

Józef MATUSZEK
Akademia Techniczno-Humanistyczna
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Inżynierii Produkcji
jmatuszek@ath.bielsko.pl

MODELOWANIE I SYMULACJA PROCESÓW LOGISTYCZNYCH W PRZEDSIĘBIORSTWIE

Streszczenie. W niniejszej pracy zdefiniowano pojęcie logistyki produkcji oraz scharakteryzowano procesy przygotowania produkcji w warunkach małej i wielkoseryjnej produkcji. Ponadto określono tendencje rozwoju metod projektowania przepływów zasobów wewnątrz przedsiębiorstwa. Przedstawiono również współczesne metody modelowania i symulacji procesów logistycznych, a także podano przykłady projektowania działań logistycznych na drodze wizualizacji przebiegów procesów produkcyjnych. Określono również możliwości zastosowania podanego toku postępowania w praktyce produkcyjnej.

Słowa kluczowe: procesy logistyczne, modelowanie, wizualizacja procesów produkcji

MODELING AND SIMULATION OF LOGISTIC PROCESSES IN ENTERPRISE

Abstract. In this work the concept of production logistics was defined. There were characterized production preparation processes in conditions of small-lot and mass production as well as development trends in the design methods of resources flow within the enterprise. The work presents modern methods of modelling and simulation of logistic processes. There were given examples of logistics activities design on the way of visualization of production processes runs. The possibility of applying the specified course of the proceedings in the production practice was given.

Keywords: logistics processes, modelling, visualization of production processes

1. Wstęp

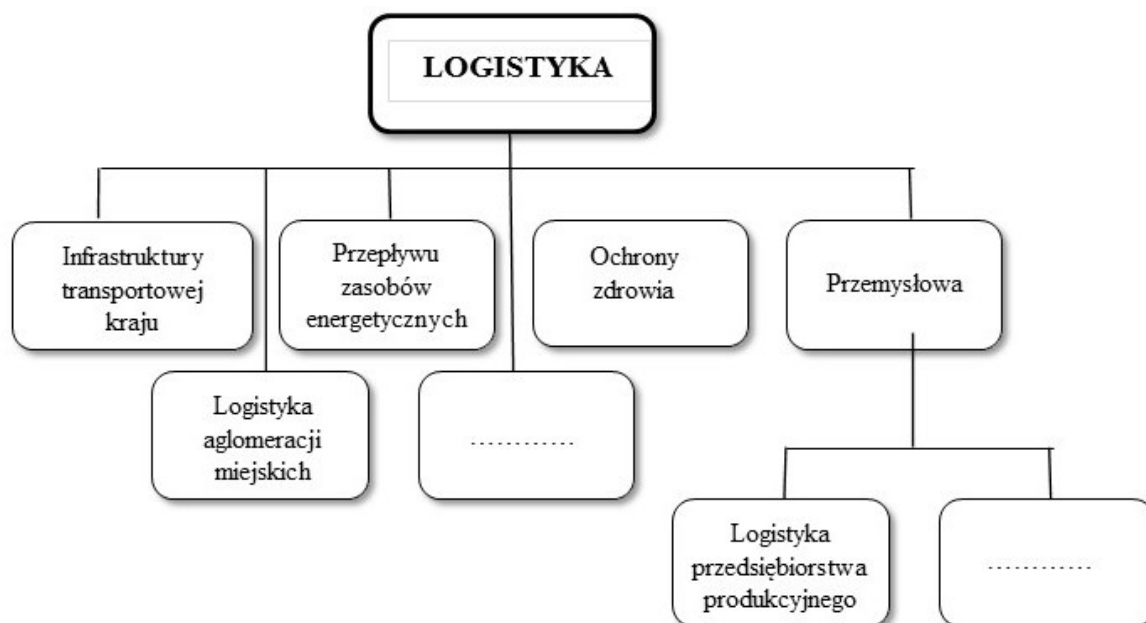
Konkurencja na rynku, wynikająca z ograniczonych możliwości zbytu produktów, spowodowała aktywizację działalności przedsiębiorstw w obszarze projektowania nowych wyrobów i przebiegu procesów produkcji. Następuje rozwijanie, kształtowanie i restrukturyzacja procesów wytwórczych¹. Czynnikiem łączącym badania i rozwój z procesami pozyskiwania klientów, wytwarzania, a także dystrybucją w nowych warunkach *high-technology* staje się logistyka przemysłowa i jednocześnie logistyka biznesu².

W ostatnich latach, w ramach dążenia do skrócenia cykli przygotowania produkcji nowoczesnych wyrobów, wiele przedsiębiorstw podejmuje działania na rzecz zastosowania komputerowego wspomaganie wykonywania prac, w różnych, współpracujących ze sobą zespołach, jak również dążenia do współbieżnego wykonywania czynności przez pracowników w procesach projektowania, wdrażania i realizacji produkcji wyrobów³. Zasadnicza przemiana w praktyce biznesu nastąpiła dzięki niższym kosztom transportu i skróceniu czasów przepływów zasobów, a także na skutek rozwoju łączności elektronicznej oraz zastosowania inteligentnych środków transportu wewnętrznego. Świat wszedł w epokę gospodarki globalnej, w której duże znaczenie mają działania logistyczne. Produkcja jest dzisiaj często utożsamiana z integracją przepływów zasobów, wytwarzania i usług. Nastąpił wzrost znaczenia zarządzania logistycznego w wielu obszarach gospodarki, co pokazuje rysunek 1.

¹ Matuszek J.: Inżynieria produkcji. Politechnika Łódzka, Filia w Bielsku-Białej. Bielsko-Biała 2000.

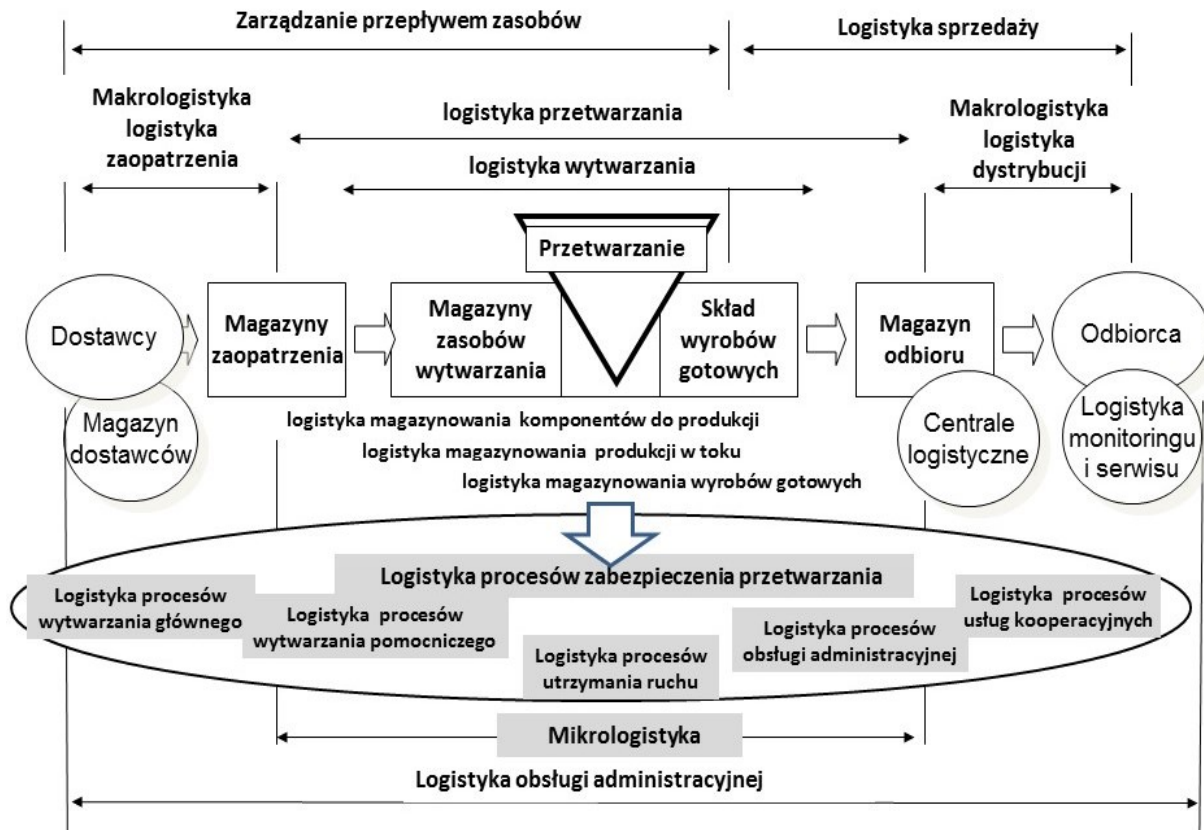
² Abdullah A., Popplewell K., Page C.J.: A review of the support to tools for the process of assembly method selection and assembly planning. "International Journal of Production Research", Vol. 41, No. 11, July 2003, p. 2391-2410.

