

Mirosław Nowak, Jacek Zając  
Instytut Logistyki i Magazynowania

## Aspekty organizacyjno-technologiczne wybranych systemów kompletacji

Wydajność systemów dystrybucji jest zależna w głównej mierze od sprawności procesu kompletacji zamówień. Wymagania odbiorców dotyczące terminowości, kompletności, zgodności i jakości dostaw zmuszają przedsiębiorstwa do poszukiwania coraz bardziej efektywnych systemów kompletacji w zakresie stosowanych rozwiązań organizacyjnych i technologicznych.

Kluczowym, z punktu widzenia działalności rynkowej przedsiębiorstw, jest pojęcie efektywności systemu kompletacji rozumiane jako stosunek poniesionych nakładów i kosztów jego działania do założonych efektów operacyjnych. Innymi słowy, chodzi o uzyskanie wymaganej wydajności procesu przy możliwie niskich kosztach jego organizacji.

### Trochę teorii

Operacja kompletacji jest jedną z czterech faz procesu magazynowania, polegającą na pobraniu zapasów ze stosów lub urządzeń do składowania w celu utworzenia zbioru pozycji asortymentowych zgodnie ze specyfikacją asortymentową i ilościową dla określonego odbiorcy [11].

System kompletacji składa się z trzech głównych podsystemów: przepływu informacji, przepływu materiałów, organizacji struktury procesu. W ramach każdego z wymienionych podsystemów realizowane są określone funkcje podstawowe, które przedstawiono w tabeli 1.

Systemowa kombinacja wariantów realizacyjnych funkcji przepływu materiałów i informacji tworzy tak zwane *elementarne typy systemów kompletacji*.

*Złożone systemy kompletacji*, z którymi mamy do czynienia w praktyce magazynowej, tworzy się przez równoległe bądź szeregowe połączenie systemów elementarnych w określonych warunkach organizacyjnych.

Wymienione modele organizacyjne systemów kompletacji nie uwzględniają wariantowości możliwych rozwiązań techniczno – technologicznych. Różnorodność dostępnych na rynku technologii magazynowych w zakresie składowania i transportu wewnętrznego oraz technik informatycznych zwiększa w sposób istotny liczbę możliwych wariantów realizacji procesu kompletacji.

### Główne problemy

Właściwy dobór systemu kompletacji jest problemem złożonym i odpowiedzialnym, a indywidualny charakter procesu ogranicza znacząco możliwości wyznaczenia jednoznacznych kryteriów doboru modelu efektywnego. Podstawowe trudności wynikają przede wszystkim z dużej zmienności warunków realizacji procesu oraz wymagań rynku (odbiorców) dotyczących terminowości, czasu realizacji i jakości dostaw. Również wspomniana liczba możliwych wariantów realizacyjnych, wzrastająca głównie wskutek coraz nowszych rozwiązań technologicznych, nie ułatwia pracy osobom odpowiedzialnym za podejmowanie decyzji inwestycyjnych. Istotnym czynnikiem wpływającym na możliwości wyboru są wysokie koszty organizacji systemu kompletacji. Wynikają one głównie z dużej pracochłonności procesu oraz znaczących nakładów związanych z jego informatyzacją, mechanizacją czy też automatyzacją.

### Modelowanie procesów kompletacji

Jednym ze sposobów analizy procesu kompletacji i doboru właściwych rozwiązań organizacyjno – technologicznych są badania symulacyjne. Do ich przeprowadzenia wykorzystywane są specjalne narzędzia informatyczne opracowane na bazie matematycznych modeli procesu kompletacji. Od poprawności tych modeli zależy jakość przeprowadzonych badań oraz trafność i skuteczność podjętych decyzji inwestycyjnych.

Prawidłowo zbudowany model matematyczny procesu kompletacji powinny cechować:

- uniwersalność rozumiana jako możliwość odwzorowania różnych rozwiązań organizacyjnych i technologicznych
- elastyczność oznaczająca możliwość parametryzacji wybranych danych wejściowych

Tab. 1. Struktura funkcjonalna systemu kompletacji.

