

Magdalena PAWLUS¹

Opiekun naukowy: Sławomir KUKLA²

DOSKONALENIE PRZEPIŹYWÓW MATERIAŁOWYCH POPRZEZ ZASTOSOWANIE NARZĘDZI SZCZUPŁEJ PRODUKCJI ORAZ EKSPERYMENTU SYMULACYJNEGO

Streszczenie: W pracy przedstawiono koncepcję badań, scharakteryzowano obiekt badań oraz opisano przebieg procesu produkcyjnego. Przeprowadzono analizę uwag i pomysłów zgłoszonych przez pracowników, następnie zaproponowano ich wdrożenie i zestawiono możliwe efekty wynikające z wprowadzonych zmian. Dla wizualizacji oraz analizy zaproponowanych wariantów rozwiązań wykorzystano technikę modelowania i symulacji systemów produkcyjnych. Stworzono model symulacyjny w programie ARENA i wygenerowano raporty na podstawie przeprowadzonego eksperymentu.

Słowa kluczowe: Odchudzone Wytwarzanie, Eksperyment Symulacyjny

IMPROVING MATERIAL FLOW BY USING LEAN PRODUCTION TOOLS AND A SIMULATION EXPERIMENT

Summary: The work presents the research concept, characterizes the research object and describes the course of the production process. An analysis of comments and ideas submitted by employees was carried out, then their implementation was proposed and the possible effects resulting from the introduced changes were summarized. For the visualization and analysis of the proposed variants of solutions, the modelling and simulation technique of production systems was used. A simulation model was created in the ARENA program and reports were generated based on the experiment.

Keywords: Lean Manufacturing, Simulation Experiment

1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa chcąc wyróżniać się na tle konkurencji jakością i niższymi cenami, szukają rozwiązań, które pozwolą im zoptymalizować produkcję i maksymalnie obniżyć jej koszty. Aktualna sytuacja ekonomiczna powoduje, że dotrzymanie

¹ Inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Specjalność: Inżynieria Innowacji Przemysłowych, s55324@student.ath.edu.pl

² Dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, skukla@ath.bielsko.pl

terminów i utrzymanie wysokiej jakości wyrobów stanowi dla przedsiębiorców duże wyzwanie. Firmy w celu zmniejszenia kosztów wytwarzania wyrobów, decydują się na wprowadzenie narzędzi szczupłej produkcji. Szczupła produkcja, to filozofia zarządzania, której zadaniem jest wyeliminowanie wszelkiego rodzaju marnotrawstwa oraz doskonalenie jakości procesów i produktów. Za marnotrawstwo uznawane są czynności, które nie podnoszą wartości produktu, a są wykonywane w realizacji procesów generując niepotrzebne koszty. Narzędzia szczupłej produkcji pozwalają skrócić czas i drogę przepływów materiałowych od zamówienia do wysłania gotowego wyrobu klientowi. Badania symulacyjne umożliwiają analizę przebiegu procesów wytwarzania na modelu komputerowym przyczyniając się do wykrywania obszarów marnotrawstwa i eliminowania operacji nie dodających wartości do produktów czy usług [1].

2. Odchudzone wytwarzanie

Szczupła produkcja, (ang. lean production), to koncepcja, która wykorzystuje liczne metody i narzędzia zarządzania. Ich zastosowanie ma na celu poprawę produktywności, usprawnienie procesów realizowanych w przedsiębiorstwie oraz ograniczenie marnotrawstwa [6].

Słowo „lean” pochodzi z języka angielskiego i oznacza „szczupły”. Szczupłe podejście dotyczy wytwarzania produktów oraz usług w taki sposób, aby były one zgodne z oczekiwaniami klienta, ale przy minimalnych nakładach i optymalnym wykorzystaniu zasobów. Lean jest szerokim pojęciem, które opiera się na wykorzystywaniu wszystkiego w mniejszych ilościach: mniej maszyn, mniej biurokracji, mniej marnotrawstwa, mniejsza liczba dostawców, mniej przemieszczania, krótsze czasy realizacji zleceń. Firmy, które decydują się na wdrożenie szczupłej produkcji, z czasem otrzymują więcej długoterminowych sukcesów, więcej zadowolonych klientów, większą produktywność, większe możliwości, większą elastyczność organizacyjną firmy [7].

