

Dariusz WIĘCEK
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Inżynierii Produkcji
d_wiecek@ath.bielsko.pl

WIELOKRYTERIALNA OCENA SYSTEMÓW AUTOMATYZACJI PROCESÓW LOGISTYKI PRODUKCJI

Streszczenie. W niniejszym artykule opisano wybrane narzędzia systemów automatyzacji procesów logistycznych (SALP) oraz przedstawiono krótką charakterystykę wielokryterialnej metody podejmowania decyzji PROMETHEE z punktu widzenia zastosowania jej do oceny rezultatów wdrożenia SALP w obszarze logistyki produkcji. W ostatniej części zaproponowano metodykę przygotowania danych wymaganych w procesie oceny wdrożenia SALP na podstawie narzędzi modelowania i symulacji.

Słowa kluczowe: Systemy automatyzacji procesów logistycznych, wielokryterialne wspomaganie podejmowania decyzji, mapowanie procesów

MULTI-CRITERION ASSESSMENT OF PRODUCTION LOGISTICS PROCESSES AUTOMATION

Abstract. In this paper, author described chosen tools of systems of logistic processes automation (SALP) and shortly characterized the multi-criteria decision making method PROMETHEE in terms of using it in assessment of implementing SALP in production logistics. In the last part, a methodology of preparing data required in assessment of SALP implementing process, basing on modelling and simulation tools, was proposed.

Keywords: automation systems of logistic processes, multi-criteria decision making, mapping of process

1. Wprowadzenie

Wdrażanie systemów automatyzacji procesów w obszarze logistyki produkcji wymaga od przedsiębiorstw analizy postawionych celów opisanych za pomocą zbioru wskaźników ilościowych i jakościowych¹.

Przegląd literatury związany z wdrażaniem systemów automatyzacji procesów logistycznych w obszarze wytwarzania dotyczy takich zagadnień, jak: wzrost wartości firmy, zyski, zwrot inwestycji, integracji z innymi systemami, kosztów wdrożenia oraz wpływu czynnika ludzkiego w procesie wdrażania i funkcjonowania takich systemów. Ponadto w literaturze przedstawiono opracowania dotyczące pilotażowych wdrożeń z punktu widzenia analiz konkretnych przypadków. Badania te najczęściej są ukierunkowane na uwarunkowania konkretnych przedsiębiorstw lub procesów². Badania niektórych autorów dotyczyły analizy korzyści z wdrożenia systemów automatycznej identyfikacji, obniżenia kosztów procesów wytwarzania, kosztów magazynowania i innych kosztów procesu produkcyjnego, jako korzyści w procesie analizy zwrotu nakładów inwestycyjnych wdrożenia SALP^{3,4}. Analizy te wydają się być oparte na bardzo skomplikowanych modelach matematycznych, które nie sprzyjają zastosowaniu ich w procesie podejmowania decyzji menadżerskich. Ponadto przeprowadzono wiele badań, które wykorzystywały metody jakościowe oceny dotyczące różnego rodzaju zastosowań SALP⁵. Inną grupą opracowań są raporty tworzone przez producentów i integratorów rozwiązań SALP. Dla celów podejmowania decyzji inwestycyjnych i wdrożeniowych opracowania takie mogą być źródłem zbyt optymistycznych informacji⁶.

W ramach analizy literatury zwrócono również uwagę na trudności w ustalaniu korzyści z wdrożenia systemu SALP w obszarze wytwarzania, na podstawie metod i narzędzi przedstawionych w dotychczasowych opracowaniach literaturowych.

W takiej sytuacji pojawia się potrzeba opracowania metodyki postępowania w celu oceny różnych rozwiązań SALP w różnorodnych warunkach organizacyjno-techniczno-finansowych. Bardzo istotnym elementem takiej metodyki jest określenie kryteriów oceny w celach podejmowania decyzji przez menadżerów.

¹ Bendkowski J.: Logistyka jako strategia zarządzania produkcją. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, nr 63. Politechnika Śląska, Gliwice 2013, s. 7-25.

² Vis I.F.: Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. „European Journal of Operational Research”, No. 170(3), 2006, p. 677-709.

³ Lee Y., Cheng F., Leung Y.: Exploring the impact of RFID on supply chain dynamics. Winter Simulation Conference, 2004, p. 1145-1152.

⁴ Sarac A., Absi N., Dazere-Peres S.: A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. „Journal of Chemical Information and Modeling”, No. 53(9), 2013, p. 327-332.

