

Dr hab. inż. Marek Wirkus, prof. PG – pracownik naukowo - dydaktyczny w Katedrze Inżynierii Systemów Produkcji, Wydziału Zarządzania i Ekonomii, Politechniki Gdańskiej. Tel. 58 - 347-15-24, e-mail: mwir@zie.pg.gda.pl

Mgr inż. Dariusz Maciągowski - kierownik zakładu Dovista sp. z o.o. Tel. 784027565, e-mail: dariusz.maciagowski@sfpolska.pl

Adres do korespondencji:

Politechnika Gdańska,
Wydział Zarządzania i Ekonomii,
Katedra Inżynierii Zarządzania Operacyjnego,
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

METODY OKREŚLANIA I WYKORZYSTANIA ZDOLNOŚCI PRODUKCYJNYCH W WARUNKACH „MASS CUSTOMIZATION”

1. Wstęp

Rosnąca różnorodność tych samych wyrobów oferowanych przez producenta w kilku lub kilkudziesięciu odmianach jest zjawiskiem coraz powszechniej występującym, a nawet powoli staje się elementem przewagi konkurencyjnej. Powszechny dostęp do informacji poprzez Internet i media telewizyjne sprawia, iż konsumenci mają łatwy dostęp do nieograniczonej oferty dóbr. Producent oferujący niewielki asortyment wyrobów staje się nieatrakcyjny w konfrontacji z firmami oferującymi szeroki wachlarz asortymentu. Dlatego producenci w wielu branżach coraz częściej podążając za potrzebą klienta sukcesywnie zwiększają asortyment w portfolio oferowanych przez siebie wyrobów. Dla przykładu firma Kronopol [4] oferuje 68 różnego rodzaju paneli podłogowych, a oferta firmy DRE [5] składa się z ponad 200 rodzajów drzwi, które klient dodatkowo może konfigurować – indywidualizować pod względem wymiarów i kolorów. W dobie powszechnej informatyzacji sama możliwość konfigurowania i wirtualnego przetestowania produktu przed podjęciem decyzji o zakupie staje się coraz częściej wykorzystywana. W tym aspekcie producenci coraz częściej wychodzą naprzeciw oczekiwaniom i umożliwiają przy zakupie konfigurację wyrobów do indywidualnych potrzeb klienta. Przykładem jest producent drzwi, firma Invado [6], która udostępnia przez Internet narzędzie symulacyjne. W programie klient najpierw wybiera odpowiednią kolorystykę i wystrój wnętrza, aby później móc wybrać najbardziej odpowiednie dla siebie drzwi. Ilość kombinacji produktu jest bardzo wysoka.

Taka indywidualizacja wyrobów oferowanych klientowi wymusza wprowadzenie radykalnych zmian w organizacji procesu produkcyjnego w taki sposób, aby z jednej strony umożliwić realizację rosnących zindywidualizowanych wymagań klien-

tów, a z drugiej strony utrzymać w dalszym ciągu niskie koszty wytwarzania będące istotną zaletą produkcji masowej. Wychodząc naprzeciw tym oczekiwaniom w ostatnich latach pojawiła się nowa koncepcja produkcji, która w języku angielskim określana jest jako **Mass Customization (MC)**. Podstawową ideą tej koncepcji jest produkcja na skalę masową wyrobów, które po stosunkowo niskich cenach w dużym stopniu będą uwzględniały zindywidualizowane oczekiwania klienta. Patrząc na to zagadnienie z punktu widzenia realizatora procesu produkcyjnego istnieje szereg aspektów, które muszą być rozstrzygnięte, aby sprostać temu wyzwaniu. Jednym z większych problemów jest zagadnienie określenia, realizacji i wykorzystywania zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa dążącego do jak najpełniejszego zastosowania zasad MC. Wymóg dużej różnorodności oferowanych produktów powoduje częste zamiany w przebiegu procesu produkcyjnego, co może być zakłócanie brakiem dostępności wolnych zdolności produkcyjnych. Prostim rozwiązaniem tego problemu jest posiadanie do dyspozycji w każdej chwili szerokich i w nadmiarze zdolności produkcyjnych, jednakże powoduje to znaczny wzrost kosztów zdolności produkcyjnych wynikających z faktu, że potrzeba ponieść wysokie nakłady inwestycyjne na utworzenie tych zdolności, a następnie ponosić koszty ich eksploatacji niezależnie od faktu czy są one wykorzystywane. Problemem jest: **na jakim poziomie określić zdolności produkcyjne**, aby wykorzystując je osiągnąć niskie koszty wytwarzania i oferować szeroki asortyment produktów zgodnie z zasadami MC. W kontekście powyższego zagadnienia, jako kluczowe stają się następujące kwestie, na które odpowiedź jest poszukiwana w prowadzonych przez autorów badaniach:

- Jak szybko i w miarę precyzyjnie określać pracochłonność wytwarzania wyrobów produkowanych w warunkach wysokiej indywidualizacji?
- Jak określać wielkość wymaganych zdolności produkcyjnych, aby spełnić wymogi produkcji bardzo szerokiego asortymentu wyrobów, a jednocześnie minimalizować koszty organizowania i utrzymywania tych zdolności?
- Jak sterować wykorzystaniem dysponowanych zdolności produkcyjnych w zmiennych warunkach wynikających ze stosowania „Mass Customization”?

2. Określanie pracochłonności wytwarzania wyrobów – podstawy teoretyczne

W warunkach wysokiej indywidualizacji w planie produkcji na poszczególne okresy planistyczne np. na kolejne tygodnie, może znajdować się różnorodny i niepowtarzalny asortyment, którego pracochłonność wykonania w każdym tygodniu nie jest wartością stałą. Czasem pojawić się może bardzo skomplikowany zbiór produktów, dla których zabraknie zdolności produkcyjnych, co w konsekwencji doprowadzi do opóźnień w dostawie i niezadowolenia klienta. Z drugiej strony może się trafić mniej pracochłonny zestaw produktów, w wyniku czego zdolności produkcyjne nie zostaną w pełni wykorzystane, co będzie miało swoje odzwierciedlenie we wzroście kosztów realizowanej produkcji.

