

FABRYKA DYDAKTYCZNA

– EFEKTYWNA METODA NAUCZANIA NARZĘDZI LEAN

– CASE STUDY

Dorota STADNICKA

Streszczenie: W pracy przedstawiono korzyści z wykorzystywania fabryki dydaktycznej w nauczaniu praktycznego stosowania narzędzi lean manufacturing. Artykuł pokazuje, jak w prosty sposób można nauczyć narzędzi umożliwiających poprawę organizacji pracy na linii produkcyjnej poprzez umożliwienie studentom realnego wykonania pracy i osobistej obserwacji pracy oraz identyfikacji problemów pojawiających się na linii produkcyjnej. Istotne jest, aby wykonywane zadania nie były zbyt skomplikowane, tak, aby student bardziej skoncentrował się na organizacji pracy, jak na technologii produkcji. Zaprezentowana w pracy fabryka dydaktyczna naucza wykorzystania m.in. takich narzędzi jak chronometraż pracy, bilansowanie pracy operatorów, wdrażanie rozwiązań typu Poka Yoke, wdrażanie standaryzacji. Istotne przy tym jest zapewnienie jakości produkcji oraz uzyskanie krótkiego czasu przetwarzania i przejścia.

Słowa kluczowe: Lean manufacturing, gry symulacyjne, praktyka, narzędzia lean

1. Wprowadzenie

Lean Manufacturing jest obecnie najbardziej pożądanym sposobem wytwarzania, ponieważ przynosi producentowi wymierne korzyści, takie jak na przykład zmniejszenie kosztów produkcji, poprawę jakości procesów, a klientowi daje możliwość realizacji zamówienia w czasie krótszym niż wcześniej było to możliwe. Systemy Lean Manufacturing są od wielu lat znane [6] i stosowane w wielu przedsiębiorstwach [1-5, 9]. Systemy szczupłej produkcji są stosowane w małych i średnich firmach [17], ale szczególnie rozpowszechnione są w dużych przedsiębiorstwach [10], począwszy od fabryk Toyoty [8], poprzez przedsiębiorstwa z korporacji General Electric [14], czy United Technology Corporation [13], aż po polskie firmy, takie jak Nowy Styl Group [16], czy Stomil Sanok [7]. To jednak, że system oraz narzędzia Lean Manufacturing są znane od wielu lat nie znaczy wcale, że przedsiębiorstwom jest prosto je wdrażać i stosować. Jednym z głównych powodów pojawiających się trudności jest czynnik ludzki. Pracownicy firm nie rozumieją potrzeby wdrażania narzędzi lean, ani nie wiedzą jak to robić. Absolwenci szkół nie zawsze są również dobrze przygotowani do wdrażania tych narzędzi. Dzieje się tak głównie dlatego, że w procesie kształcenia większą uwagę zwraca się na teorię jedynie pokazując praktyczne przykłady wdrożeń, które wydaje się, że są jasne i zrozumiałe, niestety tylko do chwili, gdy studenci sami mają określone rozwiązania zastosować w praktyce. Wtedy się dopiero okazuje, że tak naprawdę nie wiadomo od czego zacząć, ani nie wiadomo, jakie narzędzia szczupłej produkcji zastosować w określonej sytuacji.

Dlatego też pojawia się coraz więcej różnych gier symulacyjnych, które pozwalają studentom w praktyce stosować narzędzia szczupłej produkcji.

2. Przegląd gier dydaktycznych stosowanych w procesie nauczania

Stosowane gry dydaktyczne można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa gier to symulacje komputerowe, które mają tą zaletę, że nie wymagają rozbudowanej infrastruktury technicznej, a jedynie komputer i oprogramowanie. Są to niejednokrotnie bardzo ciekawe i wciągające gry symulacyjne, które pozwalają graczom na podejmowanie decyzji i obserwowanie ich skutków. Pozwala to nauczyć uczestników gry, w jaki sposób podjęte decyzje, czy wprowadzone zmiany wpływają na produkcję, czy sytuację w firmie.

Przykładem może być program ProModel. Jest to program, który może być wykorzystywany do symulacji i analizy istniejących lub projektowanych systemów produkcyjnych. Można zakładać różne typy oraz różne wielkości produkcji. Program umożliwia symulację pracy i ocenę osiągnięć zamodelowanych linii produkcyjnych. Na etapie tworzenia modelu istotne są takie zagadnienia jak: lokalizacje, elementy systemu produkcyjnego, operacje produkcyjne, czasy trwania operacji produkcyjnych, dostawy, procesy logistyczne, środki transportowe, zasoby itd. Przykład zastosowania programu ProModel do symulacji przedstawiono w pracy [11].

Po przeprowadzeniu symulacji otrzymywany jest raport, który pozwala zauważyć miejsca do doskonalenia w systemie produkcyjnych, takie jak np. wąskie gardła, niewłaściwie rozłożenie zasobów, brakujące dostawy, przestoje itd.