⁵ Lee Y., Cheng F., Leung Y.: op.cit.

⁶ Domdouzis K., Kumar B., Anumba C.: Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction. „Advanced Engineering Informatics”, No. 21(4), 2007, p. 350-355.

2. Narzędzia automatyzacji procesów logistycznych w obszarze logistyki produkcji (SALP)

2.1. Automatyczna identyfikacja – kody kreskowe

Kody kreskowe to nowoczesna, najtańsza i jedna z najbardziej efektywnych technik gromadzenia i wprowadzania danych do systemu komputerowego. Można je spotkać na wszystkich produktach, począwszy od produktów spożywczych przez zabawki, książki, odzież, skończywszy na towarach z branży motoryzacyjnej. Stosowanie kodów umożliwia automatyczną identyfikację towarów na magazynie⁷.

„Kod kreskowy jest to wzór równoległych, prostokątnych, jasnych i ciemnych kresek lub komórek, uporządkowanych zgodnie z opisami poszczególnych symbolik w celu przedstawienia danych w postaci czytelnej maszynowo”⁸.

2.2. Automatyczna identyfikacja – system radiowej identyfikacji RFID

System RFID jest to technologia umożliwiająca bezprzewodową identyfikację przedmiotów, które są wyposażone w specjalnie zaprogramowane etykiety RFID, tzw. tagi lub transpondery. Odczytywanie bądź zapisywanie informacji w tagach odbywa się w czasie rzeczywistym, co przyspiesza i automatyzuje wszystkie procesy⁹.

W porównaniu z technologią kodów kreskowych system RFID zapewnia wysoką funkcjonalność i niezawodność. W bardzo łatwy sposób identyfikuje się produkty znajdujące się na magazynie bądź przebywające na różnych etapach produkcji. Stosowany wszędzie tam, gdzie obecnie funkcjonują kody kreskowe. Niewątpliwie wdrożenie systemu bezprzewodowej identyfikacji niesie za sobą szereg zalet¹⁰:

- odporny na niekorzystne warunki zewnętrzne: pył, wilgoć, wysokie i niskie temperatury,
- przyspiesza wszystkie procesy logistyczne,
- zwiększa efektywność pracy,
- identyfikuje i śledzi towary będące w ruchu,
- nie wymaga bezpośredniego kontaktu z urządzeniem odczytującym,
- odczyt wielu tagów w tym samym czasie,
- likwiduje błędy ludzi, np. w doborze odpowiedniej części na produkcji,
- automatyzuje pracę.

⁷ Hałas E.: Kody kreskowe i inne globalne standardy w biznesie. Biblioteka Logistyki, Poznań 2012.

⁸ Ibidem.

⁹ Sarac A., Absi N., Dauzere-Peres S.: op.cit.

¹⁰ Domdouzis K., Kumar B., Anumba C.: op.cit.

Największą i najcenniejszą zaletą wprowadzenia systemu RFID do przedsiębiorstwa, jest ograniczenie czasu na identyfikację produktów. Używając kodów kreskowych, pracownik musiał ręcznie wprowadzić każdy towar do systemu, wydłużając przyjęcia na magazynach lub montaż podzespołów. Dzięki odczytywaniu przez system radiowy przedmiotów w większych ilościach, zyskujemy stracony czas, który możemy przeznaczyć na różne czynności. Czas szczególnie ważny jest w produkcjach seryjnych, gdzie każda zmarnowana sekunda przynosi stratę dla przedsiębiorstwa.

2.3. Transport wózkami typu AGV

Wózki AGV (ang. *automated guided vehicle*) są to wózki, których obsługiwanie, prowadzenie odbywa się automatycznie za pomocą odpowiednich układów nawigacji, bez potrzeby obsługi bezpośredniej przez operatora. W praktyce zastosowanie wózków AGV wynika z czynników, jakie przedstawiają potrzeby wyeliminowania lub zmniejszenia czynności wykonywanych przez człowieka w obszarze produkcji, pomieszczenia magazynowego lub w innej przestrzeni przedsiębiorstwa. Celem wykorzystania wózków AGV jest¹¹:

- zwiększenie bezpieczeństwa pracowników podczas wykonywania pracy (np. w warunkach zagrażających zdrowiu i życiu pracowników),
- zwiększenie efektywności w przeprowadzanych czynnościach,
- zwiększenie dokładności oraz powtarzalności podczas wykonywanych operacji.

