

REORGANIZACJA UKŁADU HALI PRODUKCYJNEJ ZA POMOCĄ METODY SLP

Mateusz KIKOLSKI

Streszczenie: W artykule przedstawiono wykorzystanie jednej z metod optymalizujących rozmieszczenie stanowisk roboczych – Systematic Layout Planning. Przybliżono zagadnienie optymalizacji układu obiektów produkcyjnych oraz założenia zastosowanej metody. Analiza polegała na zestawieniu czasów wykonania zlecenia produkcyjnego na określonym zbiorze maszyn w dwóch wariantach. Badanie zostało przeprowadzone z wykorzystaniem systemu Tecnomatix Plant Simulation. Artykuł stanowi wstęp do tematu optymalizacji stanowisk roboczych.

Słowa kluczowe: SLP, Systematyczne Planowanie Layoutu, rozmieszczenie stanowisk roboczych, symulacja komputerowa

1. Wprowadzenie

Optymalizacja zawsze odbywa się pod kątem określonego kryterium lub kryteriów. Przegląd literatury jako główne problemy związane z projektowaniem i eksploatacją linii produkcyjnych wskazuje [15, 19]: określenie liczby maszyn w obrębie linii, lokalizacja buforów międzyoperacyjnych oraz ich rozmiar, a także układ maszyn i stanowisk roboczych w obrębie zakładu.

Odpowiednie rozmieszczenie maszyn w obrębie hali produkcyjnej uwzględnia optymalne wykorzystanie dostępnej powierzchni, czas i koszt przepływu materiałów oraz elastyczność produkcji. Nieprawidłowe rozmieszczenie stanowisk decyduje o ewentualnych stratach. Istnieje wiele czynników wpływających na kształt i sposób działania linii produkcyjnych, m.in.: liczba zmian roboczych, wielkość partii produkcyjnych i ich charakter (zmienny lub stały rozmiar partii), rodzaje transportu i składowania. W doskonaleniu layoutu linii produkcyjnej ważnym czynnikiem jest również odpowiednie wskazanie celu optymalizacji. Optymalne rozmieszczenie stanowisk roboczych powinno skrócić cykl produkcyjny, redukować koszty produkcji lub poprawić wykorzystanie zasobów produkcyjnych.

Problemy związane z układem obiektów produkcyjnych są jednym z kluczowych zagadnień, z którymi mierzą się przedsiębiorstwa produkcyjne. Polegają na rozdzielaniu różnych zasobów w danym obiekcie w celu zmaksymalizowania wydajności produkcji. Problem rozmieszczenia stanowisk roboczych odnosi się do przestrzennej organizacji procesu produkcyjnego. Stanowisko robocze jest to część powierzchni produkcyjnej zajmowana przez maszyny i urządzenia (oraz pracowników) w celu wykonania określonych zadań [8]. Projektowanie rozmieszczenia wyposażenia produkcyjnego dotyczy znalezienia najlepszego miejsca dla maszyn lub gniazd roboczych, aby ułatwić przepływ informacji, materiałów i ludzi pomiędzy wyznaczonymi obszarami. Metody optymalizacji linii produkcyjnych skupiają się w głównej mierze na ocenie i poprawie wydajności linii lub zwiększeniu tempa jej pracy oraz na optymalizacji zmiennych decyzyjnych w obrębie tych linii [14]. Nieprawidłowa lokalizacja elementów infrastruktury produkcyjnej jest

najczęściej występującym problemem, z którym muszą radzić sobie przedsiębiorstwa produkcyjne. Tradycyjnie decyzje dotyczące planowania produkcji i transportu były podejmowane niezależnie. Najczęściej stosowaną procedurą było w pierwszej kolejności planowanie produkcji, a następnie ustalanie wariantów transportowych dotyczących dystrybucji materiałów i produktów [2]. Odpowiednie rozmieszczenie stanowisk roboczych poprawia wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa i umożliwia wykorzystanie narzędzi, takich jak np. 5S, kanban, Just in Time. Narzędzia te nie tylko przyczyniają się do obniżenia kosztów, ale również przynoszą korzyści organizacji poprzez poprawę jakości produktu.