Nazwa Lean Manufacturing po raz pierwszy została użyta w 1991 roku. Naukowcy z Massachusetts Institute of Technology w Bostonie: James Womack oraz Daniel Jones opublikowali książkę „The Machine That Changed The World”. Powstała ona na podstawie obserwacji pod kątem organizacji produkcji odwiedzonych przez nich zakładów motoryzacyjnych na całym świecie. Autorzy bazując na zebranych danych jednogłośnie uznali, że zakłady Toyoty, ze względu na autorski system TPS – Toyota Production System, przodują na tle innych przedsiębiorstw. System Toyoty został uznany przez autorów pracy za pierwszy odchudzony system wytwórczy i określili go mianem Lean Manufacturing. Zdaniem naukowców odchudzona produkcja daje możliwość, aby produkować coraz więcej, wykorzystując coraz mniej ludzkiego wysiłku, urządzeń, energii, czasu i miejsca przy jednoczesnym zbliżaniu się do osiągnięcia celu, jakim jest dostarczenie klientom dokładnie tego, czego oczekują.

Związane z odchudzonym wytwarzaniem pojęcie Kaizen oznacza ciągłe doskonalenie. Jego nazwa wywodzi się z języka japońskiego, „kai” znaczy zmienić, rozłożyć a „zen” ulepszyć. Koncepcja ta polega na analizie i obserwacji elementów procesu, poznawaniu i rozumieniu istoty ich działania, aby można było je udoskonalic. Kaizen jest elementem metod szczupłej produkcji, fundamentem dla wszystkich innych rozwiązań doskonalących przepływy materiałowe.

Koncepcja Kaizen może zostać zastosowana w różnych rodzajach organizacji, nie wymaga dużych nakładów finansowych, wymaga jednak pełnego zaangażowania pracowników i zarządu w całą filozofię szczupłej produkcji. Firma decydująca się na wdrożenie koncepcji musi starannie zaplanować warsztaty kaizen, aby były one skuteczne. Warsztaty kaizen, to działanie zespołowe, którego celem jest szybkie wprowadzenie metod szczupłej produkcji skierowanych na eliminację marnotrawstwa w określonych obszarach zakładu. Staranne zaplanowanie warsztatów pozwala na szybkie odnalezienie przyczyn pierwotnych i na wdrożenie właściwych rozwiązań. Warsztaty często wiążą się z zatrzymaniem linii, gniazda lub działu zakładu, dlatego należy odpowiednio skoordynować działania, aby utrzymać ciągłość dostaw do klientów [3].

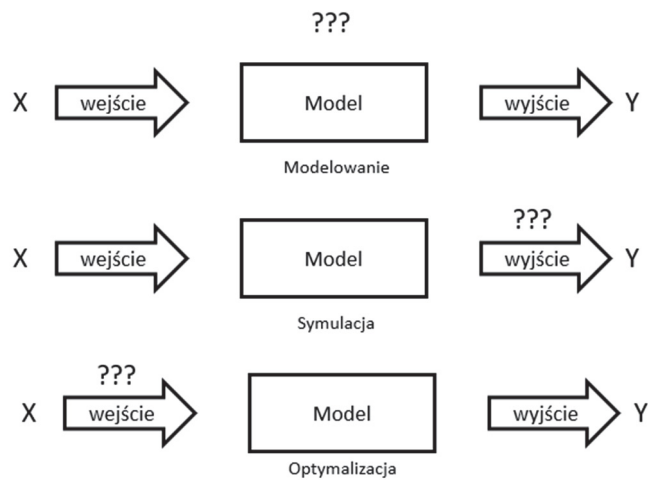
3. Modelowanie i symulacja systemów produkcyjnych

Narzędziem wykorzystywanym do wizualizacji i analizy przebiegu procesów produkcyjnych coraz częściej jest metoda modelowania i symulacji komputerowej. Metoda modelowania i symulacji wykorzystywana jest wtedy, gdy uzyskanie rozwiązania przy pomocy metod analitycznych jest zbyt złożone, a przeprowadzenie eksperymentów na „żywym organizmie” jest zbyt kosztowne lub niemożliwe. Modele symulacyjne pozwalają odpowiadać na pytania: „co będzie - jeśli...”, ponieważ umożliwiają prześledzenie funkcjonowania danego obiektu w kilka minut, a co się z tym wiąże pozwalają wykryć ewentualne nieprawidłowości. Wynikiem przeprowadzanych symulacji są raporty, na podstawie których określa się najlepsze rozwiązania przy projektowaniu nowego systemu produkcyjnego. Narzędzie modelowania i symulacji, umożliwi wykonanie eksperymentów na złożonym systemie jeszcze zanim rozpocznie się realizacja projektów w praktyce [5].

