

**PROBLEMATYKA UZUPEŁNIANIA OBSZARÓW KOMPLETACJI
W MAGAZYNACH DYSTRYBUCYJNYCH**

**PROBLEMS OF ORDER-PICKING REPLENISHMENT IN
DISTRIBUTIONAL WAREHOUSES**

Konrad LEWCZUK

konrad.lewczuk@pw.edu.pl
<https://orcid.org/0000-0002-0152-8531>

Marcin ŁAJSZCZAK

marcin.lajszczak.dokt@pw.edu.pl

Politechnika Warszawska
Wydział Transportu

Streszczenie: *Proces kompletacji jest podstawowym czynnikiem kosztotwórczym i determinantą jakości w procesie magazynowym w łańcuchu dostaw. Efektywna kompletacja wymaga odpowiedniego układu technologicznego, dopasowanego do realizowanego zadania logistycznego, oraz strategii uzupełniania obszaru kompletacji, która będzie jednocześnie efektywna kosztowo i będzie zapewniała terminową realizację zadań kompletacji. W artykule przedstawiono problematykę uzupełniania obszarów kompletacji i omówiono podstawowe elementy strategii uzupełniania w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy.*

Abstract: *Order-picking process is the basic cost driver and warehouse process quality determinant in the supply chain. Effective picking requires a suitable technological system, tailored to the logistic task to be done, and a strategy for picking area replenishment, which will be both cost-effective and ensure timely completion of picking tasks. The paper presents the problem of replenishing picking areas and discusses the basic elements of the replenishment strategy with reference to the current state of knowledge.*

Słowa kluczowe: *kompletacja, magazynowanie, uzupełnianie, strategia*

Keywords: *order picking, warehousing, replenishment, strategy*

WSTĘP DO PROCESÓW KOMPLETACJI

Procesy kompletacji wysyłek w magazynach dystrybucyjnych (*kompletacja*, tj. zestawianie zazwyczaj niejednorodnych asortymentowo jednostek wysyłkowych zgodnie ze specyficznym poleceniem wydania generowanym przez nadrzędny dla magazynu system informacyjny) warunkują rozdział strumieni materiałów w łańcuchach dostaw. Są to podstawowe procesy logistyczne łańcucha dostaw obok transportu, planowania, tworzenia zapasu, prostego przetwarzania i usług dodanych (*value adding services*). Czasochłonność rozdziału oraz dostępność zapasu przygotowanego do pobrania wpływają na czas przepływu materiałów w łańcuchach dostaw, a więc pośrednio także na organizację procesów transportowych.

Kompletacja w magazynach wymaga pracy z jednostkami opakowaniowymi na różnych poziomach hierarchii opakowań logistycznych, a szczególnie z opakowaniami jednostkowymi.

Konieczność pracochłonnego manipulowania podstawowymi jednostkami produktów w trakcie kompletacji sprawia, że jest to czynnik błędotwórczy i istotny czynnik kosztotwórczy w łańcuchu dostaw, a tym samym istotny obszar badań i racjonalizacji. Badania nad kompletacją podejmowane są przez badaczy od lat 70. XX wieku, kiedy dostrzeżono potencjał tego obszaru i jego wpływ na jakość i koszt usług logistycznych (Berry 1968, Roberts 1972, House i Karrenbauer 1978). Jest to też podstawowy czynnik wpływający na terminowość realizacji zleceń, szczególnie w łańcuchach obsługujących odbiorców finalnych w e-commerce. Zwłaszcza ten ostatni element ma ogromne znaczenie w organizacji łańcuchów dostaw nastawionych coraz częściej na natychmiastową reakcję na zamówienie klienta, elastycznych, operujących na zróżnicowanym asortymencie i w ścisłych ramach czasowych narzucanych przez powszechny już model obsługi klientów *next business day*.