Innym zagadnieniem powiązaniem z pracochłonnością produktu jest określenie jego kosztów wytwarzania. Znając w miarę precyzyjnie pracochłonność każdego z wytwarzanych wyrobów możliwe jest w miarę precyzyjne określenie kosztów robocizny bezpośredniej. W przeciwnym wypadku, przypisanie kosztów wytwarzania proporcjonalne do liczby produkowanych wyrobów, niezależnie od pracochłonności ich wytwarzania doprowadzić może do niedoszacowania niektórych produktów, a przeszacowania innych.

Tradycyjne podejście do zagadnienia pracochłonności wytwarzania wyrobu polegało na jej ewentualnie wstępnym określaniu w oparciu o wewnętrzne normatywy zakładowe, a następnie na właściwym określaniu w oparciu o **technikę chronometrażu**. W ramach tej techniki określanie pracochłonności produktów polegało na pomiarach czasów jednostkowych dla każdej operacji technologicznej. Całkowita pracochłonność produktu jest sumą wszystkich zmierzonych czasów jednostkowych. Istotną wadą tego rozwiązania jest konieczność wielokrotnego powtarzania pomiaru, aby wyeliminować wszelkiego rodzaju zakłócenia, a i to nie daje gwarancji, że obserwowany pracownik zachowuje podczas pomiaru swoją naturalną prędkość pracy. Tego typu podejście jest użyteczne przy określaniu pracochłonności realizacji operacji technologicznych wykonywanych w procesach potokowych lub inaczej w produkcji masowej.

W warunkach wysokiej indywidualizacji metoda ta staje się nieefektywna gdyż duża różnorodność operacji technologicznych sprawia, że wymagane jest realizowanie bardzo dużej liczby pomiarów, przez co pomiary takie stają się zbyt kosztowne. Zachodzi potrzeba zastosowania metody, która wprowadzi pewne uogólnienia, a co za tym idzie ułatwi proces pomiarowy. Problemem tym zajmowano się już w latach 40-tych dwudziestego wieku, kiedy to powstała **technika MTM** (ang. *Methods-Time-Measurement*). Podstawą tej metod jest założenie, że każda praca wykonywana przez człowieka to kombinacja ruchów ze skończonego zbioru „**ruchów podstawowych**” (ang. *body motion*). Każdy z ruchów (na przykład przesunięcie ręki o 30cm, obrót nadgarstka) charakteryzuje się dużą powtarzalnością czasową, niezależnie od rodzaju operacji technologicznej, produktu czy też pracownika. Czasy wykonania „ruchów podstawowych” zostały wyznaczone empirycznie i umieszczone w tablicach. Takie uogólnienie daje duże uproszczenie w procesie pomiarowym, ponieważ w tym przypadku analiza sprowadza się do wyodrębnienia „ruchów podstawowych” w danej operacji technologicznej i przypisania im odpowiednich indeksów czasowych. Pracochłonność danej operacji technologicznej to suma indeksów czasowych. Metoda MTM została wypracowana na potrzeby produkcji masowej o dużej powtarzalności procesów produkcyjnych. Mimo, że jest metodą prostszą w porównaniu do fizycznego pomiaru czasów jednostkowych w kontekście dużej różnorodności produktowej dalej jest zbyt mało efektywna.

Inną, dużo mniej złożoną metodą pomiaru jest **metoda MOST** (ang. *Maynard Operation Sequence Technigie*), która powstała w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia w Szwecji. Koncepcja ta zakłada, że każdy rodzaj pracy to „przemieszczenie masy lub obiektu”. Dlatego też, w przeciwieństwie do metody MTM, w MOST jednostką elementarną nie są „ruchy podstawowe”, a czynności związane z przemieszczaniem obiektów, które zostały zamieszczone w tablicy 1.

Tablica 1. Czynności podstawowe w metodzie MOST

Symbol	Czynności podstawowe	Czynności podstawowe – nazwa angielska
A	Pokonanie dystansu	<i>Action distance</i>
B	Ruch ciała	<i>Body Motion</i>
G	Przejęcie kontroli	<i>Gain Control</i>
P	Odłożenie	<i>Place</i>
M	Ruch kontrolowany	<i>Move Controlled</i>
X	Czas Operacji	<i>Process Time</i>
I	Ustawienie	<i>Align</i>
F	Przymocowanie	<i>Fasten</i>

L	Luzowanie	<i>Loosem</i>
M	Pomiar	<i>Measure</i>
R	Zapis	<i>Record</i>
S	Obróbka powierzchni	<i>Surface Treat</i>
T	Myślenie	<i>Think</i>

W metodzie MOST do każdej czynności podstawowej przypisuje się **indeks**, który jest później bazą do wyznaczenia całkowitego czasu operacji. Wartość indeksu wynika z poziomu czasochłonności danej czynności podstawowej, a sposób wyboru indeksu opisany jest w tablicach MOST. Na przykład czynność „pokonanie dystansu” 1-2 kroków ma wartość indeksu 3 (A_3), pokonanie od 3 do 6 kroków ma wartość indeksu 6 (A_6), itd. Po wyznaczeniu indeksów dla każdej z podstawowych operacji indeksy sumuje się, a uzyskaną wartość mnoży przez 10. Tak uzyskana liczba to **jednostka czasowa TMU** (*ang Time Measurement Unit*), którą przelicza się na faktyczny czas trwania operacji zgodnie z poniższym wzorem:

$$1 \text{ TMU} = 0,00001 \text{ godzin}$$

$$1 \text{ TMU} = 0,0006 \text{ minut}$$

$$1 \text{ TMU} = 0,036 \text{ sekund}$$

Dodatkowo w metodzie MOST istnieją trzy uniwersalne sekwencje czynności, tj. ruchów przemieszczania obiektów, za pomocą których można opisać każdą operację technologiczną. Te sekwencje to:

- Ruch ogólny (*ang. General Move*)
- Ruch kontrolowany (*ang. Controlled Move*)
- Użycie narzędzia (*ang. Tool Use*)

2.1. Ruch ogólny

Sekwencja „ruch ogólny” dotyczy wszystkich operacji związanych z przestrzennym przenoszeniem obiektów i może zostać opisana poniższym algorytmem:

- Pokonaj dystans do obiektu
- Pozyskaj manualny kontakt z obiektem
- Przenieść obiekt do punktu docelowego
- Umieść obiekt w tymczasowej bądź docelowej pozycji
- Powróć do poprzedniego miejsca.