Innym przykładem tego rodzaju gry symulacyjnej może być The Fresh Connection. Jest to gra komputerowa, która symuluje funkcjonowanie przedsiębiorstwa produkcyjnego [15]. Uczestnicy gry mogą postawić się w roli osoby odpowiedzialnej za zakupy, osoby odpowiedzialnej za sprzedaż, osoby odpowiedzialnej za łańcuch dostaw, czy też osoby odpowiedzialnej za produkcję. Uczestnicy gry mają możliwość podejmowania decyzji, czy dokonywania wyborów, po czym obserwują ich skutki za pomocą określonego zestawu wskaźników, takich jak np. ROI, ilość wyrobów odrzuconych (uznanych za przeterminowane), koszty materiałów, dostawy na czas itd. I tak na przykład w zakresie procesu sprzedaży można negocjować terminy i wymagany poziom dostaw. W zakresie procesu zakupów można dokonywać oceny i wyboru dostawców. W zakresie zarządzania łańcuchem dostaw można ustalać wielkości zapasów, wielkości partii produkcyjnych czy zakupów. Natomiast w zakresie procesu produkcji można wprowadzać szkolenia operatorów, wdrażać metodę SMED, wprowadzać prewencyjną obsługę maszyn itd.

Mimo, że gra jest bardzo ciekawym i rozbudowanym rozwiązaniem wciągającym jej uczestników w proces zarządzania firmą, to jednak ma jedną podstawową wadę. Nie wyjaśnia dlaczego podjęcie określonych decyzji prowadzi do określonych skutków. Ani też nie pokazuje mechanizmów działania, w sytuacji gdy np. osoba zarządzająca zdecyduje się na zastosowanie metody SMED. I tutaj właśnie pojawia się miejsce na zastosowanie gier symulacyjnych z drugiej grupy.

Do drugiej grupy gier symulacyjnych zaliczamy gry, które pozwalają jej uczestnikom na praktyczne wdrażanie określonych rozwiązań w rzeczywistym środowisku i na pokonywanie trudności związanych z wdrożeniem, a następnie obserwowanie rzeczywistych rezultatów.

Przykładem jednej z bardziej rozbudowanych gier symulacyjnych może być linia montażowa przedstawiona na rys. 1. Linia przeznaczona jest do montażu gokartów i zawiera wszystkie niezbędne do tego celu elementy wyposażenia, tj. elementy do montażu, narzędzia, dokumentację, stanowiska pracy itd.. Praca na linii odbywa się na zasadzie „rabbit chase”, tzn., że operatorzy podążając jeden za drugim realizują proces

montażu przemieszczając się ze stanowiska na stanowisko i realizując określony zestaw prac montażowych.

Praca na linii jest planowana w oparciu o wymagania klientów, a następnie jest analizowana z wykorzystaniem określonego zestawu wskaźników. Osoby uczestniczące w pracy na linii mają możliwość praktycznego wdrażania określonych rozwiązań usprawniających pracę, a następnie mogą ocenić w praktyce efekty podjętych działań.

Innym przykładem linii montażowej pozwalającej na wytworzenie kompletnego wyrobu jest linia do montażu długopisów [12]. W tym przypadku uczestnicy gry symulacyjnej pracują na określonych stanowiskach realizując konkretne przydzielone im zadania produkcyjne (rys. 2).



Rys. 1. Symulacyjna linia montażowa gokartów w Högskolan Skövde, Szwecja



Rys. 2. Symulacyjna linia do montażu długopisów w Lean Learning Academy Polska

Następnie praca na linii jest analizowana z wykorzystaniem wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością, po czym wdrażane są w praktyce różne narzędzia lean manufacturing, które mają za zadanie uprawnić pracę linii. Uczestnicy symulacji mogą zobaczyć jak w praktyce wygląda np. zbieranie danych do mapowania strumienia wartości, wdrożenie 5S, czy wdrożenie systemu Kanban.

Również inne proste gry symulacyjne wykorzystujące np. zestaw klocków Lego (rys. 3), czy proste wyroby (rys. 4) pozwalają w bardzo łatwy sposób zrozumieć znaczenie standaryzacji, wizualizacji, 5S, czy rozwiązań Poka Yoke w organizacji procesów produkcyjnych i zapewnieniu jakości wyrobów oraz nauczyć ich stosowania.

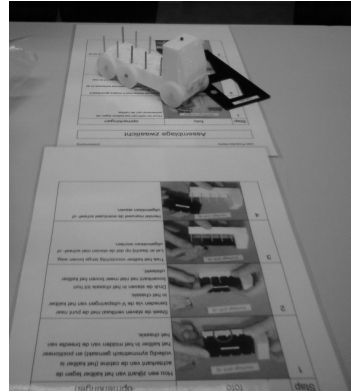
Jak widać na podstawie przedstawionych przykładów gry symulacyjne mogą mieć różną postać oraz mogą być bardziej lub mniej rozbudowane. Mogą również uczyć różnych rzeczy w bardziej lub mniej kompleksowy sposób.