Jakość procesu kompletacji (zwłaszcza terminowość) jest ściśle związana ze strategią uzupełniania obszarów kompletacji, tj. technologią i organizacją, a także sterowaniem procesem uzupełniania obszarów kompletacji (por. Kłodawski i in. 2017). Jest to postulat praktyczny oraz wynikający z analizy literatury, jednak sformułowanie tego wniosku na podstawie pobieżnego przeglądu literatury nie jest łatwe. Wynika to z faktu, że liczba publikacji dotyczących procesów kompletacji jest bardzo duża (De Koster, Le-Duc i Roodbergen 2007), natomiast liczba publikacji dotyczących bezpośrednio procesów uzupełniania jest względnie niewielka (por. Van Gils i in. 2018). Stan układu kompletacji w magazynie (tj. liczba i parametry lokacji, sposób rozmieszczenia i dostępność asortymentu w lokacjach itd.) jest w dużej części opracowań traktowany jako ustalony – są to dane wejściowe, zaś uzupełnianie jest pomijane (np. Bukchin, Khmel'nitsky i Yakuel 2012, Hsieh i Tsai 2006, Lewczuk 2012a, 2013, Kłodawski i in. 2018). Inna kategoria opracowań zajmuje się samą konfiguracją strefy kompletacji w funkcji wykonywanych zadań (np. Petersen, Siu i Heiser 2005, Jacyna, Lewczuk i Kłodawski 2005). Niemniej w obu przypadkach procesy uzupełniania stref kompletacji nie są traktowane jako ograniczenie technologiczne i zakłada się ich (przeważnie) nadmiarową wydajność i pełną dostępność. Szczególne zainteresowanie badaczy dotyczy także rozmieszczenia produktów w strefach kompletacji (np. Van den Berg i in. 1998, Li, Moghaddam i Nof 2016), ale bez uwzględnienia procesów uzupełniania. Najmniej liczna jest zaś kategoria publikacji dotyczących procesów uzupełniania, które to w większości przypadków pojawiają się jako procesy towarzyszące kompletacji.

Procesy kompletacji i uzupełniania muszą być rozważane jednocześnie, jako jedno zadanie. Możliwości uzupełniania, jak i kompletacji wynikają z układu technologicznego magazynu (wyposażenie, przestrzeń, zasoby ludzkie), organizacji (czas dysponowany realizacji zadań i logiki przemieszczania w magazynie i grupowania zadań) i zapasu (Baker i Canesa 2009, Lewczuk 2012b, 2016, Van Gils i in. 2018).

1. MIARY WSPOMAGAJĄCE OCENĘ STRATEGII PROCESU UZUPEŁNIANIA

Polecenie wydania materiałów z magazynu zgłaszane przez nadrzędny system informacyjny (np. ERP) powinno być realizowane niezwłocznie lub w określonym oknie czasowym – jeżeli zostało podane (por. Hompel i Schmidt 2007). Ponieważ wydanie materiałów może odbywać się wieloma ścieżkami technologicznymi (strategie procesu magazynowego, rys. 1, por. Kłodawski i in. 2017), kompletna wysyłka będzie gotowa w momencie zakończenia realizacji ostatniej składowej tej wysyłki. Na rys. 1 przedstawiono wybrane przebiegi procesu magazynowego wydania ze względu na czas realizacji. Procesy uzupełniania, poprzedzające kompletację, mogą być realizowane wyprzedzająco lub po zarejestrowaniu polecenia wydania w systemie – w zależności od potrzeb i dysponowanych zasobów (przestrzeni i środków pracy). W tym drugim przypadku mogą wpływać na całkowity czas realizacji wysyłki z magazynu.

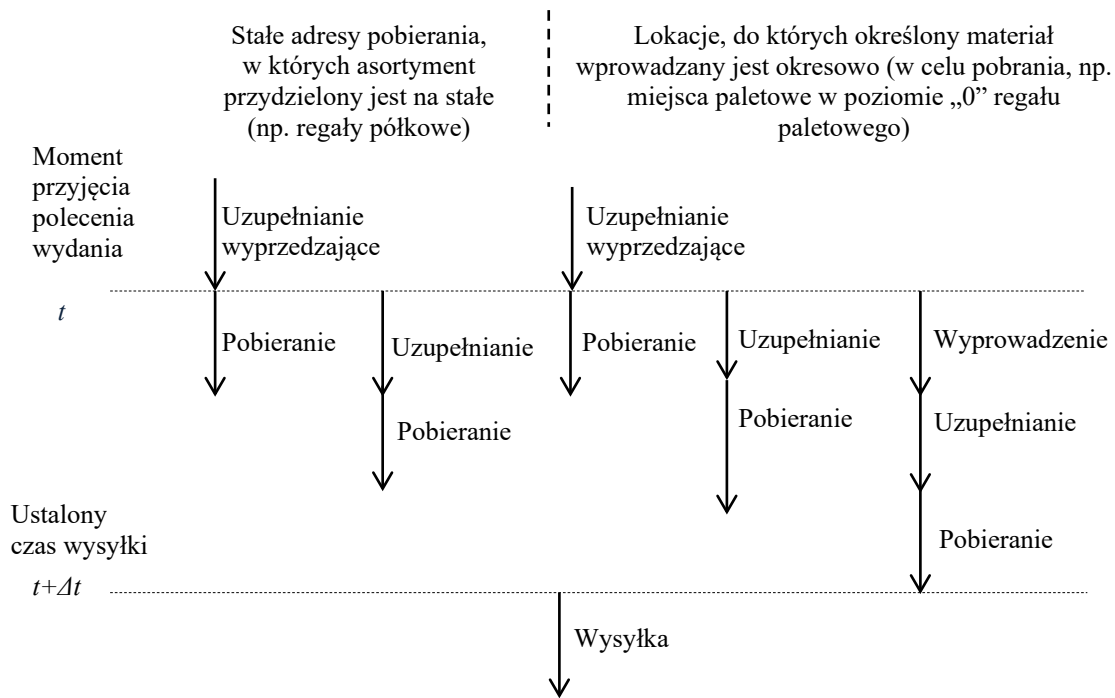
Czas i terminowość realizacji zlecenia klienta, zależna pośrednio od dostępności materiałów w strefie rezerw oraz strefach kompletacji, jest podstawowym kryterium oceny jakości procesu kompletacji. Poza tym wyróżnić można następujące miary (Jacyna i Lewczuk 2016):