Projektowanie układów pracy wózków AGV odbywa się poprzez wybranie odpowiedniego systemu do kierowania nimi. Wybór systemu nawigacji związany jest z warunkami pracy panującymi w przedsiębiorstwie. Automatyczne sterowanie wózkami może odbywać się według kilku metod: pętli indukcyjnej, pętli magnetycznej, nawigacji laserowej oraz linii refleksyjnej¹².

2.4. Rozszerzona rzeczywistość

Rozszerzona rzeczywistość (*augmented reality* – AR) jest uzupełnieniem świata realnego poprzez generowanie cyfrowych informacji wizualnych lub dźwiękowych. Wygenerowane informacje są renderowane i rejestrowane przestrzennie na obrazie rzeczywistym przy użyciu urządzeń wyświetlających (tablet, telefon komórkowy, *smart glasses* czy *transparent display*)¹³.

¹¹ Ullrich G.: *Automated guided vehicle systems*, Springer, 2015.

¹² Ibidem.

¹³ Azuma R.: A survey of augmented reality. *Presence: „Teleoperators and Virtual Environments”*, No. 6(4), 1997, p. 355-385.

Ciągle udoskonalenia tej technologii rozszerza możliwości jej wykorzystania w różnych obszarach aktywności człowieka¹⁴. Azuma przedstawia możliwość zastosowania rzeczywistości rozszerzonej w sześciu różnych w tym w procesach wytwórczych i logistycznych¹⁵. AR znalazła zastosowanie w procesach kompletacji, sterowania i nawigacją taboru wewnątrzzakładowego czy telerobotyce¹⁶.

3. Wielokryterialna ocena wdrażania SALP

Problem wielokryterialnej oceny sprowadza się do wskazania najlepszej decyzji w dyskretnym n -elementowym zbiorze decyzji (przeliczalnym i skończonym $\{D_i\}$). Przez decyzję w badaniach rozumiemy jeden z wariantów wdrożenia w analizowanym systemie produkcyjnym narzędzi SALP. Każdy wariant w tym zbiorze jest oceniany na podstawie K kryteriów, a w szczególności dla każdego kryterium poszukujemy najlepszej oceny wariantu (zatem przyjmujemy kierunek poszukiwań – max)¹⁷.

Bardzo istotnym elementem wielokryterialnej oceny jest ustalenie mierników oceny. W ogólnym przypadku zakładamy, że mierniki ocen wariantów powinny się wyrazić ilościowo. Oznacza to, że kryteria ocen wariantów są mierzalne. W przypadku jeżeli w problemie decyzyjnym istniejące kryterium jest niemierzalne (jakościowe), to w takim przypadku można zastosować zbiór rang w miejsce mierników jakościowych, np. współczynnik korelacji rang Spearmana, lub zastosować taką metodę oceny, która dopuszcza stosowanie mierników jakościowych, np. metoda AHP¹⁸.

Celem badawczym będzie między innymi określenie metodologii pozwalającej na identyfikację, jakie straty w procesie produkcyjnym można zminimalizować i w jakim stopniu dokona się tego poprzez wdrożenie SALP. Z punktu widzenia produktywizacji systemów wytwórczych w filozofii Lean Manufacturing celem jest ograniczanie strat na każdym etapie procesu produkcyjnego poprzez wdrażanie prostych usprawnień jak również racjonalnych z punktu widzenia osiągniętych efektów projektów inwestycyjnych. W takiej sytuacji kryteriami oceny będą właśnie straty występujące w procesie produkcyjnym. Taiichi Ohno w 1978 wskazał klasyczną listę siedmiu rodzajów strat występujących w firmie produkcyjnej¹⁹:

¹⁴ Frigo M.A., da Silva E.C.C., Barbosa G.F.: Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review. „Journal of Industrial and Intelligent Information”, Vol. 4(2), 2016.

¹⁵ Azuma R.: op.cit.

¹⁶ Friz H.: Design of an Augmented Reality User Interface for an Internet based Telerobot using Multiple Monoscopic Views. Clausthal-Zellerfeld, September 1998.

¹⁷ Drobina R., Włochowicz A., Machnio M.S.: Multi-Criterion Assessment of Pneumatically Spliced Cotton Combed Ring-Spun Yarns. „Fibres and Textiles in Eastern Europe”, Vol. 16, 2008, p. 25-32.