LP	FUNKCJA PODSTAWOWA	WARIANTY REALIZACJI	
<b>Przepływ materiałów</b>			
1	Przygotowanie do pobrania	statyczne	dynamiczne
2	Przemieszczanie kompletującego	jednowymiarowe	wielowymiarowe
3	Pobieranie	ręczne	automatyczne
4	Wydawanie	centralne	zdecentralizowane
<b>Przepływ informacji</b>			
1	Przygotowanie danych	partiami	bieżące
2	Przekazanie informacji	pośrednie (off line)	bezpośrednie (on line)
3	Śledzenie operacji	osobiste (ręczne)	regulowane (automatyczne)
4	Potwierdzenie wykonania	aktywne (ręczne)	samoczynne (automatyczne)
<b>Organizacja struktury</b>			
1	Rozdzielanie na strefy	jednostrefowe	wielostrefowe
2	Realizacja zleceń	jednostopniowa	wielostopniowa
3	Zbieranie	kolejno	równoległe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1].

- kompatybilność czyli możliwość rozbudowy modelu oraz jego współdziałania z zewnętrznym otoczeniem.

W ramach prowadzonych prac badawczych w Instytucie Logistyki i Magazynowania autorzy podjęli próbę budowy modeli matematycznych dla kilku najczęściej stosowanych systemów kompletacji. Ich wyboru dokonano na podstawie wieloletnich doświadczeń konsultingowych i obserwacji rynku logistyki magazynowej. Do badań symulacyjnych wytypowano następujące modele procesu kompletacji:

1. Model A – kompletacja jednostopniowa (według zleceń).
2. Model B – kompletacja dwustopniowa (według asortymentów).
3. Model C – kompletacja dwuwymiarowa (według zleceń).
4. Model D – kompletacja dwuwymiarowa (według asortymentów).
5. Model E – kompletacja wielostrefowa równoległa.

Przy opracowaniu modeli matematycznych dla wybranych systemów kompletacji przyjęto szereg założeń funkcjonalnych, ograniczeń i warunków brzegowych. Najistotniejsze z nich przedstawiono poniżej:

- a) lokalizacja asortymentów w strefie kompletacji uwzględnia wyniki analizy Pareto:
  - według wielkości wydań – podział na strefy technologiczne składowania (A, B, C),
  - według częstości wydań – lokalizacja wewnątrz stref technologicznych (X, Y, Z),
- b) ścieżka kompletacji w ramach cyklu roboczego uwzględnia przyjęty rozkład asortymentów w strefie kompletacji,
- c) pobierane w ramach zlecenia asortymenty poszczególnych grup towarowych są rozmieszczone w strefie kompletacji w sposób równomierny,
- d) wielkość strefy kompletacji wynika z liczby składowanych asortymentów towarowych, przyjętych założeń technologicznych oraz parametrów jednostek ładunkowych,
- e) szerokości korytarzy roboczych wynikają z wymaganych parametrów dla zastosowanych wózków magazynowych,
- f) dobowy rozkład wielkości i struktury strumienia towarów wydawanych z magazynu jest równomierny,

g) w organizacji procesu kompletacji wykorzystywany jest magazynowy system informatyczny (MSI) wspomagający procesy zarządzania magazynem,

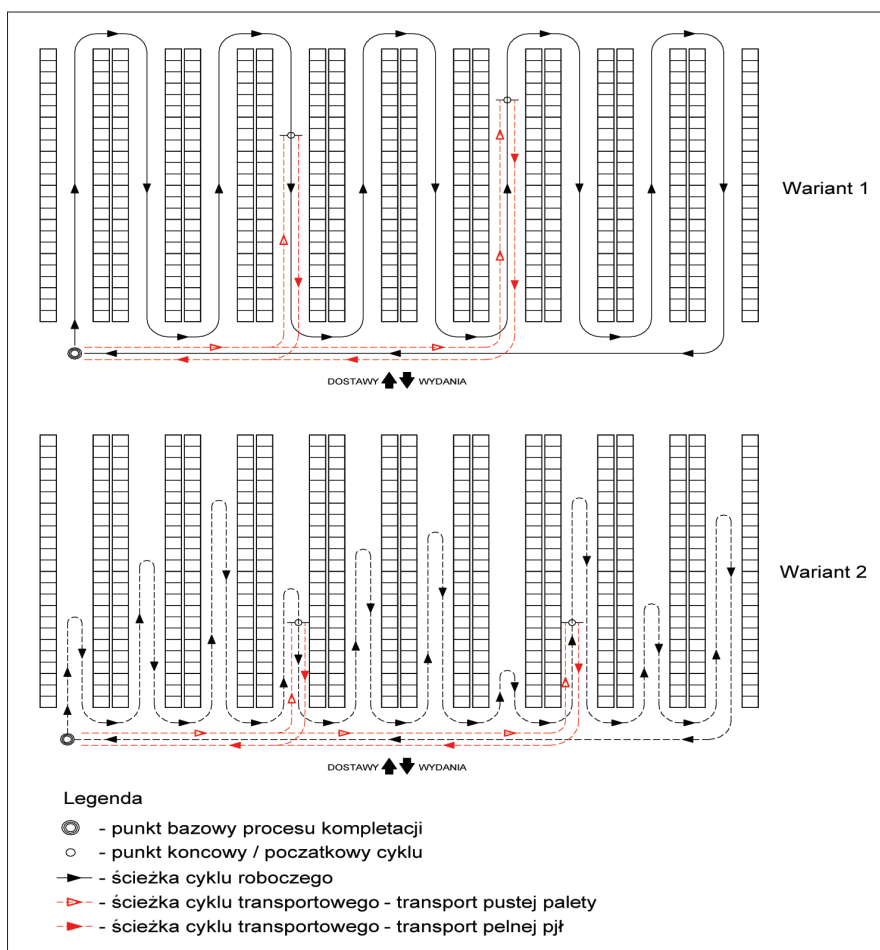
h) do identyfikacji jednostek ładunkowych i miejsc ich składowania wykorzystano system ADC (Automatic Data Capture) oparty o kody kreskowe zgodne ze standardem GS1.

