

ZASTOSOWANIE PLANT SIMULATION W ANALIZIE WYDAJNOŚCI PRODUKCJI WYBRANEGO ELEMENTU SZAFKI PODTYNKOWEJ

Mateusz KIKOLSKI

Streszczenie: Artykuł przedstawia możliwości wykorzystania cyfrowych modeli podczas analizy wirtualnych modeli procesów produkcyjnych. Zastosowanie komputerowych rozwiązań pozwala na zmniejszenie kosztów przedsiębiorstwa wynikających z błędnych decyzji podejmowanych podczas planowania i modernizacji linii produkcyjnych. Artykuł przybliży temat komputerowego modelowania oraz symulacji procesu produkcyjnego. W artykule przedstawiony został jeden z dostępnych na polskim rynku systemów, Tecnomatix Plant Simulation.

Słowa kluczowe: planowanie produkcji, PLM, symulacja, analiza, Tecnomatix Plant Simulation.

1. Wstęp

W przemyśle wytwórczym coraz bardziej istotną staje się współpraca pomiędzy poszczególnymi działami przedsiębiorstw. Wraz ze stałym rozwojem procesów produkcyjnych i systemów informatycznych, a także zwiększaniem możliwości przeliczeniowych komputerów, kwestią czasu było stworzenie rozbudowanych systemów komputerowych wspomagających produkcję oraz zarządzanie. Wirtualna produkcja uważana jest za jedno z najlepszych narzędzi globalnej produkcji i marketingu. Odbiorcy stale wymagają wysokiej jakości oferowanych produktów, przy jednoczesnym zachowaniu jak najniższej ceny. W dzisiejszych realiach światowej konkurencji, a także konieczności obniżania kosztów, producenci chcący odnieść sukces muszą stosować technologie służące do tak zwanego cyfrowego wytwarzania. Cyfrowe wytwarzanie umożliwia modelowanie i symulację dowolnego produktu. Dzięki wykorzystaniu komputerowego wspomaganie, przedsiębiorstwa produkcyjne mogą zoptymalizować procesy wytwórcze - zarówno w kwestii czasu, kosztów, jak też poziomu jakości. Włączanie informatyki w procesy wytwarzania staje się zjawiskiem bardziej powszechnym. Budowa komputerowych modeli umożliwia analizę procesów wytwórczych, pomaga zlokalizować ich słabe punkty oraz stwarza możliwości usprawnienia.

Współczesna produkcja charakteryzuje się różnorodnością produktów, skróceniem cyklu życia produktu, zmniejszaniem kosztów produkcji oraz coraz krótszym czasem od zaprojektowania do wypuszczenia produktów na rynek [1]. Gromadzenie danych operacyjnych w czasie rzeczywistym jest niezbędne do mierzenia zgodności wyników z planem [9]. Cyfrowa fabryka przedstawia wirtualny obraz rzeczywistej produkcji oraz na bieżąco generuje wybrane wskaźniki. Wirtualne rozwiązania umożliwiają lokalizowanie, kontrolę i optymalizację pojawiających się problemów jeszcze przed rzeczywistym wdrożeniem [2]. Efektywne zarządzanie danymi jest najważniejszym elementem w wirtualnym środowisku produkcyjnym [3]. Oprogramowanie cyfrowej fabryki stworzyło

nowe możliwości zastosowań istniejących rozwiązań oraz powstanie nowych metod i technik zarządzania i kształtowania systemów produkcyjnych. Cyfrowa fabryka wspiera planowanie, analizę, symulację i optymalizację złożonych procesów produkcji. Jednocześnie wymaga pracy zespołowej i umożliwia szybką wymianę informacji między technologami, planistami i projektantami systemów produkcyjnych.

Cyfrowe wytwarzanie jest procesem wykorzystywania trójwymiarowych modeli CAD i powiązanych z nimi informacji do wizualizacji, modelowania i symulacji procesów produkcyjnych. Na nowe technologie informatyczne w obszarze planowania produkcji składa się oprogramowanie umożliwiające wirtualizację realizowanych procesów [4].