³ Gregor M., Matuszek J.: Tendencje projektowania systemów produkcyjnych. „Mechanik”, nr 7, 2013, s. 231-238; Gregor M., Medvecký Š, Mičieta Br., Matuszek J., Hrčková A.: Digitálny podnik, Slovenske centrum produktivity Univerzita v Žiline, Žilina 2006; Matuszek J., Więcek D.: Współczesne metody i techniki projektowania procesów przygotowania produkcji. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 50. Politechnika Śląska, Gliwice 2010, s. 51-59.



Rys. 1. Różne obszary zastosowania metod i technik logistycznych
Źródło: Opracowanie własne.

Współcześnie pojęcie logistyki wiąże się z integracją funkcjonowania wielu obszarów organizmów państwowych oraz jednostek administracji terenowej. W ramach logistyki przemysłowej można wyróżnić logistykę umiejscowienia siedziby wydziałów produkcyjnych zakładów, nawiązywania więzi kooperacyjnych, wykonywanych działań składających się na przebieg procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie itd. Poziom rozwiązań logistycznych w obszarach przedstawionych na rysunku 1 ma duży wpływ na efektywność i skuteczność funkcjonowania poszczególnych przedsiębiorstw produkcyjnych i usługowych. Działania wykonywane w trakcie procesu produkcyjnego są związane z miejscem i sposobem składowania, a także z terminem i czasem przepływów zasobów (materiałowych, kadrowych, finansowych, informacji). W zależności od rodzaju i zakresu realizacji tych działań można wyróżnić różne rodzaje logistyki, jak na rysunku 2.



Rys. 2. Zakres zainteresowań logistyki przedsiębiorstwa produkcyjnego
Źródło: Opracowanie własne.

Całość działań składających się na ww. rodzaje logistyki (tj.: zaopatrzenia, przetwarzania, dystrybucji, sprzedaży, obsługi administracyjnej), jeżeli będą się one odnosić do obszaru realizacji procesu produkcji, w dalszej części pracy zostanie związana z pojęciem logistyki produkcji.

Strategia inżynierii wytwarzania oraz systemy dystrybucji i obsługi konsumenta w najbliższych latach stawać się będą decydującymi, wielowymiarowymi czynnikami współzawodnictwa na rynku. Wielowymiarowość obejmuje modernizację nie tylko procesów ściśle technologicznych, ale również logistycznych – załadowniczych, transportowych, wyładowniczych i składowo-magazynowych. Kolejną cechą wielowymiarowości jest informatyzacja realizowanych działań produkcyjnych⁴. Przyszłość należy do firm, które będą rozwijać się w kierunku adaptacji innowacyjnych metod produkcji. W rozwiązywaniu problemów logistycznych produkcji coraz szersze zastosowanie znajduje komputerowe wspomaganie na drodze modelowania, symulacji oraz wirtualizacji procesów i systemów produkcyjnych. W niniejszej pracy przedstawiono przykłady sposobów rozwiązywania problemów logistycznych w przygotowaniu produkcji i kształtowaniu realizowanych procesów

⁴ Breyfogle F.W.: Implementing Six Sigma. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, p. 253.

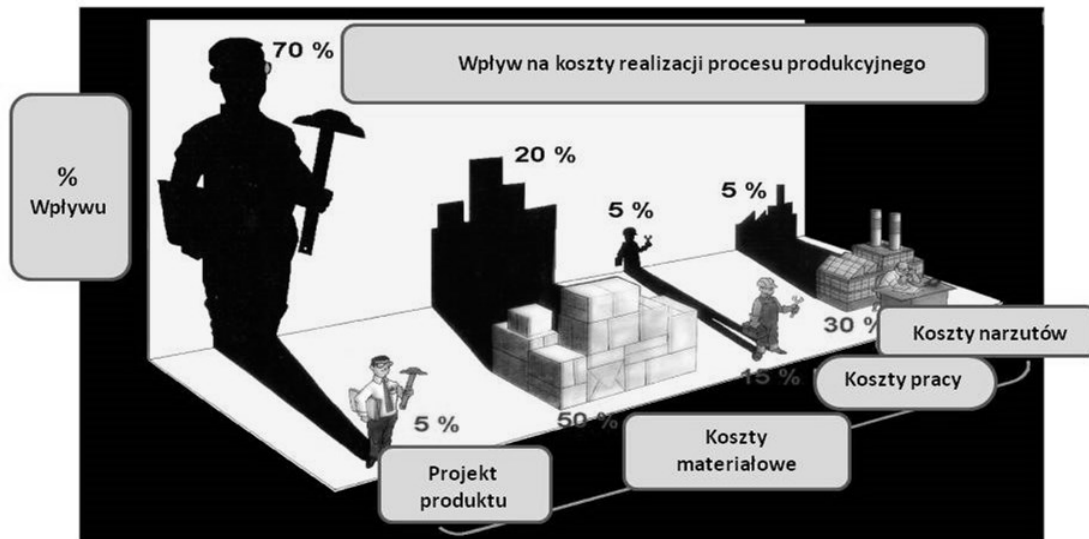
produkcyjnych, począwszy od rozmieszczenia stanowisk pracy oraz dróg transportowych przepływów materiałowych, przez miejsca składowania materiałów, aż po pomoce warsztatowe na stanowiskach roboczych.

2. Proces wdrażania do produkcji nowego produktu

Przebieg procesu projektowania

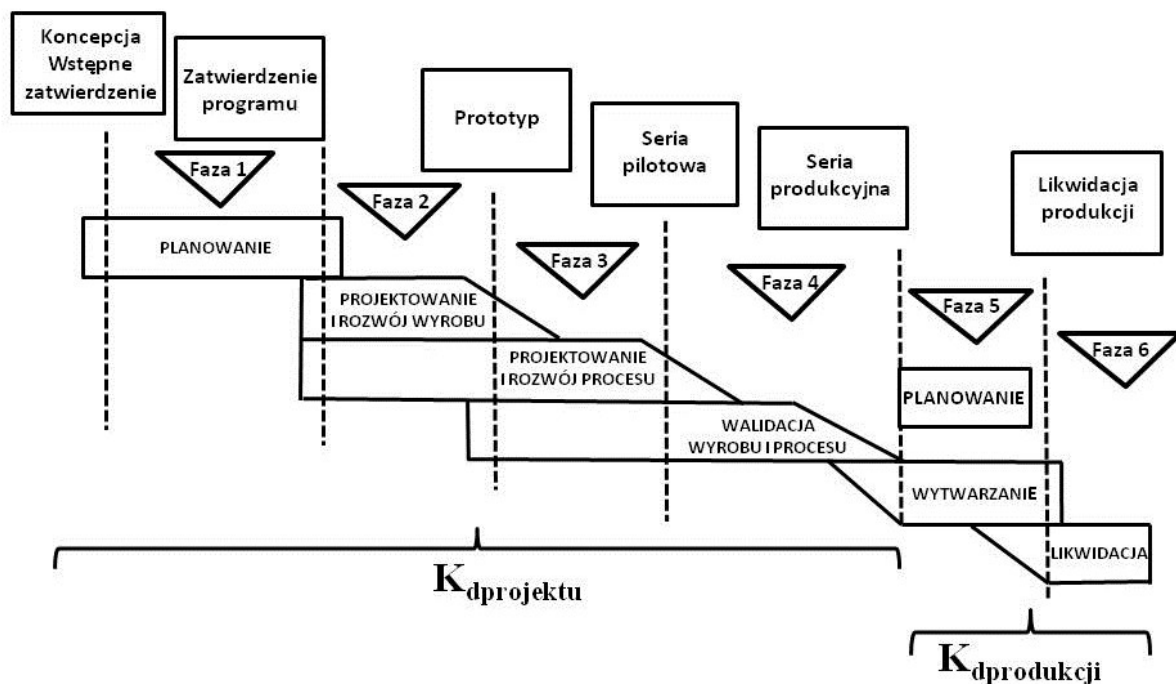
W zależności od rodzaju i złożoności wyrobów, seryjności wytwarzania oraz przygotowania organizacyjno-technicznego stosowane są różne metody i techniki przygotowania i wdrażania nowych technologii oraz produktów do wykonania. W produkcji jednostkowej i małoseryjnej dużą uwagę poświęca się cechom konstrukcyjnym wyrobów gwarantujących uzyskanie odpowiedniego poziomu kosztów i czasu wykonania oczekiwanych efektów użytkowych. Z punktu widzenia wytwarzania wyrobu zwraca się uwagę głównie na możliwości wykonawcze własne, jak i potencjalnych kooperantów. W produkcji wielkoseryjnej uruchomienie produkcji nowych wyrobów, ze względu na wielkoseryjność i powiązania kooperacyjne produkcji, a także projekt produktu i jego planowane efekty wdrożenia, powinny zostać zrealizowane z położeniem dużego nacisku na zagadnienia technologiczności konstrukcji, zwłaszcza z punktu widzenia montażu, jak też na rozwiązania logistyczne współzależnych działań. Projekt procesu produkcji powinien zapewniać minimalizację czasów i kosztów wykonania, przy jednoczesnym zapewnieniu efektów eksploatacyjnych. W obu przypadkach seryjności opracowanie dokumentacji powinno się charakteryzować dyscypliną budżetu przewidzianego na realizację projektu, a także minimalną liczbą błędów, których eliminacja na etapie wytwarzania znacznie obniża nakład kosztów i czasów (rys. 3). Typowe przebiegi wdrożenia nowych wyrobów w zależności od seryjności produkcji przedstawiono na rys. 4 i 5⁵. Ze względu na duży wpływ jakości opracowania projektu na skalę kosztów, w fazie realizacji produkcji wielkoseryjnej, na etapie opracowywania dokumentacji produkcyjnej wyrobów, stosuje się różne, złożone i zaawansowane technologicznie metody oraz techniki wspomagania podejmowania decyzji, jak animacja komputerowa wirtualnie realizowanych, przyszłych procesów produkcyjnych. W miarę postępu technicznego ww. kosztowne narzędzia i metody znajdują również zastosowanie w produkcji jednostkowej i małoseryjnej. W niniejszej pracy jako przykład takiego procesu przedstawiono tok postępowania mający na celu wspomaganie działań projektowych, które są związane z przygotowaniem produkcji nowych wyrobów. Ów tok postępowania jest stosowany w produkcji wielkoseryjnej, np. w przemyśle samochodowym – rysunek 4. Po uproszczeniu, zgodnie z rysunkiem 5, może on również znaleźć zastosowanie w mniejszej skali produkcji.