Uwzględniając symbolikę z tablicy nr 1 oraz sekwencje „ruch ogólny”, czynności związane z obróbką powierzchniową mogą być zapisane w następującej formie:

A B G S A B P A

gdzie:

A – pokonanie dystansu, tj. wszystkie ruchy w przestrzeni (zazwyczaj w poziomie) uwzględniając ruchy palców, dłoni, rąk, nóg.

B – ruchy w pionie takie jak skłon nachylenie, podnoszenie itd.

G – przejęcie kontroli, tj. wszystkie czynności manualne (głównie palców i rąk) potrzebne do pozyskania kontroli na chwytanym przedmiocie.

S – obróbka powierzchni

P – odłożenie, tj. ruchy związane z odłożeniem przedmiotu uwzględniając poziom trudności (potrzeba ułożenia, pozycjonowania itd.)

2.2. Ruch kontrolowany

Ten rodzaj ruchu opisuje manualne przemieszczenie obiektu po kontrolowanej trajektorii. Ruch ograniczony jest przynajmniej w jednym kierunku poprzez kontakt lub mocowanie do innego obiektu. Sekwencja ruchu wygląda następująco:

- Pokonaj dystans do obiektu
- Pozyskaj manualny kontakt z obiektem
- Przenieść obiekt do punktu docelowego po kontrolowanej trajektorii
- Doprowadź do obróbki obiektu
- Ustaw obiekt po zakończeniu obróbki
- Powróć do poprzedniego miejsca.

Zapisać to można wzorem ogólnym:

A B G M X I A

gdzie:

M – ruch kontrolowany, tj. wszystkie czynności związane z ruchem kontrolowanym,

X – czas operacji, tj. czas potrzebny na obróbkę przez maszynę bądź urządzenie,

I – ustawienie, tj. ustawienie obiektu po zakończeniu obróbki przez maszynę.

2.3. Użycie narzędzi

Sekwencja „użycie narzędzi” jest kombinacją dwóch poprzednich sekwencji i opisuje wszystkie czynności związane z użyciem narzędzi, tj. obejmuje czynności:

- Pobierz i umieść narzędzie w pozycji gotowości do pracy
- Użyj narzędzia
- Odłóż narzędzie

Sekwencję tą opisuje wzór:

A B G A B P | użyj narzędzia | A B P A

W miejscu „użyj narzędzia” zdefiniowano następujące czynności:

F – przymocowanie, tj. mechaniczne połączenie jednego obiektu z drugim przy użyciu palców, ręki bądź narzędzia.

L – luzowanie, tj. mechaniczne rozłączenie jednego obiektu z drugim przy użyciu palców, ręki bądź narzędzia.

C – cięcie, tj. przecięcie obiektu przy użyciu ostrego narzędzia takiego jak nóż czy nożyczki.

S – obróbka powierzchni, tj. wszystkie czynności związane ze zmianą powierzchni obiektu (szlifowanie, malowanie itd.)

M – pomiar, tj. akcje związane z określeniem fizycznych właściwości obiektu przy użyciu standardowych przyrządów pomiarowych.

R – rekord, tj. zapisywanie wartości przy pomocy długopisu, pisaka itd.

T – myślenie, tj. czynności związane z pozyskaniem informacji bądź kontroli obiektu.

Za pomocą wyżej opisanych sekwencji ruchów można opisać każdą występującą w procesie produkcyjnym operację począwszy od głównych operacji technologicznych, a skończywszy na wszelkiego rodzaju operacjach pomocniczych. Za pomocą tej metody oszacować można również operacje przygotowawczo-zakończeniowe.

Metoda MOST charakteryzuje się prostotą i dużą przejrzystością modelu obliczeniowego, co wpływa na stosunkowo łatwe jej wykorzystanie w praktyce. Wyniki zastosowania metody MOST do pomiaru pracochłonności produktów dowodzą jej wysokiej praktycznej użyteczności. Stwierdzono również, że nadaje się do użycia w warunkach wysokiej różnorodności produktów.

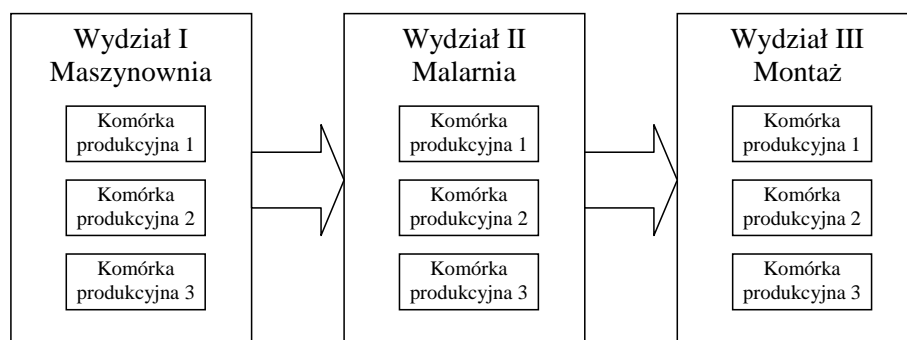
3. Studium przypadku określania i optymalizacja wykorzystania zdolności produkcyjnych w warunkach MC

Poruszane wcześniej zagadnienia zbadano praktycznie w przedsiębiorstwie produkującym stolarkę okienną. W przedsiębiorstwie tym uwzględniając uwarunkowania MC, klientowi oferowane są okna w zindywidualizowanej formie. Oferta przedsiębiorstwa jest bardzo szeroka. Klient ma możliwość zamówienia okna w dowolnym rozmiarze w kolorze z palety RAL obejmującej kilka tysięcy odcieni. Ponadto możliwy jest dobór okna o różnych odmianach funkcjonalności, np. otwierane, nieotwierane, jedno dwu, trzy lub więcej skrzydłowe, otwierane do wewnątrz na zewnątrz, z dołu do góry, na bok, a także istnieje możliwość wyboru kilkunastu odmian szyb zespolonych, szpros, pakiety antywłamaniowe, 3 rodzaje klamek, możliwość wyboru okien pokrytych aluminium od zewnątrz (w różnym kolorze) itp. Uwzględniając wszystkie pozycje rodzajowe klient ma możliwość wyboru określonego okna spośród oferowanych kilkuset kombinacji. Okna oferowane są po cenach porównywanych z ofertami firm produkującymi okna w bardzo wąskim zakresie asortymentowym.