Systemy do zarządzania cyklem życia produktu (ang. Product Lifecycle Management - PLM) są ściśle powiązane z tematem cyfrowej fabryki. Systemy PLM są koncepcją wspierania procesów produkcji, rozpoznawania metod zwiększania wydajności, obniżania kosztów, uzyskiwania zamierzonego poziomu jakości oraz maksymalizowania biznesowej wartości przedsiębiorstwa [5]. Stanowią połączenie pomiędzy projektowaniem wyrobu a jego wytwarzaniem. Ponadto umożliwiają zarządzanie planowaniem oraz produkcją. System PLM w sposób zasadniczy pozwala utrzymać ciągłości cyklu życia produktu. Systemy PLM używane są przez działy konstrukcyjne, zaopatrzenia, marketingu, produkcji, badań i rozwoju [6].

2. Charakterystyka narzędzia wykorzystanego w analizie

Jednym z dostępnych na rynku rozwiązań PLM jest produkt firmy Siemens – Tecnomatix Plant Simulation. Łączy on w sobie dziedziny technologiczne, inżynierię produkcji oraz logistykę. Obejmuje również zagadnienia związane z planowaniem i projektowaniem, przez symulację i weryfikację procesów, po wytwarzanie [2]. Plant Simulation umożliwia przeprowadzenie symulacji oraz analizy produktu w całym cyklu wytwórczym. Daje to możliwość zaplanowania zrównoważonego procesu produkcyjnego jeszcze przed jego wdrożeniem, jak również umożliwia przeprowadzenie analizy i optymalizacji już istniejących procesów [7].

Dzięki stosowaniu Plant Simulation przedsiębiorstwa mogą przeprowadzać testy i eksperymenty według wybranych scenariuszy oraz szybko sprecyzować najlepsze strategie służące do znaczącego zwiększenia wydajności, zmniejszenia kosztów, zaoszczędzenia czasu, a także uzyskiwania zamierzonego poziomu jakości. Odbywa się to bez potrzeby przeprowadzania testów w obrębie hali produkcyjnej.

Program Plan Simulation jest bardzo rozbudowanym narzędziem, w związku z tym zostanie przedstawiona tylko część elementów i czynności, które można wykonać podczas symulacji procesów produkcyjnych. Do najważniejszych rozwiązań wykorzystywanych w programie można zaliczyć [8] [10]:

- planowanie i walidacja produkcji części maszyn,
- planowanie i walidacja montażu,
- planowanie wykorzystania robotów i zakresu automatyzacji,
- projektowanie oraz optymalizacja procesów wytwórczych,
- zarządzanie jakością,
- planowanie i obsada zmian roboczych.

Tecnomatix Plant Simulation określany jest, jako narzędzie o rozległym zastosowaniu, zaczynając od planowania procesów produkcyjnych pojedynczych części, robotyzacji stanowisk pracy, analizy i optymalizacji istniejących linii produkcyjnych, kończąc na zarządzaniu jakością oraz projektowaniu całych hal produkcyjnych [7].

Poza szeregiem możliwości związanych z planowaniem nowych procesów, program może być wykorzystywany również w analizie istniejących procesów produkcyjnych. Jednym z możliwych zastosowań programu jest badanie wydajności procesów dzięki wbudowanym wykresom. Wyniki analiz przedstawiane są m.in. w formie wykresów słupkowych.

Zależnie od celu i zakresu, analizy wykresów wydajności pozwalają przedsiębiorstwom np. na ocenę efektywności procesów produkcyjnych, jak również poszczególnych operacji oraz stanowisk roboczych. Dzięki analizie możliwe jest wykrywanie m.in. wąskich gardeł rozbudowanych procesów oraz precyzyjne określanie obciążenia poszczególnych stanowisk roboczych w czasie wybranych czynności.

Plant Simulation wyposażony jest w wiele obiektów służących do tworzenia cyfrowych modeli. Dzieli się one na sześć podstawowych kategorii: narzędzia odpowiedzialne za przepływ materiałów (ang. material flow), zasoby sterujące obiektami (ang. resources), narzędzia zapewniające przepływ informacji (ang. information flow), narzędzia pomocnicze (ang. user interface), jednostki ruchome (ang. mobile units) oraz narzędzia wspomagające analizę oraz optymalizację (ang. tools). W najnowszej wersji (12) program został rozszerzony dodatkowo o narzędzia umożliwiające symulację procesów produkujących wyroby płynne (ang. fluids).

