

# DOSKONALENIE PROCESU PLANOWANIA PRODUKCJI Z WYKORZYSTANIEM ELEMENTÓW KONCEPCJI LEAN MANUFACTURING I PRZEMYSŁ 4.0 CZĘŚĆ I. GRA DYDAKTYCZNA

Dorota STADNICKA, Paweł LITWIN, Katarzyna ANTOSZ, Daniel SAFIN,  
Ryszard PERŁOWSKI, Arkadiusz RZUCIDŁO

**Streszczenie:** Proces planowania produkcji ma istotne znaczenie dla klienta ze względu na konieczność zapewnienia spełnienia wymagań klientów, nie tylko wymagań dotyczących jakości dostarczanych wyrobów, ale również terminowości realizowanych dostaw. Proces planowania produkcji jest również ważny dla przedsiębiorstwa, które powinno tak zaplanować realizowane prace, aby ponieść jak najmniejsze koszty z nimi związane. W procesie planowania występuje wiele problemów, które przekładają się na późniejszą realizację produkcji i terminowość dostaw do klientów, z których nie zawsze, nawet zainteresowane osoby, zdają sobie sprawę. W niniejszej pracy omówiono problemy występujące w procesach planowania produkcji na przykładzie problemów występujących w wybranej firmie produkcyjnej. Problemy te były również podstawą do opracowania przedstawionej w niniejszej pracy gry dydaktycznej. W pracy wskazuje się na potrzebę zastosowania elementów koncepcji Lean Manufacturing oraz Przemysłu 4.0 dla eliminacji tych problemów.

**Słowa kluczowe:** proces planowania, problemy planowania, Lean Manufacturing, Przemysł 4.0, gra dydaktyczna

## 1. Wprowadzenie

Dzisiejszy przemysł cechuje duża zmienność produkcji wynikająca ze zróżnicowania wymagań klientów oraz zmienności tych wymagań. Powoduje to znaczące utrudnienia w planowaniu produkcji szczególnie wtedy, gdy istniejące w przedsiębiorstwach linie produkcyjne są mało elastyczne. Przedsiębiorstwa wprowadzają różne rozwiązania wynikające z jednej strony z konieczności spełnienia wymagań klientów, a z drugiej strony z konieczności umożliwienia realizacji zamówień klientów i ułatwienia sobie procesów planowania. Od dłuższego czasu zauważana jest w przedsiębiorstwach potrzeba wdrażania koncepcji Lean Manufacturing (LM), której głównym założeniem jest poszukiwanie i eliminowanie marnotrawstwa [1]. Powstaje pytanie, jakie marnotrawstwo wiąże się z niewłaściwym planowaniem oraz jak planować realizację procesów, aby uniknąć tego marnotrawstwa, które może występować np. w postaci oczekiwania, czy też zbędnych procesów [1]. Do tego celu wykorzystywane są zasady LM i różne narzędzia, jak na przykład macierz przebrojeń, uwzględniająca czasy przebrojeń, które uzyskano po wcześniejszych analizach z wykorzystaniem metody SMED. Macierz przebrojeń pozwala na takie zaplanowanie produkcji, aby łączny czas przebrojeń był możliwie jak najkrótszy. Innym przykładem może być zastosowanie zasady FIFO przy planowaniu pracy na

poszczególnych stanowiskach pracy, po to aby zapewnić, że wcześniej zamówione produkty zostaną wcześniej wyprodukowane.

Ostatnimi czasy, wraz z koncepcją Przemysł 4.0 promowane są nowe rozwiązania, które mogą dodatkowo wspierać przedsiębiorstwa oraz bezpośrednio wpływać na realizowanie procesu planowania. Dotyczą one między innymi [2]: zastosowania przemysłowego Internetu rzeczy (ang. *Internet of Things*), który np. może ułatwić planowanie dostaw narzędzi; wprowadzania robotów współpracujących (ang. *collaborative robots*), których pracę trzeba zaplanować, zarówno w sytuacji, gdy współpracują one ze sobą, jak również wtedy, gdy mają współpracować z ludźmi; dużych zbiorów danych (ang. *big data*), których gromadzenie, jak również późniejsza analiza, możliwa również z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (ang. *artificial intelligence*), musi także zostać zaplanowana; bezpieczeństwa danych (ang. *cyber security*) przechowywanych m.in. w chmurach (ang. *clouds*); prowadzenia symulacji komputerowych m.in. procesów produkcyjnych (ang. *simulations*), dzięki czemu można wybrać lepszy scenariusz (plan) produkcji; wdrażania masowej indywidualizacji (ang. *mass customization*), którą przedsiębiorstwa stosują w celu minimalizacji negatywnego wpływu złożoności procesów produkcyjnych i procesów planowania, wynikającej z wielu opcji wyrobów oferowanych klientom, na funkcjonowanie organizacji; czy też poziomej i pionowej integracji systemowej, która pozwala na lepsze planowanie procesów w całym łańcuchu dostaw.

Przedsiębiorstwa w pierwszej kolejności poszukują oszczędności w obszarach produkcji, podczas gdy inne realizowane procesy, takie jak na przykład proces planowania, mogą także powodować duże straty (jap. *muda*). Nieodpowiednio realizowane planowanie może powodować niewłaściwe wykorzystywanie zasobów organizacji, które to zasoby albo nie są wystarczająco wykorzystywane, albo są nadmiernie obciążone (jap. *muri*) [3].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie w jaki sposób niewłaściwie realizowane procesy planowania mogą generować opóźnienia w dostawach do klientów i co można zrobić, aby temu zapobiec. Na początku pracy zostanie przedstawiona istota procesu planowania, rola, jaką pełni on w organizacji oraz etapy samego procesu planowania. Da to podstawę do porównania założeń teoretycznych z procesami planowania realizowanymi w praktyce wybranego przedsiębiorstwa. Praktyczne problemy zostaną przedstawione za pomocą gry dydaktycznej zbudowanej w oparciu o procesy realizowane w firmie produkcyjnej z branży meblowej. Gra pozwala na zidentyfikowanie problemów występujących w procesach planowania. W analizie zidentyfikowanych problemów wykorzystywane są elementy koncepcji LM. Celem gry jest uświadomienie jej uczestnikom, jakie konsekwencje mają błędy popełniane w procesie planowania.