Metoda badawcza zastosowana w analizowanym przedsiębiorstwie polegała na obserwacji procesu planowania oraz procesu produkcyjnego i na tej podstawie wyciąganie wniosków odnośnie przydatności metody MOST do określania pracochłonności wyrobów. Ponadto przedmiotem badań były aspekty związane z określeniem i optymalizacją wykorzystywania zdolności produkcyjnych w warunkach zmienności wynikającej ze stosowania MC.

3.1. Opis procesu produkcyjnego

Proces produkcyjny stolarki okiennej jest realizowany w ramach trzech wydziałów (por rys 1). W obrębie każdego z wydziałów występują komórki produkcyjne niższego stopnia, np. na wydziale maszynowni komórka maszyn CNC, komórka strugarek, na wydziale malarni zawieszanie, szlifowanie, malowanie, zdejmowanie, na wydziale montażu komórka okuwania, szklenia. Na wydziale tym są realizowane operacje manualne oraz z zakresu obróbki powierzchniowej. W oparciu o kryterium przepływu materiału realizowany proces produkcyjny można określić jako potokowy, niesynchronizowany. Stosowane maszyny i urządzenia charakteryzują się wysokim poziomem automatyzacji i krótkimi czasami przezbrojenia, również w aspekcie przetwarzania i przesyłu informacji sterujących.



Rys 1. Schemat przebiegu badanego procesu produkcyjnego

3.2. Pomiar pracochłonności operacji technologicznych

Pomiar pracochłonności poszczególnych operacji technologicznych w oparciu o metodę MOST wykonywany jest na bieżąco przez wykwalifikowaną grupę inżynierów i składa się z kilku kolejnych kroków.

W pierwszym kroku gromadzi się wszystkie operacje technologiczne, które wymagają estymacji pracochłonności.

W drugim kroku dokonuje się opisu przebiegu operacji technologicznych i każdej czynności cząstkowej przypisuje się odpowiednią sekwencję „MOST” (ruch ogólny, ruch kontrolowany, użycie narzędzia).

W trzecim kroku przeprowadza się szczegółową obserwację operacji technologicznych i przypisanie do każdej z czynności cząstkowej indeksów czasowych zgodnych z tablicowymi opisami „MOST”.

W końcowym kroku dokonuje się finalnego oszacowania czasów i uaktualnienie danych w systemie komputerowym. Przykład pomiaru pracochłonności dla wybranej operacji zamieszczono w tablicy nr 2.

Tablica 2. Przykład pomiaru pracochłonności operacji technologicznej metodą „MOST”

Nazwa operacji Frezowanie A306	Sekwencja	Schemat										TE	Sec.				
Pobranie elementu z palety i odłożenie na podajniku maszyny	Ruch ogólny	A	6	B	0	G	3	A	6	B	0	P	3	A	1	19	6,84
Ustawianie zderzaków / docisków	Ruch kontr.	A	1	B	0	G	1	M	1	X	0	I	0	A	1	4	1,44
Operacja A306	Ruch kontr.	A	6	B	0	G	1	M	1	X	54	I	0	A	0	62	22,3
Pobranie elementu z podajnika maszyny i odłożenie na paletę	Ruch ogólny	A	6	B	0	G	3	A	6	B	0	P	1	A	1	17	6,12

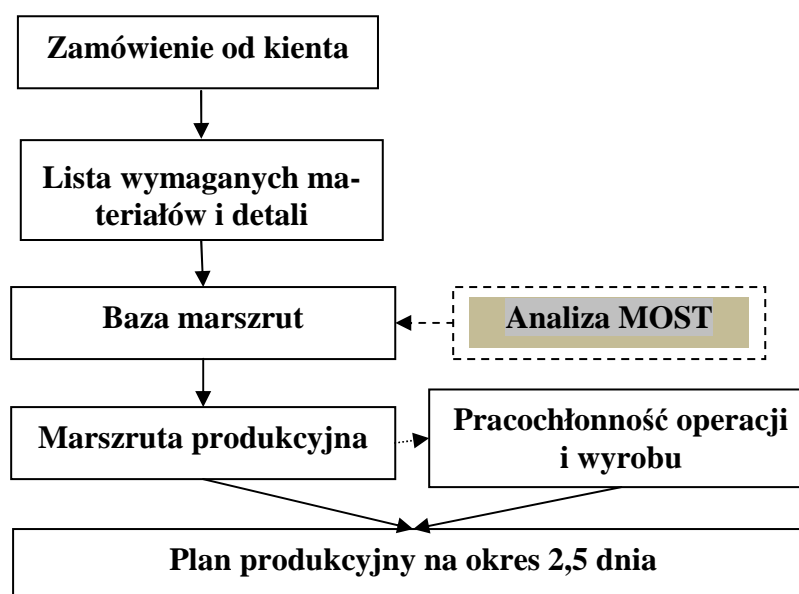
3.3. Określanie zdolności i planów produkcji

Planowanie produkcji realizowane jest w oparciu o wykorzystanie systemu komputerowego klasy ERP. Zakładanym ograniczeniem w procesie planowania jest zdolność produkcyjna aktualnie zatrudnionych pracowników, dlatego też przedmiotem dokładnych analiz jest czas pracy pracowników i określa na tej podstawie zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa. Oczywiście analizowane przedsiębiorstwo posiada ograniczone zdolności produkcyjne maszyn i urządzeń. Przekroczenie tych zdolności polega najczęściej jedynie na tworzeniu się okresowych wąskich gardeł. Problem ten jest rozwiązywany poprzez angażowanie pracowników w dodatkowym czasie pracy. Długoterminowe tworzenie się wąskich gardeł jest przedmiotem odrębnych analiz o charakterze inwestycyjnym.