3. Opis procesu wytwarzania korpusu szafki podtynkowej

Analizowany proces dotyczy wytwarzania podzespołu, będącego elementem instalacyjnej szafki podtynkowej. Poszczególne elementy szafki wytwarzane są niezależnie od siebie, dlatego możliwa jest częściowa analiza i ocena procesu składającego się wytworzenie kompletnego wyrobu.

Szafka podtynkowa (rysunek 1) montowana jest z wielu elementów. Część z nich jest wstępnie składana w większe podzespoły na wcześniejszych etapach produkcji, które następnie oczekują na montaż końcowy. Wszystkie części wytwarzane w obrębie hali produkcyjnej potrzebne do złożenia kompletnej szafki podtynkowej, powstają dzięki odpowiedniej obróbce blach. Blacha dostarczana jest w arkuszach oraz w kręgach. Zależnie od wytwarzanego aktualnie elementu, z magazynu jest pobierany odpowiedni rodzaj blachy.

Typ blachy wyznacza miejsce rozpoczęcia produkcji wybranego elementu.

Omawiana szafka podtynkowa składa się z czternastu elementów, w tym z korpusu, który jest jej podstawą konstrukcyjną. Korpus szafki składany jest z elementów wytwarzanych podczas wcześniejszych etapów procesu produkcji. Składa się ze ściany tylnej, zaczepu prowadnicy oraz dwóch boków (tabela 1).



Rys. 1. Przykładowa szafka podtynkowa [11]

Tab. 1. Podstawowe elementy składowe korpusu

Element	Liczba elementów
Ściana tylna	1
Zaczep przewodnicy	1
Bok korpusu	2

Czynności związane z finalnym złożeniem podzespołu odbywają się w obrębie gniazda roboczego zgrzewarek. Po skompletowaniu elementów pracownik w pierwszej kolejności zgrzewa zaczep ze ścianą tylną, następnie dołącza boki i pozostałe elementy. Gotowe korpusy przekazywane są do końcowego montażu szafki.

Każdemu elementowi biorącemu udział w procesie produkcji szafki podtynkowej przypisany jest indywidualny czas przetwarzania dla konkretnej maszyny, na której jest poddawany obróbce. W tabeli 2 przedstawione zostały czasy obróbki i indywidualne czasy przebrożeń wszystkich elementów na wybranych stanowiskach roboczych. Czas przygotowania stanowiska zgrzewarki do pracy wynosi 15 minut, a czas montażu jednego kompletnego korpusu trwa 2 minuty.

Tab. 2. Jednostkowe czasy obróbki elementów wykorzystywanych w symulacji.

Element Stanowisko	Ściana tylna		Zaczep przewodnicy		Bok przed obróbką na prasie		Bok po obróbce na prasie	
	tj	tpz	tj	tpz	tj	tpz	tj	tpz
Nożyce gilotynowe	X	X	5.04	3:00	X	X	X	X
Krawędziarka	39.6	12:00	18.00	10:00	30.24	6:00	14.40	6:00
Wykrawarka	X	X	X	X	59.76	3:00	X	X
Prasa	X	X	X	X	20.16	15:00	X	X
	tj	tpz	tj	tpz	tj	tpz	tj	tpz

gdzie:

- tj – jednostkowy czas obróbki elementu w min,
- tpz – czas przebrożenia maszyny w min.

Ściana tylna wycinana jest z kręgów blachy o grubości 0,8 mm. Pracownik rozwija krąg w obrębie linii rozwijania blach i wycina pasy blachy. W każdej partii mierzone są wymiary pierwszej sztuki. W przypadku zgodności elementu z dokumentacją, partia zostaje przeniesiona na stację roboczą pras krawędziowych (krawędziarek). Zostaje poddawana obróbce zgodnie z instrukcją, po czym zostaje przetransportowana na stanowiska zgrzewarek, gdzie oczekuje na pozostałe elementy wymagane do produkcji korpusu.