Krótką charakterystykę wybranych do badań symulacyjnych modeli procesu kompletacji przedstawiono poniżej.

#### Model A – Kompletacja jednostopniowa (według zleceń) z wariantowym układem trasy kompletacji.

Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu A przedstawia rysunek 1.

- wariant 2 – układ „grzebieniowy” zakładający dwukierunkowy ruch we wszystkich korytarzach roboczych.
- Dla modelu A przyjęto następujące założenia technologiczne i organizacyjne:
1. Strefa kompletacji ulokowana jest na poziomie „0” strefy składowania,
  2. Technologia składowania grup towarowych uwzględnia wyniki analizy Pareto według wielkości wydań:
    - grupa A – składowanie w postaci pjl<sup>1</sup> jednorodnych na poziomie „0” regału paletowego,
    - grupa B i C – składowanie w postaci opakowań zbiorczych na półkach regałowych regału paletowego.
  3. Adres kompletacji asortymentu stanowi:
    - dla grupy A – numer miejsca paletowego



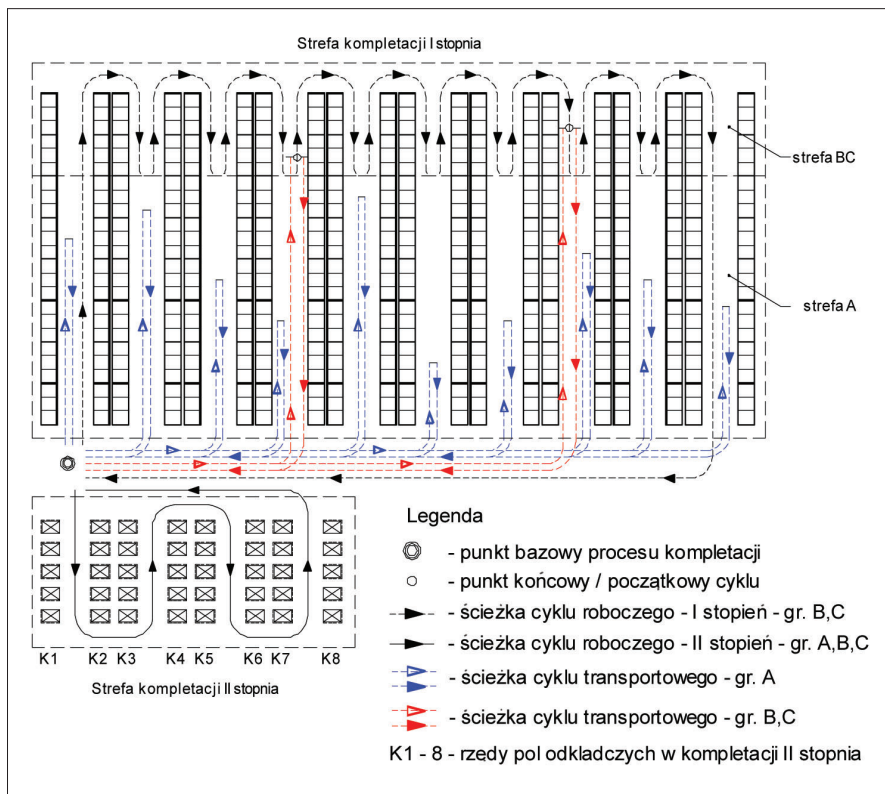
Rys. 1. Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu A. Źródło: opracowanie własne.