Podstawowym celem planowania rozmieszczenia stanowisk roboczych jest opracowanie takiego układu, który będzie najlepszy dla produkcji oraz przyniesie oszczędności. Wśród typów rozmieszczenia stanowisk roboczych można wyróżnić rozmieszczenia zorientowane na proces (system gniazdowy – maszyny powiązane w gniazda produkcyjne), na wyrób (system przepływowy – maszyny rozmieszczone według kolejności wykonywania zadań) oraz w liniach produkcyjnych (grupowanie maszyn w linie dla podobnych wyrobów). Głównym problemem optymalizacji w pierwszym przypadku jest lokalizacja urządzeń. Problemem w rozmieszczeniu stanowisk roboczych zorientowanym na wyrób jest odpowiednie bilansowanie linii produkcyjnej. W przypadku wyspecjalizowanych branż, niezwykle ważne stają się również odpowiednie rozmieszczenie działów produkcji – ważne działy powinny znajdować się blisko siebie i oddzielać te działy, które nie powinny znajdować się w bliskim sąsiedztwie.

Istotą doskonalenia linii produkcyjnych jest stała analiza realizowanych procesów. Decydujące jest rozpoznanie i zdefiniowanie pojawiających się problemów – pozwala to na wybór najlepszego rozwiązania optymalizacyjnego.

Metody optymalizacyjne pomagają stworzyć schemat rozmieszczenia stanowisk roboczych umożliwiając opracowanie projektu rozmieszczenia stanowisk roboczych, w którym uwzględnić można odległości między maszynami, odległości maszyn od dróg transportowych lub elementów konstrukcyjnych hal produkcyjnych [20]. Istotnym warunkiem uzyskania zamierzonych efektów jest właściwa identyfikacja i ilościowe ujęcie pojawiających się problemów, a także odpowiedni dobór metod i narzędzi prowadzących do ich rozwiązania [3, 9].

Problem rozmieszczenia stanowisk roboczych można modelować za pomocą różnego rodzaju narzędzi: modeli poglądowo-przestrzennych, modeli strukturalnych oraz modeli matematycznych [4]. Aktualnie popularnym narzędziem wykorzystywanym w analizie i optymalizacji położenia stanowisk roboczych w obrębie linii produkcyjnych są cyfrowe modele przedstawiające istniejącą infrastrukturę. Zazwyczaj badania symulacyjne w analizie układu stanowisk roboczych stosuje się w celu oszacowania parametrów systemu związanych z następującymi zadaniami [1]:

- opracowaniu ulepszonych układów linii produkcyjnych, które zostały wygenerowane za pomocą tradycyjnych procedur lub algorytmów;
- porównaniu różnych konfiguracji układu linii pod względem parametrów operacyjnych, takich jak wykorzystanie maszyn, czas przepływu i rozmiary buforów międzyoperacyjnych;
- ocenie różnych strategii działania obiektu lub uzasadnieniu przyjęcia wybranej koncepcji produkcji;
- identyfikacji potencjalnych problemów i wąskich gardeł w proponowanych strukturach linii przed ich wdrożeniem;

- zmniejszeniem czasu potrzebnego na zbadanie zachowania linii w określonych scenariuszach, takich jak zmiany serii produktów lub awarie.

Zależnie od obszaru poszukiwań, celu, stopnia skomplikowania zadania, jak również od rodzaju parametrów wejściowych, do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych stosowane są różne metody i narzędzia [16]. Jedną z metod optymalizacji rozmieszczenia stanowisk roboczych jest metoda Systematycznego Planowania Layoutu.