W niniejszej pracy przedstawiono również wytyczne dotyczące konieczności zastosowania koncepcji LM oraz możliwości zastosowania elementów Przemysłu 4.0 dla eliminacji problemów wynikających z niewłaściwie realizowanych procesów planowania.

## **2. Istota, rola i etapy procesu planowania**

Planowanie jest jednym z najważniejszych etapów procesu zarządzania. Wychodząc z definicji zarządzania, planowanie jest pierwszą funkcją, od której zaczyna się cały proces produkcji. Jest podstawą do podejmowania decyzji wpływających na działalność przedsiębiorstwa na wszystkich jego szczeblach. Planowanie produkcji to uzgodnienie asortymentu oraz ilości wyrobów gotowych, które są przewidziane do wytworzenia, a także rozłożenie ich produkcji w czasie, tak aby zrealizować plan sprzedaży i osiągnąć zakładany zysk, poziom obsługi i produktywność [4]. Planowanie produkcji swym zakresem obejmuje

wszystkie zasoby niezbędne do realizacji procesu produkcyjnego. Dotyczy to zarówno materiałów, zasobów wytwórczych jak i przepływu informacji z tym związanych.

Sprawny przebieg procesu planowania i jego zakres uzależniony jest od wielu czynników. Jednym z nich jest właściwa hierarchia tzn. podział na poziomy i horyzonty planowania. Wiele przedsiębiorstw wykorzystuje sprawdzone sposoby (dobre praktyki) planowania, które znalazły swoje odzwierciedlenie w standardach opracowanych przez APICS (ang. *The Association for Operations Management*), organizację zajmującą się standaryzacją metod planowania i sterowania produkcją. Typowy proces planowania realizowany jest na trzech poziomach (szczeblach) zarządzania: strategicznym, taktycznym i operacyjnym [5].

**Planowanie strategiczne** realizowane jest przez zarząd i kierownictwo najwyższego szczebla. Służy realizacji misji i celów strategicznych przedsiębiorstwa. Horyzont planowania strategicznego obejmuje najczęściej okres od roku do kilku lat, dlatego też charakteryzuje się dużym poziomem ryzyka i niepewności. Jest podstawą do budowania pozostałych planów w przedsiębiorstwie. Planowanie to powinno uwzględniać reagowanie na przyszłe zmiany otoczenia i warunków rynkowych.

Planowanie strategiczne obejmuje następujące obszary [6]:

- strategię rozwoju wyrobu i procesów wytwarzania wyrobu,
- strategię rozwoju zdolności produkcyjnych,
- strategię finansową przedsiębiorstwa.

**Planowanie taktyczne** realizowane jest przez kierownictwo średniego szczebla. Wyznaczane zadania wynikają z planu strategicznego, są więc jego uszczegółowieniem w krótszych przedziałach czasu (zazwyczaj jeden rok w przedziałach miesięcznych). Na taktycznym poziomie zarządzania produkcją rozstrzygane są decyzje dotyczące rozwiązań w zakresie technologii i organizacji produkcji. Planowanie taktyczne obejmuje [7, 8]:

- decyzje typu „*make or buy*” w odniesieniu do części i podzespołów,
- określenie poziomu obsługi dla danej rodziny wyrobu,
- określenie lokalizacji punktu rozdzielającego dla danego wyrobu.
- określenie zasad przepływu „*push*” (pchanie) lub „*pull*” (ssanie),
- określenie normatywów przepływu (wielkości partii produkcji, montażu),
- określenie layout-u – zmiana rozmieszczenia stanowisk, dróg transportowych,
- decyzje w zakresie zastosowania systemu sprawowania nadzoru nad parkiem maszynowym, taktycznego zarządzania zapasami, sterowania jakością wyrobów.

**Planowanie operacyjne** (operatywne) jest kolejnym uszczegółowieniem planu taktycznego. Realizowane przez kadrę średniego i niższego szczebla kierowniczego (kierowników wydziałów, mistrzów i brygadzystów). Decyzje na tym szczeblu bezpośrednio dotyczą wytwarzania produktu. Horyzont planowania strategicznego obejmuje najczęściej: miesiąc, tydzień, dzień. Szczegółowe zadania planowania operacyjnego to [6]:

- planowanie uruchomień poszczególnych zleceń produkcyjnych,
- szczegółowe planowanie obciążenia poszczególnych maszyn przez konkretne operacje technologiczne,
- planowanie dostaw surowców i podzespołów w zakresie wielkości i czasu ich realizacji,
- planowanie przeglądów i remontów maszyn,
- planowanie obciążenia pracowników z uwzględnieniem ich kompetencji,

- oraz planowanie innych funkcji służebnych w stosunku do procesu produkcyjnego jak np. transport wewnętrzny, magazynowanie.