W modelu A przyjęto dwa warianty przebiegu ścieżki kompletacji towarów:

- wariant 1 – układ „potokowy” oznaczający jednokierunkowy i naprzemienny układ korytarzy roboczych

- dla grupy B i C – numer miejsca półkowego
4. Do transportu towarów w procesie kompletacji wykorzystywane są wózki unoszące prowadzone,

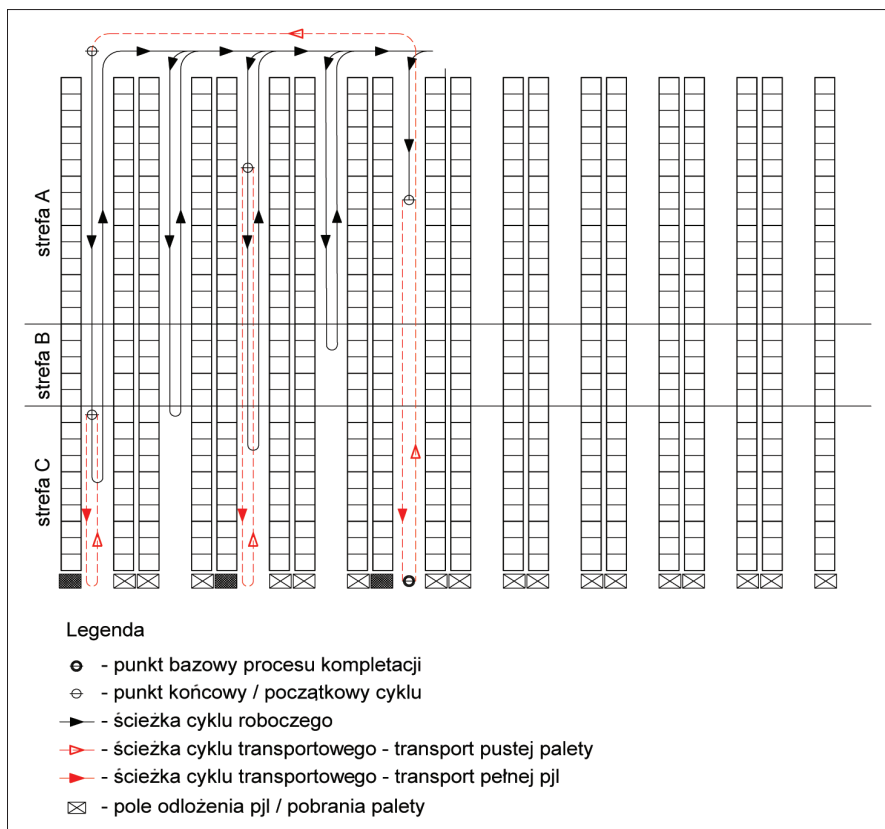
<sup>1</sup> Pjl – paletowa jednostka ładunkowa (przyp. red.).



Rys. 2. Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu B. Źródło: opracowanie własne.

5. Kompletacja odbywa się „zlecenie po zleceniu” według porządku zgłoszenia zamówień, który jest zgodny z harmonogramem wydań (załadunków).

**Model B – Kompletacja dwustopniowa (według asortymentów) z grzebieniowym (dwukierunkowym) układem trasy kompletacji.**



Rys. 3. Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu C. Źródło: opracowanie własne.

Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu B przedstawia rysunek 2.

Dla modelu B przyjęto następujące założenia technologiczne i organizacyjne:

1. Strefa kompletacji ulokowana jest na poziomie „0” strefy składowania,
2. Technologia składowania uwzględnia wyniki analizy Pareto według wielkości wydań:
  - grupa A – składowanie w postaci pjl jednorodnych na poziomie „0” regału paletowego
  - grupa B i C – składowanie w postaci opakowań zbiorczych na półkach regałowych regału paletowego

Adres kompletacji asortymentu stanowi:

1. Dla grupy A – numer miejsca paletowego,
2. Dla grupy B i C – numer miejsca półkowego,
3. Do transportu towarów w procesie kompletacji towarów wykorzystywane są:
  - dla grupy A – wózki unoszące prowadzone lub podnośnikowe czołowe
  - dla grup B i C – wózki unoszące prowadzone
4. Zlecenia przygotowywane są partiami zbieranymi w określonych przedziałach czasowych,
5. Realizacja pobrań odbywa się równolegle w dwóch strefach: lokalizacji asortymentów grupy A oraz grupy B i C,
6. Rozdzielenie zebranych towarów na poszczególne zlecenia (drugi stopień kompletacji) realizowane jest w wydzielonej odrębnej strefie kompletacji II stopnia.