⁵ Praca zbiorowa: *Advancet Product Quality Planning (APQP) and Control Plan. Reference Manual*. AAIG – Chrysler Corporation, Ford Corporation, General Motors Corporation. Adare Carvin, Unit 1, Trade Link, Western Ave, West Thurrock, Grays, Essex, England 1995 (norma branżowa).



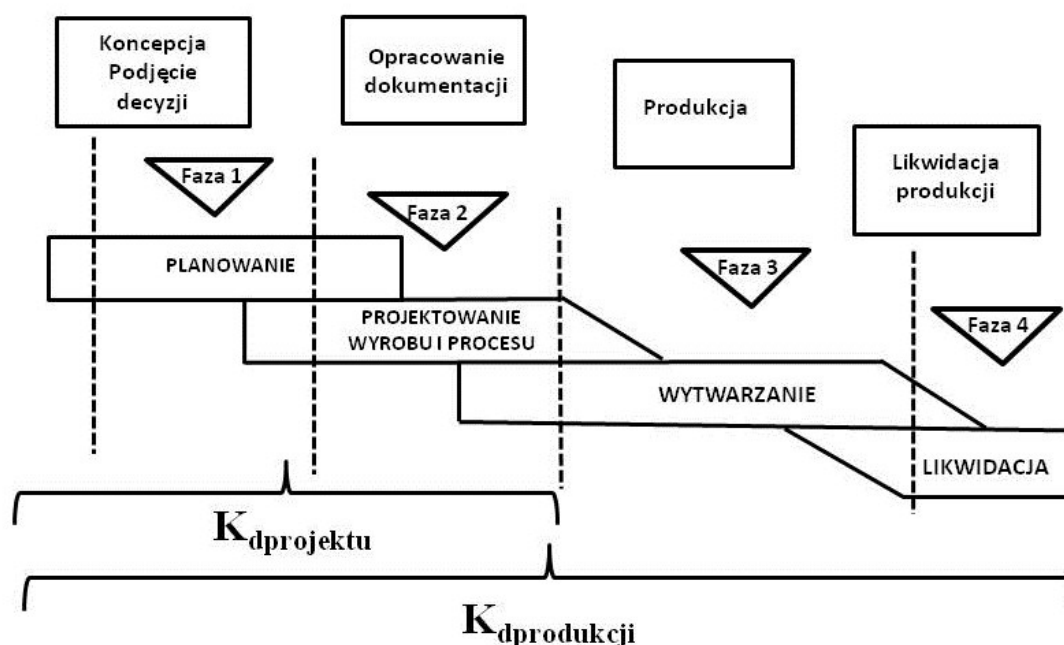
Rys. 3. Struktura kosztów poniesionych na realizację procesu wdrożenia nowego wyrobu w produkcji wielkoseryjnej

Źródło: Breyfogle F.W.: Implementing Six Sigma. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, p. 253.



Rys. 4. Model wdrożenia nowego produktu w produkcji wielkoseryjnej i masowej wg AAIG

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Matuszek J., Seneta T.: Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji. „Mechanik”, nr 7, 2016, s.755-757; Praca zbiorowa: Advancet Product Quality Planning (APQP) and Control Plan. Reference Manual. AAIG – Chrysler Corporation, Ford Corporation, General Motors Corporation. Adare Carvin, Unit 1, Trade Link, Western Ave, West Thurrock, Grays, Essex, England 1995 (norma branżowa).



Rys. 5. Model wdrożenia nowego produktu w produkcji jednostkowej i małoseryjnej wg AAIG
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Matuszek J., Seneta T.: Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji. „Mechanik”, nr 7, 2016, s.755-757; Praca zbiorowa: Advancet Product Quality Planning (APQP) and Control Plan. Reference Manual. AAIG – Chrysler Corporation, Ford Corporation, General Motors Corporation. Adare Carvin, Unit 1, Trade Link, Western Ave, West Thurrock, Grays, Essex, England 1995 (norma branżowa).

Do oceny kosztowej przygotowania i realizacji procesu stosuje się metody związane z pojęciem Target Costing i Kaizen Costing. Określenie „Target Costing” koncentruje się głównie na fazach związanych z przygotowaniem produkcji nowego wyrobu (rysunki 4 i 5). Po uruchomieniu produkcji przekształca się w działania mające na celu minimalizację kosztów na drodze ciągłego doskonalenia przebiegającej produkcji Kaizen Costing. Ogólną istotę rachunku kosztów docelowych można przedstawić za pomocą poniższej formuły (1) i (2)⁶:

⁶ Matuszek J., Kołosowski M., Krokosz-Krynke Z.: Rachunek kosztów dla inżynierów. PWE, Warszawa 2014; Matuszek J., Seneta T.: Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji. „Mechanik”, nr 7, 2016, s.755-757; Więcek D.: Wariantowe podejście do szacowania kosztów elementów maszyn. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 89. Politechnika Śląska, Gliwice 2016, s. 551-563; Więcek D.: Metody szacowania kosztów na etapie projektowania i kształtowania procesów produkcyjnych. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 4, 2015, s. 25-30; Więcek D.: Skorygowany koszt wariantowy przy szacowaniu kosztów pracy. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 78. Politechnika Śląska, Gliwice 2015, s. 517-528; Sojak S., Józwiak H.: Rachunek kosztów docelowych. Oficyna Ekonomiczna Oddział Polskich Wydawnictw Profesjonalnych, 2004, s. 61.

$$K_{\text{dprojektu}} = B_{\text{projektu}} \quad (1)$$

gdzie:

$K_{\text{dprojektu}}$ – koszt docelowy projektu,

B_{projektu} – budżet projektu.

$$K_{\text{dprodukcji}} = C - Z \quad (2)$$

gdzie:

$K_{\text{dprodukcji}}$ – koszt docelowy produkcji,

C – cena,

Z – oczekiwany zysk.