Biorąc pod uwagę zakres i rodzaj zadań planowanych na poszczególnych szczeblach zarządzania można zauważyć, że wraz ze wzrostem poziomu planowania rośnie znaczenie podejmowanych decyzji i ponoszone ryzyko, ze względu na ich wpływ na przyszłe losy przedsiębiorstwa. Efektywne zarządzanie produkcją wymaga planowania na wszystkich poziomach. Długookresowa strategia rozwoju przedsiębiorstwa znajduje swoje odzwierciedlenie w biznesplanie, obejmującym okres kilku lat (zależnie od branży). Średniookresowe planowanie to plan sprzedaży i produkcji (SOP, ang. *Sales and Operations Planning*). Kolejne uszczegółowienie planu to główny harmonogram produkcji (MPS, ang. *Master Production Schedule*). Krótkoterminowe, szczegółowe planowanie, to z kolei planowanie potrzeb materiałowych (MRP, ang. *Material Requirements Planning*). Ostatnim etapem planowania produkcji jest stworzenie dziennych planów produkcyjnych i nadzór nad ich realizacją, poprzez bieżące sterowanie i kontrolę produkcji (PAC, ang. *Production Activity Control*) [8].

**Planowanie sprzedaży i produkcji SOP** jest ogniwem wiążącym i koordynującym cele strategiczne przedsiębiorstwa z celami operacyjnymi produkcji.

Średniookresowe planowanie produkcji jest planowaniem taktycznym. Typowym horyzontem planowania jest okres 1 roku, (z podziałem na miesiące lub kwartały). Kluczowym efektem działań planistycznych jest opracowanie takiego planu produkcji, który zaspokoi prognozowany popyt na wyroby w oparciu o wykorzystywane w tym celu zasoby w przyjętym horyzoncie czasu, jednocześnie spełniając inne kryteria wynikające z biznesplanu (np. osiągnięcie odpowiedniego poziomu zysków czy produktywności).

W opracowaniu planu średniookresowego wykorzystywane są: plan strategiczny, prognoza sprzedaży, dysponowana zdolność produkcyjna, przyjęte opcje decyzyjne i ich koszty oraz przyjęta strategia planowania. W celu ułatwienia pracy planistom i skoncentrowania ich uwagi przede wszystkim na strategii wytwarzania wyrobów ogranicza się liczbę jednostek planowania poprzez ich agregowanie, stąd też często używa się zamiennie określenia zagregowany plan produkcji. Plan taki odnosi się najczęściej do rodzin wyrobów wyodrębnionych np. na podstawie podobieństwa konstrukcji lub technologii. Dynamicznie zmieniający się prognozowany popyt zmusza planistów do dostosowania planu poprzez działania odniesione do zwiększania dostępnej zdolności produkcyjnej lub zwiększania popytu – są tzw. opcje decyzyjne. Różnorodność doboru opcji decyzyjnych sprawia, że możliwe jest kształtowanie wielu strategii opracowania planu zagregowanego. Z punktu widzenia poziomu obsługi klienta wyodrębnia się dwie strategie: aktywne wykorzystujące opcje zmian modelu popytu i pasywne wykorzystujące opcje zmian zdolności produkcyjnej.

**Główny harmonogram produkcji MPS** jest opracowany po weryfikacji planu sprzedaży i produkcji. Określa on co, ile i na kiedy ma być wyprodukowane w odniesieniu do poszczególnych wyrobów. Brana pod uwagę jest zaplanowana wielkość sprzedaży, która musi mieć pokrycie w wielkościach partii produkcjach, uruchomionych odpowiednio wcześniej (pozycja planu MPS). Jest zbiorem informacji sterujących planem zapotrzebowania materiałowego. Wiele przedsiębiorstw produkujących złożone wyroby, pracujące w środowisku ATO (ang. *Assemble-to-Order*) stosuje „podwójny” główny harmonogram produkcji. Pierwszy główny plan produkcji jest ustalany dla podstawowych elementów składowych wyższych poziomów montażowych i części wspólnych. Bazuje na prognozowanym popycie i jest opracowywany znacznie wcześniej, przed drugim planem, planem montażu końcowego (FAS, ang. *Final Assemble Schedule*). Plan montażu

końcowego jest ustalany dla różnych kombinacji cech wyrobu (wyroby wariantowe). Opiera się na potwierdzonych zamówieniach odbiorców i jest skorelowany z dostępnością elementów składowych ustalonych w planie operatywnym.

**Plan potrzeb materiałowych MRP** jest elementem szczegółowego, krótkookresowego planowania produkcji. Poprzez rozwinięcie struktury wyrobu z wykorzystaniem parametrów czasowych procesu technologicznego i stanu zapasów, obliczane są terminy i ilości planowanych przyjęć poszczególnych zespołów i części oraz terminy nabycia dla materiałów z zewnątrz [9].