Projektując kompleksowe systemy logistyczne oraz produkcyjne, jak również planując zarządzanie produkcją, można napotkać różne problemy. Jednym z nich jest duża ilość możliwych wariantów oraz ich złożoność, która utrudnia ich ocenę. Chcąc uwzględnić w symulacji wszystkie składniki i aspekty procesu produkcyjnego, może się okazać, że stworzenie modelu będzie zbyt pracochłonne i kosztowne. Uruchomienie zaprojektowanego systemu produkcyjnego powoduje pojawienie się nieprzewidzianych wcześniej problemów, które nie pozwalają na pełne wykorzystanie posiadanych zasobów. Aby ograniczyć pojawiające się problemy warto korzystać z narzędzi symulacyjnych na każdym etapie systemu produkcyjnego [2].

Modelowanie i symulacja to inaczej działania związane z tworzeniem modeli systemów rzeczywistych, a następnie symulowanie ich funkcjonowania przeznaczonymi do tego programami komputerowymi. System rzeczywisty, obecny lub planowany w przyszłości, jest źródłem danych o reakcji. Komputer, na podstawie instrukcji modelu zakodowanych w postaci programu, wykonuje proces obliczeniowy, który generuje dane o reakcji [4].

Różnicę pomiędzy modelowaniem, symulacją i optymalizacją przedstawia rysunek 1.

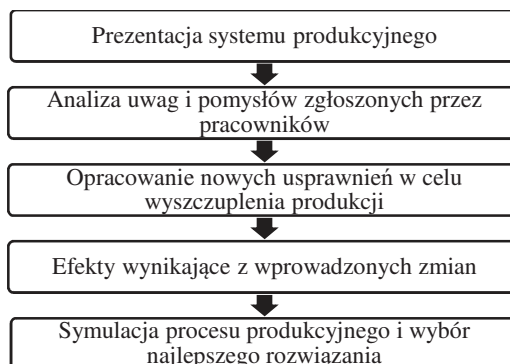


Rysunek 1. Relacje pomiędzy modelowaniem, symulacją i optymalizacją

Różnica pomiędzy tymi trzema pojęciami związana jest z zadaniami, które mają spełnić. Zadaniem modelowania jest znalezienie modelu symulacyjnego, zadaniem symulacji jest określenie rezultatów podejmowanych działań, zadaniem optymalizacji jest określenie danych wejściowych dla modelu w celu uzyskania optymalnych parametrów wyjściowych [4].

4. Prezentacja projektu

Obiektem badań w prezentowanym artykule jest system wytwarzania meblowych ram konstrukcyjnych ze stopów aluminium. Koncepcję badań przedstawiono na rys. 2.



