

## METODYKA POSTĘPOWANIA PRZY WPROWADZANIU POZIOMOWANEJ PRODUKCJI

### Słowa kluczowe:

poziomowanie produkcji, planowanie produkcji, wskaźnik EPEI

### 1. Wstęp

Zwiększające się wymagania klientów oraz silna konkurencja wymuszają na przedsiębiorstwach produkcyjnych nieustanne doskonalenie procesów produkcyjnych, obniżanie cen produktów i zwiększanie ich jakości. W tym celu przedsiębiorstwa coraz częściej stosują narzędzia i metody opracowane w ramach takich strategii doskonalenia procesów produkcji jak Lean Manufacturing czy Theory of Constraints [5, 11, 18, 26]. Jedną z metod doskonalenia jest tzw. heijunka, czyli poziomowanie produkcji, które ma na celu przede wszystkim eliminację skoków w produkcji [1].

Poziomowanie produkcji znane jest jako metoda sekwencjonowania produktów w celu równoważenia produkcji, zwiększenia wydajności i elastyczności, poprzez eliminację marnotrawstwa oraz minimalizację różnic w obciążeniu stanowisk roboczych [12, 23]. Równoważenie produkcji rozumie się jako unikanie nagłych skoków ilości produkowanych wyrobów w harmonogramie [20, 32]. Innymi słowy, poziomowanie produkcji jest sposobem na zapewnienie dostępności wyrobów dla klienta, poprzez powtarzalny i równomierny spływ produktów oraz dostaw na magazyn. Bez poziomowanej produkcji przedsiębiorstwo produkcyjne nie jest w stanie dokładnie kontrolować i przewidywać spływów z produkcji oraz wielkości zapasów wyrobów gotowych i materiałów, a z drugiej strony wykorzystywać efektywnie swoje zasoby.

Koncepcja poziomowanej produkcji jest znana od ponad 50 lat. Opracowana została przez Toyotę dla przemysłu motoryzacyjnego [22]. Pierwsze wzmianki i studia przypadku pojawiły się już w latach 60. ubiegłego stulecia [3, 4, 14]. Od samego początku poziomowanie odgrywa istotną rolę w systemie *just-in-time* oraz w *lean production* [9, 15, 17, 19, 24, 29, 33]. Dzisiaj poziomowanie produkcji jest stosowane szeroko w przedsiębiorstwach przemysłu motoryzacyjnego, jak i w przemyśle przetwórczym oraz spożywczym [21, 27, 36].

Główne cele produkcji poziomowanej przedstawiane w literaturze przez różnych autorów to:

- wygładzony przepływ w całym łańcuchu dostaw [25];
- eliminacja skoków w produkcji [1];
- redukcja zapasów [10];
- unikanie nadmiernego obciążenia pracą [28];
- zwiększanie zdolności produkcyjnych [35];
- maksymalizacja efektywności zasobów produkcyjnych [34];
- zwiększanie konkurencyjności [31].

Cele te łączy wyłączne jedna cecha – skupienie się na procesie produkcyjnym.

Chociaż poziomowanie produkcji wydaje się być skuteczną metodą niwelowania skoków w harmonogramie produkcji, które w efekcie prowadzi do wygładzenia produkcji i wyrównywania obciążenia poszczególnych stanowisk, niewiele polskich przedsiębiorstw stosuje tę metodę. Jest to spowodowane tym, iż niewiele prac dostępnych w literaturze przedstawia procedurę wdrażania poziomowanej produkcji bądź są one zbyt ogólne, aby w łatwy sposób można było wprowadzić ją w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Jednym z niewielu przykładów wdrożenia poziomowanej produkcji dostępnych w literaturze jest opisany w pracy Araujo [2]. Autorzy przedstawiają praktyczne wprowadzenie poziomowanej produkcji w przedsiębiorstwie. Wdrożenie obejmuje dwa etapy: priorytetyzację produktu, czyli wybór produktów najczęściej kupowanych przez klienta oraz utworzenie poziomowanego planu produkcji. Autorzy wykazali również, że w wyniku podjętych działań średnie miesięczne zapasy zmniejszyły się o 23%, średnia wielkość partii produkcyjnej zmniejszyła się o 18%, co w efekcie spowodowało wzrost miesięcznej produkcji o 10%.