2. Systematic Layout Planning

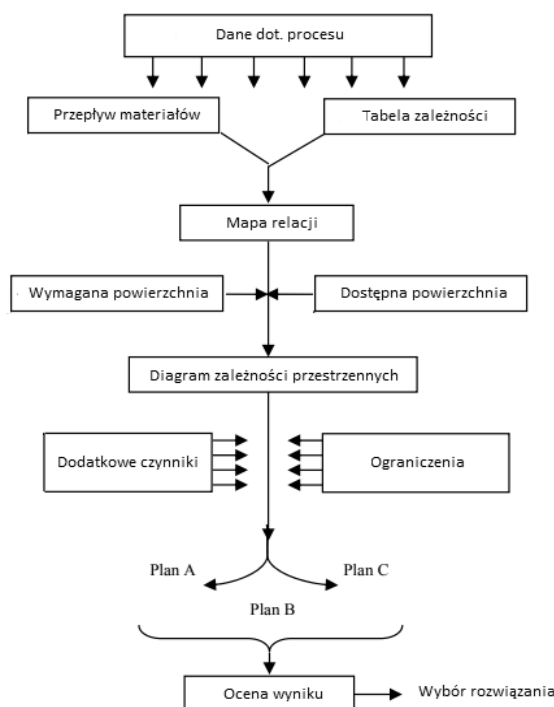
Systematyczne Planowanie Layoutu (ang. Systematic Layout Planning – SLP) to metoda używana do opracowywania układu przedsiębiorstwa i usprawniania przepływu materiałów. Metoda SLP określana jako jedna z najskuteczniejszych strategii do rozwiązywania problemów związanych z rozmieszczeniem stanowisk roboczych [13], została oparta na metodzie planowania layoutu opracowanej przez Muthera [11].

Systematic Layout Planning obejmuje trzy ogólne fazy [11]:

- gromadzenie i analiza danych;
- wyszukiwanie wśród możliwych rozwiązań;
- ocena alternatyw i wybór najlepszego rozwiązania.

Trzy podstawowe obszary tej techniki to: relacje (dane wejściowe, przepływ materiałów, relacje pomiędzy obiektami i diagram zależności), przestrzeń (wymagania przestrzenne, dostępna przestrzeń i diagram relacji przestrzeni) i dostosowanie (modyfikacja ograniczeń, ograniczenia praktyczne, opracowanie układu i ocena).

Podstawowa zasada funkcjonowania SLP została przedstawiona na rysunku 1.



Rys. 1. Metoda Systematycznego Planowania Layoutu

Źródło: [17]

W sumie do wykonania SLP potrzeba jedenastu kroków [13].

Pierwszym krokiem jest zebranie odpowiednich danych dotyczących doskonalonego obiektu. Drugi krok jest ściśle związany z pierwszym – należy zebrać i przeanalizować dane związane z przepływem materiałów w badanym (lub projektowanym) procesie.

Krokiem trzecim w przeprojektowaniu układu za pomocą SLP jest budowa tabeli zależności pomiędzy stanowiskami roboczymi, w celu opisanie przepływu materiału między czynnościami, który pozwoli zbudować diagram relacji. Przecięcie dwóch linii podziału pokazuje literę określającą znaczenie ich bliskości w systemie produkcyjnym.

Na wykresie zależności przedstawiane są operacje wykonywane w procesie i specjalny kod literowy (w niektórych sytuacjach rozszerzony o numer - numer jest związany z powodem wyznaczenia kodu związku, na przykład pod względem bezpieczeństwa, łatwości nadzoru itp.), odpowiadający każdej parze czynności wykonywanych w procesie. Każdy litera reprezentuje określoną klasę sąsiedztwa:

- A: absolutnie konieczne (absolutely necessary);
- E: szczególnie ważne (especially important);
- I: ważne (important);
- O: zwykły (ordinary);
- U: nieważne (unimportant);
- X: niepożądany (undesirable).

Klasa sąsiedztwa może być określana przez projektanta (na podstawie znajomości procesu) lub wyznaczana na podstawie współczynnika sąsiedztwa. Współczynnik sąsiedztwa jest określany na podstawie odległości pomiędzy poszczególnymi czynnościami [6].