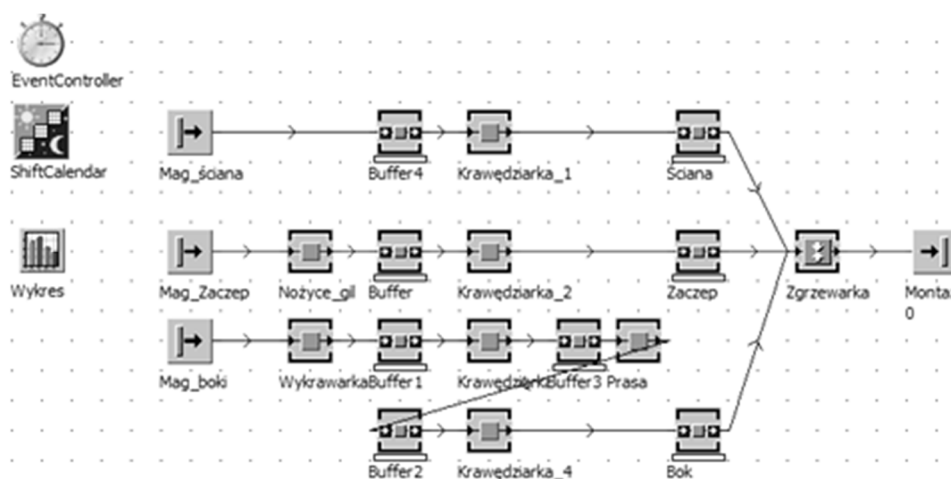
Drugim omawianym elementem, z którego składa się korpus, jest zaczep przewodnicy, który produkowany jest z kręgów blachy o grubości 0,8 mm. Kręgi blachy rozwijane są na linii rozwijania blach. Pracownik tnie blachę na pasy, po czym wysyłane są one na stanowisko nożyc gilotynowych, gdzie są cięte na mniejsze elementy. Ostatnim etapem w produkcji zaczepów jest gięcie elementu na krawędziarkach. Po wykonaniu wszystkich czynności obróbczych zaczep przenoszony jest na stanowisko zgrzewarek. Na każdym etapie obróbki pierwszy element partii poddawany jest wstępnej kontroli jakości.

Produkcja boków szafki podtynkowej rozpoczyna się od rozwijania kręgów blach grubości 0,8 mm na linii rozwijania blach. Po wycięciu arkusze blachy zostają przenoszone na wykrawarkę mechaniczną, w celu cięcia na mniejsze elementy o określonych wymiarach. Kolejnym etapem obróbki boków jest podwójne gięcie na stanowisku pras krawędziowych. Następnie do boków przytlaczane są zaczepy w obrębie gniazda roboczego pras, po czym

boki wracają na stanowisko krawędziarek. Ostatnim etapem jest zgrzanie boków ze śrubami przez operatora zgrzewarki punktowej.

4. Symulacja procesu i wyniki analizy

Projekt nie wykorzystuje danych energii i kosztów oraz nie bierze pod uwagę pracy wykonywanej przez pracowników. Dla osiągnięcia celów pracy badawczej istotne są elementy procesu produkcyjnego, mające bezpośredni wpływ na czasy wykonywania zadań w obrębie linii technologicznej. Symulacja objęła produkcję korpusu szafki podtynkowej z określonych elementów. Wirtualna produkcja odbyła się na zdefiniowanym przez autora zbiorze maszyn, posiadających odpowiednie parametry. Model analizowanego procesu został przedstawiony na rysunku 2. Obróbka wszystkich elementów procesu odbywa się niezależnie od pozostałych. Każde stanowisko wyposażone jest w przypisane do niego pole odkładcze (obiekt buffer), na którym składowane są przetworzone elementy.