Procedurę wdrażania poziomowanej produkcji w przedsiębiorstwie przy małej wielkości produkcji oraz wysokim zróżnicowaniu wyrobów opisał w swoich pracach Bohnen [6, 7]. Procedura rozpoczyna się od sporządzenia i analizy mapy strumienia wartości oraz, w razie potrzeby, analizy popytu. Na podstawie analizy budowany jest tzw. model (wzór) poziomowania, który składa się z 4 podstawowych elementów. Pierwszy opisuje wolumen produkcji, czyli ilość danego produktu, jaka musi zostać wytworzona w określonym czasie. Drugi element opisuje stopień agregacji, czyli poziomowania rodzin lub typów produktów. Trzeci określa podziałkę – termin dla planowania produkcji. Ostatni przedstawia specyfikę poziomowania – poziomowanie tylko jednego typu wyrobu lub wielu typów wyrobów [7].

Drugi etap to podział produktów na rodziny. Podział ten zależy od podobieństwa procesów technologicznych lub konstrukcji wyrobów [6].

Trzeci etap to utworzenie wzoru poziomowania. Wzór ten posiada odzwierciedlenie w wartości wskaźnika EPEI (ang. *Every Part Every Interval*). Obrazuje on częstość wytwarzania wyrobów w ramach ustalonego harmonogramu w określonej podziałce czasowej [8].

W ostatnim etapie zakłada się uruchomienie wcześniej utworzonego wzoru produkcji poziomowanej oraz ciągłe jej doskonalenie. W tym przypadku jako doskonalenie rozumie się zawężanie rodzin wyrobów aż do momentu, kiedy będzie się tworzyć harmonogram dla pojedynczych sztuk wyrobów [6].

Metodykę wdrażania poziomowanej produkcji przy dużym zróżnicowaniu wyrobów przedstawili Liker i Meier [22].

Autorzy swoją metodę określają jako „tnij i szatkuj” i zawiera ona takie etapy jak: podział produktów na rodziny wyrobów o wspólnych cechach i krokach produkcji, ustalenie harmonogramu, uruchomienie produkcji.

Znane autorom metodyki wprowadzania poziomowanej produkcji są mało szczegółowe i opisane w mało przystępny sposób. W niniejszym artykule zaproponowano oryginalną autorską metodykę, która została przedstawiona krok po kroku na przykładzie danych symulacyjnych.

## 2. Metodyka postępowania przy wprowadzaniu poziomowanej produkcji

Założono, że poziomowanie produkcji polega na ustaleniu sekwencji oraz wielkości spływu wyrobów z procesu, tak aby popyt bieżący był realizowany z magazynu/supermarketu i nie powodował nagłych zmian w harmonogramie produkcji. Harmonogram produkcji powinien być w danym okresie czasu niezmienny (czas w dużej mierze zależy od sezonowości wyrobów). Dąży się do tego, aby wyroby produkowane były w określonej sekwencji, w partiach o jak najmniejszej liczbie sztuk. Poniższy rysunek obrazuje zasadę działania tak rozumianej poziomowanej produkcji (rys. 1).

Proponowana metodyka postępowania przy wprowadzaniu poziomowanej produkcji składa się z następujących etapów (rys. 2):

1. wyznaczenie grupy wyrobów, dla których będzie wprowadzana poziomowana produkcja,
  2. podział wybranych wyrobów na rodziny,
  3. analiza zamówień klienta,
  4. wyznaczanie wielkości zapasów,
  5. wyznaczenie częstości powtórzeń produkcji rodzin wyrobów,
  6. utworzenie poziomowanego planu produkcji,
- W kolejnych podrozdziałach opisano każdy z wymienionych etapów.

### 2.1. Wyznaczenie grupy wyrobów, dla których będzie wprowadzana poziomowana produkcja

Pierwszy etap metodyki dotyczy wyznaczenia grupy wyrobów, dla których ma być wprowadzana poziomowana produkcja. Klasyfikacja asortymentu odbywa się przy pomocy metody zwanej sitem Glendaya [16]. Metoda ta pozwala na podział wyrobów według wielkości sprzedaży. Sito jest pierwszym krokiem przy wdrażaniu produkcji poziomowanej. Dzięki tej metodzie, wyznaczane są grupy wyrobów produkowanych w największych ilościach. W pierwszej kolejności produkcja poziomowana jest wprowadzana właśnie dla tej grupy wyrobów. Kolejne kroki wyznaczania grup wyrobów są następujące:

#### 1. Zbieranie danych

Należy pozyskać dane odnośnie wielkości sprzedaży produkowanych wyrobów oraz obliczyć sumę sprzedaży. Poniżej w tabeli 1 przedstawiono przykład zestawienia wyrobów oraz wielkości sprzedaży na podstawie danych symulacyjnych. Określenie czasu, dla którego wyznaczamy wielkość sprzedaży zależy przede wszystkim od sezonowości wyrobów. Jeśli występuje sezonowość produktów, analizę należy wykonać dla każdego z sezonów osobno. Sezon jest tutaj rozumiany jako okres sprzedażowy wyrobów. Jeśli jednak przedsiębiorstwo nie produkuje wyrobów sezonowych wystarczające będą dane z poprzedniego roku.

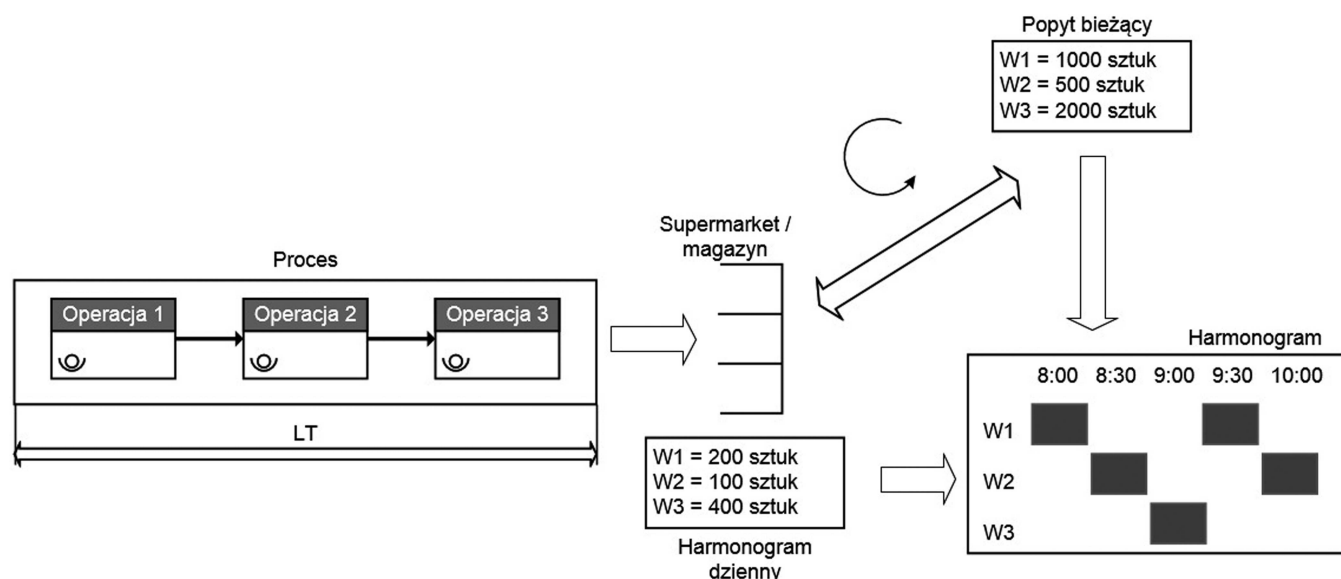
W omawianym przykładzie autorzy założyli, że produkuje się wyroby niesezonowe, sprzedaż wyrażono ilościowo w skali roku.