W dalszej części niniejszej pracy zostanie przedstawiona gra symulacyjna, która pozwala nauczyć uczestników symulacji takich narzędzi jak: tworzenie konfiguracji wyrobu, wykres spaghetti, chronometraż czasu pracy, obserwacja i analiza pracy operatora,

- badanie elementów pracy, projektowanie rozwiązań Poka Yoke, standaryzacja pracy – opracowywanie standardowych dokumentów pracy, wizualizacja, bilansowanie pracy operatorów, projektowanie rozmieszczenia stanowisk na linii produkcyjnej, przeprowadzanie analizy FMEA.



Rys. 3. Gra symulacyjna wykorzystująca klocki Lego w Volvo Cars Lean Learning Academy, Gent, Belgia



Rys. 4. Wizualna instrukcja montażu modelu ciężarówki na linii symulacyjnej w KaHo Sint-Lieven Lean Learning Academy, Gent, Belgia

3. Charakterystyka fabryki dydaktycznej

Na zaprezentowanej w dalszej części niniejszej pracy linii produkcyjnej produkowane są proste wyroby, które pełnią funkcję ozdób choinkowych. Jest to wyrób na tyle prosty, że może być z powodzeniem wytworzony przez uczestników gry symulacyjnej z wykorzystaniem prostych narzędzi pracy.

Na rysunkach 5-8 przedstawione są wybrane schematy dostępne dla operatorów i znajdujące się na poszczególnych stanowiskach pracy na linii produkcyjnej prezentowanej fabryki dydaktycznej. Na stanowisku 1 przygotowywane są elementy wyrobu, które będą tworzyły zewnętrzną powierzchnię ozdoby choinkowej, to jest „Pasek długi” oraz dwa „Kwadraty”. Te elementy wyrobu są wycinane z kartonu pokrytego błyszczącą folią. Każdy z pracowników na stanowisku pracy ma do dyspozycji określone narzędzia.

Podczas analizy pracy realizowanej na stanowisku 1 należy zastanowić się między innymi nad następującymi zagadnieniami:

- jakie błędy może popełnić operator na danym stanowisku pracy (element analizy FMEA procesu),
- jakie problemy pojawiają się lub mogą pojawić się podczas pracy (obserwacja procesu pracy),
- czy narzędzia, które operator ma do dyspozycji są odpowiednie i wystarczające do właściwego wykonania pracy (ergonomia pracy, czas realizacji zadania, dokładność),
- jakie rozwiązania Poka Yoke można zastosować, aby zabezpieczyć wyrób przez ewentualnymi błędami operatora,
- w jakiej kolejności powinny być wykonywane poszczególne czynności, aby zapewnić jakość wyrobu, a jednocześnie uzyskać najkrótszy czas wykonania wyrobu (najlepsza metoda wykonania, standaryzacja pracy),
- czy stanowisko pracy operatora jest odpowiednio zorganizowane (zasady 5S),
- czy są możliwości zmniejszenia ilości odpadów (technologia produkcji).

Na stanowisku 2 wykonywana jest wewnętrzna część szkieletu wyrobu tzw. „Pasek krótki”. Materiał to sztywny biały karton, który stosowany jest na szkielet ze względu na

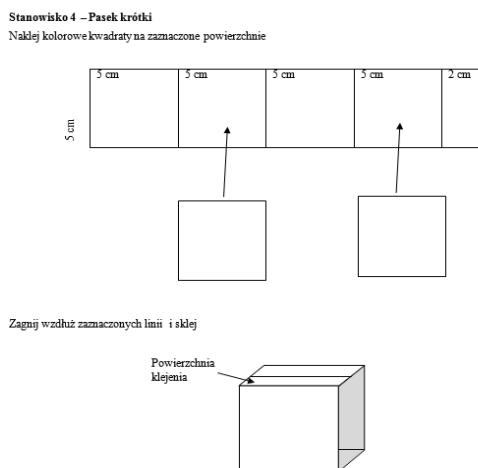
swoje właściwości oraz niski koszt, znacznie niższy od materiału stosowanego na zewnętrzną powłokę wyrobu. Pracownik na tym stanowisku ma za zadanie zaplanować i wykonać rozkrój materiału według schematu znajdującego się na stanowisku.

Na tym stanowisku analizowane są takie same zagadnienia jak na stanowisku 1. Przy czym należy zauważyć, że ze względu na to, że na stanowisku drugim wytwarzana jest część wewnętrzna wyrobu, to np. drobne zarysowania wyrobu nie będą wpływały na jakość wyrobu gotowego, podczas gdy w przypadku pracy wykonywanej przez operatora 1 wszelkie zarysowania będą od razu widocznie, szczególnie ze względu na błyszczącą powierzchnię materiału. Warto również podkreślić, że bardzo istotna jest dokładność wykonania obu elementów, ponieważ w przypadku nie zachowania dokładności kształtu spod np. czerwonej powierzchni ozdoby choinkowej będzie wystawał biały kolor szkieletu.