Można zatem przyjąć, że w produkcji wielkoseryjnej koszt docelowy projektu to określony budżet projektu, a koszt docelowy produkcji to maksymalny dopuszczalny koszt własny produkcji (koszt własny jednostkowy produktu)⁷. W produkcji jednostkowej, małoseryjnej koszt docelowy produkcji jest sumą kosztów realizacji projektu i wykonania wyrobu. Tok postępowania uwzględniający wymogi z punktu widzenia Target Costing i Kaizen Costing⁸ przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

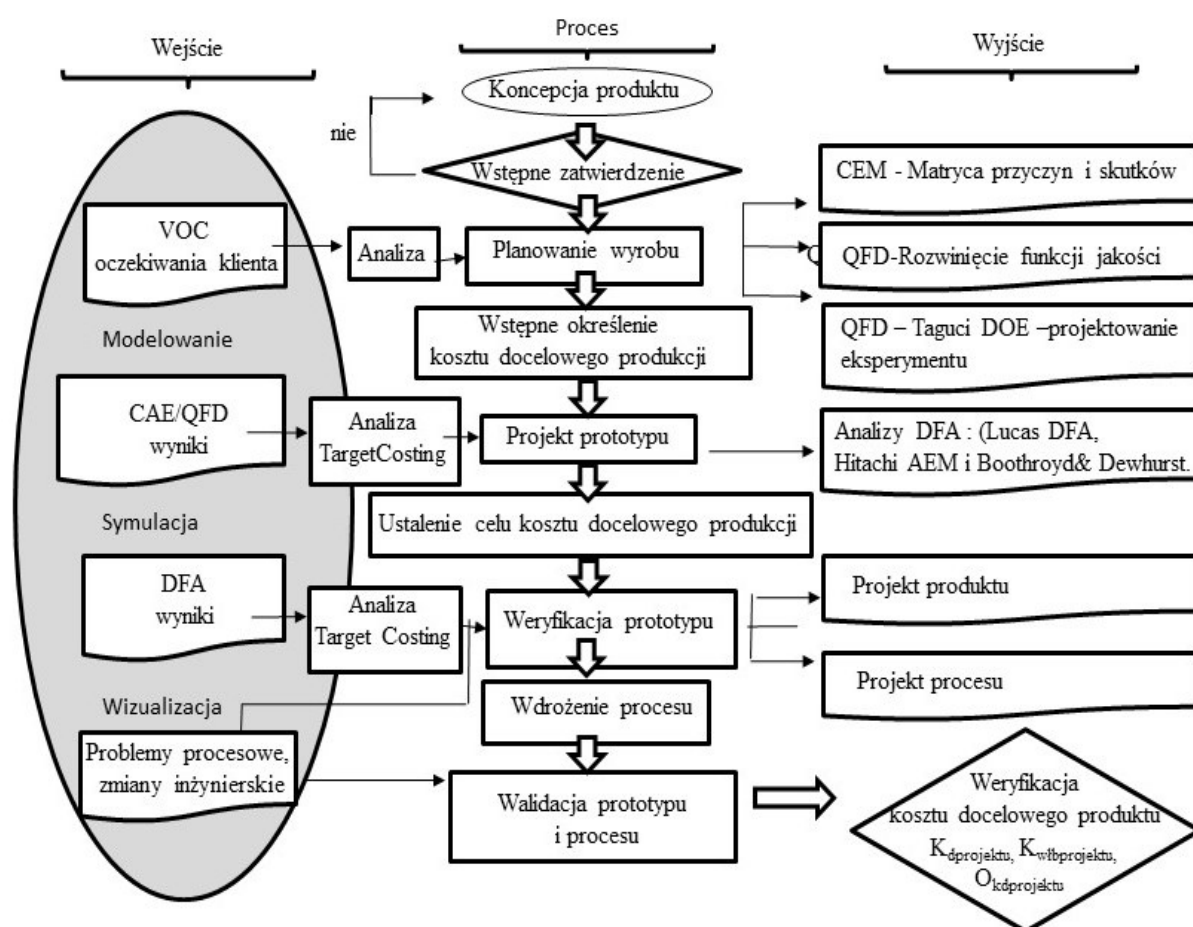
Opracowana dokumentacja projektu jest efektem powiązania celów wynikających z oczekiwań klienta (znajdują tutaj zastosowanie metody VOC, z ang. *voice of customer*) z projektowaniem zorientowanym na technologiczność wytwarzania, głównie na montowalność (metody DFA, z ang. *design for assembly*)⁹. Jednymi z najważniejszych zmiennych czynników, które mają wpływ na projektowanie, są „oczekiwania klienta” i ich przełożenie na założenia projektowe produktu. Do oceny wpływu tych oczekiwań na założenia projektu produktu stosuje się różne metody VOC. Najpopularniejsze z nich to: CEM – matryca przyczyn i skutków (*cause and effect matrix*) oraz QFD – tłumaczone jako rozwinięcie funkcji jakości (*quality function deployment*). W ramach metod DFA, umożliwiających obiektywną ocenę konstrukcji pod względem np. technologiczności montażu, najczęściej stosowane są metody Lucas DFA, Hitachi AEM oraz Boothroyd & Dewhurst¹⁰.

⁷ Matuszek J., Seneta T.: op.cit.

⁸ Abdullah A., Popplewell K., Page C.J.: op.cit.; Matuszek J., Seneta T.: op.cit.

⁹ Matuszek J., Seneta T.: op.cit.

¹⁰ Ibidem.



Rys. 6. Algorytm projektowania procesu wdrażania nowego projektu

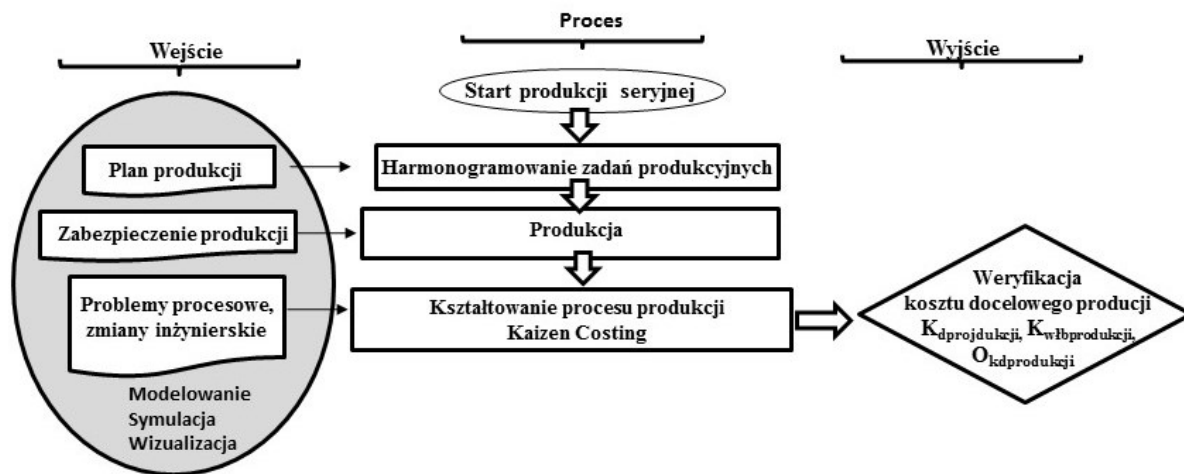
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Matuszek J., Seneta T.: Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji. „Mechanik”, nr 7, 2016, s. 755-757.

Kształtowanie procesu produkcyjnego

Współcześnie rozwój technologii informatycznych umożliwia testowanie poprawności zaprojektowanych procesów – wykonania prototypu, testowania rozwiązań logistycznych przebiegu procesu na drodze jego modelowania i symulacji w wirtualnej rzeczywistości¹¹. Zastosowanie narzędzi pozwalających na wizualizację przebiegu realizowanych procesów

¹¹ Kurezyk D.: Wykorzystanie techniki laserowego skanowania 3D w różnych branżach przemysłowych. Metody i techniki zarządzania procesami produkcyjnymi. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2016, s. 25-36; Kurezyk D.: Projektowanie systemów produkcyjnych na drodze wizualizacji przebiegu ich pracy. Inżynieria procesów produkcyjnych. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole 2013, s. 99-106; Kurezyk D.: Wizualizacja systemów produkcyjnych wspomagana pakietem Autodesk Factory Design. Modele inżynierii teleinformatyki: wybrane zastosowania. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2012, s. 121-126; Kurezyk D., Szal M.: Wizualizacja obiektu przemysłowego z zastosowaniem skanera laserowego. Innowacyjność akademicka – nowe wyzwania dla nauki i przedsiębiorczości. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2011, s. 237-246; Więcek D.: Szacowanie kosztów projektowanych wyrobów. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 70. Politechnika Śląska, Gliwice 2014, s. 505-515; Plinta D.; Więcek D.: Szacowanie kosztów wytwarzania elementów maszyn z wykorzystaniem narzędzi wspomagających projektowanie procesów produkcyjnych. „PAR: Pomiar, Automatyka, Robotyka”, nr 2, 2011, s. 156-165.

umożliwia lepsze zapoznanie się i zrozumienie podejmowanych działań, a także przewidzenie ich skutków.