Każdy z wymienionych planów, przed ostatecznym zatwierdzeniem, jest weryfikowany. Dokonuje się oceny możliwości zapewnienia dostępności zasobów zgodnie z zakładanym planem. Na etapie planowania sprzedaży i produkcji weryfikowane są struktury zasobów produkcyjnych potrzebnych do wykonania zadań ze wskazaniem zasobów krytycznych (wąskie gardła) (RRP, ang. *Resource Requirements Planning*). Główny harmonogram produkcji poddawany jest weryfikacji poprzez zgrubną ocenę zdolności produkcyjnych (RCCP, ang. *Rough-Cut Capacity Planning*), a plan potrzeb materiałowych sprawdzany jest poprzez analizę obciążeń poszczególnych stanowisk (CRP, ang. *Capacity Requirements Planning*). W sytuacji braku wystarczających zasobów należy skorygować odpowiedni plan. Wykonanie zadań określonych przez wyższe poziomy planowania realizowane jest poprzez sterowanie i kontrolę produkcji PAC (ang. *Production Activity Control*). Jest to najniższy, wykonawczy poziom zarządzania produkcją. Istotą jest takie zaplanowanie przebiegu zadań w czasie (terminowanie i/lub szeregowanie), aby dotrzymać zaplanowane terminy realizacji zleceń i zamówień klientów, zminimalizować czasy realizacji zleceń, minimalizować poziom zapasów (materiałów i produkcji w toku), a maksymalizować wykorzystanie zasobów produkcyjnych. Oczywiście rzadko kiedy udaje się osiągnąć wszystkie wymienione cele. Już nawet biorąc pod uwagę fakt, że cele różnych komórek organizacyjnych zainteresowanych procesem planowania produkcji są niespójne. Dział sprzedaży zainteresowany jest tym, aby produkcja była zrealizowana jak najszybciej. Kierownik produkcji oczekuje, aby produkcja była łatwa i przyjemna. Dział zaopatrzenia chce, aby zlecenia produkcyjne uruchamiane były jak najpóźniej. Magazyn może wydać materiały i narzędzia, ale dopiero jutro. Podobnie wygląda z przyjęciem już wyprodukowanych wyrobów na magazyn. Dla księgowości podstawowym celem są poprawnie wypełnione dokumenty. Kierownictwo chce, aby było jak najtaniej. Dlatego najczęściej wspomniane cele otrzymują określone priorytety. W warunkach rynku konsumenta często najważniejsze jest dotrzymanie uzgodnionych z klientem terminów.

### **3. Identyfikacja i charakterystyka problemów w procesie planowania na przykładzie procesu produkcji elementów meblowych – gra dydaktyczna**

#### **3.1. Opis problemu**

Proces planowania przedstawiony w omawianej grze dydaktycznej dotyczy planowania produkcji frontów meblowych na poziomie operacyjnym. Fronty meblowe zamawiane są przez klientów takich jak np. firmy produkujące meble kuchenne pod konkretne zamówienie odbiorcy ostatecznego. Firma produkująca meble kuchenne zamawia u dostawcy fronty o określonych wymiarach, które następnie będzie montować u odbiorcy ostatecznego. Jedno zamówienie klienta zawiera od kilku do kilkunastu frontów o różnych wymiarach. Chociaż może się również zdarzyć taka sytuacja, że zostanie zamówiony tylko jeden front. W jednym zamówieniu klienta mogą być fronty zarówno o różnych

wymiarach, jak i w różnych kolorach, czy też posiadać różne profile. Do klienta wysyłany jest kompletny zestaw zamówionych frontów.

Gra została opracowana w oparciu o rzeczywiste problemy występujące w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Oczywiście gra jest uproszczeniem rzeczywistości jeżeli chodzi o realizowane procesy produkcyjne i wielkość produkcji, ale za to podkreśla i uwypukla istniejące w rzeczywistości problemy. Przedstawione w grze problemy są odzwierciedleniem problemów firmy związanych z procesem planowania produkcji, który można opisać następująco. Klienci składają zamówienia. Każdego dnia przychodzi wiele zamówień od różnych klientów, które dotyczą zestawów frontów będących kombinacją różnych wymiarów, profili i kolorów. W procesie planowania te same wymiary, profile czy też kolory są grupowane, aby zminimalizować liczbę przebrojeń. Jednocześnie na końcu należy pogrupować wyroby pod konkretne zamówienia klientów. Dostawa do klienta nie może być zrealizowana, jeżeli nie wykonano kompletu frontów zamówionych przez klienta. Klienci oczekują od dostawcy, że zamówione produkty spełnią ich wymagania dotyczące jakości oraz czasu realizacji dostawy. Jakość zapewnienia jest poprzez monitorowanie parametrów procesów produkcyjnego i realizację kontroli wyrobów gotowych. Nie jest to jednak przedmiotem niniejszej analizy, dlatego tą kwestię pominięto w grze. Czas dostawy natomiast zależy od tego, jak procesy produkcyjne zostały zaplanowane. Dlatego też proces planowania ma kluczowe znaczenie dla terminowości dostaw i satysfakcji klientów.

W zależności od wielkości firmy i realizowanych procesów produkcyjnych firmy korzystają z różnych narzędzi wspierających proces planowania. Planowanie ma następujący cel: zapewnienie terminowości realizacji produkcji przy minimalnych kosztach. Jednak często trudno jest spełnić wymagania przy niskich kosztach. Istnieją różne tego przyczyny, takie jak ograniczenia wewnętrzne (np. dostępność maszyn) lub brak wiedzy i narzędzi, które mogłyby wspierać pracowników odpowiedzialnych za proces planowania. Firmy starają się zoptymalizować plan produkcji tak, aby spełnić wymagania i zminimalizować koszty, na tyle na ile pozwalają im istniejące warunki.