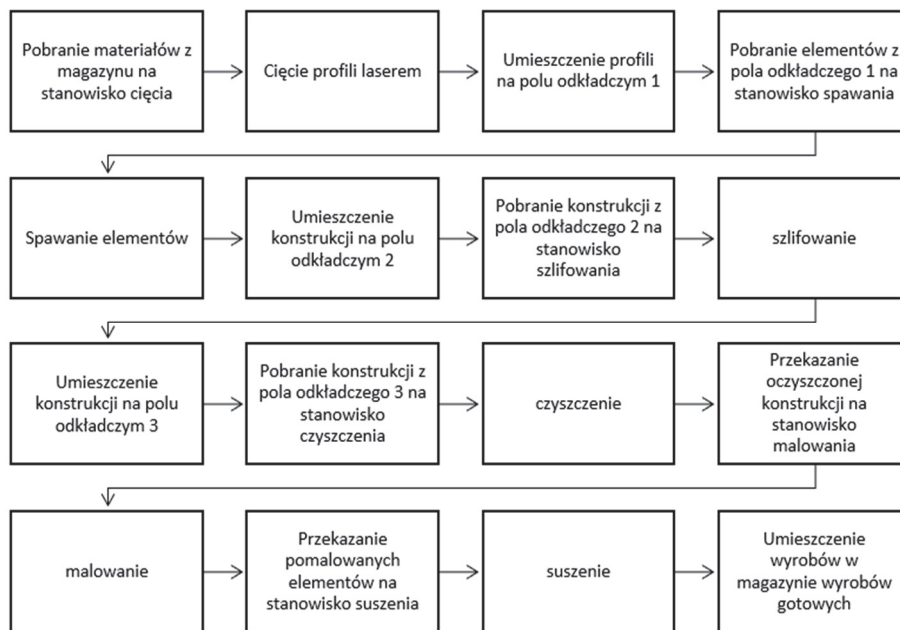
Rysunek 2. Koncepcja badań

Celem badań jest usprawnienie procesu produkcyjnego na stanowisku spawania przy wykorzystaniu narzędzi szczupłej produkcji.

Zakres pracy obejmuje wdrożenie uwag i pomysłów zgłoszonych przez pracowników w ramach działań kaizen. Na ich podstawie opracowane zostaną rozwiązania

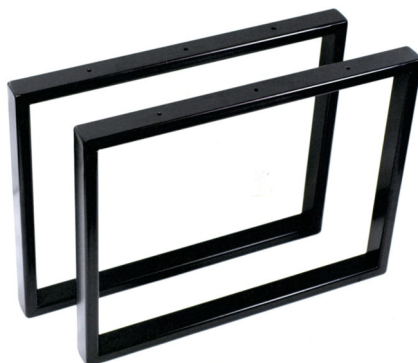
usprawniające prace na stanowisku spawania. Wprowadzenie nowych rozwiązań będzie miało wpływ również na pozostałe stanowiska znajdujące się na hali produkcyjnej.

Na podstawie dokumentacji stworzonej przez dział projektowy, komórka związana z wytwarzaniem pobiera z magazynu materiały potrzebne do produkcji danej partii. Profile aluminiowe są odpowiednio cięte laserem, a po zakończonej operacji umieszcza się je na polu odkładczym 1. Pracownik stanowiska spawania pobiera potrzebne elementy i łączy spawając tak, aby powstała planowana konstrukcja, następnie odkłada ją na pole odkładcze 2. Gotowa konstrukcja pobierana jest przez kolejne stanowisko, gdzie wykonywana jest operacja szlifowania, po jej wykonaniu umieszcza się wyrób na polu odkładczym 3. Ostatnim etapem wytwarzania jest malowanie. Elementy są pobierane, następnie oczyszczane, malowane proszkowo, suszone i transportowane do magazynu wyrobów gotowych. Schemat procesu produkcyjnego przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Uproszczony schemat procesu produkcyjnego

Wspornik stołu (rys. 4) składa się z czterech zespalanych ze sobą elementów profilu, z czego jeden posiada otwory na wkręty. Operator lasera zauważył, że możliwości maszyny nie są w pełni wykorzystywane, a organizację procesu można udoskonalić poprzez modernizację sposobu cięcia i spawania.

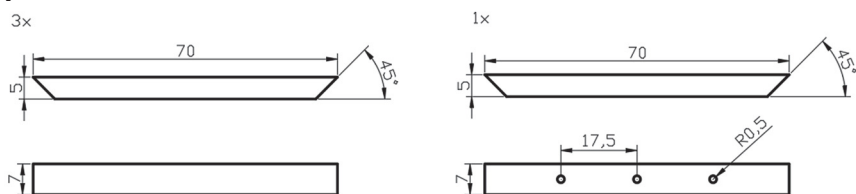


Rysunek 4. Wspornik stołu

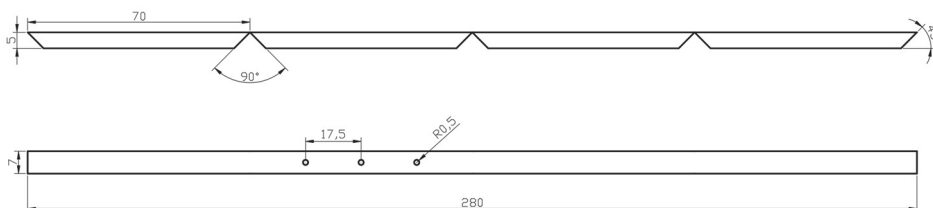
Zaproponował inny sposób cięcia, który usprawni pracę na dalszych etapach wytwarzania. Rysunek 5 przedstawia jak aktualnie laser tnie profile, rysunek 6 przedstawia jak inaczej można wykonać cięcie (sposób zaproponowany przez operatora).