Czwartym krokiem jest budowa diagramu relacji, który pozwala na zdefiniowanie optymalnej sekwencji operacji z odpowiednim układem bloków oraz podkreśla relacje między parami operacji procesowych.

Diagram relacji pozwala wyznaczyć alternatywne konfiguracje układu produkcji. Jest używany jako propozycja rozmieszczenia poszczególnych działań między sobą. Różnica w powierzchni poszczególnych obszarów może być ignorowana dla uproszczenia diagramu [18]. Siła powiązania (relacji) pomiędzy elementami układu zazwyczaj oznaczana jest przez liczbę lub wygląd linii.

W trzech kolejnych etapach porównuje się dostępną przestrzeń (rzeczywisty układ obiektu, w którym mają być zlokalizowane badane stanowiska lub obszary robocze), z wymaganą przestrzenią. To porównanie wymaga dostosowania do elementów, które istnieją już w obiekcie, aby dostępna przestrzeń mogła pomieścić proponowane rozwiązania przy spełnieniu wymagań dotyczących przepływu materiałów i relacji pomiędzy stanowiskami. Ta faza prowadzi do drugiego diagramu, zwanego diagramem zależności przestrzennych lub początkowym projektem układu.

W ostatecznej analizie, porównując i oceniając alternatywne propozycje rozmieszczenia, projektant ostatecznie wybiera optymalny układ, biorąc pod uwagę dodatkowe czynniki, np. oświetlenie, dostęp do zasilania lub różnice w wysokości hali.

Ostatnim etapem jest analiza wybranego rozwiązania określoną metodą, np. porównanie pracy systemu za pomocą modeli symulacyjnych.

SLP może być wykorzystywane w optymalizacji m.in. planów zakładów produkcyjnych, rozmieszczeniu stanowisk roboczych w biurach, rozmieszczeniu budynków lub stref magazynowych. Znajduje zastosowanie również w rozwiązywaniu różnych problemów związanych z rozmieszczeniem obiektów, nie tylko w produkcji.

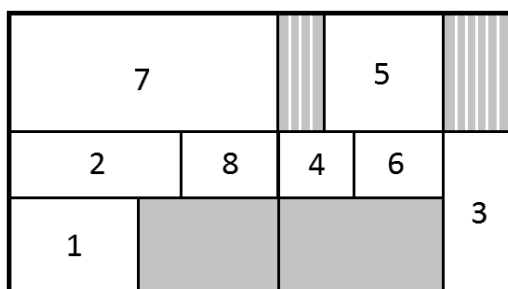
Metoda SLP może być łączona z innymi rozwiązaniami doskonalącymi układ i pracę linii produkcyjnej. Istnieją opracowania, w których metodę SLP połączono z innymi metodami optymalizacyjnymi, m.in. [5, 7, 10, 18]:

- logiką rozmytą,
- algorytmami genetycznymi,
- metodą AHP (Analytic Hierarchy Process),
- propozycja metody łączącej SPL z wpływem czynnika ludzkiego,
- metodą symulacji komputerowej.

3. Studium przypadku

Odpowiednie rozmieszczenie stanowisk roboczych, jest to badanie położenia wybranych obiektów na hali produkcyjnej w stosunku do innych obiektów (maszyny, bufory międzyoperacyjne) oraz m.in. stref składowania i magazynowania. Projektowanie linii produkcyjnych składa się przede wszystkim z projektowania rozmieszczenia maszyn.