### **3.2. Studium przypadku**

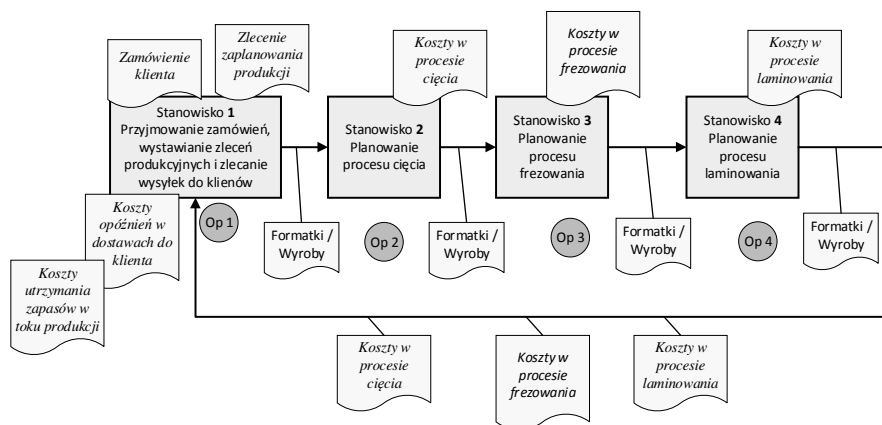
Problemy dotyczące procesu planowania przedstawiono na podstawie planowania uproszczonego procesu produkcyjnego frontów meblowych. Do wykonania frontu meblowego niezbędne są następujące procesy: proces cięcia, proces frezowania i proces laminowania. Każdy z procesów planowany jest na kolejny dzień, dlatego możliwe jest zrealizowanie zamówienia klienta w ciągu trzech dni. Jednakże ze względu na nieodpowiednie planowanie oraz ograniczenia wewnętrzne nie zawsze możliwa jest terminowa realizacja zamówień klientów. W grze prawdziwe warunki zostały uproszczone, aby przedstawić występujące problemy w wystarczająco krótkim czasie. Dlatego też w grze uwzględniono tylko 3 profile i 3 kolory. W grze symulowany jest proces planowania, który realizowany jest w odniesieniu do każdego z wymienionych procesów produkcyjnych. Proces planowania realizuje trzech pracowników. Każdy z pracowników realizuje planowanie określonego procesu i ma założony cel. Pracownicy planujący proces cięcia i laminowania mają zapewnić jak najmniejsze zużycie materiału. Pracownik realizujący proces frezowania ma zapewnić wykonanie wszystkich wyrobów, które mają być obrobione danego dnia. Pracownik zajmujący się przyjmowaniem zamówień ma zapewnić dostawę do klientów na czas. Firma pracuje na jedną zmianę. Druga zmiana może być uruchomiona w procesie frezowania, ale wtedy koszty produkcji podwajają się.

### 3.3. Organizacja gry (DS)

W grze cztery osoby pracują na czterech stanowiskach roboczych realizując zadania dotyczące procesu planowania i monitorowania realizacji zamówień klientów.

- Stanowisko pracy nr 1 – Przyjmowanie zamówień, przekazywanie informacji o zamówieniach do procesu planowania produkcji oraz kompletacja wyrobów i przygotowanie do wysyłki zrealizowanych zamówień.
- Stanowisko pracy nr 2 – Planowanie procesu cięcia na podstawie informacji o zamówionych wyrobach.
- Stanowisko pracy nr 3 – Planowanie procesu frezowania na podstawie informacji o wyrobach, które wyszły z procesu cięcia.
- Stanowisko pracy nr 4 – Planowanie procesu laminowania na podstawie informacji o wyrobach, które wyszły z procesu frezowania.

Przeływ informacji dotyczących procesu planowania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przepływ informacji w procesie planowania

W zależności od tego, jak procesy zostały zaplanowane generowane są koszty związane z produkcją. W grze pomijane są koszty materiałów, które zostały wykorzystane na produkcję wyrobów a obliczane są jedynie koszty związane z generowanymi stratami, a mianowicie: straty materiałów (koszty odpadów) w procesie cięcia, koszty uruchamiania dodatkowej zmiany w procesie frezowania, straty materiałów (koszty odpadów) w procesie laminowania, koszty utrzymania zapasów w toku produkcji, koszty opóźnień w dostawach wyrobów do klientów. Premie pracowników zależą od osiągnięcia przez nich celów.

### 3.4. Przebieg gry (DS)

Zamówienia klientów trafiają na stanowisko nr 1. Zamówienie zawiera takie informacje jak: dzień otrzymania zamówienia, nazwa klienta, rozmiar frontu, profil, kolor frontu, liczba sztuk i termin realizacji. Na tej podstawie pracownik na stanowisku nr 1 kompletuje formatki reprezentujące wyroby, które mają być wyprodukowane i umieszcza na nich odpowiednie informacje. Komplet formatek przekazuje na stanowisko nr 2, gdzie będzie realizowane planowanie procesu cięcia. Przykładową formatkę przedstawiono na rys. 2. Na formatce znajdują się określone dane (rozmiar frontu: 70, dzień: 1, klient: C-1, profil: A, kolor: P, termin realizacji: 4 dni – zaprezentowany w postaci czterech „X” w górnym wierszu). Trzy „X” w drugim wierszu oznaczają trzy dni niezbędne na zaplanowanie

(realizację) procesów cięcia, frezowania i laminowania. W przypadku, gdy któraś z formatek zostanie zatrzymana w procesie na dłużej niż jeden dzień pracownik realizujący planowanie tego procesu musi wpisać na formatce odpowiednią literę (C – cięcie, M – frezowanie, L – laminowanie). W przedstawionym przykładzie widać, że formatka spędziła dodatkowo jeden dzień w procesie cięcia, jeden dzień w procesie frezowania i dwa dni w procesie laminowania.

Liczba dni na realizację zamówienia										<b>70</b>
X	X	X	X							
X	X	X	C	M	L	L				
Liczba dni opóźnienia w dostawie do klienta										
<b>Dzień</b>	<b>Klient</b>	<b>Profil</b>	<b>Kolor</b>							
<b>1</b>	<b>C-1</b>	<b>A</b>	<b>P</b>							

Rys. 2. Formatka – przykład

W planowaniu procesu cięcia pracownik uwzględnia wielkość formatki oraz jej wymiary. Dla uproszczenia w grze przyjęto, że jednego dnia realizuje się rozkrój tylko jednej płyty meblowej, która reprezentowana jest przez kartkę papieru A4 (rys. 3). Pracownik planujący proces cięcia musi tak rozłożyć formatki na kartce, aby powstało jak najmniej odpadów. Dla uproszczenia w grze nie uwzględnia się żadnych naddatków. Po zaplanowaniu, jakie formatki będą wycięte danego dnia przekazywane są one do procesu planowania frezowania, a pracownik na stanowisku nr 2 oblicza koszty odpadów.