Aktualnie, aby połączyć elementy w całość należy ułożyć profile według szablonu znajdującego się na stanowisku, następnie wykonać spoiny w miejscach łączenia się dwóch profili. Spawy na łączeniach wykonywane są na czterech płaszczyznach, z czego dwie dłuższe spoiny mają długość 7,07 cm, a dwie krótsze 7 cm. Profil posiada 4 łączenia, co daje 8 spoin o długości 7,07 cm i 8 spoin o długości 7 cm.

Wprowadzenie zmiany sposobu cięcia, ułatwi pracownikowi stanowiska spawania nadanie odpowiedniego kształtu dla wspornika. Aby nadać oczekiwany kształt należy starannie zagiąć profil na długościach 70 cm, 140 cm i 210 cm, nie ma potrzeby używania szablonu.



Rysunek 5. Dotychczasowy sposób cięcia profili

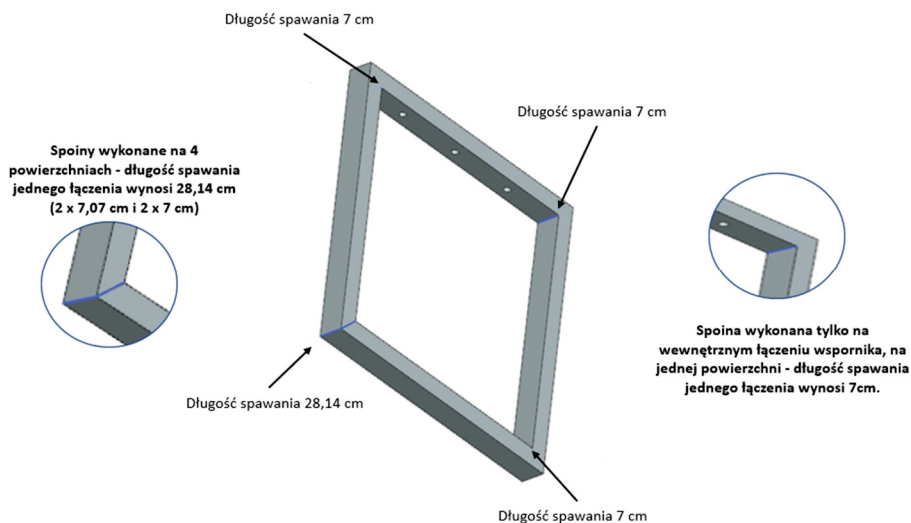


Rysunek 6. Sposób cięcia zaproponowany przez operatora lasera

Laser tnie profil na tyle precyzyjnie, że po zagięciu wystarczy wykonać następujące spawy (rys. 7):

- na łączeniu dwóch końców profilu, należy wykonać spoiny na 4 płaszczyznach (2 spoiny o długości 7,07 cm i dwie o długości 7 cm),
- na łączeniach, gdzie jedna z płaszczyzn nie jest przerwana, należy wykonać jedną spoinę o długości 7 cm, od wewnętrznej strony wspornika.

Łączenia, które zostały pominięte w procesie spawania, zostaną zakryte warstwą lakieru w procesie malowania. Pominięcie spoin nie ma wpływu na wytrzymałość konstrukcji, a ich wykonanie byłoby zbędnym przetwarzaniem.



Rysunek 7. Nowy sposób spawania wspornika

Aktualnie, pracownik układa 4 elementy według szablonu. Mimo, że elementy ułożone są według szablonu, istnieje ryzyko ich przesunięcia w trakcie wykonywania spoin. Podczas kontroli jakości pojawiają się rozbieżności między dokumentacją techniczną, a rzeczywistymi wymiarami wyrobu gotowego. Nowy sposób cięcia pozwoli ograniczyć takie błędy, ponieważ wspornik spawany jest z jednego profilu, który na trzech łączeniach posiada jedną nieprzerwaną płaszczyznę. Ułatwia to spawaczowi uzyskanie oczekiwanego kształtu oraz pracę podczas wykonywania spoin. Dodatkowo pracownik do wykonania wspornika będzie pobierał z wózka jeden element (aktualnie pobiera 4 krótsze elementy).