W planowaniu produkcji wykorzystuje się:

- **nominalny fundusz czasu pracy pracownika**, który obejmuje wszystkie dni robocze w roku kalendarzowym pomniejszone o przerwy urlopowe planowane dla całego zakładu (przerwa letnia, zimowa, świąteczna), współczynnik absencji chorobowej tzw. długoterminowej powyżej 33 dni, a powiększony jest z kolei o współczynnik godzin nadliczbowych. Przykładowo fundusz nominalny w roku 2011 przyjęto na poziomie 1834 godzin na 1 pracownika. Wyznaczona na tej podstawie zdolność produkcyjna całego zakładu wynosi 240 507 godzin roboczych na rok.
- **efektywny fundusz czasu pracy pracownika** pomniejszony jest dodatkowo o urlopy udzielane na prośbę pracownika,
- **podstawowy okres planistyczny**, którym jest cykl produkcyjny, który trwa 2,5 dnia, czyli w ciągu jednego tygodnia występują 2 cykle produkcyjne.

Schemat procesu planowania produkcji wyrobów gotowych przedstawiono na rysunku nr 2. Po przyjęciu zamówienia od klienta na określone okno system komputerowy generuje listę wymaganych detali w podziale na standardowe, które są przedmiotem zakupów oraz detale tzw. konfigurowalne, które wytwarzane są pod konkretne zamówienie. Dla każdego wytwarzanego detalu konfigurowanego jest zdefiniowana marszruta produkcyjna, składająca się z sekwencji operacji technologicznych. Każdej z operacji technologicznych został przypisany parametr pracochłonności, który został wyznaczony metodą empiryczną przy użyciu metody „MOST”. Wyznaczona zostaje również pracochłonność całkowita wyrobu, która jest sumą czasów jednostkowych wszystkich operacji. Na tej podstawie każdemu produktowi przypisany zostaje parametr pracochłonności liczony w tzw. normogodzinach (por. rys. nr 4).



Rys. 2. Schemat procesu planowania produkcji wyrobów gotowych z uwzględnieniem określania pracochłonności w oparciu o metodę MOST.

Teoretycznie obliczona pracochłonności wyrobów planowanych do wykonania w danym okresie planistycznym powinna się pokrywać się z nominalnym funduszem czasem pracy pracowników w tym okresie.

W praktyce występuje szereg zakłóceń takich jak awarie maszyn, absencje pracowników, problemy jakościowe, dostępność materiału, szkolenia nowych pracowników itd., które obniżają skuteczność procesu produkcyjnego.

Dlatego wprowadzony został współczynnik skuteczności (W_s), który jest wyznaczony empirycznie na podstawie danych historycznych. Wielkość współczynnika kształtuje się na poziomie ok. 0,7 i jest uwzględniana przy obliczaniu wielkości zdolności produkcyjnych (Z_p) w oparciu o wzór:

$$Z_p = W_s * F_n$$

gdzie:

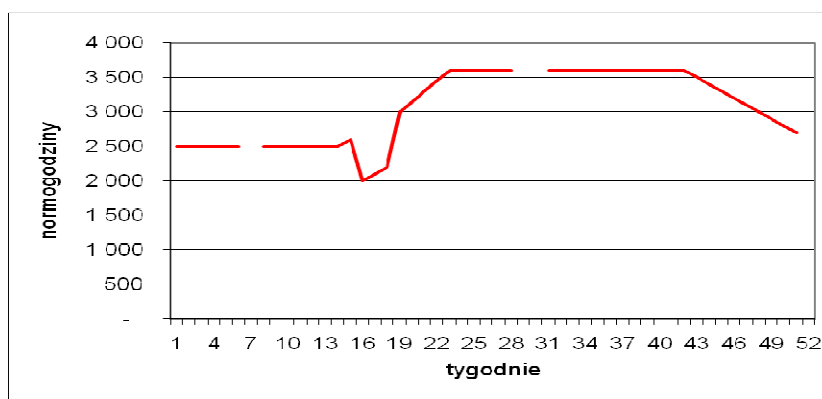
W_s – współczynnik skuteczności, liczba z przedziału (0,1),

F_n – nominalny fundusz pracy pracowników.

Tak wyliczona wielkość określa realną zdolność produkcyjną procesu i jest limitem w planowaniu produkcji, tj. ilość planowanych normogodzin nie może być większa od Z_p . Parametr W_s jest zmienny w dłuższym okresie czasu, między innymi wzrasta poprzez stosowanie ciągłego usprawniania procesów produkcyjnych występujących w przedsiębiorstwie.

3.4. Reakcja na fluktuacje w popycie na wyroby w warunkach MC

W warunkach MC produkcja wyrobu finalnego jest uruchamiana bezpośrednio na zamówienie klienta. Zamówienia te spływają w z różną intensywnością. Można stwierdzić, że charakteryzują się zmiennym w popytem. Zmienność taka wyraża się w zróżnicowanej liczbie zamówień składnych w poszczególnych okresach planistycznych. Wahania liczby składnych zamówień w zbliżonych okresach czasu mogą mieć niewielkie odchylenia. W dłuższym okresie w skali roku występują dodatkowe wahania sezonowe, które nakładając się z „normalnymi” wahaniami tworzą istotne różnice w zapotrzebowaniu na produkowane wyroby pomiędzy powtarzającymi się okresami. Wahania w ilości zamówień składanych w poszczególnych tygodniach mogą być znaczne, co zaprezentowano na rysunku 3. Przerwy występujące na wykresie związane jest z przerwą w pracy całego przedsiębiorstwa określonych tygodniach.



Rys 3. Zmienność popytu w kolejnych tygodniach roku.

Dodatkowa zmienność pracochłonności zamówień od klienta wynika z faktu że klient ma możliwość wybierania okien z pośród bardzo szerokiego asortymentowym. Każde odrębne asortymentowo okno posiada inną pracochłonność wyznaczaną metodą MOST. Przykład zmienności średniej pracochłonności na wyrób w poszczególnych okresach planistycznych przedstawiono na rysunku 4.