**Model C – Kompletacja dwuwymiarowa (według zleceń) z użyciem wózka kompletacyjnego – jednostopniowa.**

Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu C przedstawia rysunek 3.

- Dla modelu C przyjęto następujące założenia technologiczne i organizacyjne:
1. Strefa kompletacji ulokowana jest na całej wysokości strefy składowania,
  2. Technologia składowania uwzględnia wyniki analizy Pareto według wielkości wydań:
    - grupa A – składowanie w postaci pjl jednorodnych na wszystkich poziomach regału paletowego

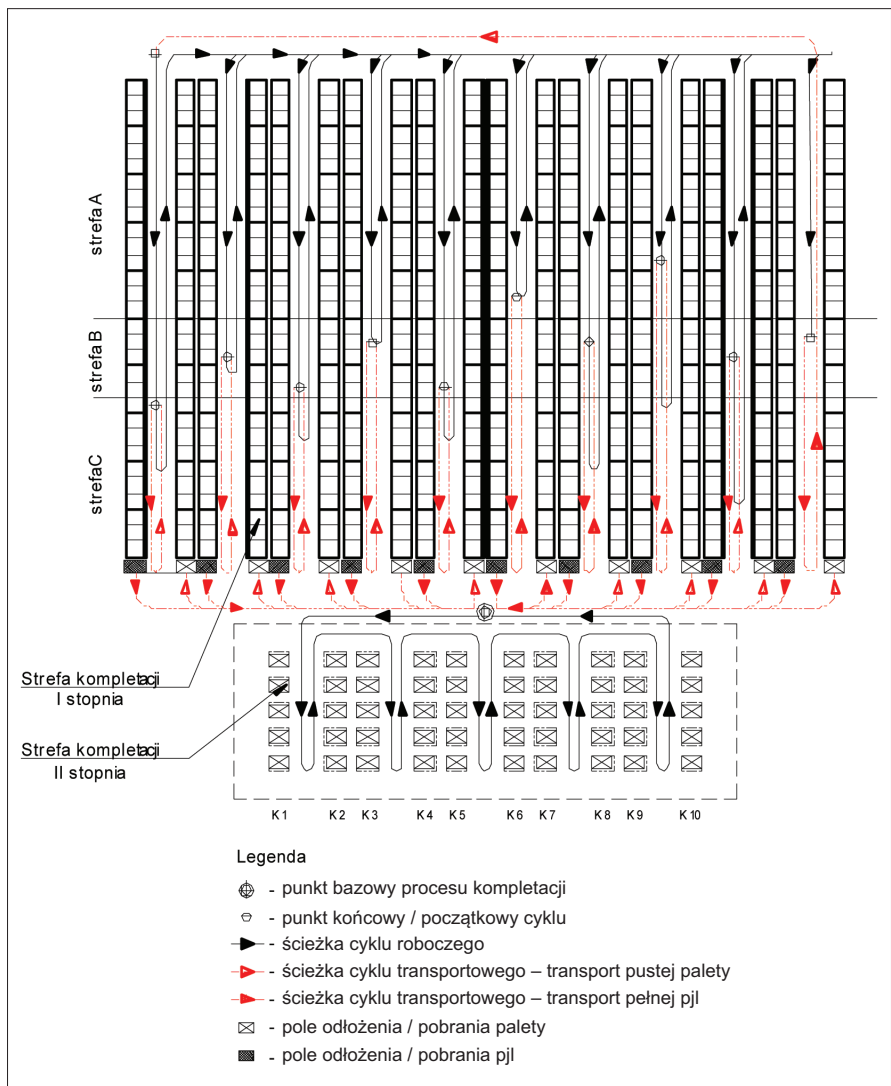
- grupa B i C – składowanie w postaci opakowań zbiorczych na półkach regałów regału paletowego
3. Adres kompletacji asortymentu stanowi:
- dla grupy A – numer miejsca paletowego
  - dla grupy B i C – numer miejsca półkowego
4. Do transportu towarów w procesie kompletacji towarów wykorzystywane są:
- wózki do kompletacji z widłami obrotowo-przesuwnymi – do bezpośredniej kompletacji wydań
  - wózki podnośnikowe czołowe – do transportu skompletowanych pjl z czoła regałów do strefy wydań oraz pustych palet z miejsca ich składowania na czoło regałów w strefie kompletacji
5. Kompletacja odbywa się „zlecenie po zleceniu” według porządku zgłoszenia zamówień, który jest zgodny z harmonogramem wydań (załadunku).