Po odpowiednim dopasowaniu elementów pracownik wykonuje spoiny na 4 płaszczyznach, długość spawania wynosi 28,14 cm. Wspornik posiada 4 łączenia, więc łączna długość spawania wynosi 112,56 cm. Na łączeniach, gdzie jedna z płaszczyzn nie została przerwana, należy wykonać spoinę o długości 7 cm tylko od wewnętrznej części wspornika. Wspornik posiada trzy takie łączenia, więc łączna długość spawania po wprowadzeniu zmian będzie wynosić 49,14 cm. Pozostałe łączenia zostaną zakryte w procesie malowania przez warstwę lakieru. Kartę technologiczną procesu po zmianie przedstawiono na rysunku 8.

Nazwa zakładu FIRMA „X”		KARTA TECHNOLOGICZNA		
Nr rys. E19	Nazwa części			
Symbol wyrobu A-32	WSPORNIK STOŁU 70CM X 70CM			
Material: Stop aluminium	Postać i wymiary półfabrykatu Profil aluminiowy 5cm x 7cm			
Nr operacji	Treść operacji	Stanowisko	Pomoce	t _l min
10	Cięcie profilu	Stanowisko cięcia profili	Instrukcja 1	2,5
20	Gięcie i spawanie	Stanowisko spawania	Instrukcja 2	8
30	Szlifowanie powierzchni spawanych	Stanowisko szlifowania		8
40	Oczyszczanie wsporników	Stanowisko czyszczenia		4
50	Malowanie proszkowe	Stanowisko malowania		12
60	Suszenie	Stanowisko suszenia		45
Opracował Magdalena Pawlus		Sprawdził	Zatwierdził	Ważn. dok. od

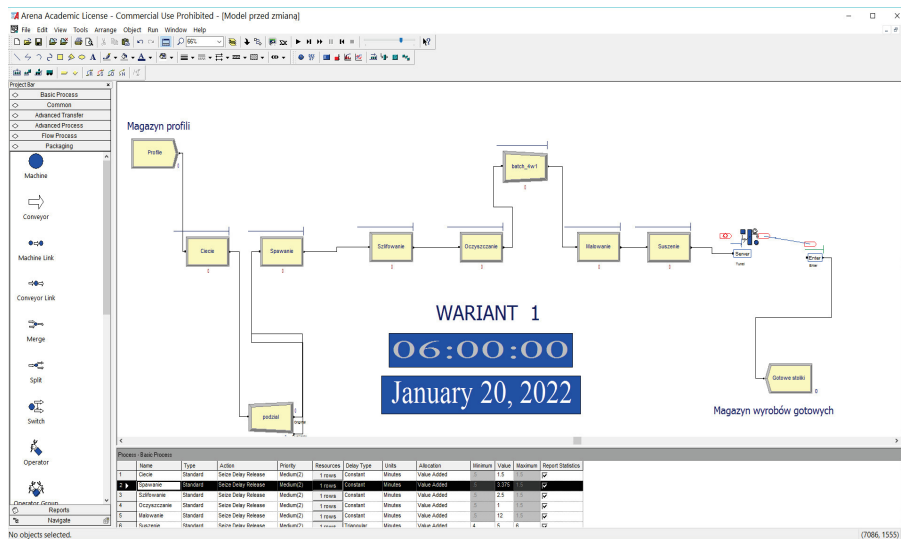
Rysunek 8. Karta technologiczna dla zmodyfikowanego procesu wytwarzania

Podsumowując, wprowadzenie zmiany sposobu cięcia pozwoli: zminimalizować ryzyko pojawienia się błędu, skrócić czas pobierania elementów, ułatwić uzyskanie odpowiedniego kształtu, wyeliminować marnotrawstwo związane ze zbędnym przetwarzaniem, zmniejszyć łączną długość spawania z 112,56 cm do 49,14 cm.

5. Eksperyment symulacyjny

Dla wizualizacji procesów wytwarzania na podstawie karty technologicznej aktualnego procesu produkcyjnego opracowano model symulacyjny w programie Arena (rys. 9). Sprawdzony i zatwierdzony model posłuży do celów szkoleniowych pracowników oraz do analizowania problemów występujących w procesach wytwarzania. Na modelu komputerowym będzie można testować też różne warianty usprawnień i analizować ich wpływ na funkcjonowanie systemu wytwarzania.