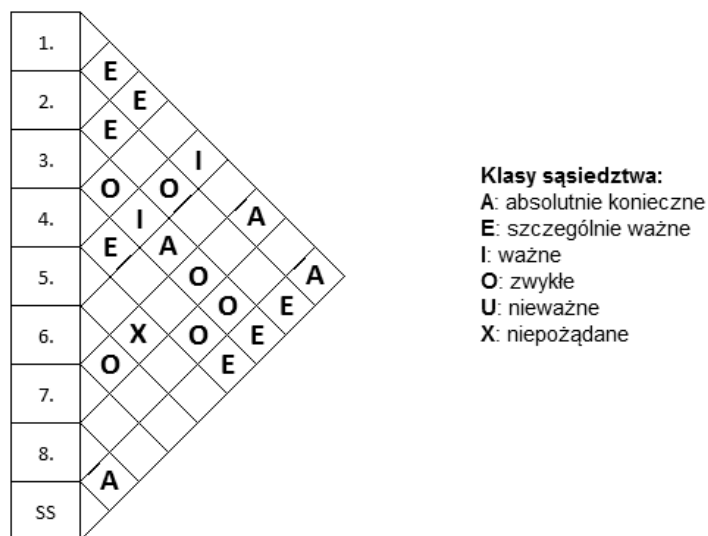
Badanie zostało przeprowadzone na podstawie danych procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie z branży instalacyjnej. Przeprowadzona analiza dotyczy jednego z wyrobów przedsiębiorstwa. Głównym celem jest skrócenie czasu wykonania zlecenia poprzez reorganizację ustawienia maszyn w obrębie zakładu. Na rysunku 2 przedstawiono obecny układ hali produkcyjnej przedsiębiorstwa.



Rys. 2. Aktualne rozmieszczenie stanowisk w analizowanym zakładzie

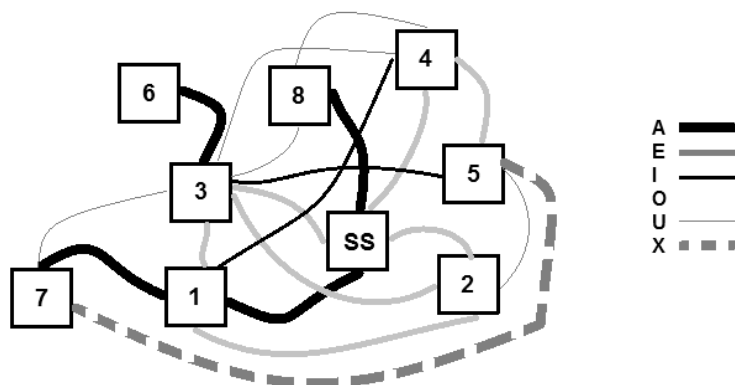
Proces produkcji wybranego elementu odbywa się w obrębie ośmiu stanowisk oznaczonych numerami 1-8 oraz strefy składowania. Strefa składowania oznaczona jest kolorem szarym – ze względu na rodzaj wykonywanych zadań ważne jest jej położenie w pobliżu stanowisk 1-4 i 8. Pola z białymi liniami przedstawiają powierzchnie biurowe. Analizowane zlecenie polega na wyprodukowaniu osiemdziesięciu sztuk wyrobu składającego się z czternastu elementów. Wykorzystanie oprogramowania Plant Simulation w analizie wymaga wcześniejszego opracowania wirtualnego modelu przedstawiającego badaną linię produkcyjną.

Zgodnie z badaniem przepływów w analizowanym procesie, w kolejnym etapie wyznaczone zostały zależności pomiędzy stanowiskami roboczymi (maszynami). Rysunek 3 przedstawia opracowaną tabelę zależności. W tabeli zostały przedstawione jedynie relacje pomiędzy współpracującymi ze sobą stanowiskami.



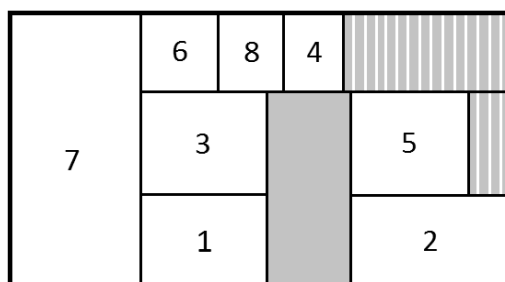
Rys. 3. Tabela zależności pomiędzy stacjami roboczymi

Bazując na tabeli zależności, opracowano diagram relacji pomiędzy dostępnymi stanowiskami roboczymi (1-8). Mapę relacji przedstawia rysunek 4. Diagram bazuje na klasach sąsiedztwa, nie bierze pod uwagę informacji dotyczących minimalnych lub maksymalnych możliwych odległości pomiędzy stanowiskami roboczymi. Dopuszczalne jest krzyżowanie się połączeń w strefie składowania (SS).