¹⁸ Miszczyńska D.: Wielokryterialny ranking Otwartych Funduszy Emerytalnych metodami AHP i PROMETHEE. Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Oeconomica, 2003.

¹⁹ Ohno T.: System produkcyjny Toyoty: więcej niż produkcja na dużą skalę. ProdPress, Warszawa 2008.

- nadprodukcja (ang. *waste of overproduction*),
- zapasy (ang. *waste of inventory*),
- błędy i wady jakościowe (ang. *waste of defects*),
- czas oczekiwania (ang. *waste of waiting*),
- nadmierne przetwarzanie (ang. *waste of over-processing*),
- zbędny transport (ang. *waste of transportation*),
- zbędny ruch (ang. *waste of motion*).

Przyczyny siedmiu strat Ohno w nieautomatyzowanych systemach logistycznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Przyczyny siedmiu strat Ohno w nieautomatyzowanych systemach logistycznych

Typ strat	Przykładowe przyczyny strat	Jednostki miary
Nadprodukcja	Rozbieżność między przepływem fizycznym i przepływem informacji prowadzących do niespójności poziomu zapasów.	Liczba jednostek produktu
Oczekiwanie	Więcej czasu przeznaczonego do zbierania danych i korygowanie błędów.	Czas
Zbędny transport	Błędne dane powodują przetransportowanie w niewłaściwe miejsce.	Czas
Nadmierne przetwarzanie	Błędnie zidentyfikowany produkt jest przetworzony nieprawidłowo i prowadzi do strata czasu.	Czas
Zapasy	WIP rośnie poprzez nie precyzyjne określanie ilości przetwarzanych elementów.	Liczba jednostek produktu
Zbędny ruch	Wykonywanie działań, które mogą być automatyzowane.	Czas
Błędy i wady jakościowe	Błędnie zidentyfikowany produkt jest nieprawidłowo przetworzony; poddany błędnej kontroli jakości, a produkt może zostać zezłomowany.	Liczba złomowany jednostek produktu

Źródło: Opracowanie własne.

4. Ogólny schemat postępowania w ocenie wariantów wdrożenia SALP na podstawie metody PROMETHEE

Postępowanie w metodzie PROMETHEE prowadzące do wyznaczenia rankingu wielokryterialnego można ująć w pięciu krokach²⁰:

- wyznaczenie wartości funkcji preferencji dla wszystkich par wariantów w każdym z kryteriów,
- wyznaczenie indywidualnych indeksów preferencji dla wszystkich par wariantów w każdym z kryteriów (normalizacja wartości funkcji preferencji),
- wyznaczenie wielokryterialnych indeksów preferencji dla wszystkich par wariantów,
- wyznaczenie przepływów dominacji (wyjścia, wejścia i netto) dla każdego z wariantu,
- wyznaczenie rankingu wariantów na podstawie przepływów dominacji netto.

²⁰ Behzadian M. et al.: PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. „European Journal of Operational Research”, No. 200(1), 2010, p. 198-215.

Krok 1

Wyznaczenie niemalejącej funkcji preferencji $p^{(k)}(i, j)$ służy do porównania par wariantów i oraz j w ramach kryterium (k) . Najwygodniejszą postacią funkcji preferencji jest różnica pomiędzy wartościami miary dla wariantu i oraz wariantu j dla kryterium (k) . Tak też funkcja preferencji może przyjąć postać²¹:

$$p^{(k)}(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } v_i^{(k)} - v_j^{(k)} < 0 \\ v_i^{(k)} - v_j^{(k)} & \text{if } v_i^{(k)} - v_j^{(k)} \geq 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

gdzie: $v_i^{(k)}$ – wartość miary *i-tego* wariantu względem *k-tego* kryterium.

Krok 2

Wyznaczenie indywidualnych indeksów preferencji $P^{(k)}(i, j)$, podobnie jak wartości funkcji preferencji, przeprowadza się dla każdej pary wariantów (i, j) w ramach kryterium (k) i wymaga zastosowania tzw. uogólnionych kryteriów. Pozwalają one normować relacje pomiędzy wariantami tak, aby możliwe było porównywanie preferencji par wariantów względem wszystkich kryteriów (sprowadzenie wartości funkcji preferencji do wartości z przedziału $[0, 1]$). W metodzie PROMETHEE wykorzystuje się sześć typów uogólnionych kryteriów, które są definiowane za pomocą funkcji preferencji $p^{(k)}(i, j)$. Podstawowe kryteria uogólnione to²²:

- zwykłe kryterium (1),
- quasi kryterium (2),
- kryterium z liniową preferencją (3),
- kryterium poziome (4),
- kryterium z liniową preferencją i obszarem obojętności (5);
- kryterium Gaussa (6).