**Model D – Kompletacja dwuwymiarowa (wg asortymentów) z użyciem wózka kompletacyjnego – dwustopniowa.**

Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu D przedstawia rysunek 4.

Dla modelu D przyjęto następujące założenia technologiczne i organizacyjne:

1. Strefa kompletacji ulokowana jest na całej wysokości strefy składowania,
2. Technologia składowania uwzględnia wyniki analizy Pareto według wielkości wydań:
  - grupa A – składowanie w postaci pjl jednorodnych na wszystkich poziomach regału paletowego
  - grupa B i C – składowanie w postaci opakowań zbiorczych na półkach regałów regału paletowego
3. Adres kompletacji asortymentu stanowi:
  - dla grupy A – numer miejsca paletowego
  - dla grupy B i C – numer miejsca półkowego
4. Do transportu towarów w procesie kompletacji towarów wykorzystywane są:
  - wózki do kompletacji z widłami obrotowo-przesuwnymi – do bezpośredniej kompletacji wydań
  - wózki podnośnikowe czołowe – do transportu skompletowanych pjl z czoła regałów do strefy wydań oraz



Rys. 4. Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu D. Źródło: opracowanie własne.

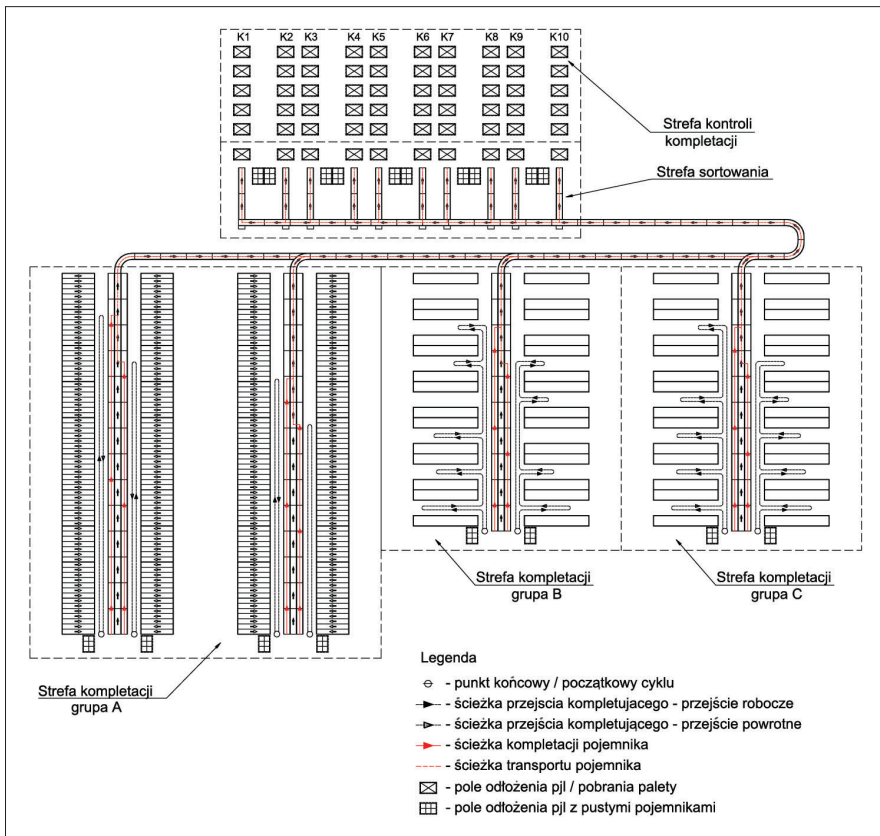
- pustych palet z miejsca ich składowania na czoło regałów w strefie kompletacji
  - wózki unoszące prowadzone do kompletacji II stopnia
5. Zlecenia przygotowywane będą partiami zbieranymi w określonych przedziałach czasowych,
  6. Rozdzielenie zebranych towarów na poszczególne zlecenia (drugi stopień kompletacji) odbywał się będzie w wydzielonej odrębnej strefie kompletacji II stopnia.

**Model E – Kompletacja wielostrefowa równoległa – z wykorzystaniem przenośnika oraz urządzenia sortującego.**

Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu E przedstawia rysunek 5.