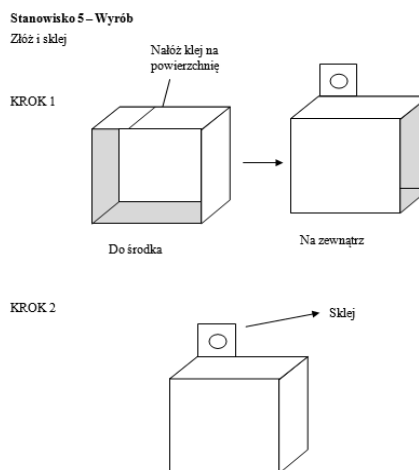
Zadaniem operatora na stanowisku 3 jest wycięcie otworów w skrzydełkach „Paska długiego”, przez które w późniejszym czasie zostanie przewleczona nitka pozwalająca na zawieszenie ozdoby choinkowej. Podczas operacji wykonywanych na tym stanowisku szczególnie istotne jest, aby otwory były wykonane dokładnie na środku skrzydełka, tak aby po złożeniu pokrywały się ze sobą.

Na stanowisku 4 operator zajmuje się „Paskiem krótkim”, a w szczególności przykleja na pasek w odpowiednich miejscach „Kwadraty” oraz składa szkielet wyrobu (rys. 5). Na tym stanowisku realizowany jest proces specjalny – klejenie, dlatego szczególnie ważne są parametry procesu i wykonywane w jego trakcie czynności. Ze względu na właściwości materiału na zewnętrzną powłokę wyrobu, przy nie zachowaniu odpowiedniego czasu schnięcia przy docisku „Kwadrat” będzie odklejał się na rogach. Po drugie w trakcie procesu klejenia bardzo łatwo może dojść do zanieczyszczenia powierzchni zewnętrznej wyrobu, co będzie miało wpływ na jego jakość. Analizując pracę na tym stanowisku należy więc określić najlepszą sekwencję wykonania pracy, ustalić najbardziej właściwe wartości parametrów procesu klejenia, a następnie wdrożyć je jako standard.

Na stanowisku 5 następuje montaż wyrobu gotowego. „Pasek długi” jest składany stanowiąc zewnętrzną powłokę wyrobu i jest sklejan z częścią wewnętrzną (rys. 6). Na tym stanowisku istotna jest precyzja montażu. Tutaj również okazuje się, czy poprzednie operacje zostały wykonane prawidłowo.



Rys. 5. Schemat pracy na stanowisku 4

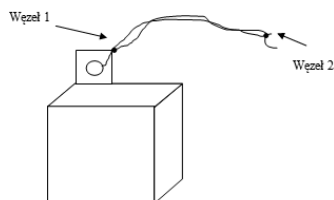


Rys. 6. Montaż wyrobu gotowego

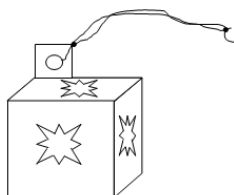
Na stanowisku 6 realizowane są prace końcowe na wyrobie, a mianowicie przywiązywana jest nitka, za pomocą której ozdoba będzie mogła być powieszona na choince. Dodatkowo na powierzchni zewnętrznej z sześciu stron przyklejane są gwiazdki (rys. 7). Szczególnie istotną operacją jest tu przyklejanie gwiazdek, ponieważ ma ona duży wpływ na jakość wyrobu ze względu na możliwość pobrudzenia błyszczącej ozdoby klejem. Gwiazdki na stanowisko 6 są dostarczane ze stanowiska 7, na którym są wytwarzane z białego błyszczącego kartonu (rys. 8). Aby gwiazdka miała powtarzalny kształt powinna być wykonana według określonego schematu. Zadania wykonywane na stanowisku 7 są wyjątkowo pracochłonne i czasochłonne, dlatego głównym celem analizy pracy na stanowisku jest znalezienie możliwości skrócenia czasu procesu produkcji gwiazdek.

Stanowisko 6 – Wyrób

Utnij nitkę na długość 30 cm i przewlecz przez otwór. Zawiąż dwa węzły.



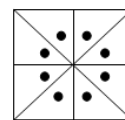
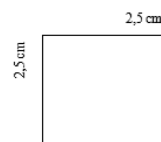
Przyklej gwiazdki. Po jednej gwiazdce na każdym boku. Łącznie 6 gwiazdek.



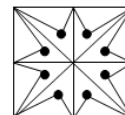
Rys. 7. Prace realizowane na stanowisku 6

Stanowisko 7 - Gwiazdki

Wymij kwadrat, wykonaj linie oraz oznacz punkty.



Wymij gwiazdki.



Rys. 8. Schemat wytwarzania gwiazdki

Prace realizowane na przedstawionych stanowiskach są poddawane analizie, której etapy przedstawione są w dalszej części niniejszej pracy.

4. Analiza pracy z wykorzystaniem narzędzi lean manufacturing

Opracowanie konfiguracji wyrobu

Pierwszą rzeczą realizowaną w ramach analizy symulacyjnej linii produkcyjnej było opracowanie konfiguracji wyrobu, aby mieć pełen obraz sytuacji i jasno zidentyfikować elementy wyrobu i konieczną kolejność ich montażu w podzespoły, czy zespoły. Pozwoli to później na znalezienie zależności pomiędzy poszczególnymi stanowiskami pracy wykonującymi określone elementy wyrobu.