Interpretację matematyczną uogólnionych kryteriów preferencji zestawiono w tabeli 2.

Wartość σ występująca we wzorach to odchylenie standardowe, które wyznaczone jest na podstawie wartości miar $v^{(k)}$ dla każdego z n wariantów, ponadto ω – próg obojętności, π – próg preferencji.

²¹ Miszczyńska D.: op.cit.

²² Yang T., Hung C.-C.: Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. „Robotics and Computer-Integrated Manufacturing”, No. 23(1), 2007, p. 126-137.

Tabela 2

Interpretacja matematyczna uogólnionych kryteriów preferencji

Uogólnione kryterium	Wzór
Zwykłe kryterium (1)	$P^{(k)}(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } p^{(k)}(i, j) = 0 \\ 1 & \text{if } p^{(k)}(i, j) > 0 \end{cases}$
Quasi kryterium (2)	$P^{(k)}(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } p^{(k)}(i, j) \leq \omega \\ 1 & \text{if } p^{(k)}(i, j) > \omega \end{cases}$
Kryterium z liniowa preferencja (3)	$P^{(k)}(i, j) = \begin{cases} \frac{p^{(k)}(i, j)}{p} & \text{if } p^{(k)}(i, j) \leq \pi \\ 1 & \text{if } p^{(k)}(i, j) > \pi \end{cases}$
Kryterium poziomemu (4)	$P^{(k)}(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } p^{(k)}(i, j) \leq \omega \\ \frac{1}{2} & \text{if } \omega < p^{(k)}(i, j) \leq \pi \\ 1 & \text{if } p^{(k)}(i, j) > \pi \end{cases}$
Kryterium z liniowa preferencja i obszarem obojętności (5)	$P^{(k)}(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } p^{(k)}(i, j) \leq \omega \\ \frac{(p^{(k)}(i, j) - \omega)}{(\pi - \omega)} & \text{if } \omega < p^{(k)}(i, j) \leq \pi \\ 1 & \text{if } p^{(k)}(i, j) > \pi \end{cases}$
Kryterium Gaussa (6)	$P^{(k)}(i, j) = 1 - \exp\left\{-\frac{[p^{(k)}(i, j)]^2}{2\sigma^2}\right\}$

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Miszczyńska D.: Wielokryteriowy ranking Otwartych Funduszy Emerytalnych metodami AHP i PROMETHEE. Acta Universitatis Lodziensis. Folia Oeconomica, 2003.

Krok 3

Wielokryteriowy indeks preferencji dla pary wariantów (i, j) wyznaczany jest jako średnia ważona z indywidualnych indeksów preferencji²³.

$$\Pi_{(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^K w_k P^{(k)}(i, j)}{\sum_{k=1}^K w_k} \quad (4.2)$$

Krok 4

Przeptyw dominacji dla wariantu i jest trojakiemu rodzaju.

1. Przeptyw dominacji wyjścia informuje o rozmiarach dominacji obiektu i nad wszystkimi pozostałymi obiektami²⁴.

$$\Phi_{(i)}^{\uparrow} = \sum_{j=1}^n \Pi_{(i,j)} \quad (4.3)$$

²³ Miszczyńska D.: op.cit.

²⁴ Ibidem.

2. Przepływ dominacji wejścia informuje o rozmiarach dominacji wszystkich pozostałych obiektów nad obiektem i ²⁵.

$$\Phi_{(i)}^{\downarrow} = \sum_{j=1}^n \Pi_{(j,i)} \quad (4.4)$$

3. Przepływ dominacji netto jest różnicą pomiędzy przepływem dominacji wyjścia $\Phi_{(i)}^{\uparrow}$ a przepływem dominacji wejścia $\Phi_{(i)}^{\downarrow}$. Wartość przepływu netto $\Phi_{(i)}$ mówi o wielkości oraz charakterze dominacji wariantu i względem pozostałych $n-1$ wariantów. Dodatnia wartość przepływu netto oznacza, że obiekt i jest w grupie obiektów dominujących, a ujemna zaś, że w grupie obiektów zdominowanych²⁶.

$$\Phi_{(i)} = \Phi_{(i)}^{\uparrow} - \Phi_{(i)}^{\downarrow} \quad (4.5)$$

Krok 5

Ranking obiektów uzyskujemy, porządkując obiekty według malejących wartości przepływów dominacji netto.