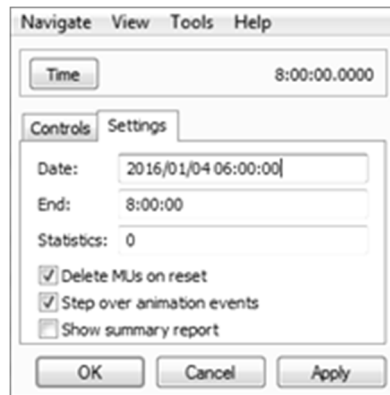
Rys. 2. Model procesu produkcji korpusu szafki podtynkowej

Badanie zostało przeprowadzone w okresie jednej zmiany roboczej (6:00-14:00), w czasie której została wyznaczona przerwa o długości 30 minut. Dostępność maszyn wynosi:

- w przypadku nożyc gilotynowych, prasy oraz krawędziarek – 85%,
- krawędziarek i wykrawarki – 90%.

Nad prawidłowym przebiegiem symulacji czuwają dwa podstawowe narzędzia programu Plant Simulation:

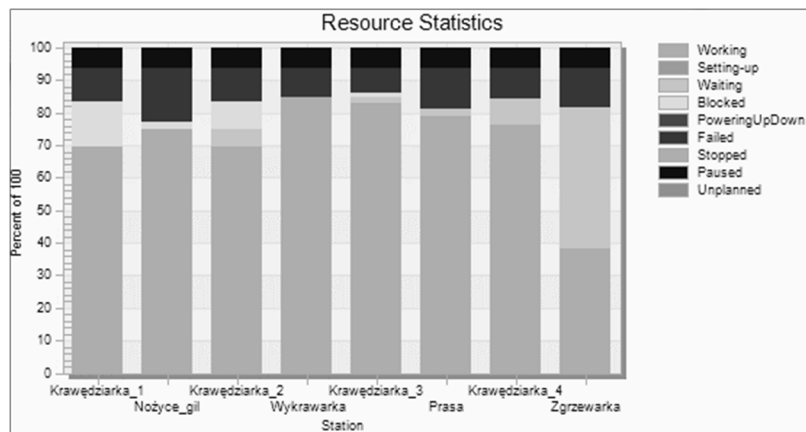
- EventController (rysunek 3), oznaczający zegar systemowy. Wyznacza on początek oraz koniec symulacji i uruchamia procesy, poprzez wysyłanie sygnałów do wszystkich elementów biorących udział w symulacji.
- ShiftCalendar, który ściśle współpracuje z obiektem EventController oraz m.in. pozwala podzielić czas pracy poszczególnych stanowisk na zmiany i wyznaczać przerwy.



Rys. 3. Ustawienia obiektu EventController dla przeprowadzonej symulacji

Model jest zasilany wykrawanymi elementami, które zostały wstępnie przygotowywane na wcześniejszych etapach produkcji i zostają poddawane końcowej obróbce. W badanym procesie każda zmiana wykorzystuje podzespoły wytworzone z kilkudniowym wyprzedzeniem.

W czasie ośmiogodzinnej symulacji, wirtualny model wyprodukował 183 sztuki korpusów skierowanych dalej, do finalnego montażu szafki podtynkowej. Do przedstawienia zebranych podczas symulacji wyników wykorzystany został obiekt Chart (rysunek 4), prezentujący procentowe obciążenie wszystkich stanowisk biorących udział w procesie.



Rys. 4. Graficzne przedstawienie obciążenia poszczególnych stanowisk roboczych

Symulacja objęła jeden wyrób. Ponadto każdy element przetwarzany był na oddzielnych liniach produkcyjnych, w związku z tym model nie wymagał przezbrajania maszyn na poszczególnych stanowiskach. Wszystkie maszyny posiadają wysoki współczynnik pracy. Rysunek 4 przedstawia statystyki wydajności maszyn – obciążenia poszczególnych stanowisk roboczych podczas produkcji korpusu szafki podtynkowej. Kolorem zielonym oznaczona jest część okresu zbierania statystyk, podczas którego maszyny pracowały

(przetwarzały elementy), kolor szary przedstawia beczynny okres zbierania statystyk, podczas którego maszyny były w stanie oczekiwania na kolejne elementy, kolor żółty oznacza część okresu zbierania statystyk, podczas którego stanowiska były zablokowane, natomiast kolor niebieski odpowiada czasowi przerwy zaplanowanej podczas każdej zmiany. Czerwonym kolorem oznaczone zostały awarie i przestoje spowodowane niedostępnością maszyn. Tabela 3 przedstawia szczegółowy rozkład procentowy obciążenia wszystkich stanowisk biorących udział w symulacji.