Wykres spaghetti

Następnym etapem analizy jest opracowanie wykresu spaghetti, który pokaże jak obecnie przepływają elementy wyrobu przez poszczególne stanowiska pracy. Może się okazać, że obecny podział pracy i przydzielenie jej określonym stanowiskom nie jest najlepszym rozwiązaniem i że trzeba będzie w tym zakresie wprowadzić zmiany.

Chronometraż czasu pracy

Aby przeprowadzić kolejne analizy niezbędne jest zebranie danych o czasach wykonywania czynności na poszczególnych stanowiskach pracy. W tym celu można wykorzystać kartę badań chronometrycznych przedstawioną na rys. 9.

ARKUSZ OBSERWACJI - CHRONOMETRAŻ															
Stanowisko:					Operacja:										
Zespół/osoba opracowujący/a:					Data obserwacji:										
					Godzina rozpoczęcia obserwacji:										
Zabieg / Czynność	Kolejny numer pomiaru														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Rys. 9. Arkusz badań chronometrycznych

Dla zebrania odpowiednich danych w pierwszej kolejności należy dokonać identyfikacji czynności wykonywanych na stanowisku, a następnie zmierzyć czas wykonywania tych czynności. Pomiar należy powtórzyć kilkakrotnie i do następnych analiz wybrać najkrótszy powtarzający się czas. Czas ten może stać się czasem standardowym, chyba, że zostaną wprowadzone na stanowisku jakieś usprawnienia, które pozwolą na jego skrócenie.

Dla przykładu na stanowisku 1 wykonywane są następujące czynności: odmierzenie odległości, narysowanie linii, wycięcie 4 sztuk pasków długich, przekazanie pasków długich na stanowisko 3, wycięcie 8 kwadratów, przekazanie kwadratów na stanowisko 4.

Obserwacja i analiza pracy operatora

Aby dobrze zrozumieć realizowany na stanowisku pracy proces trzeba przeprowadzić jego obserwację. Instrukcja pracy, którą operator ma na stanowisku nie mówi jasno, jakie czynności i w jakiej kolejności powinny być zrealizowane. Stwarza to dla pracownika możliwość ustalania dowolnej kolejności realizacji czynności, nawet różnej za każdym razem. Może to powodować różnice w jakości wykonania oraz w czasie wykonania kolejnych wyrobów. Trudno również w takiej sytuacji oczekiwać optymalnej kolejności wykonywania czynności. Jeżeli pracownik jest ambitny i twórczy to może samodzielnie eksperymentować i znaleźć uznaną przez siebie za najlepszą sekwencję pracy. W większości jednak przypadków pracownicy nie mają takich motywacji, a i należy zadać sobie pytanie o to, czy firma oczekiwałaby od pracownika prowadzenia na własną rękę jakichkolwiek eksperymentów na swoim stanowisku pracy. Dlatego też eksperyment związany z poszukiwaniem najlepszej metody i sekwencji wykonania pracy powinien być zaplanowany i realizowany w czasie specjalnie do tego przewidzianym, a nie samodzielnie przez pracownika.

Na rysunku 10 przedstawiona jest praca realizowana na stanowisku 1. Już na pierwszy rzut oka widać, że stanowisko nie jest właściwie zorganizowane, ponieważ w obszarze pracy znajdują się wiele różnych materiałów. Pierwszym wnioskiem z obserwacji powinno więc być zasugerowanie wdrożenia metody 5S.

W następnej kolejności należy zaproponować lepszą organizację pracy na stanowisku, poszukiwać możliwości wprowadzenia usprawnień, wprowadzenia lepszych bądź dodatkowych narzędzi pracy, wprowadzenia sposobów zapobiegania błędom pracownika,

wprowadzenia sposobów na wykonanie czynności w krótszym czasie itd.

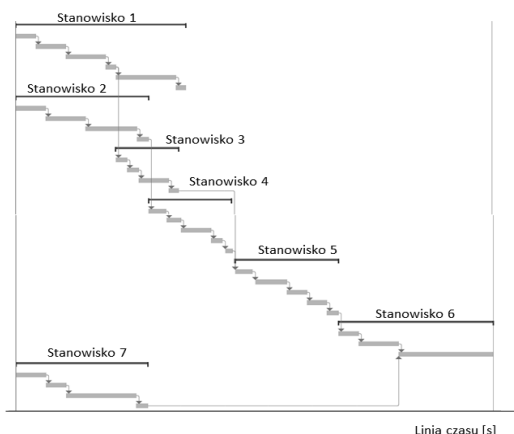
Na tym stanowisku pracownik rysuje rozkrój dla czterech wyrobów, następnie wycina „Paski długie” na cztery wyroby i na końcu „Kwadraty”, również na cztery wyroby. Wiedząc, że w szczupłej organizacji pracy linii produkcyjnej najlepszy byłby przepływ jednej sztuki można zastawić się nad tym, dlaczego tutaj mamy przepływ czterech sztuk i czy nie byłoby lepiej zorganizować przepływu jednej sztuki.