1. Czasy:

- realizacji pojedynczej linii wydania,
 - realizacji zlecenia klienta o ustalonej strukturze,
 - realizacji wysyłki (zbiór zleceń, który ma być wysłany jednym pojazdem).
2. Wskaźnik zleceń modelowych (*Perfect Order Rate*), który, w przypadku magazynów ściśle związany z: $OTIFEF_{out}$ (*On-Time In-Full Error-Free*), wskaźnikiem określającym jakość wysyłek do odbiorców definiowanym jako (Jacyna-Gołda i Lewczuk 2017):

$$OTIFEF_{out} = P_{OTout} \cdot P_{IFout} \cdot P_{EFout} \quad (1)$$

gdzie: P_{OTout} , P_{IFout} i P_{EFout} to odpowiednio prawdopodobieństwa terminowej, kompletnej i bezbłędnej realizacji wszystkich wysyłek (dobowych) w magazynie.



Rys. 1. Schemat czasowy realizacji procesu kompletacji w układzie człowiek do materiału
Źródło: Opracowanie własne.

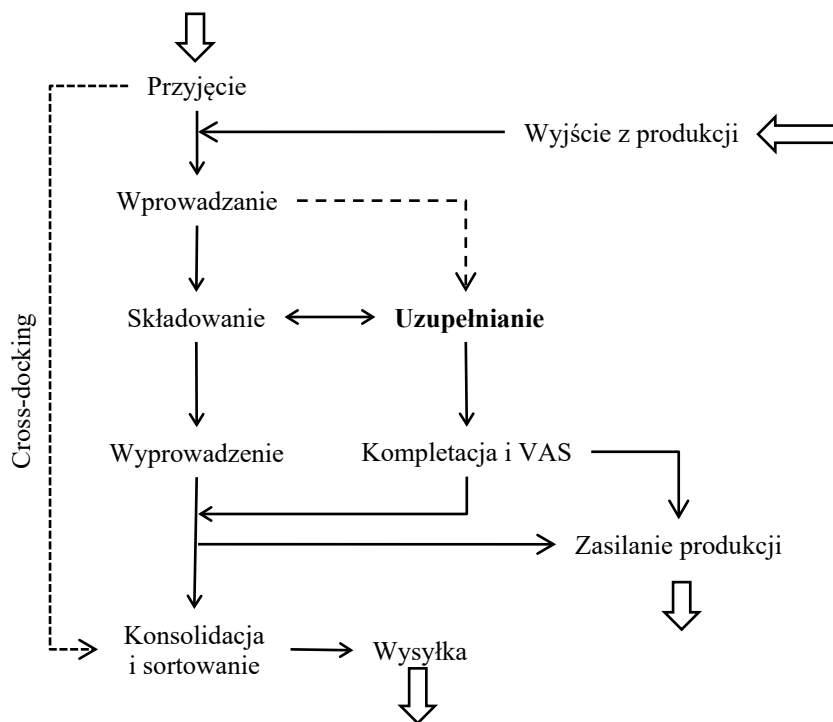
3. Koszty przestrzeni magazynowej i koszty transportu wewnętrznego, wyznaczone w odniesieniu do pracochłonności procesów magazynowych i przypisanych zasobów (procedura wyznaczania kosztów – Jacyna i Lewczuk, 2016).