Tab. 3. Obciążenie stanowisk roboczych podczas symulacji

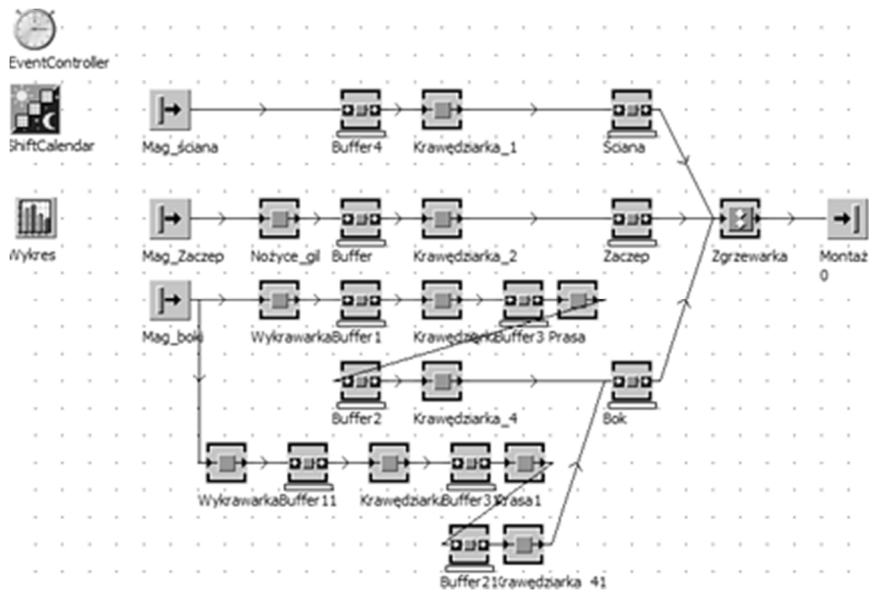
Stanowisko	Working	Waiting	Blocked	Failed	Paused
Krawędziarka ściana	69,60%	0,00%	14,03%	10,12%	6,25%
Nożyce gilotynowe	75,02%	0,00%	2,23%	16,50%	6,25%
Krawędziarka zaczep	69,60%	5,55%	8,08%	10,52%	6,25%
Wykrawarka	84,79%	0,00%	0,00%	8,96%	6,25%
Krawędziarka boki 1	83,13%	1,86%	1,03%	7,73%	6,25%
Prasa	78,80%	2,47%	0,00%	12,47%	6,25%
Krawędziarka boki 2	76,48%	7,85%	0,00%	9,42%	6,25%
Zgrzewarka	38,13%	43,43%	0,00%	12,20%	6,25%

Najbardziej wydajnym i obciążonym pracą stanowiskiem była wykrawarka, która wykonuje pracę przez 84,79% czasu zaplanowanego dla całej symulacji. Natomiast najmniej obciążonym stanowiskiem okazało się stanowisko zgrzewarki, obciążone pracą jedynie przez 38,13% czasu symulacji.

Najdłuższy okres przestoju (kolor szary) został odnotowany na stanowisku zgrzewarki, wynosił 43,43%. Spowodowane było to przede wszystkim oczekiwaniem na elementy wymagane w montażu korpusu. Czas przerwy jest równy dla wszystkich stanowisk, wynosi 6,25% okresu symulacji. Jest to czas zaplanowanej półgodzinnej przerwy.

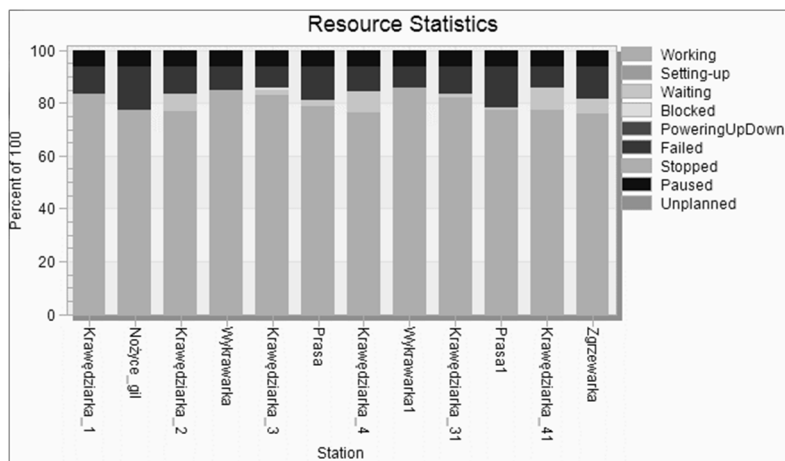
5. Propozycje zwiększenia wydajności procesu