Badanie elementów pracy

Kolejnym etapem analizy jest badanie elementów pracy realizowanej na linii produkcyjnej i powiązań występujących między nimi. Na rysunku 11 przedstawiono harmonogram Gantta, która prezentuje czas [s] wykonywanych czynności na poszczególnych stanowiskach pracy oraz powiązania występujące między tymi czynnościami. Wykres ten będzie pomocny na kolejnym etapie analizy, a mianowicie na etapie bilansowania pracy operatorów.



Rys. 10. Praca realizowana na stanowisku 1

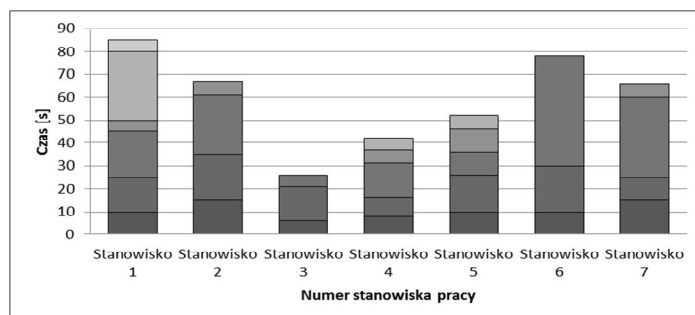


Rys. 11. Badanie elementów pracy

Bilansowanie pracy operatorów

Celem bilansowania pracy operatorów jest sprawdzenie, czy każdy operator ma przypisany taki zakres czynności, aby wszyscy operatorzy w podobnym czasie swoją pracę mogli wykonać. Z wykresu przedstawionego na rys. 12 widać, że praca na linii nie jest zbilansowana. Operator 1 ma najwięcej pracy. Podczas gdy czas pracy operatora 3 to ok. 30% czasu pracy operatora 1. Takie rozłożenie pracy może spowodować przestoje i generalnie wydłuży czas wykonania wyrobu gotowego. Konieczne jest więc inne rozłożenie pracy na stanowiskach. W tym celu konieczne będzie przeniesienie niektórych czynności ze stanowisk najbardziej obciążonych na stanowiska najmniej obciążone. Trzeba to będzie jednak zrobić z wyjątkową rozwagą uwzględniając sekwencję wykonywania określonych czynności i przepływ materiałów pomiędzy stanowiskami, czyli należy uwzględnić przeprowadzone wcześniej badanie elementów pracy.

Czas pracy danego stanowiska związany z wytwarzaniem jednego wyrobu powinien być również porównany z czasem taktu. Jeżeli dla przykładu czas taktu wynosi 60 s to widać, że stanowiska 1, 2, 6 i 7 nie mieszczą się w tym czasie. Jeżeli jednak zauważymy, że czas na stanowiskach 1 i 2 wiąże się z produkcją jednocześnie czterech wyrobów to pozostanie tylko problem ze stanowiskami 6 i 7.



Rys. 12. Bilans pracy operatorów

Projektowanie rozwiązań Poka Yoke

Zanim jednakże zaczniemy bilansować pracę operatorów należy rozważyć możliwość wprowadzenia usprawnień technicznych i organizacyjnych na stanowiskach pracy dla skrócenia czasu realizacji poszczególnych czynności, należy rozważyć możliwość wprowadzenia rozwiązań Poka Yoke dla zapobiegania błędom operatorów oraz należy rozważyć możliwą zmianę kolejności wykonywanych czynności.

Na przykład na stanowisku 3 wykonywane są następujące czynności (rys. 13): 1 - Wycięcie otworu 1 – na jednym skrzydle paska długiego; 2 - Wycięcie otworu 2 – na drugim skrzydle paska długiego; 3 – Zgięcie wzdłuż linii (trzy zgięcia na długości paska i dwa zgięcia przy skrzydłach); 4 – Przekazanie na stanowisko 5.

Aby skrócić czas pracy na stanowisku 3 wystarczy realizować czynności w innej kolejności, co pozwoli na wyeliminowanie jednej czynności i uprości pracę: 1 – Zgięcie wzdłuż linii – na środku paska; 2 - Wycięcie obydwu otworów jednocześnie; 3 – Wykonanie pozostałych zgięć; 4 – Przekazanie na stanowisko 5.

Tylko ta jedna drobna zmiana da oszczędność 6 sekund na jednym wyrobie.

Dodatkowo wykonanie jednocześnie dwóch otworów da pewność, że będą one idealnie do siebie pasowały w związku z tym operator nie będzie miał szans na popełnienie błędu, tj. wykonanie otworów, które nie będą do siebie pasowały. Można więc powiedzieć, że jednoczesne wykonywanie dwóch otworów jest organizacyjnym rozwiązaniem Poka Yoke.

Kolejnym błędem, jaki może popełnić operator na tym stanowisku pracy jest wykonanie otworów nie na środku skrzydełka. Aby temu zapobiec zastosowano techniczne rozwiązanie Poka Yoke, a mianowicie ogranicznik na dziurkaczu ustawiono w ten sposób, aby dziurka mogła być wykonana na środku skrzydełka. Operator wykonując dziurkę ma w odpowiedni sposób dosunąć wyrób do ogranicznika i dopiero wtedy wykonać dziurkę.