Rys. 7. Określanie odchyłki kosztu dopuszczalnego produkcji produktu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Matuszek J., Seneta T.: Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji. „Mechanik”, nr 7, 2016, s. 755-757.

W zaproponowanym algorytmie postępowania określenie kosztu własnego projektu ($K_{włprojektu}$), kosztu własnego produkcji ($K_{włprodukcji}$), odchyłki kosztu docelowego projektu i produkcji ($O_{dprojektu}$, $O_{dprodukcji}$) może być wyznaczone na podstawie metody doliczeniowej wg miejsc powstawania kosztów¹². Przydatność algorytmu wynika z możliwości przeprowadzenia dokładnych obliczeń kosztów dzięki symulacji wykonywanych działań na każdym etapie realizacji projektu (rysunki 6 i 7).

3. Modelowanie i symulacja procesów logistycznych w produkcji

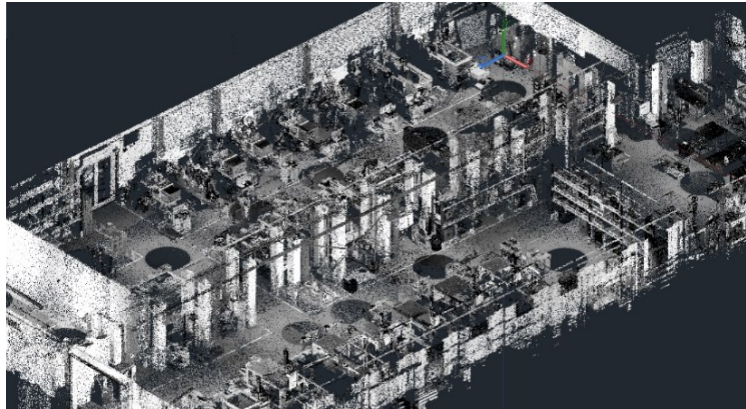
Skanowanie obiektów przemysłowych

Podstawą modelowania procesów jest uprzednie zeskanowanie obiektów mających wpływ na przebieg działań projektowych i na wytwarzanie. W skanowaniu obiektów największe zastosowanie znalazły bezstykowe skanery laserowe 3D. Otrzymywane wyniki pomiarów zwykle są przedstawiane w postaci chmury punktów (patrz rys. 8)¹³. Chmura punktów to zbiór wokseli, czyli punktów rozmieszczonych w przestrzeni trójwymiarowej. Najczęściej punkty te

¹² Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: 3D laserové skenovanie veľkých objektov. CEIT, Žilina 2016; Kurczyk D.: Wizualizacja...

¹³ Gregor M., Medvecký Š, Mičieta Br., Matuszek J., Hřečkova A.: op.cit.; Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: op.cit.; Kurczyk D.: Wykorzystanie...

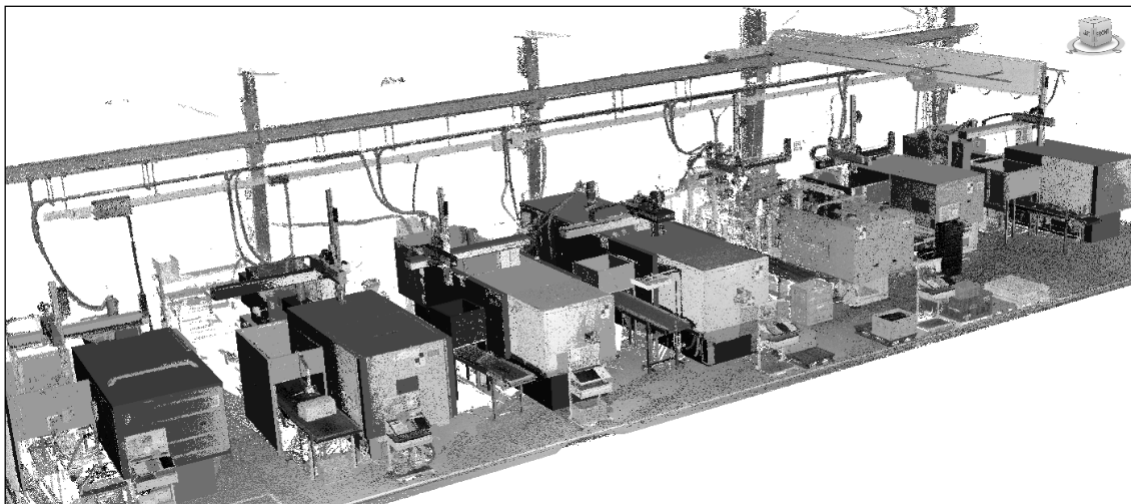
są pokolorowane w odcieniach szarości, jak na rysunku 8. Istnieje także możliwość otrzymania kolorowej chmury punktów w barwach odpowiadających rzeczywistym kolorom¹⁴.



Rys. 8. Przykład chmury punktów przedstawiającej halę produkcyjną

Źródło: Kurczyk D.: Wykorzystanie techniki laserowego skanowania 3D w różnych branżach przemysłowych. Metody i techniki zarządzania procesami produkcyjnymi. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2016, s. 25-36.

Chmura punktów podlega dalszej obróbce. Tworzenie trójwymiarowego modelu 3D (rys. 9) może zostać zrealizowane w kilku rodzajach programów. Stosunkowo najmniej złożone spośród nich to AutoCad, Inventor, 3ds Max¹⁵.



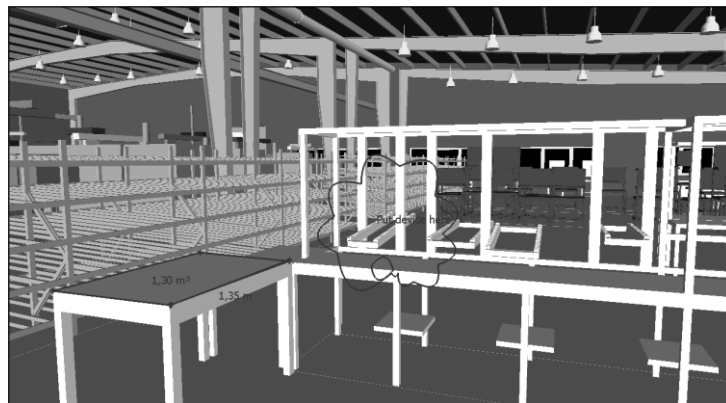
Rys. 9. Wpasowywanie gotowych modeli w chmurę punktów

Źródło: Kurczyk D.: Projektowanie systemów produkcyjnych na drodze wizualizacji przebiegu ich pracy. Inżynieria procesów produkcyjnych. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole 2013, s. 99-106.

¹⁴ Kurczyk D.: Wykorzystanie...

¹⁵ Ibidem.

Dysponując trójwymiarowym modelem przestrzeni roboczej, można zaprojektować lub zmodyfikować hale produkcyjne, drogi transportowe oraz istniejące linie produkcyjne, a także dokonać oceny projektu, z uwzględnieniem wszystkich ograniczeń, a w przypadku zadawalających wyników wdrożyć zmiany. Zaletą takiego podejścia jest skrócenie czasu realizacji zmian oraz czasu przestoju linii produkcyjnych na okres wprowadzania modyfikacji, jak również duże prawdopodobieństwo, że zastosowanie zmiany zostanie przeprowadzone bez poprawek już za pierwszym razem. Wizualizacja obiektu przemysłowego została pokazana na rysunku 10. Umożliwia ona odbycie wirtualnego spaceru po hali produkcyjnej w celu inspekcji BHP. W przypadku dostrzeżenia zaniedbania można nanieść odpowiednią adnotację w miejscu, gdzie do niego doszło. Przykładowo, pomiar szerokości drogi transportowej wykazał, że jest ona zbyt wąska¹⁶. Model przestrzenny hali produkcyjnej pozwala również na przeprowadzenie harmonogramowania 4D określonego przedsięwzięcia¹⁷. Tradycyjne harmonogramowanie skupia się wyłącznie na ograniczeniach czasowych, nie analizując ograniczeń przestrzennych. W takim przypadku może dojść do sytuacji, gdy zaplanowane dwa działania z punktu widzenia dostępności zasobów ludzkich i czasowych będą możliwe do przeprowadzenia, ale nie będzie można ich urzeczywistnić z powodu występowania kolizji przestrzennych. Takiej sytuacji można uniknąć, stosując harmonogramowanie 4D, do którego wymagany jest model przestrzenny hali produkcyjnej, pokazany na rysunku 8¹⁸.