W celu przeprowadzenia poszukiwań wariantu wdrożenia SALP o najwyższych cechach funkcjonalnych dla danego systemu produkcyjnego należy wygenerować zbiór danych określony w tabeli 3. Na podstawie tych danych należy przeprowadzić procedurę przedstawioną powyżej.

W założeniach przyjęto, że dla wszystkich kryteriów kierunek poszukiwań jest „min” (wymaganie znalezienia wartości najmniejszej), to zgodnie z D. Miszczyńską²⁷ wystarczy pomnożyć mierniki oceny dla takiego kryterium przez „-1”.

Najistotniejszym elementem wyżej przedstawionej procedury jest określenie miar ocen kryteriów, czyli w danym przypadku wartości strat w procesie produkcyjnym w przypadku wdrożenia danego wariantu ASLP. Bardzo trudno na etapie wyboru wariantu wdrożenia określić te dane empirycznie. W tym przypadku należy wykorzystać narzędzia modelowania i symulacji, które pozwolą na oszacowanie tych wartości.

²⁵ Ibidem.

²⁶ Ibidem.

²⁷ Miszczyńska D.: op.cit.

Tabela 3

Zbiór danych wymaganych do przeprowadzenia procedury rankingowania wariantów wdrożenia SALP

Kryteria główne	Nadprodukcja	Czas oczekiwania	Zbędny transport	Nadmierne przetwarzanie	Zapasy	Zbędny ruch	Błędy i wady jakościowe	
Kierunek optymalizacji	min	min	min	min	min	min	min	
Waga kryterium	$w^{(1)}$	$w^{(2)}$	$w^{(3)}$	$w^{(4)}$	$w^{(5)}$	$w^{(6)}$	$w^{(7)}$	
Kryterium uogólnione	$p^{(1)}$	$p^{(2)}$	$p^{(3)}$	$p^{(4)}$	$p^{(5)}$	$p^{(6)}$	$p^{(7)}$	
Próg obojętności	$\omega^{(1)}$	$\omega^{(2)}$	$\omega^{(3)}$	$\omega^{(4)}$	$\omega^{(5)}$	$\omega^{(6)}$	$\omega^{(7)}$	
Próg preferencji	$\pi^{(1)}$	$\pi^{(2)}$	$\pi^{(3)}$	$\pi^{(4)}$	$\pi^{(5)}$	$\pi^{(6)}$	$\pi^{(7)}$	
Warianty	Mierniki oceny wariantów ($v_i^{(k)}$)							
	D_1	$v_1^{(1)}$	$v_1^{(2)}$	$v_1^{(3)}$	$v_1^{(4)}$	$v_1^{(5)}$	$v_1^{(6)}$	$v_1^{(7)}$
	D_2	$v_2^{(1)}$	$v_2^{(2)}$	$v_2^{(3)}$	$v_2^{(4)}$	$v_2^{(5)}$	$v_2^{(6)}$	$v_2^{(7)}$

	D_i	$v_i^{(1)}$	$v_i^{(2)}$	$v_i^{(3)}$	$v_i^{(4)}$	$v_i^{(5)}$	$v_i^{(6)}$	$v_i^{(7)}$
	D_n	$v_n^{(1)}$	$v_n^{(2)}$	$v_n^{(3)}$	$v_n^{(4)}$	$v_n^{(5)}$	$v_n^{(6)}$	$v_n^{(7)}$

Źródło: Opracowanie własne.

5. Podsumowanie i kierunki dalszych badań

Dzięki analizie literatury dotyczącej automatycznej identyfikacji zasobów w łańcuchu dostaw można było wyciągnąć następujące wnioski: zarządzanie gospodarką materiałową (identyfikacji, znakowania i śledzenia produktów) za pomocą technologii kodów kreskowych powoduje straty czasowe, wynikające z potrzeby ręcznego odczytu danych. Technologia kodów kreskowych ma następujące ograniczenia:

- możliwość zapisu określonej ilości znaków w danym typie kodu kreskowego;
- potrzeba wizualnego kontaktu pomiędzy czytnikiem a kodem kreskowym;
- brak możliwości odczytu w przypadku uszkodzenia powierzchni nadruku (np. obtarcia, zabrudzenia).