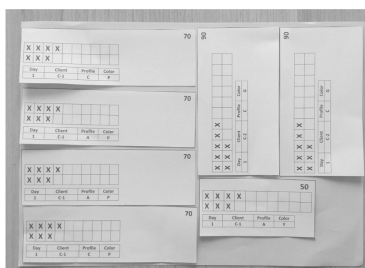
Pracownik planujący proces frezowania uwzględnia profil, jaki ma być wyfrezowany. W procesie mogą być wykonane trzy rodzaje profili: A, B i C. W procesie wykorzystywane są dwie frezarki. Przyjęta w grze wydajność to 300 cm<sup>2</sup> (wyrobu gotowego – dla uproszczenia) dla każdej frezarki na zmianę. Na frezarce nr 1 można wykonać tylko profil A, a na frezarce nr 2 profile B i C. Dla uproszczenia w procesie planowania nie uwzględnia się czasów przebrojeń. Wynika to z faktu, że nawet, jak realizowany jest ten sam rodzaj profilu to i tak może być inny wymiar frontu, w związku z tym i tak na frezarce należy wymienić kopiał. W procesie planowania frezowania pracownik ma zdecydować, na której frezarce mają być realizowane określone wyroby. Pracownik może również podjąć decyzję o uruchomieniu drugiej zmiany. To jednak będzie się wiązać z określonymi dodatkowymi kosztami. Może to być np. potrzebne w sytuacji, gdy danego dnia będą wykonywane tylko profile A, a mogą one być wykonane tylko na jednej maszynie. Po zaplanowaniu procesu frezowania rozplanowane formatki przekazywane są na stanowisko planowania procesu laminowania. Pracownik na stanowisku nr 2 oblicza koszty związane z uruchomieniem pracy na drugą zmianę, jeżeli się na to zdecydował.

Wyroby mogą być zalaminowane w trzech kolorach (P – różowy, G – zielony i Y – żółty), przy czym w grze jednego dnia można wykorzystać maksymalnie dwa kolory, ponieważ jeden stół do laminowania zajmuje powierzchnię 300 cm<sup>2</sup>, a w ciągu zmiany laminowane są dwa stoły (rys. 4). Pracownik na stanowisku 4 musi zdecydować jakie kolory będą laminowane danego dnia. Wynika to oczywiście z wymagań klientów oraz kosztów związanych z procesem laminowania. Jeżeli danego dnia należałoby zalaminować trzy różne kolory pracownik musi wybrać te dwa kolory, dla których powstanie mniej odpadów. Niestety wyroby do zalaminowania, które mają mieć inny kolor będą musiały

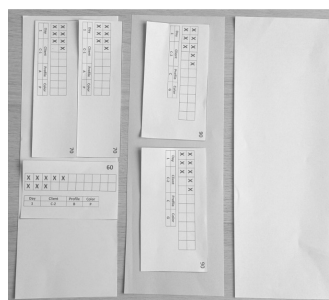


zaczekać na następny dzień. W tym przypadku pracownika planujący proces laminowania musi na formatce zaznaczyć literę „L” i poczekać na następny dzień, kiedy to dopiero będzie mógł zaplanować laminowanie pozostałych wyrobów.

Po zaplanowaniu procesu laminowania zaplanowane formatki trafiają z powrotem na stanowisko nr 1. Pracownik na stanowisku nr 4 oblicza jeszcze koszty odpadów powstałych w procesie laminowania. Dla uproszczenia zakłada się, że w procesie nie wystąpiły problemy jakościowe i wszystkie wyprodukowane fronty spełniają wymagania klientów dotyczące jakości.



Rys. 3. Planowanie procesu cięcia – przykład rozmieszczenia formatek na kartce A4 (symbolizującej drewnianą deskę)



Rys. 4. Planowanie procesu laminowania – max 300 cm<sup>2</sup> na jednej kartce – ½ kartki A4 (symbolizującej stół do laminowania)

Pracownik na stanowisku nr 1 po otrzymaniu formatek prezentujących informacje o wyprodukowanych wyrobach kompletuje zamówienia klientów. W przypadku, gdy zamówienie jest kompletne może być zrealizowana wysyłka do klienta. W przypadku natomiast, gdy brakuje jakichś elementów wyroby gotowe muszą czekać, co wiąże się z kosztami utrzymania zapasów wyrobów gotowych i ewentualnymi karami dotyczącymi opóźnień w dostawie do klienta. Pracownik oblicza te koszty. Dodatkowo podsumowuje koszty związane z utrzymywaniem zapasów w toku produkcji. Odbywa się to poprzez zliczanie wpisanych na formatkach liter „C”, „M” i „L”. Każda litera to jeden dzień utrzymania jednego wyrobu w zapasie w toku produkcji.

W przedstawionym na rys. 2 przykładzie widać, że wyrób przebywał dodatkowo cztery dni w zapasie, co wiąże się z kosztem utrzymania zapasów oraz wystąpiło trzydniowe opóźnienie w dostawie do klienta, co wiąże się z karą nałożoną przez klienta za opóźnienie w dostawie. Dodatkowo, być może, że i inne wyroby, które miały być wysłane do klienta w komplecie czekały wyprodukowane tylko na ten jeden wyrób, aby można było wysłać je do klienta.