Zmienność występująca w napływie zamówień od klienta wpływa na zmianę zapotrzebowania na liczbę godzin niezbędnych do wytworzenia zamówionych wyrobów. Jednocześnie dysponowana zdolność produkcyjna trzech wydziałów, którą można wyrazić liczbą dysponowanych normogodzin w określonej jednostce jest wielkością stałą. Jeżeli w danym okresie pracochłonność zbioru zamówień na wytworzenie określonych wyrobów przewyższa nominalne dysponowane zdolności wytwórcze to powstaje problem z wywiązaniem się z tych zamówień, fizyczna ilość wyprodukowanych produktów będzie niższa w stosunku do zamówionych wielkości. Popyt zostaje niezaspokojony. W odwrotnym przypadku przy niedostatecznej liczbie zamówień zdolności pozostaną niewykorzystane, generując nieuzasadnione koszty. W analizowanym przedsiębiorstwie **priorytetem nadrzędnym przy planowaniu produkcji jest terminowe realizowanie zamówień klienta w okresie deklarowanym w ofercie firmy wynoszącym 23 dni robocze, przy jednoczesnym optymalizowaniu wykorzystania dysponowanych zdolności produkcyjnych zwłaszcza zdolność produkcyjnych pracowników, którzy wg przyjmowanych złożzeń powinni posiadać 100 procentowe obciążenie.**

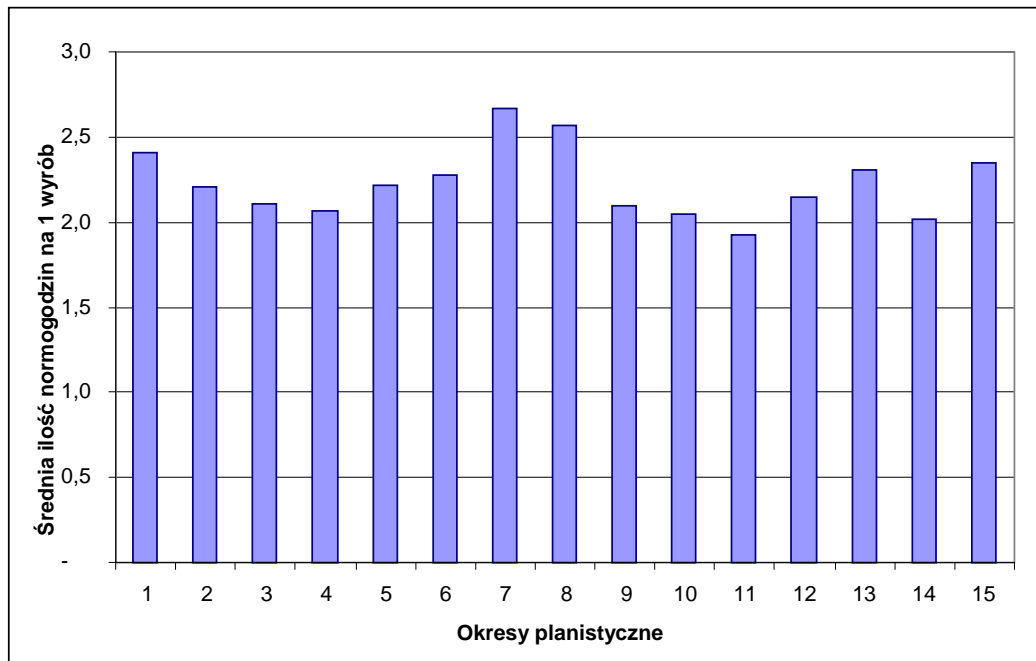
W praktyce badanego przedsiębiorstwa w opisanej wyżej sytuacji stosuje się dwojakiego rodzaju rozwiązania:

1) „od strony rynkowej” rozwiązanie polega na wprowadzeniu tzw. ruchomego czasu dostawy do klienta. W okresach wzrostu ilości zamówień bądź wzrostu pracochłonności zamawianych produktów, „kolejka” oczekujących się wydłuża i klient zmuszony jest czekać dłużej, niż to jest określone w ogólnej ofercie firmy. Analogicznie w przypadku chwilowego zmniejszenia się popytu bądź pracochłonności czas oczekiwania się skraca i klient może otrzymać produkt wcześniej niż zakłada to oferta firmy.

2) „od strony producenta” rozwiązanie polega na zastosowaniu elastycznego nominalnego funduszu czasu pracy, tj. dostosowywaniu jego wielkości do wielkości pracochłonności wynikającej z pojawiających się zamówień. Elastyczność ta jest osiągana na kilka sposobów:

- Zastosowanie godzin nadliczbowych – jest to najprostszy i najszybszy sposób na reakcję na zmienność w popycie. Niestety jest to rozwiązanie kosztowne, ponieważ koszt godziny nadliczbowej jest wyższy niż godziny nominalnej. Dodatkowo godziny nadliczbowe pokryć mogą jedynie niewielkie fluktuacje w popycie, więc nie naddają się na reakcję na duże wahania sezonowe.
- Elastyczne planowanie czasu pracy. Pracodawca może w okresach o niskim zapotrzebowaniu na pracę planować mniejszy wymiar czasu pracy a w okresach natężonego zapotrzebowania na pracę zwiększać wymiar czasu pracy. Ważne, aby przestrzegać średni wymiaru czasu pracy w ramach okresu rozliczeniowego, który obecnie reguluje tzw. „ustawa antykryzysowa” [8]. Okres ten wynosi 12 miesięcy.
- Okresowe zatrudnianie pracowników. Ta metoda polega na zatrudnianiu w okresach zwiększonego, sezonowego popytu (por. 25 – 40 tydzień rys nr 3)

pewnej dodatkowej grupy pracowników, tzw. zatrudnienie terminowe na czas określony. Jest to rozwiązanie korzystne wtedy, kiedy okres wyższego zapotrzebowania jest dużo dłuższy niż czas potrzebny na szkolenie pracownika. Dlatego w przypadku skomplikowanych operacji technologicznych takie rozwiązanie jest nieefektywne. Innym niekorzystnym aspektem jest proces zwolnień pracowników sezonowych z nadejściem okresów o niższym popycie, który obniża motywację pracowników oraz psuje renomę firmy w otoczeniu, w którym funkcjonuje. Dodatkowo, jeżeli zachodzi potrzeba zwolnienia większej ilości pracowników, zwolnienia takie muszą odbyć się zgodnie z tzw. ustawą o zwolnieniach grupowych [9]. W takim przypadku proces staje się bardzo skomplikowany i kosztowny, gdyż zwalnianemu pracownikowi pracodawca wypłacić musi odprawę pracowniczą. Alternatywą do zatrudniania „na czas określony” jest angażowanie pracowników zatrudnionych w agencji pracy tymczasowej. To rozwiązanie jest również nieefektywne w przypadku złożonych operacji technologicznych. Dodatkowym negatywnym aspektem jest wyższy koszt utrzymania pracownika oraz niski poziom motywacji związany z faktem, iż pracownik nie identyfikuje się w pełni z przedsiębiorstwem, w którym pracuje.