Wskaźnik *OTIFFout* jest kompleksową miarą jakości procesu wysyłki, który może być śledzony jako kluczowy wskaźnik oceny jakości (KPI) procesu magazynowego, jednak jest trudny do oszacowania na etapie projektowania i organizacji procesów magazynowych. Zwłaszcza składowe jakościowe *OTIFFout*: prawdopodobieństwo wysyłki zawierającej błąd jakościowy lub ilościowy wydania wszystkich zamówionych materiałów są trudne do oszacowania. Pierwszy z nich zależny jest od czynnika ludzkiego, który można minimalizować przez wprowadzanie technologii zautomatyzowanych, kontrolę i ustalanie ścisłych procedur realizacji. Druga składowa jest czynnikiem zależnym głównie od dostępności materiału w magazynie, która z kolei jest wynikiem jakości planowania zaopatrzenia w łańcuchu dostaw (pomijając oczywiście błąd pracownika polegający na wydaniu zbyt małej liczby jednostek materiału). Nie jest więc bezpośrednio zależna od organizacji procesów uzupełniania i kompletacji. Za to czynnik terminowości (bez uwzględnienia procesów w łańcuchu dostaw, a jedynie procesów w magazynie) jest ściśle zależny od organizacji procesów kompletacji i uzupełniania.

2. PROCESY UZUPELNIANIA – STRATEGIA UZUPELNIANIA

2.1. Uzupełnianie w procesie magazynowym

Proces uzupełniania jest składową procesy magazynowej polegającą na dostarczeniu wymaganej ilości jednostek określonego materiału do obszarów kompletacji, według pewnej **strategii uzupełniania**, w celu utrzymania ciągłości procesu kompletacji, przy racjonalnym wykorzystaniu dostępnej przestrzeni, minimalnej pracochłonności i zachowaniu określonej jakości procesu (rys. 2).



Rys. 2. Ogólny schemat procesu magazynowego

Źródło: Opracowanie własne.

Tym samym **strategię** zdefiniowano jako plan uzupełniania obszaru kompletacji, uwzględniający stan zatowarowania tego obszaru oraz znane i przewidywane polecenia wydania materiału z tego obszaru. Strategię uzupełniania można interpretować jako algorytm opisujący kolejność i zakres uzupełniania lokacji magazynowych uwzględniający przydział zasobów technicznych i ludzkich do zadań oraz potrzeby procesu kompletacji.

2.2. Czynniki techniczne i organizacyjne wpływające na strategię uzupełniania

Przy założeniu, że kompletacja odbywa się na zasadzie człowiek-do-materiału, czynniki wpływające na dobór strategii uzupełniania w magazynie obejmują następujące zagadnienia:

1. **Technologia składowania** (w strefie rezerw), **oferowania** (w strefie kompletacji) i **pobierania** materiałów – zastosowane systemy regałowe i zgodne z nimi systemy transportu wewnętrznego.

Systemy regałowe w strefach rezerw są konfigurowane pod kątem dobrego wykorzystania przestrzeni, co z kolei wymaga korzystania ze zintegrowanych (najczęściej paletowych) jednostek magazynowych skupiających znaczne ilości materiałów. W strefach kompletacji z kolei nacisk kładziony jest na oferowanie do pobrania niewielkich, sztukowych ilości materiału (bardzo często bez nośnika). To z kolei wymusza dodatkowe procesy związane z rozformowaniem jednostki ze strefy rezerw, pobraniem pewnej ilości materiału i odłożeniem jej w strefie kompletacji. W większości przypadków zaangażowane muszą zostać przynajmniej dwie różne technologie transportu (w obrębie strefy rezerw i w obrębie strefy kompletacji), chociaż zależy to od wzajemnego rozmieszczenia stref (Jacyna, Lewczuk i Kłodawski 2015).