Koszty na stanowisku nr 1 obliczane są pod każde zamówienie. Dodatkowo po 5 dniach pracy analizowane są koszty związane z procesami cięcia, frezowania i laminowania.

Zadaniem uczestników gry jest takie zaplanowanie produkcji, aby uzyskać jak najniższe koszty.

### 3.5. Problemy w procesie planowania i propozycje ich eliminacji

Gra została zaplanowana w ten sposób, aby każdy z procesów produkcyjnych uczestniczących w realizacji wyrobów posiadał taką samą wydajność (cięcie – 600 cm<sup>2</sup>, frezowanie 2 x 300 cm<sup>2</sup>, laminowanie 2 x 300 cm<sup>2</sup>). Dzięki temu łatwiej zauważyć problemy związane z różnorodnością wyrobów.

W celu minimalizacji kosztów niezbędna jest identyfikacja i analiza istniejących problemów. W dyskusji uczestnicy gry przedstawiają problemy występujące na ich stanowiskach pracy, poszukiwane są przyczyny tych problemów, a następnie rozwiązania. W identyfikacji przyczyn problemów wykorzystywane są takie metody jak diagram Ishikawy i metoda 5xDlaczego? [10].

Oczekuje się, że uczestnicy gry zidentyfikują następujące problemy:

- Powstawanie dużej ilości odpadów szczególnie w procesie laminowania.
- Powstawanie dużych kosztów związanych z pracą w nadgodzinach w procesie frezowania.
- Jednoczesna realizacja zamówień dla wielu różnych klientów.
- Dużo zamówień oczekujących na wysyłkę z powodu braku jednego lub kilku elementów.
- Duże koszty utrzymania zapasów wyrobów gotowych.
- Kary umowne od klientów za niedotrzymanie terminu dostawy.
- Duże koszty utrzymania zapasów wyrobów w toku produkcji.
- Optymalizacja punktowa, a nie systemowa. Brak globalnego spojrzenia na planowanie produkcji.
- Problemy z komunikacją pomiędzy określonymi pracownikami planowania.
- Brak jasno ustalonych priorytetów.

Analiza zidentyfikowanych problemów może być przedstawiona kompleksowo z wykorzystaniem narzędzia lean manufacturing jakim jest Raport A3 prezentujący w standardowy sposób poszczególne kroki analizy, a mianowicie: identyfikacja i opis problemu, przedstawienie obecnych warunków, ustalenie celu poprawy obecnej sytuacji, analiza przyczyn problemów, propozycje rozwiązań, plan wdrożenia rozwiązań, dalsze działania [11]. Zaproponowane w grze rozwiązania powinny zostać wdrożone, a ich skuteczność oceniona w praktyce. Zespoły pracujące równolegle rywalizują ze sobą w osiągnięciu jak najmniejszych kosztów całkowitych. Wygrywa ten zespół, który po wdrożeniu usprawnień w procesie planowania uzyska najniższe koszty.

Propozycje doskonalenia procesu planowania mogą wiązać się:

- z poprawą komunikacji pomiędzy osobami odpowiedzialnymi za planowanie,
- z ustaleniem priorytetów na poziomie całej firmy,
- z ustaleniem celów dla całej firmy, wdrożeniem dla poszczególnych procesów celów spójnych z celami całej firmy zgodnie z założeniami Hoshin Kanri będącej elementem koncepcji lean manufacturing [12],
- z wyborem reguł planowania odpowiednich dla określonej sytuacji firmy [15],
- z wdrożeniem narzędzi wspomagających proces planowania, takich jak programy do optymalizacji rozkroju, czy programy do symulacji pracy linii produkcyjnej [15].

W przedsiębiorstwie, na bazie którego została opracowana przedstawiona gra dydaktyczna, realizowany może być praktycznie każdy wymiar frontu w założonym zakresie, w ponad stu kolorach. Dodatkowo realizowanych może być kilkadziesiąt różnych rodzajów profili. Daje to niesamowitą liczbę kombinacji i powoduje istotne utrudnienia w procesie planowania, które w grze są odzwierciedlone zaledwie ogólnie, ale jednocześnie wystarczająco dobrze, aby zrozumieć problemy występujące w procesie planowania. Jedną z propozycji usprawnień może być również wdrożenie koncepcji masowej indywidualizacji, która pozwoli na ułatwienie procesu planowania z jednoczesnym zaspokojeniem wymagań klientów [13]. Dodatkowo, w celu minimalizacji odpadów związanych z nieoptymalnym rozmieszczeniem elementów w procesach cięcia

i laminowania można zastosować komercyjne programy do optymalizacji [14, 15]. Koszty oprogramowania nie są znaczące w porównaniu do oszczędności, jakie z ich zastosowaniem można uzyskać. Kolejnym sposobem na poprawę procesu planowania jest zastosowanie symulacji komputerowych, które mogą zostać wykorzystane do oszacowania czasu niezbędnego do realizacji zamówienia klienta na etapie planowania produkcji, czy też jeszcze wcześniej, tj. na etapie przyjmowania zamówień klientów [15, 16, 17].

## 5. Podsumowanie

Przedstawiona praca ukazuje problemy, jakie występują w procesach planowania, na podstawie analizy rzeczywistych problemów wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Pokazuje również, jak w prosty sposób problemy te można zobrazować w grze dydaktycznej, której uczestnicy nie tylko zidentyfikują problemy, ale wykorzystując wiedzę o procesach planowania i narzędziach lean manufacturing, zaczną w praktyce wdrażać wybrane rozwiązania. Dyskusja o możliwościach dalszych usprawnień wskaże, jak elementy koncepcji Przemysł 4.0 można zastosować do poprawy planowania produkcji.