Rys. 10. Wizualizacja obiektu przemysłowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Kurczyk D., Szal M.: Wizualizacja obiektu przemysłowego z zastosowaniem skanera laserowego. *Innowacyjność akademicka – nowe wyzwania dla nauki i przedsiębiorczości*. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2011, s. 237-246.

¹⁶ Kurczyk D.: Projektowanie...

¹⁷ Ibidem.

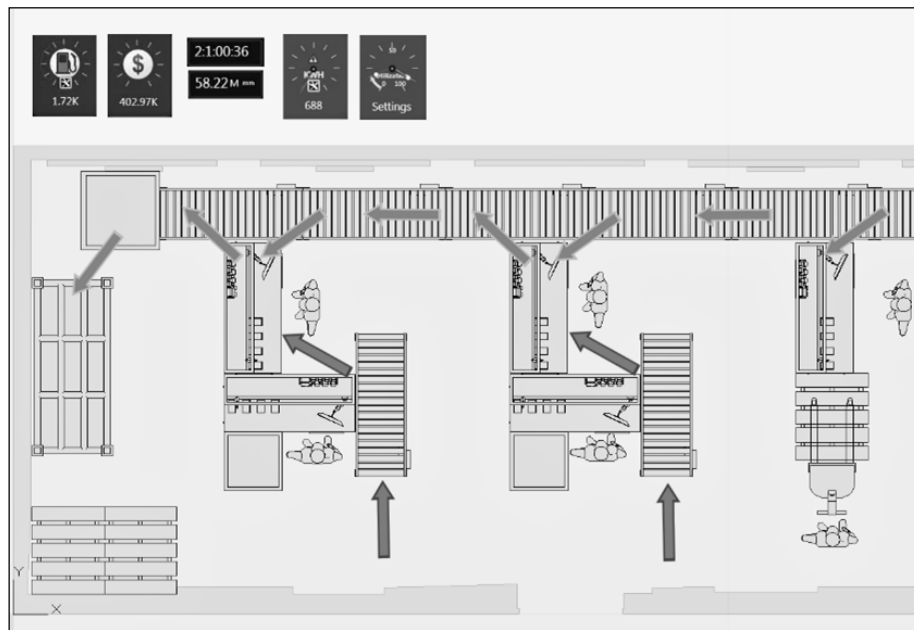
¹⁸ Kurczyk D.: Projektowanie...; Kurczyk D., Szal M.: op.cit.

Modele przestrzenne stanowisk pracy i hal przemysłowych, pozyskanych w wyniku laserowego skanowania, są wykorzystywane nie tylko do wizualizacji obiektów przemysłowych, ale także do wizualizacji i symulacji całych procesów produkcyjnych, w tym logistycznych działań związanych z przemieszczaniem zasobów. Taki stan rzeczy można wiązać z nazwą „cyfrowej fabryki”. Jest ona rozumiana jako sieć cyfrowych (komputerowych) modeli, metod i narzędzi (łącznie z symulacją, wizualizacją 3D i wirtualną rzeczywistością), które zostają zintegrowane i umożliwiają zarządzanie danymi w sposób ciągły. Celem takiego działania jest osiągnięcie kompleksowego planowania, ocena oraz ciągłe doskonalenie wszystkich znaczących procesów i zasobów w przedsiębiorstwie, które łączą się z produktem. W praktyce cyfrowa fabryka jest wirtualnym zakładem produkcyjnym, służącym jako poligon doświadczalny do testowania proponowanych rozwiązań w obszarze doskonalenia procesów produkcyjnych. Okazuje się ona nie tylko modelem przestrzennym przedsiębiorstwa, ale także modelem logicznym opisującym zależności występujące w procesach produkcyjnych. Testowanie na drodze symulacji zdarzeń pozwala na prawidłowe wdrożenie zmian do rzeczywistego przedsiębiorstwa już za pierwszym razem, a koszty związane z reorganizacją procesu produkcyjnego zostają zredukowane do minimum.

Wizualizacja systemu logistycznego przepływów materiałowych

Projektowanie dróg transportowych oraz określanie czasów przepływów są jednymi z ważniejszych zagadnień projektowania systemów produkcyjnych. Po zeskanowaniu obiektów – hali, stanowisk pracy oraz ich rozmieszczenia można efektywnie projektować drogi wewnętrzne w halach produkcyjnych, a także miejsca składowania materiałów, półwyrobów, pomocy warsztatowych, co widać na rysunku 11¹⁹. Po określeniu czasów realizacji poszczególnych działań produkcyjnych, czasów załadowania, przejazdów i wyładowania materiałów, na drodze animacji przemieszczenia się środków transportu, można przewidzieć wystąpienie niedociągnięć zaprojektowanych systemów logistycznych w przedsiębiorstwach.

¹⁹ Kurezyk D.: Wizualizacja...



Rys. 11. Komputerowa analiza przepływu materiału

Źródło: Kurczyk D.: Wizualizacja systemów produkcyjnych wspomagana pakietem Autodesk Factory Design. Modele inżynierii teleinformatyki: wybrane zastosowania. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2012, s. 121-126.

Z przebiegiem produkcji wielkoseryjnej oraz masowej wiąże się powtarzalny i rytmiczny cykl wytwarzania (przewozy tego samego materiału po tej samej trasie). Aby skrócić wykonywanie czynności transportowych (załadunek, transport, wyładunek) i zminimalizować liczbę pomyłek, coraz częściej stosuje się inteligentne wózki AGV (ang. *automated guided vehicles*) i inteligentne roboty transportowe i-AGV – rys. 12²⁰.

Samobieżne środki transportu AGV i e-AGV mogą w sposób bezobsługowy załadować, transportować po wcześniej zaprogramowanych trasach wewnątrz i na zewnątrz hal produkcyjnych oraz wyładować ładunki w określonych miejscach. Inteligentne wózki i roboty sterowane są za pomocą lokalnej bezprzewodowej sieci informatycznej²¹.

²⁰ Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: op.cit.

²¹ Ibidem.



Rys. 12. Wózek AGV

Źródło: Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: 3D laserové skenovanie veľkých objektov. CEIT, Žilina 2016.

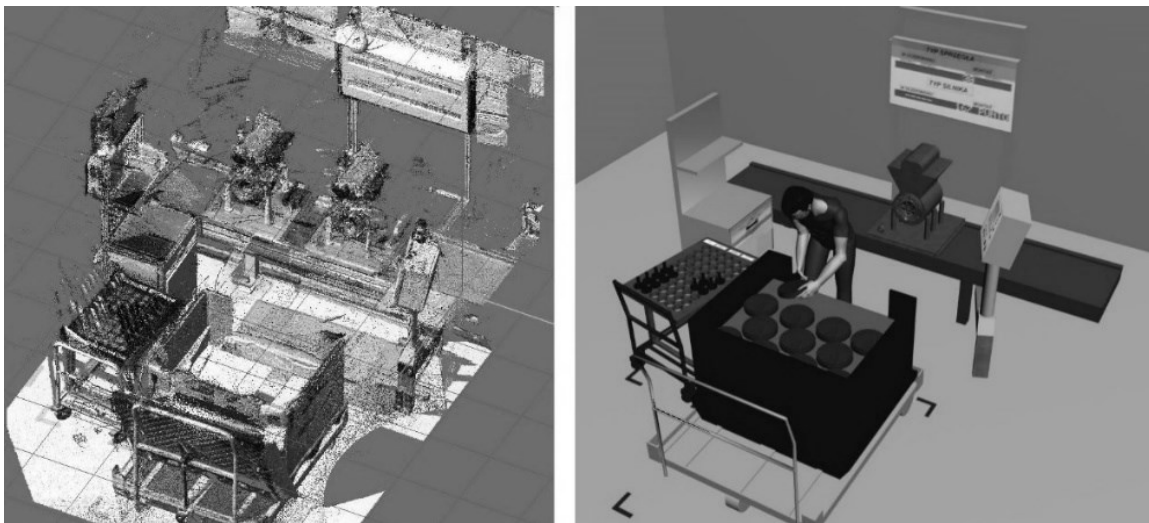
Wizualizacja kształtowania przebiegu pracy na stanowiskach roboczych

Wprowadzanie zmian w procesach pracy zwykle generuje zakłócenia w logistyce przepływów zasobów. Wynika to często ze zmian czasów wykonywania poszczególnych operacji obróbki i montażu. Bazując na opracowanym modelu „cyfrowej fabryki”, w postaci zamodelowania hali, stanowisk pracy oraz zdefiniowania operacji wykonywanych w ramach przebiegu pracy, można określić model logiczny realizowanych działań produkcyjnych i przeprowadzić analizy różnych, zadanych dla nich przebiegów. Z punktu widzenia logistyki produkcji istotny jest sposób zamodelowania przemieszczania się materiałów między stanowiskami z pomocą środków transportu. W trakcie definiowania środków transportu należy uwzględnić m. in. trasy, prędkość ruchu, koszt eksploatacji, a także czasy wykonywania zadań roboczych na stanowiskach pracy, załadunku i rozładunku. Parametry rozpatrywanego wariantu przebiegu są możliwe do określenia w czasie rzeczywistym i podczas zmian w wirtualnych obiektach na hali produkcyjnej. W taki sposób można określić racjonalne rozmieszczenie poszczególnych stanowisk, racjonalny przebieg procesu²².