2. Wzajemne rozmieszczenie stref rezerw i stref kompletacji. Strefy te organizuje się na trzy zasadnicze sposoby: strefy rozłączne (przeważnie oddzielne technologie składowania i transportu wewnętrznego), strefy zintegrowane (te same regały do oferowania i składowania oraz te same urządzenia), rozwiązania mieszane.
3. Charakterystyka i przydział zasobów technicznych (urządzenia, pracownicy) do zadań, ze szczególnym uwzględnieniem technicznych aspektów dostępności urządzeń do lokacji, a także ergonomii wykorzystania w procesie kompletacji (Larco i in. 2017).
4. Charakterystyki jednostek magazynowych materiałów oraz jednostek kompletowanych (hierarchia opakowań).
5. Charakterystyki lokacji w strefie kompletacji oraz możliwość / konieczność stosowania jednostek pomocniczych takich jak kartony zbiorcze lub kontenery plastikowe ułatwiających manipulację.
6. Progi uzupełniania lokacji w strefie kompletacji, określające konieczność uzupełnienia danej lokacji. Nisko ustawiony próg uzupełniania będzie generował mniej cykli uzupełniania, ale może dojść do wyczerpania produktu w lokacji i opóźnienia wydania. Wysoki próg uzupełniania będzie wymuszał częstsze uzupełnianie, ale zwiększy niezawodność pobierania.
7. Metody organizacji kompletacji: wykorzystanie grupowania linii (*batch-picking*), grupowania zleceń (*multiorder picking*) i pracy falowej (*wave picking*) i analogiczne metody organizacji uzupełniania: uzupełnianie wieloasortymentowe lub jednoasortymentowe, Lewczuk 2012b).
8. Harmonogram realizacji kompletacji i uzupełniania (rozdzielne lub łączne realizowanie obu zadań i czas dysponowany dla obu procesów, Jacyna i Lewczuk 2016).
9. Decyzje operacyjne wynikające z analizy danych historycznych i prognoz dotyczących przepływów materiałowych ukierunkowujące przepływ materiałów: kiedy, ile, którego materiału (produktu), skąd pobrać, i w której lokacji odstawić.
10. Zastosowanie analizy ABC i XYZ (oraz pochodnych, np. COI) do rozłożenia materiałów w strefach magazynowych (por. Li, Moghaddam i Nof 2016, Kłodawski i in. 2018).

11. Zastosowanie stałego lub zmiennego przydziału lokacji w strefie kompletacji.
12. Koszty jednostkowe realizacji zadań i utrzymania systemów technicznych.
13. Koszty przestoju spowodowane brakiem możliwości kompletacji w określonej chwili.

Procesy kompletacji mogą być realizowane na bardzo wiele różnych sposobów i w bardzo wielu różnych technologiach. Potencjalna liczba rozwiązań tych układów jest znaczna i trudna do oszacowania. Sprawia to, że zagadnienie organizacji uzupełniania również jest obszerne i wieloaspektowe. Dla ustalonej klasy systemów komisjonowania i realizowanych przez nie zadań logistycznych możliwe jest ustalenie strategii uzupełniania zwiększających efektywność i niezawodność wydania.

Operacyjną strategię uzupełniania można zdefiniować w sposób ogólny jako *plan uzupełniania obszaru kompletacji, uwzględniający stan zatowarowania obszaru kompletacji oraz znane i przewidywane polecenia wydania materiału z tego obszaru. Jest to algorytm definiujący kolejność i zakres uzupełniania lokacji magazynowych uwzględniający przydział zasobów technicznych i ludzkich do zadań oraz potrzeby procesu kompletacji*. Strategię uzupełniania można formułować także w szerszym aspekcie dodając do niej elementy doboru wyposażenia magazynowego i konfiguracji przestrzenno-funkcjonalnej.

Ze względu na zmienność warunków operacyjnych pracy magazynu możliwe jest sformułowanie także *profilu strategii uzupełniania*, tj. zbioru strategii, odpowiednich dla różnych układów technologicznych i organizacyjnych obszaru magazynu. Zapis strategii oznacza nadanie wartości liczbowych panelowi zmiennych decyzyjnych określających parametry ilościowe, czasowe i inne dotyczące planowania operacji uzupełniania obszaru kompletacji.

2.3. Ogólny model formalny strategii uzupełniania

Wyznaczanie racjonalnej strategii uzupełniania obszarów kompletacji jest wielowymiarowym zadaniem organizacyjnym i technicznym, które może zostać sformułowane w postaci modelu matematycznego. Model strategii uzupełniania obszarów kompletacji magazynu dystrybucyjnego pozwoli na zwiększenie jakości i efektywności procesu kompletacji. W sposób uogólniony strategię można zapisać jako szóstkę uporządkowaną:

$$SUOK = \langle UTK, PW, CS, ZP, OP, F \rangle \quad (2)$$

gdzie:

UTK – układ technologiczny obszaru kompletacji definiujący **relacje przestrzenne** zagadnienia i definiuje pojemności poszczególnych lokacji w odniesieniu do charakterystyk asortymentu,