Rys 4. Zmienność pracochłonności w czasie

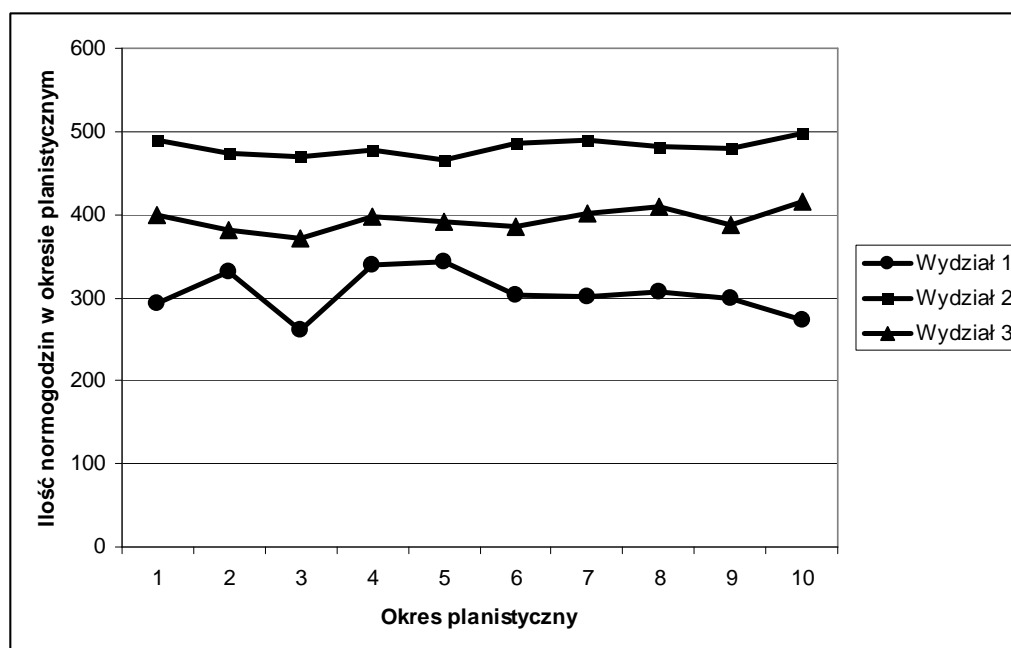
W badanej organizacji stosowano rozwiązanie hybrydowe, to znaczy z wykorzystaniem wszystkich wyżej wymienionych metod. Przy takich uwarunkowaniach małe fluktuacje w popycie były regulowane zmiennym czasem dostawy do klienta, a większe skoki regulowane były odpowiednią modyfikacją nominalnego funduszu czasu pracy przede wszystkim pracownikami.

Ponadto cykl produkcyjny wyrobu trwa ok. 2 dni robocze, albo inaczej 4 zmiany produkcyjne, w tym średnia pracochłonność operacji technologicznych wykonania wyrobu obliczona wg MOST, wynosi ok. 2 – 2,5 normogodziny (por rys. nr 4). Tego typu zależności – rozbieżności są rezerwą, którą można by ewentualnie wykorzystać doskonaląc rozwiązania organizacyjne występujące w przedsiębiorstwie aby jeszcze bardziej skrócić deklarowany 23 dniowy termin dostaw. Wg wstępnych

badania rozwiązania te powinny iść w kierunku optymalizacji zarządzania dostawami materiałów i detali, zapasami produkcji w toku oraz optymalizacji zasad gromadzenia wyrobów w partie produkcyjne.

3.5. Zmienność pracochłonności w obrębie wydziałów produkcyjnych

Kolejnym problemem związanym z wysoką różnorodnością produktów jest duża zmienność pracochłonności w poszczególnych wydziałach produkcyjnych. Nawet jeśli sumaryczna pracochłonność zbioru zamawianych produktów jest w miarę stała w kolejnych okresach planistycznych, to pracochłonność tych produktów w podziale na poszczególne wydziały może być istotnie zróżnicowana w poszczególnych okresach. Na przykład pojawić się mogą produkty z dużą ilością operacji manualnych wykonywanych na wydziale montażowym bez konieczności wykonywania dodatkowych operacji na wydziale maszynowym. Mimo, iż sumaryczna pracochłonność nie zwiększy się, wydział maszynowy posiadać będzie rezerwy w zdolnościach produkcyjnych w danym okresie, a na wydziale montażowym wystąpi brak wystarczającej zdolności produkcyjnej. Może to doprowadzić do pojawienia się lokalnych wąskich gardeł i w konsekwencji obniżenia całkowitej skuteczności procesu produkcyjnego. Na rysunku 5 zobrazowano wyżej opisaną sytuację w badanym procesie produkcyjnym.