Zastosowanie technologii RFID eliminuje straty czasowe wynikające z czasu każdorazowego odczytu kodu, czasu poświęconego na odszukanie kodu na palecie, opakowaniu zbiorczym lub produkcie.

W celu osiągnięcia zamierzonych efektów badawczych zaproponowano metodykę postępowania, która pozwoli na usystematyzowanie dalszych badań. W zaproponowanej metodyce wyodrębniono pięć kroków.

Krok 1: zapoznanie się z procesem produkcyjnym i możliwość automatyzacji procesów logistycznych

Modelowanie procesów: przeprowadzenie analizy systemu produkcyjnego przeznaczonego do automatyzacji poprzez narzędzia mapowania procesów, mapowaniem strumienia wartości

Analiza możliwości wdrożenia automatyzacji: etap ten powinien składać się z analizy procesu produkcji z punktu widzenia wdrożenia SALP za pomocą narzędzi mapowania. Analiza ta będzie podstawą do określenia strat, które będą wrażliwe na efekty wdrożenia różnych elementów SALP. Zestaw narzędzi mapowania jest przedstawiony w tabeli 4.

Tabela 4

Narzędzia procesu mapowania identyfikacji strat w procesie produkcyjnym

Narzędzie mapowania	Strata	Identyfikacja strat
PPM (Physical Process Mapping)	Zbędny transport	Identyfikuje miejsca zbierania danych, pobierania zasobów, ich rozmieszczenie topologiczne prowadzące do niepotrzebnego ruchu operatorów i produktów.
UCD (UML Use-Case Diagram)		Przedstawia działania, jakie występują w analizowanym systemie i elementy biorące udział w funkcjonowaniu systemu. Pozwala wyodrębnić części procesu wykonywane przez elementy podatne na błędy, oraz wskazuje, które parametry są modyfikowane przez system informacyjny.
DDD (Data Dependency Diagram)	Oczekiwanie Błędy i wady jakościowe Nadprodukcja Zapasy Nadmierne przetwarzanie	Proces identyfikuje punkty decyzyjne określa znaczenie przechwytywania danych i wskazuje, jakie procesy wpływają na identyfikację błędów, jaki jest poziom współbieżności operacji i czy poprawa prędkości przepływu zasobów jest uzależniona od zautomatyzowania.
DataVis (Data Visibility)	Nadprodukcja Zapasy	Określa, jak poziom aktualnych stanów i parametrów wpływa na wielkości partii, WIP i gotowych produktów.
PRA (Production Responsiveness Approach)	Wszystkie	Analizuje wpływ zakłóceń w procesie produkcyjnym, pomaga zrozumieć aktualne możliwości wykorzystania zasobów, aby określić, czy SALP mogą przyczynić się do poprawy ich wykorzystania.

Źródło: Opracowanie własne.

Krok 2: modelowanie stanu obecnego procesów

Po określeniu etapów procesu produkcyjnego i strat, które mogą być zminimalizowane poprzez SALP, następnym krokiem jest zamodelowanie aktualnego stanu procesu. Bez względu na to, jakie narzędzia symulacji będą wykorzystane dla poszczególnych działań, należy określić podstawowe ich parametry, czyli czas, prawdopodobieństwo realizacji różnych czynności w procesie; wejść i wyjść do procesu.

Krok 3: modelowanie stanu przyszłego procesów

Następnym krokiem jest zbudowanie modelu stanu przyszłego procesu po wdrożeniu SALP. Różne warianty SALP mogą być analizowane w różnej konfiguracji i różnym poziomie integracji.

Krok 4: analiza wrażliwości

Analiza wrażliwości (SA) jest studium tego, jak zmiany (niepewności) na wyjściu modelu mogą być przypisane do różnych źródeł zmienności w wejściu modelu²⁸. Prawdopodobieństwo błędów w modelu stanu obecnego procesu, z powodu nieodpowiedniej ewidencji danych, jest punktem odniesienia dla oceny poprawy w różnych wariantach SALP w zakresie redukcji siedmiu strat. Należy dokonać analizy zależności zmienności parametru opisującego daną stratę od charakterystyk SALP. Na przykład znaleźć zależność wartości WIP od wartości opisujących dane warianty systemu automatyzacji (np. czas obsługi zlecenia transportowego). W tym zakresie można przeprowadzić badanie wrażliwości wartości WIP na podstawie analizy operacyjnych krzywych logistycznych. Bardzo istotnym elementem analizy wrażliwości siedmiu strat jest wpływ zmiennych systemu na koszty procesów. W tym obszarze należy wziąć pod uwagę metody szacowania kosztów. Określenie kosztów przyszłych funkcjonowania różnych wariantów SALP może zostać przeprowadzone zgodnie z założeniami metodyki generacyjnego szacowania kosztów²⁹.