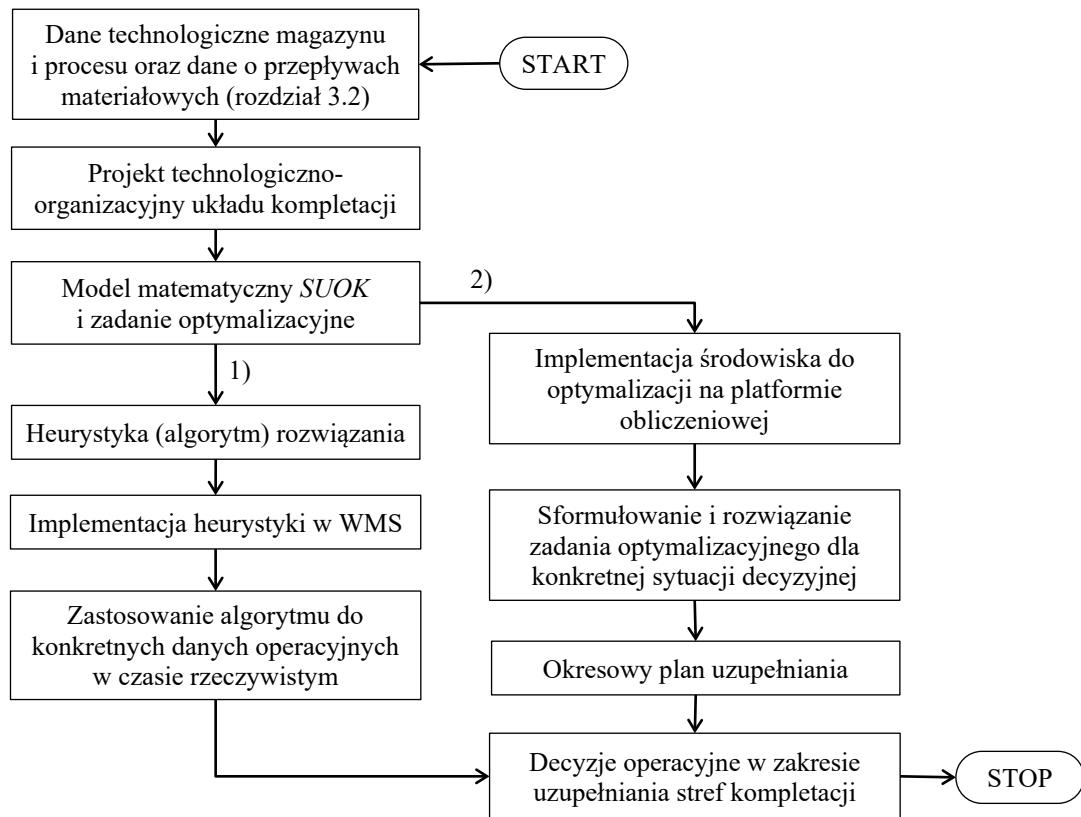
- PW** – polecenia wydania materiału, **wymuszenie** w postaci wektora poleceń wydania zadającego ilości i rodzaje wydawanych materiałów oraz czas wymaganego wydania w sposób zdeterminowany lub losowy,
- CS** – charakterystyki materiału (asortymentu) określające **postać** niepodzielnych opakowań jednostkowych oraz hierarchię opakowań,
- ZP** – zasoby pracy, dysponowane urządzenia oraz pracownicy, które wyznaczają **potencjał obsługowy** systemu,
- OP** – organizacja pracy uwzględniająca logiki przemieszczania i grupowania pracy oraz zasady przydziału asortymentu do lokacji,
- F** – funkcje jakości tworzące **zestaw kryteriów** oceny jakości procesu uzupełniania, który pozwala na budowę cząstkowych zadań optymalizacyjnych,

Konkretna strategia uzupełniania musi być dostosowana do określonego przypadku magazynu. Budowa modelu strategii w pełnej formie, nawet bardzo ogólnego, wymaga określenia (ustalenia wartości lub uzmiennienia) większości czynników wymienionych w rozdziale 2.2. Czynniki te dodatkowo prezentują same w sobie szerokie klasy problemów optymalizacyjnych.

Model strategii uzupełniania obszarów kompletacji może być opracowany na dwa sposoby (rys. 3.), jako:

1. statyczny *algorytm* wykorzystujący dane operacyjne systemu kierowania magazynem,
2. formułowane i rozwiązywane w czasie rzeczywistym *zadanie optymalizacyjne*.