W związku z odnotowaniem przestoju na stanowisku zgrzewarek, doskonalenie procesu produkcji korpusu powinno skupić się na zwiększeniu obciążenia stanowiska zgrzewarki. Analiza stanów pól odkładczych w czasie analizy wskazuje, że głównym powodem opóźniającym montaż był częsty brak boków korpusu. Testowana propozycja doskonalenie procesu polegała na wprowadzeniu do systemu dodatkowych, pracujących równolegle, bliźniaczych stanowisk dla operacji związanych z obróbką boków. Na rysunku 5 przedstawiony został proces rozszerzony o drugą linię obróbki boków korpusu.



Rys. 5. Model rozszerzony o równoległą linię obróbki boków korpusu

Najważniejszym efektem wprowadzonych zmian było zwiększenie produkcji korpusów ze 183 do 365 sztuk, a także zwiększenie wydajności (czasu pracy) zgrzewarki z 43,43% do 76,05% trwania ośmiogodzinnej zmiany roboczej (rysunek 6). W wyniku badań symulacyjnych na rozszerzonym modelu uzyskano również poprawę płynności pracy całego procesu, wyeliminowano czas blokowania stanowisk w stosunku do wariantu 1. Jedynym stanowiskiem, na którym blokowanie nie zostało wyeliminowane całkowicie, jest krawędziarka odpowiedzialna za wstępną obróbkę boków. Blokowanie stanowiska utrzymało się na stałym poziomie 1,03% czasu symulacji.



Rys. 6. Obciążenie stanowisk roboczych w rozszerzonym modelu

Symulacja nie bierze pod uwagę kosztów produkcji oraz zużycia energii, w związku z tym ciężko ocenić ewentualne korzyści finansowe przedsiębiorstwa płynące z rozszerzenia procesu o równoległą linię przetwarzania boków korpusu szafki podtynkowej. Tabela 4 przedstawia porównanie wydajności pracy (working) stanowisk dla dwóch wariantów symulacji – modelu podstawowego oraz wariantu rozszerzonego.

Tab. 4. Porównanie wydajności stanowisk

Stanowisko	Wariant 1	Wariant 2	Zmiana
Krawędziarka ściana	69,60%	83,63%	+14,03 p.p.
Nożyce gilotynowe	75,02%	77,25%	+2,23 p.p
Krawędziarka zaczep	69,60%	77,04%	+7,44 p.p
Wykrawarka	84,79%	84,79%	X
Krawędziarka boki 1	83,13%	83,13%	X
Prasa	78,80%	78,80%	X
Krawędziarka boki 2	76,48%	76,48%	X
Wykrawarka +	X	85,68%	X
Krawędziarka boki 1 +	X	82,13%	X
Prasa 2 +	X	77,50%	X
Krawędziarka boki 2 +	X	77,50%	X
Zgrzewarka	38,13%	76,05%	+37,92 p.p

Porównanie wydajności obu wariantów (sprzed oraz po modyfikacji) wskazuje na pozytywny wpływ rozszerzenia procesu. Poprawa nastąpiła nie tylko w łącznej ilości wyprodukowanych elementów w czasie zmiany roboczej, ale zaobserwowano wzrost wydajności części stanowisk roboczych. Największa zmiana nastąpiła na stanowisku zgrzewarki, której wydajność wzrosła prawie dwukrotnie, z 38,13% do 76,05% czasu symulacji. Ponadto rozszerzenie działań z zakresu obróbki boków korpusu widocznie zwiększyło wydajność krawędziarki odpowiedzialnej za obróbkę ściany tylnej (wzrost o 14,03 p.p.), a także operacji wykonywanych podczas przetwarzania zaczepów przewodnicy.