Rys. 4. Diagram zależności stacji roboczych

Na podstawie diagramu relacji możliwe jest wyznaczenie alternatywnego planu hali produkcyjnej, przedstawionego na rysunku 5. Należy dopasować rozkład stref roboczych do dostępnej powierzchni, jeśli jest ona ograniczona.



Rys. 5. Rozmieszczenie stanowisk po reorganizacji

Ostatnim krokiem analizy była weryfikacja rozmieszczenia stanowisk za pomocą wirtualnego modelu. Według raportu (rys. 6), główną korzyścią płynącą z zaproponowanej zmiany jest skrócenie realizacji zlecenia z 8 godzin i 8 minut do 7 godzin i 41 minut. Spowodowane jest to przede wszystkim skróceniem dróg transportowych pomiędzy stanowiskami. Modyfikacja układu hali miała wpływ również na skrócenie czasu magazynowania zapasów międzyoperacyjnych.

Przed zmianą:

Simulation time: 8:08:10.3667

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Wyjście	Product	1:22:19.1363	80	10	22.63%	36.92%	40.45%	17.01%	

Po zmianie:

Simulation time: 7:21:26.3983

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Wyjście	Product	49:19.9546	80	11	36.83%	29.81%	33.36%	27.20%	

Rys. 6. Porównanie wyników symulacji przed i po reorganizacji układu hali produkcyjnej

Dodatkową korzyścią płynącą z reorganizacji może być połączenie powierzchni biurowych przedsiębiorstwa. Jest to jednak element niemożliwy do zweryfikowania na podstawie obecnego modelu symulacyjnego i wymaga dalszych analiz.

4. Podsumowanie

Problemy planowania oraz rozmieszczania stanowisk produkcyjnych nie są nowym tematem poruszonym przez środowiska akademickie – zagadnienia te są tematem wielu badań naukowych ze względu na stały wzrost konkurencyjności pomiędzy przedsiębiorstwami. Dostępne opracowania wskazują jednak, że wiele przedsiębiorstw produkcyjnych ma małą wiedzę z zakresu planowania i sterowania produkcją, a metody optymalizacyjne są wykorzystywane rzadko lub wcale. Teoria i metody rozwiązywania problemów optymalizacji są nieznanne lub nie są właściwie rozumiane przez praktyków. Innym problemem wskazywanym w opracowaniach jest założenie, że sytuacje zakładane przez teorię nie są wystarczająco zbliżone do tych, które można znaleźć w praktyce.

W artykule omówione zostało zagadnienie rozmieszczenia stanowisk roboczych. Przeprowadzona została analiza powiązań pomiędzy stanowiskami roboczymi w obrębie zakładu, na podstawie której opracowano alternatywny układ stref roboczych. Przyjęte założenia zostały zweryfikowane za pomocą cyfrowych modeli.

Przegląd literatury pozwala zauważyć ścisły związek pomiędzy planowaniem rozmieszczenia stanowisk roboczych, a harmonogramowaniem i szeregowaniem zadań produkcyjnych, a także problemem ustalania wielkości partii produkcyjnej [12]. Zaproponowanie odpowiedniego rozmieszczenia stanowisk roboczych jest podstawą do późniejszego stworzenia optymalnego harmonogramu realizacji planu produkcyjnego. Dostępne metody optymalizacji skupiają się na poprawie wybranych cech procesu. Z punktu widzenia technologa linii produkcyjnej kluczowe jest wybranie takiej metody lub zestawu metod, w których możliwe jest wykorzystanie jak największej liczby dostępnych danych.