W pierwszym przypadku decyzje tworzące strategię podejmowane są w oparciu o ustalony schemat decyzyjny – algorytm (np. porównujący wartości liczbowe uzyskane z systemu i predefiniowane w algorytmie). Algorytm opracowany jest przed wdrożeniem systemu i wykorzystywany jest do rozwiązania określonej klasy problemów decyzyjnych związanych z uzupełnianiem. Rozwiązaniem pierwotnego problemu, jakim jest ustalenie strategii uzupełniania jest więc uniwersalny algorytm przeznaczony do rozwiązania określonej klasy problemów. Pozwala on następnie na przybliżone rozwiązywanie specyficznej instancji tego problemu. Ze względu na uniwersalizm i względną prostotę takiego algorytmu, rozwiązania wykazują cechy racjonalności, jednak nie ma gwarancji optymalności. Zastosowanie takiego algorytmu ogranicza się do podejmowania decyzji operacyjnych w czasie rzeczywistym. Z drugiej strony do implementacji algorytmu nie są wymagane duże zasoby obliczeniowe, a jego okresowa modyfikacja nie nastęrcza trudności.



Rys. 3. Implementacja modelu matematycznego *SOUK*

Źródło: Opracowanie własne.

W drugim przypadku zadanie optymalizacyjne jest formułowane (w oparciu o pewną kanwę strukturalną) dla każdego przypadku decyzyjnego oddzielnie. Następnie zadanie takie jest rozwiązywane dokładnie lub metodami przybliżonymi (heurystyki). Zautomatyzowane formułowanie zadania i jego rozwiązanie są znacznie bardziej złożonymi czynnościami niż proste wykonanie algorytmu, jak w punkcie 1. Wymaga to większych zasobów obliczeniowych i środowiska obliczeniowego dostosowanego do takiej pracy. Z tego względu rozwiązania takie wymagają specjalizowanych platform obliczeniowych współpracujących z systemami kierowania magazynem. Są one drogie w implementacji i mogą okazać się nieelastyczne, jednakże pozwalają na rozwiązanie bardziej złożonych problemów i prawdopodobnie będą dawały lepsze jakościowo rezultaty. Dodatkowo podejście takie może pozwolić na uwzględnienie większej liczby czynników i zamiast prostych decyzji operacyjnych w czasie rzeczywistym może służyć do generowania planów okresowych, np. godzinowych lub dobowych, dostosowujących strategię uzupełniania do konkretnych warunków.

PODSUMOWANIE

Proces magazynowy jest powtarzalnym procesem logistycznym o wyróżnialnych etapach realizowanych za pomocą określonych technologii. W większości obiektów o charakterystyce

magazynowej procesy wydania, a w szczególności kompletacji, mają najwyższy priorytet realizacji. Założenie to jest podstawą konstrukcji szerokiej klasy systemów kierowania magazynem (WMS). Procesy uzupełniania obszarów kompletacji są drugie w kolejności, gdyż decydują o gotowości obszarów kompletacji do realizacji zadań.

Zapewnienie ciągłości przepływu materiałów w systemie logistycznym jest zasadniczym postulatem organizacyjnym. Ciągłość przepływów wynika z dostępności zasobów realizacji procesu logistycznego, przestrzeni do realizacji oraz dostępność materiałów w określonym miejscu i czasie. Zapewnienie nadmiarowych zasobów, przestrzeni i zapasu jest rozwiązaniem skutecznym, ale nieefektywnym. Ograniczone zasoby wymuszają opracowanie metod organizacyjnych zwiększających efektywność procesu przy ograniczonych zasobach.

Poprawnie opracowana i wdrożona strategia uzupełniania może zwiększyć efektywność procesów logistycznych, jednakże jest to złożone zagadnienie wielokryterialne, które uwzględnia także cechy trudno mierzalne związane z jakością. Model matematyczny pozwoli na formułowanie złożonych z punktu widzenia obliczeń problemów kombinatorycznych tworzących strategię uzupełniania. Implementacja algorytmu rozwiązania lub mechanizmu optymalizującego (rys. 3.) wymaga wykorzystania narzędzi dopasowanych do cech zagadnienia. Zasadne jest rozważenie wykorzystania metod sztucznej inteligencji – sztucznych sieci neuronowych (SSN) na etapie kształtowania strategii, przy czym problemy składowe będą rozwiązywane z wykorzystaniem metod analitycznych (<https://medium.com>). SSN mogą zostać włączone do wielostopniowego algorytmu wyznaczania strategii uzupełniania. Pozwolą one na realizację iteracyjnego, dialogowego narzędzia wspomagającego organizację układów uzupełniania i kompletacji w magazynach dystrybucyjnych.

