.: A systematic approach for the three-dimensional palletization problem. *International Journal of Production Research* 1994 (32) 10 pp. 2381-2394
- [2] Bartholdi J., Hackman S.: *Warehouse and Distribution Science*. Release 0.80. <http://www.warehouse-science.com> 2006
- [3] Bishoff E, Janetz , Ratcliff: Loading pallets with non-identical items. *European Journal of Operational Research* 1995 (84): pp. 681-692
- [4] Bishoff, Mariott. A comparative evaluation of heuristics for container loading. *European Journal of Operational Research* 1990 (44): pp. 267-276
- [5] Brynzer H., Johansson M., Medbo L.: A Methodology for Evaluation of Order Picking Systems as a Base for System Design and Managerial Decisions. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 14 No. 3 1994, pp 126-139
- [6] Chen C., Shen Q, Lee S.: An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research* 1995 (80): pp. 68-76
- [7] Davies A.P., Bischoff E.E.: Weight distribution considerations in container loading. *European Journal of Operational Research*, 114(3):509–527, 1999.
- [8] Dowsland K A.: An exact algorithm for the pallet loading problem. *European Journal of Operational Research* 1987 (31): pp.78-84
- [9] Fijałkowski J.: *Technologia magazynowania. Wybrane zagadnienia*. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995
- [10] Frazelle E, Sharp G: Correlated Assignment Strategy can Improve Any Order-Picking Operation. *Industrial Engineering*, 1989, 21-4, pp. 33-37.

- [11] Goetschalckx M., Ratliff H.: Shared storage policies based on the duration stay of unit loads. *Management Science* 1990, 36(9), 1120-1132
- [12] Hodgson D.: A combined approach to the pallet loading problem. *IIE Transactions* 1982 (14/3) pp. 175-182
- [13] <http://slovníki.gazeta.pl/>
- [14] Kopaliński Z.: Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych. Wiedza Powszechna. Warszawa, 1985
- [15] Le Duc T.: Design and control of efficient order picking processes. Erasmus University, Rotterdam 2005  
[http://publishing.eur.nl/ir/repub/asset/6910/EPS2005064LIS\\_9058920941\\_LEDUC.pdf](http://publishing.eur.nl/ir/repub/asset/6910/EPS2005064LIS_9058920941_LEDUC.pdf)
- [16] Li H., ten Hompel M.: Optimale Ladeeinheitenbildung für eine automatische Kommissionierungsanlage im Warendistributionszentrum. *Logistics Journal*, September 2006 pp. 1-12
- [17] Malmborg C., Deutsch S.: A stock location model for dual address order picking systems. *IIE Transactions*. 1988, Vol. 20 No.1, pp.44-52
- [18] Mulcahy D. *Warehouse Distribution and Operations handbook*. McGraw-Hill 1994
- [19] Petersen C., Aase G., Heiser D.: Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. 2004, Vol. 34 No. 7, pp. 534-544
- [20] Ratkiewicz A. *Optymalizacja procesu komisjonowania w ustalonej klasie łańcuchów transportowo-magazynowych* Wydział Transportu PW, 2002 (rozprawa doktorska)
- [21] Ratkiewicz A., Bialik A.: Modele mechaniczne opakowań dla formowanych jednostek ładunkowych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna Systemy Logistyczne. Teoria i Praktyka. Czasopismo LOGISTYKA, 6/2006 str. 37 (wersja elektroniczna).
- [22] Ratkiewicz A., Pyza D.: Wydajność pracowników w procesie komisjonowania. 4th International Conference Financial And Logistics Management 2005 Malenovice, June 9 - 10, 2005 Czech Republic
- [23] Roodbergen K.: Layout and routing methods for warehouses, Ph.D. thesis, Erasmus University, Rotterdam, 2001
- [24] Sadiq M., Landers T., Taylor G.: An assignment algorithm for dynamic picking systems. *IIE Transactions*. 1996, Vol. 28 pp.607-166.
- [25] Terno, Scheithauer, Sommerweiss, Riehme An efficient approach for the multi-pallet loading problem. *European Journal of Operational Research*. 2000 (123) pp. 372-381
- [26] van den Berg J., Gademann A.: Simulation study of an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*. 2000, 38, 1339-1356.
- [27] van Oudheusden D., Zhu W.: Storage layout of AS/RS racks based on recurrent orders. *European Journal of Operational Research*. 1992, Vol. 58, No. 1, pp. 48-56.

### THE EFFICIENCY OF PICKING PROCESS

#### Abstract:

Article presents some derivations about determining efficiency and productivity of picking workers performing order fulfillment. The factors impacting efficiency of picking process were defined. The productivity was distinguished as an element of efficiency. Author presents dependence of material allocating within picking area as well as picking technology and efficiency of order fulfillment process. The condition of necessity of controlling picked units of material was defined.

Key words: order-picking, order fulfillment, efficiency, productivity.