Dalsze prace będą skupiały się na pogłębionych badaniach wykorzystania metody SLP w optymalizowaniu układów hal produkcyjnych oraz na możliwościach wykorzystania innych metod optymalizujących rozmieszczenie stanowisk roboczych, a także badaniu możliwości łączenia rozwiązań optymalizujących układ obiektów w obrębie zakładu.

Literatura

1. Aleisa, E. E., & Lin, L., For effective facilities planning: layout optimization then simulation, or vice versa?. In *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter, 2005*.
2. Chandra, P., & Fisher, M. L., Coordination of production and distribution planning. *European Journal of Operational Research*, 72(3), 503-517, 1994.
3. Hamrol, A., & Mantura, W., *Zarządzanie jakością: teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
4. Jakowska-Suwalska, K., Wolny, M., Problem rozmieszczenia stanowisk roboczych jako wielokryterialny problem decyzyjny. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, (49), 2009.
5. Lan, S., Zhao, J., Facilities Layout Optimization Method Combining Human Factors and SLP. In *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII), 2010 International Conference on Vol. 1*, pp. 608-611, 2010.
6. Lee, K. Y., Roh, M. I., & Jeong, H. S., An improved genetic algorithm for multi-floor facility layout problems having inner structure walls and passages. *Computers & Operations Research*, 32(4), 879-899, 2005.
7. Lin, Q. L., Liu, H. C., Wang, D. J., & Liu, L., Integrating systematic layout planning with fuzzy constraint theory to design and optimize the facility layout for operating theatre in hospitals. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(1), 87-95, 2015.
8. Lis, S., & Santarek, K., *Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych*. Państwowe Wydaw. Naukowe, 1980.
9. Łuksza, J., Skołyszewski, A., Witek, F., & Zachariasz, W., *Druty ze stali i stopów specjalnych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2006.
10. Matulja, T., Hadjina, M., & Kolić, D., Shipyard Production Processes Re-Design Methodology Based on Expert Approach and Simulation Modeling. *Pomorski zbornik*, 51(1), 25-41, 2016.
11. Muther R., *Systematic Layout Planning*, Mc-Graw Hill, New York, 1976.

12. Roundy, R., Rounding off to powers of two in continuous relaxations of capacitated lot sizing problems. *Management Science*, 35(12), 1433-1442, 1989.
13. Singh, A. P., & Yilma, M., Production floor layout using systematic layout planning in Can manufacturing company. In *Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2013 International Conference on*, pp. 822-828, 2013.
14. Spinellis, D., Papadopoulos, C., & Smith, J. M., Large production line optimization using simulated annealing. *International journal of production research*, 38(3), 509-541, 2000.
15. Teunter, R., Kaparis, K., & Tang, O., Multi-product economic lot scheduling problem with separate production lines for manufacturing and remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 1241-1253, 2008.
16. Wittbrodt, P., Optymalizacja procesu obróbki skrawaniem z wykorzystaniem algorytmów genetycznych., *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, s. 1238-1247, 2013.
17. Wiyaratn, W., & Watanapa, A., Improvement plant layout using systematic layout planning (SLP) for increased productivity. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 72(36), 269-273, 2010.
18. Ye, M., & Zhou, G., A local genetic approach to multi-objective, facility layout problems with fixed aisles. *International Journal of Production Research*, 45(22), 5243-5264, 2007.
19. Zawadzka, L., *Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2007.
20. Zielecki W., Sęp J.: *Wspomaganie projektowania linii produkcyjnych U-kształtnych metodą programowania sieciowego*, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Tom I, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014.

Mgr Mateusz KIKOLSKI
 Międzynarodowy Chiński i Środkowo-Wschodnioeuropejski Instytut Logistyki
 i Nauki o Usługach
 Politechnika Białostocka
 15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A
 tel./fax: (0-85) 746 98 31
 e-mail: m.kikolski@pb.edu.pl