W procesie planowania odzwierciedlonym w zaproponowanej grze dydaktycznej można zidentyfikować następujące rodzaje strat:

- Odpady materiałowe pojawiające się z powodu niewłaściwego procesu planowania – brak komunikacji i informacji zwrotnych pomiędzy osobami realizującymi proces planowania może zwiększyć koszty procesu produkcyjnego.
- Długi czas realizacji z powodu błędnie określonych priorytetów – przyjęte zasady planowania mogą zwiększyć koszty związane z opóźnieniami dostawy do klienta.
- Niski zysk – obliczenie kosztów dla pojedynczego punktu w systemie, bez uwzględnienia kolejnych etapów procesu, może zwiększyć całkowite koszty i zmniejszyć zysk.

Wdrożenie szczupłych narzędzi w analizie procesów i doskonalenie procesów może przynieść realne korzyści. Dla przykładu raport A3 może wspomóc pracowników w systemowym podejściu do analizy problemów i doskonalenia procesu planowania. Wdrożenie Hoshin Kanri może poprawić wydajność firmy, ponieważ indywidualny interes pracownika związany będzie z interesem biznesowym firmy. Hoshin Kanri pozwoli na autentyczną integrację procesów planowania na różnych poziomach organizacji. Natomiast sama zaproponowana gra dydaktyczna pozwoli na lepsze przygotowanie przyszłym pracownikom firm, do radzenia sobie z problemami występującymi w procesach planowania, czy też do zrozumienia problemów występujących w procesach planowania, co ma znaczenie nawet wtedy, jeżeli pracownik bezpośrednio w nich nie uczestniczy.

Praca zrealizowana w ramach projektu międzynarodowego ILA-LEAN „Innovative Learning Approaches for Implementation of Lean Thinking to Enhance Office and Knowledge Work Productivity”, 2016-2018. Numer projektu 2016-1-PL01-KA203-026293. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z programu Erasmus +.



Erasmus+

## Literatura

1. Womack J.P., Jones D.T.: Odchudzanie firm. Eliminacja marnotrawstwa kluczem do sukcesu. Wydawnictwo CIM, Warszawa, 2001.

2. Stadnicka D., Zielecki W., Sęp J.: Koncepcja Przemysł 4.0 – ocena możliwości wdrożenia na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa. W: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Pod red. Ryszarda Knosali. Wydawca: Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją. Opole 2017, str. 472-483.
3. Rabakavi H., Ramakrishna H., Baligar S.: Thorough Elimination of Muri, Mura and Muda to Achieve Customer Satisfaction, *International Journal of Innovative Research & Development*, 2(5), 2013, str. 1457–1469.
4. Głowacka-Fertsch D., Fertsch M.: Zarządzanie produkcją. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań, 2004.
5. Pająk E.: Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
6. Dwiliński L.: Zarządzanie produkcją. OW Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
7. Durlik I.: Inżynieria zarządzania. Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa, 2004.
8. Radaś Ł., Fertsch M., Cyplik P.: Planowanie i sterowanie produkcją. Politechnika Poznańska, Poznań, 2011.
9. Kraszewska M.: Wielopoziomowy system planowania produkcji na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa. *Automatyka*, 12(2), 2008.
10. Stadnicka D.: Wybrane metody i narzędzia doskonalenia procesów w praktyce. OW Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2016.
11. Shook J.: Zarządzać znaczy uczyć. Rozwiązywanie problemów i rozwój pracowników z wykorzystaniem metody A3. Wydawnictwo Lean Enterprise Institute, Wrocław, 2010.
12. Hutchins D.: Hoshin Kanri. Strategiczne podejście do nieustannego doskonalenia. Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa, 2010.
13. Pine J.: *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Boston, 1993.
14. Jardzioch, A. Jaskowski, J.: Calculation of the deadlines for nesting with the possibility of combining orders. *Manag. Syst. in Production Engineering*, 1(17), 2015, str. 22–27.
15. Antosz K., Stadnicka D., Litwin P., Perłowski R., Rzucidło A., Sęp J.: Doskonalenie procesu planowania produkcji z wykorzystaniem elementów koncepcji Lean Manufacturing i Przemysł 4.0. Część II. Metody i narzędzia. XXI Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Zakopane 25-27.02.2018.
16. Stadnicka D., Litwin P.: Value stream and system dynamics analysis – an automotive case study. *Proc. CIRP*, 62, 2017, 363–368.
17. McGarvey B, Hannon B.: *Dynamic Modeling for Business Management. An Introduction*, Springer-Verlag, 2004.

Dr inż. Dorota STADNICKA\*  
 Dr inż. Paweł LITWIN  
 Dr inż. Katarzyna ANTOSZ\*  
 Dr inż. Ryszard PERŁOWSKI  
 Dr inż. Arkadiusz RZUCIDŁO  
 Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,  
 Politechnika Rzeszowska,  
 35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 12,  
 tel./fax: \* (0-17) 865 14 52, (0-17) 865 17 27, (0-17) 865 15 21, (0-17) 865 10 95  
 e-mail: dorota.stadnicka@prz.edu.pl,  
 plitwin@prz.edu.pl,  
 katarzyna.antosz@prz.edu.pl,  
 ryszard.perlowski@prz.edu.pl,  
 arzucidl@prz.edu.pl

Daniel SAFIN,  
 Restol Sp. z o.o.,  
 Bratkowice 6, 36-055  
 Bratkowice,  
 tel./fax: (0-17) 855 10 67,  
 e-mail: d.safin@restol.com.pl