Rys. 5. Zmienność pracochłonności w czasie na poszczególnych wydziałach produkcyjnych

W praktyce badanego przedsiębiorstwa rozwiązaniem tego problemu jest utrzymanie między wydziałami **pewnego poziomu zapasów produkcji w toku**. Zapasy takie skutecznie absorbują niewielkie fluktuacje w popycie na wyroby gotowe i wynikające z tego tytułu nie zawsze równomierne zmiany obciążenia poszczególnych wydziałów. Maksymalna wielkość zapasów międzywydziałowych jest ściśle kontrolowana, gdyż poziom tych zapasów produkcyjnych ma bezpośredni wpływ na długość cyklu produkcyjnego wyrobu, a co za tym idzie na czas dostawy wyrobu do klienta oraz na koszty ich utrzymywania. Innym rozwiązaniem jest **wprowadzenie pracow-**

ników „wielofunkcyjnych” (*ang. cross-functional workers*), którzy posiadają umiejętność wykonywania operacji technologicznych występujących na różnych wydziałach produkcyjnych. Jeżeli na danym wydziale wystąpi zwiększenie zapotrzebowania na zdolności produkcyjne, wydział ten zostaje wzmocniony dodatkowymi pracownikami z innego wydziału, który w danym momencie nie ma takiego zapotrzebowania. Wadą tego rozwiązania jest konieczność przeprowadzania większej ilości szkoleń pracowników. Dodatkowo, jeżeli potrzeba przechodzenia pracowników między wydziałami jest relatywnie niska, pracownicy sporadycznie pracując na innych wydziałach tracą nabyte umiejętności, przez co spada skuteczność takiego rozwiązania oraz zwiększa się ryzyko popełnienia wad jakościowych. Natomiast w przypadku występowania dużej międzywydziałowej rotacji pracowników rozwiązanie takie sprawdza się doskonale.

4. Podsumowanie

W warunkach wysokiej indywidualizacji produkcji, tj. w warunkach „Mass Customization” jednym z istotniejszych problemów jest określenie i optymalne wykorzystanie dysponowanych zdolności produkcyjnych. Na to składa się szereg elementów:

- Określenie pracochłonności wytwarzanych wyrobów – kluczową kwestią jest regularny, okresowy pomiar pracochłonności, gdyż każda zmiana zarówno w konstrukcji wyrobu jak i w przebiegu procesu technologicznego powodować może zmiany pracochłonności produktu. Przeprowadzone badania dowiodły wysoką praktyczną użyteczność metody MOST do szybkiego określania czasu wykonania wyrobu.
- Utrzymanie terminowości w dostawach produktów finalnych, które jest nadrzędnym priorytetem. Aby to osiągnąć na możliwie największym poziomie, a jednocześnie optymalnie wykorzystywać dysponowane zdolności produkcyjne zwłaszcza pracowników, stosuje się zmienne w niewielkim stopniu czasy dostawy do klienta lub wprowadza się elastyczne kształtowanie dysponowanego funduszu czasu pracy pracowników.
- Zsynchronizowanie i eliminacja problemu nierównomiernego obciążenia wydziałów produkcyjnych w poszczególnych okresach planistycznych. Ażeby temu przeciwdziałać należy utrzymywać niewielkie, kontrolowane zapasy międzywydziałowe i wprowadzić system szkoleń dla niewielkiej grupy pracowników, którzy mogliby wykonywać pracę w obrębie kilku wydziałów produkcyjnych, w zależności od bieżącego zapotrzebowania.

Jak pokazały przeprowadzone badania, zarządzanie zdolnością produkcyjną w warunkach „Mass Customization” jest bardziej złożone niż w warunkach stosowania potokowych, klasycznych procesów produkcyjnych opartych na produkcji „na magazyn” w skali masowej.

Abstract

Methods of determining and utilising of production capacity in “Mass Customization”

„Mass Customization” is a strategy to deliver to customer highly customized product with the price comparable to products made in mass production processes. One of the key aspect in keeping cost at the low level is efficient utilization of production capacity. It can be achieved only if product workload is known. “MOST” tech-

nique seems to be very efficient tool to accomplish it. Fast and simple technique guarantee that very diverse products can be estimated in terms of total working time needed to produce them. In consequence “normhours” for every elements are determined which is further base for all kind of capacity planning. Another issue is to keep stability in delivery in Make To Order environment when there are fluctuations in demand reinforced by variation in workload. The problem can be solved by applying variable Lead Time, which means that when capacity or workload increase customer wait longer for product. It is the simplest solution and widely used, however it does not have to be preferable. Then instead, market fluctuation can be covered by flexible working hours, which can be achieved by overtime, seasonal workers or shifting working hours from low to high season period. Last mentioned problem is how to balance production process when there is unstable workload in particular sub-processes. Proposed solution is to keep some small amount of products buffer in between sub-processes and apply multifunctional workers who can operate more than one operation. It seems obvious that production capacity management in “Mass Customization” is more sophisticated than typical “Make To Stock” facilities. However there are methods and techniques available which can be applied and make “Mass Customization” possible to implement.

Bibliografia

- 1) Anderson D.M., *Build-to-order & Mass Customization*, Cim Press, Cambria, California 2004.
- 2) Heizer J., Render B., *Production and Operation management. Strategis and tactics*. Wyd. Allyn and Bacon.
- 3) Lisiński M., Martyniak Z., Potocki A., *Techniki organizatorskie: badanie pracy*, Akademia Ekonomiczna, Kraków 1985,
- 4) Materiały publikowane w Internecie przez firmę Kronopol (www.kronopol.pl; 15.05.2011),
- 5) Materiały publikowane w Internecie przez firmę DRE (www.dre.pl; 15.05.2011),
- 6) Materiały publikowane w Internecie przez firmę Invado(www.invado.pl; 15.05.2011),
- 7) Pine II, B., J., *Mass Customization The New Frontier In Business Competition*, Harvard Business School Press, Boston, 1993.
- 8) Ustawa z 1 lipca 2009 r. o łagodzeniu skutków kryzysu ekonomicznego dla pracowników i przedsiębiorców (Dz.U. z 2009r. nr 125, poz. 1035),
- 9) Ustawa z 13 marca 2003 r. o szczególnych zasadach rozwiązywania z pracownikami stosunków pracy z przyczyn niedotyczących pracowników. Dz. U. nr 90, poz. 844,
- 10) Wirkus M., Maciągowski D.: *Mass Customization alternatywą dla produkcji masowej*. W *Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa*, 2010.
- 11) Wirkus M., Maciągowski D.: *Podnoszenie skuteczności procesu produkcyjnego w warunkach rosnącej indywidualizacji*. W: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, t. II / ed. Ryszard Knosala; oficyna wydawnicza polskiego towarzystwa zarządzania produkcją. - Opole : Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, 2011.