Wizualizacja

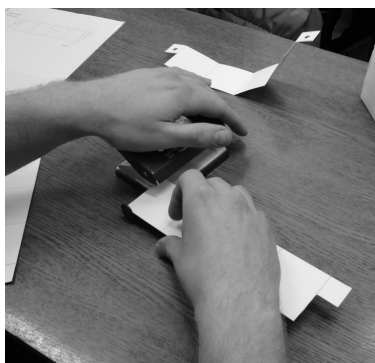
Aby nie popełnić błędu związanego z nie przyklejeniem wszystkich gwiazdek na wyrobie na stanowisku 6 zastosowano również organizacyjne rozwiązanie Poka Yoke i zastosowano wizualizację. A mianowicie zastosowano kompletację elementów (gwiazdek) do montażu (rys. 14). W momencie, gdy na polu kompletacji nie ma żadnej gwiazdki operator jest pewien, że wszystkie zostały przyklejone.

Dodatkowymi analizami, które mogą być wykonane na danych z zaprezentowanej linii produkcyjnej jest analiza FMEA procesu produkcji ozdoby choinkowej, aby kompleksowo zidentyfikować możliwe do popełnienia w procesie błędy, ocenić obecnie obowiązujący system kontroli i wprowadzić niezbędne działania zapobiegawcze.

Można również przeprowadzić mapowanie strumienia wartości, które wskaże

marnotrawstwo i miejsca gromadzenia się zapasów, a jednocześnie nauczy studentów zbierania danych z rzeczywistej linii produkcyjnej oraz wdrażania w praktyce takich rozwiązań jak supermarket, kolejka FIFO, czy karty Kanban.

Po przeprowadzeniu zaprezentowanych analiz i po wprowadzeniu ustalonych usprawnień należy ponownie przeprowadzić chronometraż czasu wykonywania określonych czynności pracy, przeprowadzić bilansowanie pracy operatorów, ustalić kto i co ma robić, a następnie zastanowić się nad reorganizacją rozmieszczenia stanowisk na linii produkcyjnej. Celem jest skrócenie drogi transportowej pomiędzy poszczególnymi stanowiskami pracy.



Rys. 13. Proces realizowany na stanowisku 3



Rys. 14. Operacja 6 z polem odkładczym na komplet sześciu gwiazdek do przyklejenia na jednym wyrobie

Standaryzacja pracy

Ostatnią rzeczą, która jest wykonywana to opracowywanie standardowych dokumentów pracy. Przykładowa karta instrukcji pracy może zawierać takie informacje jak: nr i nazwę stanowiska, czas cyklu pracy, czas taktu, sekwencje wykonywanych czynności, czas trwania poszczególnych czynności, wyjaśnienie jak czynności powinny być wykonywane wraz z wizualizacją pracy oraz uzasadnienie dlaczego w ten sposób.

5. Korzyści z pracy w fabryce dydaktycznej

Realizując pracę, a następnie analizy na przedstawionej symulacyjnej linii produkcyjnej student ma możliwość nauczyć się obserwacji pracy i analiz na prostych przykładach. Bez względu na, czy mamy do czynienia z produkcją ozdób choinkowych, czy z produkcją części do przemysłu lotniczego zawsze będą miały zastosowanie następujące zasady:

1. Aby skrócić czas realizacji pracy należy wskazać operatorowi najlepszą sekwencję wykonywania czynności pracy, bazującą na przeprowadzonych doświadczeniach oraz ustalić najlepszą metodę wykonania pracy.
2. Aby zapewnić najkrótszy czas przejścia wyrobu przez całą linię produkcyjną należy wyeliminować czas oczekiwania wyrobu na kolejną obróbkę, co bezpośrednio wiąże się z bilansowaniem pracy na linii oraz z wdrażaniem przepływu jednej sztuki czy produkcją małymi partiami, tam gdzie jest to możliwe.
3. Aby zabezpieczyć proces przed możliwymi błędami popełnianymi przez operatorów należy wdrażać techniczne lub organizacyjne rozwiązania Poka Yoke

dobrane w zależności od potrzeb, przy uwzględnieniu opłacalności ich zastosowania.

4. Aby zapewnić powtarzalność procesu i jakość produkcji należy wdrażać standaryzację i standardowe procedury pracy.

Praca na symulacyjnej linii produkcyjnej przede wszystkim uczy myślenia, poszukiwania problemów, ich przyczyn, również z wykorzystaniem różnych metod i narzędzi zarządzania jakością, jak np. burza mózgów, analiza Ishikawy, 5xWhy itp. oraz rozwiązań tych problemów. Pozwala na zastosowanie narzędzi analitycznych wykorzystując dane zebrane w trakcie rzeczywistej pracy linii. Pozwala na wprowadzanie w praktyce różnych rozwiązań. Pozwala na zrozumienie praktycznych skutków stosowania narzędzi lean manufacturing. Aż wreszcie pozwala na popełnianie błędów. A jak wiadomo na błędach człowiek najlepiej się uczy.

6. Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowana fabryka dydaktyczna może być wykorzystywana do nauczania organizacji produkcji zgodnie z zasadami lean manufacturing. Nie wymaga zaangażowania dużych środków finansowych. Nie ma również potrzeby poświęcenia dużej ilości czasu na przeszkolenie operatorów z pracy jaką mają wykonywać na swoich stanowiskach pracy. Łatwo i szybko można rozdzielić zadania na poszczególne osoby biorące udział w symulacji. Każdy uczestnik symulacji dostaje zadanie do wykonania i za nie odpowiada. Na czas prowadzenia analiz tworzone są zespoły, które mają określony cel prowadzenia analiz. Bardzo istotna jest tutaj praca zespołowa oraz komunikacja pomiędzy grupami, ponieważ wyniki pracy jednego zespołu mają wpływ na decyzje podejmowane przez inny zespół. Studenci uczą się odpowiedzialności, właściwej organizacji pracy. W zespołach wyłaniają się liderzy. To wszystko po zakończeniu pracy i analiz podlega dyskusji. Wyciągane są odpowiednie wnioski.

Oczywiście podczas realizacji pracy na symulacyjnej linii produkcyjnej oraz przy późniejszym prowadzeniu analiz można zauważyć również różnego rodzaju problemy, do których można zaliczyć:

- brak odpowiedzialności niektórych osób za powierzone im do wykonania zadanie, np. chronometrażysta podczas pracy linii nie zebrał odpowiednich informacji, co skutkuje koniecznością wznowienia pracy linii i wydłużeniem zajęć,
- brak motywacji do pracy, co skutkuje brakiem zaangażowania w prowadzone analizy i generowanie pomysłów doskonalących,
- w zespole nie wyłonił się lider, który powinien planować pracę zespołu, czuwać nad wykonywanymi analizami i dążyć do osiągnięcia celu postawionego zespołowi.

Prowadzący zajęcia realizowane na symulacyjnej linii produkcyjnej oczywiście musi na bieżąco monitorować pracę, a w takich sytuacjach odpowiednio reagować.

Optymalna liczba osób do uczestnictwa w symulacji to 14 osób.

Literatura

1. Álvarez R., Calvo R., Peña M. M., Domingo R.: Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, August 2009, Volume 43, Issue 9-10, pp 949-958.

2. Barbosa G. F., Carvalho J., Filho E. V. G.: A proper framework for design of aircraft production system based on lean manufacturing principles focusing to automated processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. June 2014, Volume 72, Issue 9-12, pp 1257-1273.
3. Das B., Venkatadri U., Pandey P.: Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. March 2014, Volume 71, Issue 1-4, pp 307-323.
4. Dombrowski U., Mielke T., Schulze S.: Employee Participation in the Implementation of Lean Production Systems. Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. 2012, pp 428-433.
5. Eswaramoorthi M., Kathiresan G. R., Prasad P. S. S., Mohanram P. V. A survey on lean practices in Indian machine tool industries, *Int J Adv Manuf Technol* (2011) 52:1091–1101
6. James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos, *Maszyna, która zmieniła świat*. Wydawnictwo: ProdPress. Wrocław 2008
7. Januszewski P.: Organizacja systemu dużych projektów doskonalących w Stomil Sanok S.A. IV Konferencja Lean Learning Academy "Zastosowanie narzędzi Lean w projektach doskonalących", Rzeszów 16 maja 2014 r.
8. Jeffrey K. Liker, *The Toyota Way*. Wydawnictwo: MT Biznes, 2005,
9. Neumann C., Kohlhuber S., Hanusch S.: Lean Production in Austrian Industrial Companies: An Empirical Investigation. *Modelling Value Contributions to Management Science* 2012, pp 293-312.
10. Stadnicka D., Antosz K.: Lean in Large Enterprises: Study Results. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering* Vol:7 No:10, 2013, str. 1376-1382.
11. Stadnicka D., Mach A.: Symulacja pracy linii produkcyjnej na przykładzie praktycznym. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*. 2011, nr 2, s.57-71
12. Stadnicka D.: Symulacyjna linia montażowa w Lean Learning Academy. *Technologia i Automatyzacja Montażu*", 3/2011
13. utcaerospacesystems.com/Company/Pages/suppliers.aspx
14. www.gereports.com/tagged/Lean-Startup
15. www.thefreshconnection.biz
16. Wyskiel M.: Kaizen, jako forma ciągłego doskonalenia w kulturze Lean - przykład reorganizacji gniazda zestawów montażowych w Nowy Styl Group. IV Konferencja Lean Learning Academy "Zastosowanie narzędzi Lean w projektach doskonalących", Rzeszów 16 maja 2014 r.
17. Zhou B.: Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). *Annals of Operations Research*, July 2012, DOI 10.1007/s10479-012-11.

Dr inż. Dorota STADNICKA
 Lean Learning Academy Polska
 Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
 Politechnika Rzeszowska
 35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 12
 tel./fax: (0-17) 865 14 52
 e-mail: dorota.stadnicka@prz.edu.pl