Krok 5: ocena SALP na podstawie metod wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji

W tym etapie, bazując na zebranych w poprzednich krokach danych, przeprowadzana jest ocena poszczególnych wariantów automatyzacji procesów logistycznych indywidualnie lub różnych konfiguracjach. Ocena powinna być przeprowadzona na podstawie wspólnych kryteriów, którymi w warunkach szczupłego wytwarzania powinny być mierniki redukcji siedmiu strat Ohno.

Bibliografia

1. Azuma R.: A survey of augmented reality. "Presence: Teleoperators and Virtual Environments", No. 6(4), 1997.
2. Behzadian M. et al.: PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. "European Journal of Operational Research", No. 200(1), 2010.
3. Bendkowski J.: Logistyka jako strategia zarządzania produkcją. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, nr 63. Politechnika Śląska, Gliwice 2013.
4. Cacuci D.G., Ionescu-Bujor M., Navon I.M.: Sensitivity and uncertainty analysis, volume II: applications to large-scale systems. CRC press, 2005.

²⁸ Cacuci D.G., Ionescu-Bujor M., Navon I.M.: Sensitivity and uncertainty analysis, volume II: applications to large-scale systems. CRC press, 2005.

²⁹ Więcek Dorota: Metody szacowania kosztów na etapie projektowania i kształtowania procesów produkcyjnych. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 18(4), 2015, s. 25-30.

5. Domdouzis K., Kumar B., Anumba C.: Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction. "Advanced Engineering Informatics", No. 21(4), 2007.
6. Drobina R., Włochowicz A., Machnio M.S.: Multi-Criterion Assessment of Pneumatically Spliced Cotton Combed Ring-Spun Yarns. "Fibres and Textiles in Eastern Europe". Vol, 16, 2008.
7. Frigo M.A., da Silva E.C.C., Barbosa G.F.: Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review. "Journal of Industrial and Intelligent Information", Vol. 4(2), 2016.
8. Friz H.: Design of an Augmented Reality User Interface for an Internet based Telerobot using Multiple Monoscopic Views. Clausthal-Zellerfeld, 1998.
9. Hałas E.: Kody kreskowe i inne globalne standardy w biznesie. Biblioteka Logistyki, Poznań 2012.
10. Lee Y., Cheng F., Leung Y.: Exploring the impact of RFID on supply chain dynamics. Winter Simulation Conference, 2004.
11. Miszczyńska D.: Wielokryteriowy ranking Otwartych Funduszy Emerytalnych metodami AHP i PROMETHEE. Acta Universitatis Lodziensis. Folia Oeconomica, 2003.
12. Ohno T.: System produkcyjny Toyoty: więcej niż produkcja na dużą skalę. ProdPress, Warszawa 2008.
13. Sarac A., Absi N., Dauzere-Peres S.: A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. "Journal of Chemical Information and Modeling", No. 53(9), 2013.
14. Ullrich G.: Automated guided vehicle systems. Springer, 2015.
15. Vis I.F.: Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. "European Journal of Operational Research", No. 170(3), 2006.
16. Więcek D.: Metody szacowania kosztów na etapie projektowania i kształtowania procesów produkcyjnych. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 18(4), 2015.
17. Yang T., Hung C.C.: Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. "Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", No. 23(1), 2007.

Abstract

The research aim is, among, others, to determine a methodology which allows to identify what kind of waste and to which extent can be minimized in the production process by implementing of automation systems of logistic processes (SALP). From the point of view of productivity of manufacturing systems, Lean Manufacturing philosophy aims to limit waste on each stage of the production process by implementing simple improvements, and reasonable

investment projects. In such a situation, evaluation criteria are just the losses present in the production process.

Analysis of automation implementation possibility: this stage should consist of production process analysis from the point of view of SALP implementation by means of mapping tools. This analysis will be a basis for determining the waste which is sensitive to implementing different SALP elements.