Dla modelu E przyjęto następujące założenia technologiczne i organizacyjne:

1. Technologia składowania uwzględnia wyniki analizy Pareto według wielkości wydań:
  - grupa A – składowanie w postaci opakowań zbiorczych w gniazdach (kanałach) regału przepływowego
  - grupa B i C – składowanie w postaci opakowań zbiorczych na półkach regałów regału półkowego
2. Adres kompletacji asortymentu stanowi:
  - dla grupy A – numer kanału w regale przepływowym
  - dla grupy B i C – numer miejsca półkowego
3. Do transportu towarów w procesie kompletacji towarów wykorzystywane są:
  - przenośniki wałkowe do transportu skompletowanych towarów w specjalnych pojemnikach
  - wózki naładowne platformowe do kompletacji wydań asortymentów grupy B i C



Rys. 5. Schemat ideowy strefy kompletacji dla modelu E. Źródło: opracowanie własne.

4. Kompletacja odbywa się „zlecenie po zleceniu” według porządku zgłoszenia zamówień, który jest zgodny z harmonogramem wydań (załadunku).

## Narzędzia wspierające procesy decyzyjne

Potrzeba opracowania narzędzia informatycznego wspierającego realizację projektów konsultingowych w obszarze magazynowania została potwierdzona wieloletnimi doświadczeniami pracowników ILiM. Dotyczy to w szczególności procesu kompletacji, który z uwagi na swą złożoność i różnorodność wariantów realizacyjnych, jest często punktem krytycznym projektowanych rozwiązań.

W ramach realizowanych w Instytucie Logistyki i Magazynowania prac badawczych opracowana została aplikacja informatyczna KMA (Kompletacja MAgazyń). Aplikacja ta przeznaczona jest do analizy i optymalizacji wielokryterialnej opracowanych aktualnie 5 modeli technologiczno – organizacyjnych procesu kompletacji. Przyjęty w aplikacji podział parametrów charakteryzujących analizowane modele kompletacji wynika

z praktycznych doświadczeń autorów w realizacji licznych projektów konsultingowych. Odzwierciedla on najczęściej spotykaną strukturę danych wejściowych i parametrów wynikowych procesu kompletacji. W aplikacji przyjęto następujący podział parametrów procesu:

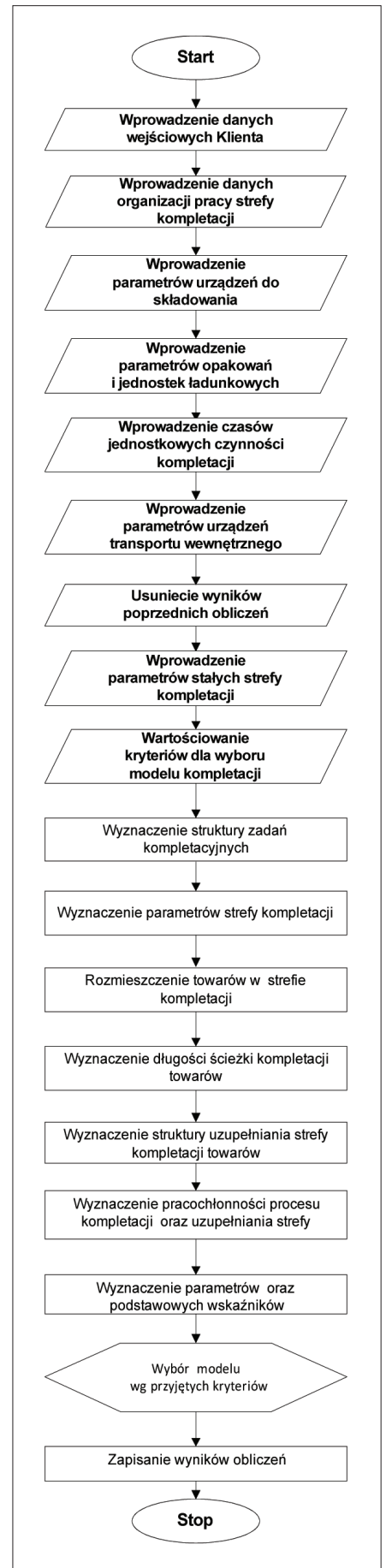
a) parametry wejściowe:

– stałe:

- dane klienta (dk) – parametry wynikające ze struktury asortymentowej zapasu i programów magazynowania, otrzymane od Klienta
- dane eksperta (de) – parametry stałe charakteryzujące przyjętą technologię i organizację procesu kompletacji, wprowadzane przez konsultanta
- zmienne (pz) – parametry organizacyjno – technologiczne podlegające optymalizacji w trakcie wyboru modelu kompletacji,

b) parametry wynikowe (wyjściowe) – parametry organizacyjno – technologiczne wyznaczane za pomocą opracowanych wzorów matematycznych.