Kolejnym ważnym aspektem w projektowaniu i kształtowaniu systemów produkcyjnych jest ergonomia pracy. Rosnące wymagania dotyczące wydajności pracy oraz monotoność wykonywanych robót wpływają na coraz większą liczbę schorzeń pracowników. Przyczynę stanowi nieodpowiednie dostosowanie stanowisk pracy do potrzeb pracowników. Zwiększająca się populacja pracowników zbliżających się do wieku emerytalnego, jak też wymagania związane z przestrzeganiem norm i przepisów BHP wymuszają zastosowanie komputerowo wspomaganých narzędzi w procesach kształtowania otoczenia i wyposażenia stanowisk pracy.

²² Kurezyk D.: Projektowanie...

Typowymi problemami, które czekają na rozwiązanie, są: reorganizacja pracy na stanowisku w taki sposób, by pracownik wykonywał obowiązki w złotej strefie, odpowiednie składowanie przedmiotów pracy obok stanowiska oraz rozmieszczenie pomocy warsztatowych. Racjonalizacja polega na takim ułożeniu potrzebnych do pracy narzędzi, aby znajdowały się w zasięgu rąk i aby pobieranie materiałów nie wymagało odchodzenia od stanowiska ani stosowania zbyt dużych skrętów ciała, a także by waga materiałów przenoszonych bezpośrednio przez pracownika nie była zbyt duża. W trakcie analiz animowanych czynności można rozważyć różne warianty rozwiązań przebiegu procesu. Oprogramowanie, np. CATIA, umożliwia analizę uciążliwości pracy w takich aspektach, jak: kąt zgięcia w pasie, kąt obrotu w pasie, wysokość ramienia roboczego, kąt zgięcia i wyprostowania kolan, kąt obrotu nadgarstka, podnoszenie części i materiałów, zakres roboczy, chodzenie, przenoszenie. Oprogramowanie pozwala na przeprowadzenie analiz ergonomicznych, które wskazują segmenty ciała, jakie byłyby nadmiernie obciążone w trakcie wykonywania prac na stanowisku roboczym. Przykład analizy ergonomicznej i kształtowania stanowiska montażu silnika spalinowego przedstawiono na rysunku 13²³.



Rys. 13. Przykład modelu stanowiska wykonany na potrzeby analizy ergonomicznej

Źródło: Kurczyk D.: Projektowanie systemów produkcyjnych na drodze wizualizacji przebiegu ich pracy. Inżynieria procesów produkcyjnych. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole 2013, s. 99-106.

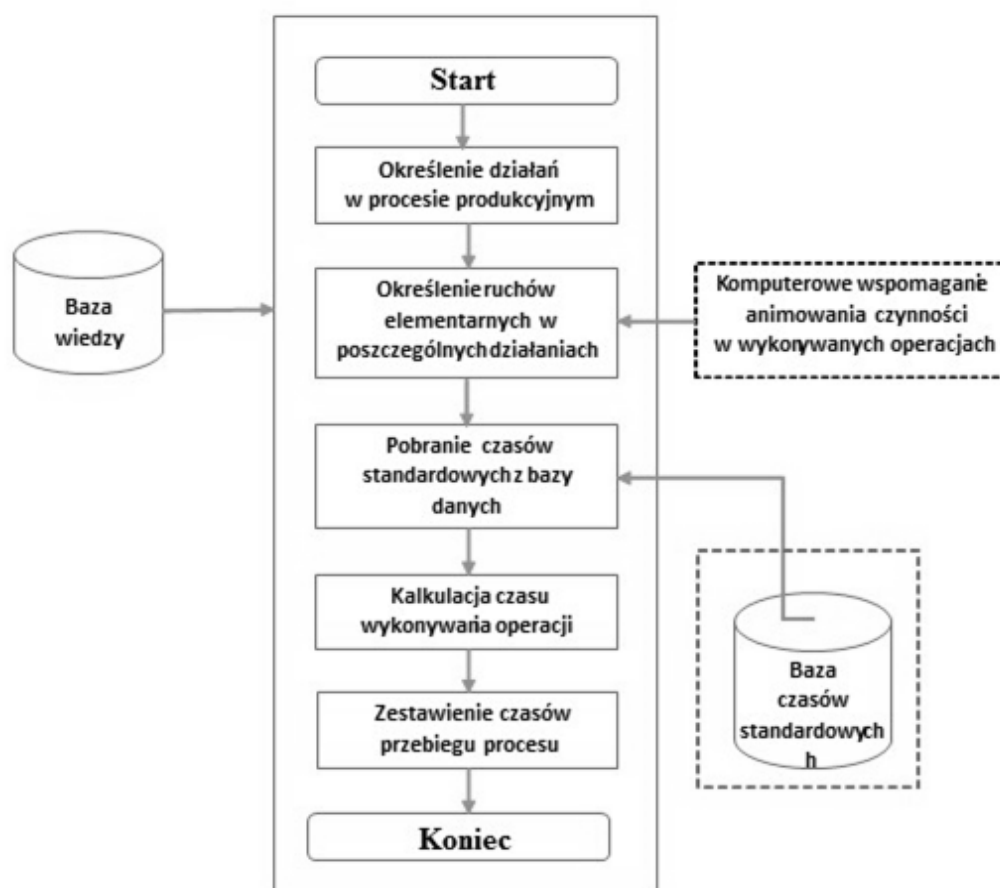
Analiza wykazała znaczne obciążenie mięśni nadgarstka pracownika oraz wskazała na potrzebę zastosowania na stanowisku innego sposobu rozmieszczenia przedmiotów pracy.

²³ Ibidem.

Wizualizacja dla potrzeb szacowania czasu pracy

Umiejętność precyzyjnego szacowania czasu pracy jest bardzo istotna z punktu widzenia planowania procesu. Tradycyjne podejście do szacowania czasu pracy opiera się na danych pozyskanych z pomiarów czasu rzeczywistego lub uzyskanego na podstawie normatywów.

Opierając się na założeniu, że każdą ludzką pracę, zarówno ręczną, jak i maszynową, można rozłożyć na powtarzające się ruchy elementarne, można założyć, że postępowanie odwrotne pozwoli na podstawie ruchów elementarnych z góry określić ruchy konieczne do wykonania określonej czynności, co przedstawia rysunek 14, a tym samym z góry oszacować czas potrzebny na wykonanie tej czynności. Na rynku dostępnych jest wiele narzędzi informatycznych umożliwiających automatyzację szacowania czasu pracy, np. DELMIA. Pobierając z bazy danych informacje o czasie trwania ruchów elementarnych, można po ich scaleniu określić czasy poszczególnych działań procesu²⁴.



Rys. 14. Automatyczne szacowanie czasu pracy

Źródło: Kurczyk D.: Projektowanie systemów produkcyjnych na drodze wizualizacji przebiegu ich pracy. Inżynieria procesów produkcyjnych. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole 2013, s. 99-106.

²⁴ Kurczyk D.: Projektowanie...; Więcek D.: Costs determination at the stage of production processes design. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 4, 2014, s. 42-45; Więcek D.: Introduction to Cost Accounting. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2012.

Do oszacowania całkowitego czasu produkcji na linii produkcyjnej potrzebne jest opracowanie relacji między wszystkimi operacjami w procesie. Dzięki temu w trakcie szacowania czasów będzie można uwzględnić także szeregową i równoległą pracę stanowisk oraz czasy przygotowawczo-zakończeniowe, a także czasy przebrojeń. Tak opracowany model logiczny procesu produkcyjnego można powiązać z modelem trójwymiarowym hali produkcyjnej oraz z modelami stanowisk powstałymi z wykorzystaniem techniki skanowania trójwymiarowego.