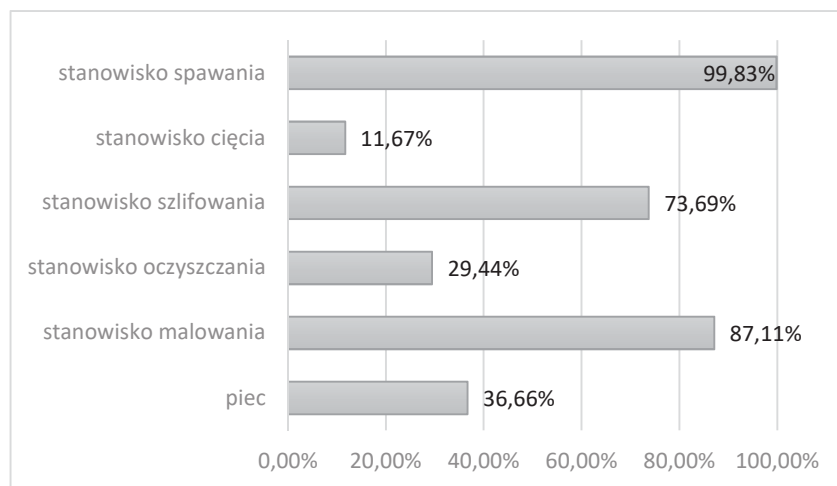
Na podstawie wygenerowanych raportów z eksperymentu symulacyjnego będzie można odczytać między innymi obciążenia stanowisk produkcyjnych, wąskie gardła, kolejki przed stanowiskami oraz jaką liczbę wyrobów można wyprodukować w danym okresie czasu.



Rysunek 9. Model symulacyjny przebiegu procesu w programie Arena

Eksperyment symulacyjny nie pozwala na wyznaczenie rozwiązania optymalnego, ale można na nim sprawdzać różne scenariusze zdarzeń i wybrać najlepsze rozwiązanie spośród analizowanych.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe wyniki eksperymentu symulacyjnego obrazujące wykorzystanie poszczególnych zasobów produkcyjnych według wariantu początkowego.



Rysunek 10. Analiza wykorzystania zasobów produkcyjnych na podstawie raportów z symulacji

Z wykresu wynika, że wąskie gardło w aktualnym procesie produkcyjnym stanowi stanowisko spawania. Jest ono obciążone w prawie stu procentach. Kolejnym mocno obciążonym stanowiskiem jest stanowisko malowania (87,11%).

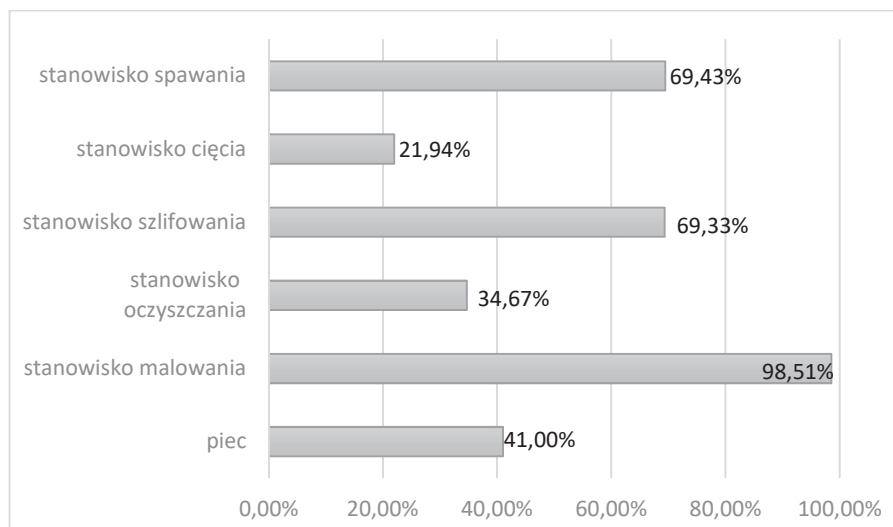
Aby rozwiązać problem wąskiego gardła na stanowisku spawania poza zmianą technologii zaproponowano nowe ustawienie stanowisk na hali produkcyjnej. Opracowanie nowego sposobu cięcia profili pozwoli skrócić czas procesu spawania, ponieważ spawacz będzie wykonywał mniejszą liczbę spoin.

Po wprowadzeniu do modelu symulacyjnego nowych czasów jednostkowych, został wygenerowany raport. Zmiana sposobu cięcia profili pozwoli wyprodukować 70 wsporników stołu w ciągu dwóch zmian roboczych. Obciążenia stanowisk produkcyjnych zostały przedstawione na wykresie (rys. 11.).