Proces wyboru optymalnego modelu kompletacji odbywa się z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej w oparciu o wybrane parametry i wskaźniki oceny procesu kompletacji.



Rys. 6. Algorytm obliczeń parametrów strefy kompletacji oraz prędkości procesu. Źródło: opracowanie własne.

Na bazie zdobytych doświadczeń konsultingowych wybrane zostały następujące kryteria wyboru:

- *czas kompletacji zlecenia* [min] – czas realizacji jednego „Zlecenia wydania” od podjęcia zlecenia do odstawienia pjl wydania na pole odkładcze wydań
- *liczba zrealizowanych pozycji* [poz/rob. godz.] – łączna liczba zrealizowanych pozycji asortymentowych (wierszy) „Zleceń wydań” w ciągu 1 godziny pracy magazynu
- *nakłady inwestycyjne* [PLN] – łączne nakłady na wybudowanie i wyposażenie strefy kompletacji
- *koszty eksploatacyjne na pozycję kompletowaną* [PLN/poz.] – ponoszone koszty eksploatacyjne związane z kompletacją 1 pozycji na dokumencie
- *nakłady inwestycyjne na pozycję kompletowaną* [PLN/poz.] – poniesione nakłady inwestycyjne związane z kompletacją 1 pozycji na dokumencie.

Analiza wielokryterialna polega na uporządkowaniu kolejności rozpatrywanych modeli według wartości liczbowych poszczególnych czynników kryterialnych, od najgorszego do najlepszego.

Udział Klienta w procesie wyboru modelu optymalnego polega na nadaniu wagi znaczenia dla każdego czynnika kryterialnego. Wynikiem oceny analizowanych modeli według określonego kryterium jest iloczyn wyrażonej punktowo wartości czynnika i jego wagi. Ocenę końcową analizowanych modeli kompletacji stanowi suma wyników punktowych dla wszystkich kryteriów oceny.

Na rysunku 6 przedstawiono algorytm obliczania parametrów strefy kompletacji oraz pracochłonności procesu dla modeli kompletacji oraz wyboru modelu rekomendowanego

w oparciu o zadane kryteria wyboru. Obecnie trwają prace nad implementacją do aplikacji KMA kolejnego modelu kompletacji uwzględniającego możliwości mechanizacji i automatyzacji głównych czynności procesu.

#### LITERATURA

1. Fijałkowski J., *Technologia magazynowania. Wybrane zagadnienia*, Politechnika Warszawska, Warszawa 1995.
2. Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2000.
3. Gert Vogt, *Kommissionier Handbuch* 1989. Verlag Moderne Industrie. Landsberg 1989.
4. Kaczmarek M., *Mechanizacja procesów kompletacji w magazynach wyrobów sztukowych*, Instytut Gospodarki Magazynowej, Poznań 1989.
5. Korzeń Z., *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*, t. I i II, ILiM. Poznań 1999.
6. Fertsch M. (red. nauk.), *Słownik terminologii logistycznej*, ILiM, Poznań, 2005.
7. *Zarządzanie gospodarką magazynową* (praca zbiorowa), PWE 1997.
8. Praca zbiorowa: S-1310-0-2003 – *Zintegrowany system generowania wariantowych rozwiązań technologiczno – organizacyjnych magazynów*, ILiM, Poznań 2003.
9. Praca zbiorowa: S-1649-0-2004 – *Zintegrowany system generowania kombinowanych wariantów rozwiązań technologiczno-organizacyjnych magazynów – koncepcja*, ILiM, Poznań 2004.
10. Gudehus Timm, *Grunlagen der Kommissioniertechnik. Dynamik der Warenverteil- und Lagersysteme*, W. Girardet, Essen 1973.
11. Wojciechowski Ł., *Kompletacja a warianty wyposażenia magazynu*, „Magazynowanie i Dystrybucja”, nr 2/2008.
12. Niemczyk A., *Zarządzanie magazynem*, WSL, Poznań 2010.
13. M. Jacyna M., Kłodawski M., *Wybrane aspekty badania wydajności procesu komisjonowania*, „Logistyka”, nr 2/2012.