Rozszerzenie procesu o równoległą linię obróbki boków było jednym z możliwych rozwiązań. Odrębnym sposobem na poprawę wydajności oraz efektywne wykorzystanie okresu przestoju na stanowisku zgrzewarki, może być skierowanie innych działań w obrębie hali produkcyjnej na wolne stanowisko. Jednak taka decyzja może spowodować zaburzenie przebiegu dotychczasowych procesów, ze względu na prawdopodobne zmiany parametrów stanowiska. Wskazane zagadnienie może być tematem dalszych badań.

6. Podsumowanie

W pracy przeprowadzono analizę i ocenę procesu produkcji korpusu szafki podtynkowej. Do analizy problemu wykorzystane zostało oprogramowanie Tecnomatix Plant Simulation firmy Siemens. Badania pozwoliły wstępnie ocenić wydajność poszczególnych elementów procesu. Przedstawione wyniki badań symulacyjnych wykazały, że dla analizowanego procesu możliwe jest zwiększenie całkowitej wielkości produkcji. Należy pamiętać, że analiza objęła jedynie wycinek procesu produkcji szafki podtynkowej. Rozszerzenie badań o pozostałe elementy procesu może wpłynąć na statystyki wydajności poszczególnych stanowisk. Przedstawiona analiza wyników ułatwia ocenę wydajności procesu oraz zidentyfikowanie jego najsłabszych punktów. Zaproponowano również rozwiązania mogące zwiększyć wydajność analizowanego modelu procesu produkcyjnego.

Ciągłe ulepszanie procesów, dzięki zastosowaniu narzędzi wspomagających planowanie,

proceeds to faster introduction of products to the market and minimizes the risk of changes introduced in the production system. PLM programming enables effective and economic management of the entire product life cycle. Modeling and digital simulation are used when finding a solution by analytical methods is too complicated or impossible, and experimentation in a real process within the production hall is too labor-intensive and expensive, due to forced downtime in work. Thanks to the use of the Plant Simulation tool, analysis of selected production processes is possible even at the design stage of production.

Building a simulation model of a process is a multi-stage task. Modeling a production process consists of creating a virtual production process, which enables the execution of simulations and accumulation of statistics. Statistics enable the preparation of reports and comparison of selected parameters of workstations in the virtual environment. Computer models can be improved and further simulations can be performed for different variants and settings predicted by the user.

The article introduces a broad and developing topic of digital production, simulation and optimization of virtual processes and comparison of obtained results with real processes.

Literatura

1. Weiss Z.: Techniki komputerowe w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.
2. Plinta D.: Production management with the use of digital factory tools. Pomiary, Automatyka, Robotyka, Warszawa, 2013.
3. Marilyn, D.: Digital Futures: Strategies for the Information Age. Library Association Publisher, Londyn, 2002.
4. Christman A.: The Benefits of Digital Manufacturing. CIMdata, Marzec, 2003.
5. Jakuszewicz J., Wardzińska K.: Efektywne planowanie produkcji w systemach PLM. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2013.
6. Lenart A.: Zarządzanie cyklem życia produktu a systemy ERP. W: Komputerowo zintegrowane zarządzanie, tom 2, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2009.
7. Danilczuk W., Cechowicz R., Gola A.: Analiza konfiguracji linii produkcyjnych na podstawie modeli symulacyjnych. Informatyczne systemy zarządzania, Koszalin, 2014.
8. Bangsow S.: Manufacturing simulation with plant simulation and simtalk. Berlin, 2010.

Źródła elektroniczne:

9. Siemens Tecnomatix, http://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/products/tecnomatix/production_management/index.html, 10.01.2016.
10. Servidat, <http://www.servidat.com/productos/acadlics/tecnomatix.html>, 10.01.2016.
11. Kan-Therm, <http://www.kanshop.pl/>, 09.01.2016.

Mgr Mateusz KIKOLSKI

Katedra Informatyki Gospodarczej i Logistyki

Politechnika Białostocka

15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A tel./fax: (0-85) 746 98 98

e-mail: m.kikolski@pb.edu.pl