4. Podsumowanie

Postęp technologiczny i dynamiczny rozwój systemów informatycznych pozwala na stosowanie coraz bardziej złożonych, a tym samym bardziej dokładnych sposobów projektowania systemów logistycznych produkcji na drodze wirtualizacji ich pracy. Wciąż rośnie liczba przedsięwzięć inżynierskich realizowanych przy wykorzystaniu modelowania 3D i symulacji²⁵. Przedstawione w artykule zastosowania technik wirtualizacji opierają się na zastosowaniu oprogramowania, które coraz częściej nosi nazwę oprogramowania „cyfrowej fabryki”²⁶. Opracowanie modeli przebiegu procesu w systemie produkcyjnym jest procesem kosztownym i czasochłonnym, jednak w dalszej perspektywie funkcjonowania przedsiębiorstwa przynosi wymierne korzyści. Ich użycie prowadzi do zmniejszania kosztów wdrożenia projektu nowego wyrobu, a także dokonania racjonalnego wyboru spośród kilku rozważanych rozwiązań oraz do minimalizacji liczby błędów w trakcie realizacji produkcji itd. Projektowanie systemu produkcyjnego jest ściśle związane z projektowaniem systemu logistycznego przedsiębiorstw. Szczególnie istotne przy projektowaniu hal produkcyjnych jest dokonanie złożonych analiz funkcjonowania systemów logistycznych, co wymaga określenia wymiarów pomieszczeń, rozmieszczenia stanowisk pracy, dróg transportowych i środków transportu, a także sposobu oraz miejsca składowania przedmiotów pracy²⁷.

Technika laserowego skanowania 3D jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną, której towarzyszy bardzo duży postęp i szybki rozwój urządzeń skanujących. Skanery 3D znajdują zastosowanie w wielu branżach, np. inżynierii przemysłowej, inżynierii lądowej, medycynie, branży rozrywkowej czy kryminalistyce. Należy się spodziewać, że dalszy rozwój skanerów 3D i oprogramowania przyczyni się do znacznego obniżenia kosztów zastosowania techniki laserowego skanowania 3D. To z kolei doprowadzi do dalszego rozwoju w projektowaniu

²⁵ Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: op.cit.; Kurczyk D.: Wykorzystanie...; Kurczyk D.: Projektowanie...; Kurczyk D.: Wizualizacja...; Kurczyk D., Szal M.: op.cit.

²⁶ Gregor M., Medvecký Š, Mičičeta Br., Matuszek J., Hřečková A.: op.cit.

²⁷ Kurczyk D.: Wykorzystanie...; Kurczyk D.: Projektowanie...; Kurczyk D.: Wizualizacja...; Kurczyk D., Szal M.: op.cit.

i zarządzaniu procesami produkcyjnymi, dzięki czemu poszerzy się zakres ich zastosowania, np. w inżynierii odwrotnej²⁸.

W wielozakładowym globalnym koncernie poszczególne przedsiębiorstwa rywalizują między sobą o pozyskanie nowych projektów wdrożeniowych wyrobów. Budżety projektów dostosowane są do warunków organizacyjno-technicznych tych zakładów. Jednym z najważniejszych kryteriów pozyskania produkcji nowych wyrobów jest terminowość ich realizacji i nieprzekraczanie przypisanych im budżetów. Ze względu na ograniczony margines odstęp od narzuconych danych wejściowych, generowanie dużych strat wynikających z ich niedotrzymania, algorytmizację procesu zarządzania projektem oraz zastosowanie odpowiednich analiz wykonywanych działań są nieodzownymi elementami ich realizacji. Bazując na danych literatury²⁹, wskazujących na redukcję kosztów przy zastosowaniu QFD i DFA od 30% do 70% w porównaniu do projektów, wobec których nie zastosowano omawianych metodyk, proponowany algorytm umożliwi kontrolę realizacji budżetu projektu oraz poziomu uzyskanych kosztów własnych realizowanej produkcji. Pozwoli także ocenić wysokość odchyłki kosztu dopuszczalnego projektu i odchyłkę kosztu dopuszczalnego produkcji.

Optymalizacja i automatyzacja środków transportu wewnętrznego to działania mające na celu poprawę efektywności systemów logistycznych przedsiębiorstwa. Coraz większe zastosowanie znajdują systemy zastępujące operatora oraz zrobotyzowane wózki transportowe AGV i e-AGV³⁰.

Doskonalenie procesów logistycznych realizowanych w przedsiębiorstwach odbywa się w oparciu o narzędzia i techniki, które pozwalają na wizualizację realizowanych procesów, co umożliwi lepsze poznanie i zrozumienie podejmowanych działań, a także przewidzenie ich skutków.

Bibliografia

1. Abdullah A., Popplewell K., Page C.J.: A review of the support to tools for the process of assembly method selection and assembly planning. "International Journal of Production Research", Vol. 41, No. 11, July 2003.
2. Breyfogle F.W.: Implementing Six Sigma. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
3. Boothroyd G., Dewhurst P.: Design for Assembly, A Designers Handbook. Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, 1983.

²⁸ Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: op.cit.

²⁹ Abdullah A., Popplewell K., Page C.J.: op.cit.; Matuszek J., Seneta T.: op.cit.

³⁰ Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: op.cit.

4. Gregor M., Matuszek J.: Tendencje projektowania systemów produkcyjnych. „Mechanik”, nr 7, 2013.
5. Gregor M., Medvecký Š, Mičieta Br., Matuszek J., Hrčekova A.: Digitálny podnik, Slovenske centrum produkivity Univerzita v Žiline, Žilina 2006.
6. Gregor M., Medvecký Št., Štefánik A., Furmann R., Mačuš P.: 3D laserové skenovanie veľkých objektov. CEIT, Žilina 2016.
7. Kurczyk D.: Wykorzystanie techniki laserowego skanowania 3D w różnych branżach przemysłowych. Metody i techniki zarządzania procesami produkcyjnymi. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2016.
8. Kurczyk D.: Projektowanie systemów produkcyjnych na drodze wizualizacji przebiegu ich pracy. Inżynieria procesów produkcyjnych. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole 2013.
9. Kurczyk D.: Wizualizacja systemów produkcyjnych wspomagana pakietem Autodesk Factory Design. Modele inżynierii teleinformatyki: wybrane zastosowania. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2012.
10. Kurczyk D., Szal M.: Wizualizacja obiektu przemysłowego z zastosowaniem skanera laserowego. Innowacyjność akademicka – nowe wyzwania dla nauki i przedsiębiorczości. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2011.
11. Matuszek J.: Inżynieria produkcji. Politechnika Łódzka, Filia w Bielsku-Białej. Bielsko-Biała 2000.
12. Matuszek J., Kołosowski M., Krokosz-Krynke Z.: Rachunek kosztów dla inżynierów. PWE, Warszawa 2014.
13. Matuszek J., Seneta T.: Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji. „Mechanik”, nr 7, 2016.
14. Praca zbiorowa: Advantcet Product Quality Planning (APQP) and Control Plan. Reference Manual. AAIG – Chrysler Corporation, Ford Corporation, General Motors Corporation. Adare Carvin, Unit 1, Trade Link, Western Ave, West Thurrock, Grays, Essex, England 1995 (norma branżowa).
15. Więcek D.: Wariantowe podejście do szacowania kosztów elementów maszyn. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 89. Politechnika Śląska, Gliwice 2016.
16. Więcek D.: Metody szacowania kosztów na etapie projektowania i kształtowania procesów produkcyjnych. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 4, 2015.
17. Więcek D.: Skorygowany koszt wariantowy przy szacowaniu kosztów pracy. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 78. Politechnika Śląska, Gliwice 2015.
18. Więcek D.: Costs determination at the stage of production processes design. „Zarządzanie Przedsiębiorstwem”, nr 4, 2014.

19. Więcek D.: Szacowanie kosztów projektowanych wyrobów. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 70. Politechnika Śląska, Gliwice 2014.
20. Matuszek J., Więcek D.: Współczesne metody i techniki projektowania procesów przygotowania produkcji. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 50. Politechnika Śląska, Gliwice 2010.
21. Więcek D.: Introduction to Cost Accounting. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2012.
22. Plinta D.; Więcek D.: Szacowanie kosztów wytwarzania elementów maszyn z wykorzystaniem narzędzi wspomagających projektowanie procesów produkcyjnych. „PAR: Pomiary, Automatyka, Robotyka”, nr 2, 2011.
23. Sojak S., Józwiak H.: Rachunek kosztów docelowych. Oficyna Ekonomiczna Oddział Polskich Wydawnictw Profesjonalnych, 2004.