Badanie zagadnienia racjonalizacji procesów uzupełniania obszarów kompletacji wpisuje się w obszar badań o potencjalnie dużym znaczeniu dla procesów dystrybucji dóbr. Procesy dystrybucyjne w otoczeniu globalnym przyspieszają i zwiększa się ich skala. Poszukiwanie nowych możliwości racjonalizacji ich elementów jest konieczne dla utrzymania aktualnego tempa wzrostu przepływów materiałowych i dalszego obniżania ich kosztów.

LITERATURA

1. BAKER, P., & CANESSA, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European journal of operational research*, 193(2), 425-436.
2. BERRY, J. R. (1968). Elements of warehouse layout. *The International Journal of Production Research*, 7(2), 105-121.
3. BUKCHIN, Y., KHMELNITSKY, E., & YAKUEL, P. (2012). Optimizing a dynamic order-picking process. *European Journal of Operational Research*, 219(2), 335-346.

4. DE KOSTER, R., LE-DUC, T., & ROODBERGEN, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2), 481-501. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.07.009.
5. HOMPEL, M., & SCHMIDT, T. (2006). *Warehouse management: automation and organisation of warehouse and order picking systems*. Springer Science & Business Media.
6. HOUSE, R. G., & KARRENBAUER, J. J. (1978). Logistics system modelling. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 8(4), 189-199.
7. HSIEH, L. F., & TSAI, L. (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5-6), 626-637.
8. JACYNA, M., LEWCZUK, K. (2016). Projektowanie systemów logistycznych. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
9. JACYNA, M., LEWCZUK, K., & KŁODAWSKI, M. (2015). Technical and organizational conditions of designing warehouses with different functional structures. *Journal of KONES*, 22(3), 49-58. DOI: 10.5604/12314005.1165971.
10. JACYNA-GOLDA, I., & LEWCZUK, K. (2017). The method of estimating dependability of supply chain elements on the base of technical and organizational redundancy of process. *Eksploatacja i Niezawodność*, 19(3), 382-392.
11. KŁODAWSKI, M., JACHIMOWSKI, R., JACYNA-GOLDA, I., & IZDEBSKI, M. (2018). Simulation analysis of order picking efficiency with congestion situations. *International Journal of Simulation Modelling*, 17(3), 431-443.
12. KŁODAWSKI, M., LEWCZUK, K., JACYNA-GOLDA, I., & ŻAK, J. (2017). Decision making strategies for warehouse operations. *Archives of Transport*, 41(1), 43-53. DOI: 10.5604/01.3001.0009.7384.
13. LARCO, J. A., DE KOSTER, R., ROODBERGEN, K. J., & DUL, J. (2017). Managing warehouse efficiency and worker discomfort through enhanced storage assignment decisions. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6407-6422, DOI: 10.1080/00207543.2016.1165880.
14. LEWCZUK, K. (2012). Selected aspects of organizing order-picking process with dynamic assignment of material to locations. In *Carpathian Logistics Congress, CLC* (pp. 565-571).
15. LEWCZUK, K. (2012). Zasady organizacji przepływów materiałowych w obszarach funkcjonalnych magazynów. *Logistyka*, 2, 865-877.
16. LEWCZUK, K., (2013). Badanie procesu komisjonowania z dynamicznym przydziałem jednostek do lokacji. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Transport*, 89, 65-83.
17. LEWCZUK, K. (2016). Dependability issues in designing warehouse facilities and their functional areas/Zagadnienia niezawodności w projektowaniu magazynów i ich obszarów funkcjonalnych magazynów. *Journal of KONBiN*, 38(1), 201-228, doi: 10.1515/jok-2016-0024.
18. LI, J., MOGHADDAM, M., & NOF, S. Y. (2016). Dynamic storage assignment with product affinity and ABC classification—a case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9-12), 2179-2194, DOI: 10.1007/s00170-015-7806-7.

19. PETERSEN, C. G., SIU, C., & HEISER, D. R. (2005). Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(10), 997–1012.
20. ROBERTS, S. D., & REED JR, R. (1972). Optimal warehouse bay configurations. *AIIE Transactions*, 4(3), 178-185.
21. VAN DEN BERG, J. P., SHARP, G. P., GADEMANN, A. N., & POCHE, Y. (1998). Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-load replenishments. *European journal of operational research*, 111(1), 98-113.
22. VAN GILS, T., RAMAEKERS, K., CARIS, A., & DE KOSTER, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1), 1-15. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.09.002.
23. <https://medium.com/@teamrework/deep-learning-in-production-warehousing-with-amazon-robotics-571e69fea721> (1.03.2019).