W dalszej kolejności po zmierzeniu czasu jaki poświęcany jest przez pracowników na transport między stanowiskiem pracy, a polami odkładczymi, zauważono duże marnotrawstwo związane ze zbędnymi ruchami. Analizie poddano układ stanowisk na hali produkcyjnej. Podjęto decyzję o zmianie rozmieszczenia stanowisk oraz o zlikwidowaniu pól odkładczych na środku hali.

Nowe rozmieszczenie pozwoli na umieszczenie pól odkładczych między stanowiskami. Wyjątek stanowi stanowisko cięcia i spawania. Między tymi stanowiskami zdecydowano się wprowadzić ruchome regały, które zlikwidują marnotrawstwo związane z rozładunkiem i załadunkiem elementów.

Po wprowadzeniu zmian pracownicy będą wykonywali mniej ruchów związanych z przemieszczaniem się po hali oraz ruchów związanych z przekładaniem elementów, a zaoszczędzony czas będą mogli wykorzystać na czynności z wartością dodaną.



Rysunek 11. Obciążenie stanowisk produkcyjnych po wprowadzeniu zmian

Przykładowe zestawienia efektów reorganizacji analizowanego gniazda produkcyjnego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie czasów związanych ze zbędnymi ruchami dla stanowiska spawania

CZAS \ STAN	Aktualnie	Po proponowanych zmianach
Związany z przemieszczaniem	2 min	50 s
Związany z przekładaniem	40 min 30 s	0 s
Łączny	42 min 30 s	50 s
% udział w 8h zmianie	8,8%	0,1%

Podobne działania, mające na celu eliminowanie marnotrawstwa, prowadzono na pozostałych stanowiskach roboczych.

6. Podsumowanie i wnioski

Szczupła produkcja obejmuje liczne narzędzia pozwalające usprawnić procesy w przedsiębiorstwie. Lean może znaleźć zastosowanie w każdej firmie. Czasami wprowadzenie niewielkich zmian pozwala zredukować koszty, zwiększyć zyski i ograniczyć ryzyko powstawania błędów.

Proponowana zmiana rozmieszczenia stanowisk oraz pól odkładczych pozwoli usprawnić pracę na stanowiskach roboczych. Marnotrawstwo związane z transportem i przekładaniem elementów zostanie zminimalizowane. Czas, który aktualnie poświęca pracownik na wykonywanie czynności niedodających wartości produktowi po wprowadzeniu proponowanych zmian poświęci pracy na stanowisku.

Zmiana sposobu cięcia umożliwi skrócenie łącznej długości spawu, czasu operacji spawania oraz czasu operacji szlifowania.

Narzędzia odchudzonego wytwarzania dają wiele korzyści m.in. możliwość redukcji kosztów, skracania czasów jednostkowych, eliminowania niepotrzebnych czynności czy też poprawiania jakości wyrobów oraz warunków i bezpieczeństwa pracy.

Techniki modelowania i symulacji może być jednym ze skutecznych narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji w zakresie doboru liczby pracowników, maszyn i urządzeń, kształtowania przepływów materiałowych oraz zarządzania czasami wytwarzania. Zastosowanie modelu w eksperymencie symulacyjnym pozwala na wykrywanie zakłóceń, eliminowanie marnotrawstwa oraz określanie wydajności. Wizualizacja systemów za pomocą symulacji komputerowej może posłużyć do szkoleń pracowników i doskonalenia realizowanych procesów wytwarzania.

LITERATURA

1. DUDEK M.: Projektowanie szczupłych systemów wytwarzania, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2016.
2. KNOSALA R.: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 2, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017.
3. KUBIK S.: Kaizen na hali produkcyjnej, Wydawnictwo ProdPublishing.com, Wrocław 2010.
4. MACIĄG A., PIETROŃ R., KUKLA S.: Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
5. PLINTA D.: Modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno – Humanistycznej w Bielsku – Białej, Bielsko-Biała 2015.
6. RUT J., MIŁASZKIEWICZ B.: Narzędzia lean production w procesie optymalizacji działu produkcyjnego przedsiębiorstwa - studium przypadku, „Marketing i Rynek”, 2016.
7. SAYER N.J., WILLIAMS B.: Lean dla bystrzaków. Wydawnictwo Septem, Gliwice 2019.