#### 2. Sortowanie danych

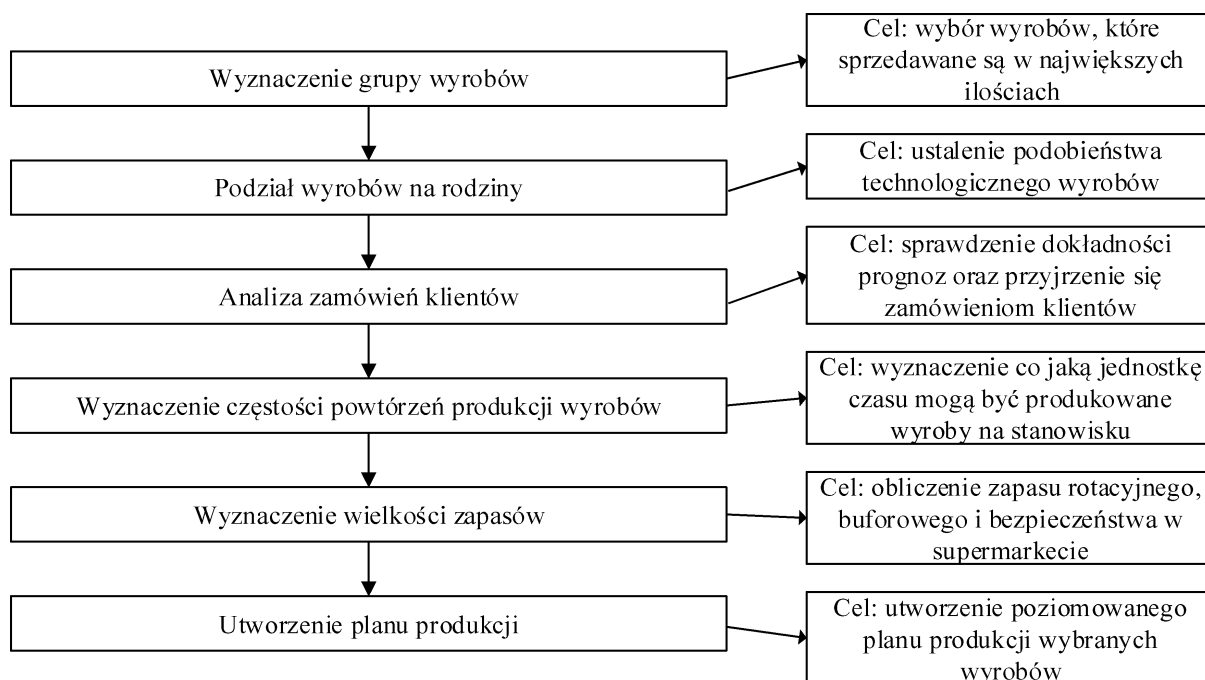
Należy uszeregować wyroby z tabeli 1 malejąco względem wielkości sprzedaży oraz obliczyć sprzedaż w wartościach procentowych w odniesieniu do sumy wszystkich produkowanych wyrobów oraz wyznaczyć ją narastająco. Tabela 2 przedstawia sprzedaż w procentach oraz narastająco dla danych z tabeli 1.

#### 3. Analiza danych

Należy sprawdzić w kolumnie „Sprzedaż narastająco w %”, ile wyrobów składa się na 50% wielkości sprzedaży.



Rys. 1. Zasada działania poziomowanej produkcji



Rys. 2. Metodyka postępowania przy wprowadzaniu poziomowanej produkcji wraz z celem każdego z etapów

Nr	Wyrób	Sprzedaż ilościowo	Nr	Wyrób	Sprzedaż ilościowo
1	E	8200	13	O	4900
2	B	9900	14	N	4900
3	C	9900	15	M	4900
4	X	1500	16	P	4800
5	I	6000	17	D	8500
6	F	7000	18	S	3700
7	G	6900	19	R	4100
8	H	6500	20	U	3500
9	K	5700	21	W	3000
10	J	5800	22	X	2700
11	T	3500	23	Y	2000
12	L	5000	24	A	10000

Tab. 1. Wyroby produkowane przez przedsiębiorstwo wraz z wielkością sprzedaży

Wyrób	Sprzedaż ilościowo	Sprzedaż w %	Sprzedaż narastająco w %	Wyrób	Sprzedaż ilościowo	Sprzedaż w %	Sprzedaż narastająco w %
A	10000	7,5	7,5	M	4900	3,7	71,0
B	9900	7,4	15,0	N	4900	3,7	74,6
C	9900	7,4	22,4	O	4900	3,7	78,3
D	8500	6,4	28,8	P	4800	3,6	81,9
E	8200	6,2	35,0	R	4100	3,1	85,0
F	7000	5,3	40,3	S	3700	2,8	87,8
G	6900	5,2	45,4	T	3500	2,6	90,4
H	6500	4,9	50,3	U	3500	2,6	93,1
I	6000	4,5	54,9	W	3000	2,3	95,3
J	5800	4,4	59,2	X	2700	2,0	97,4
K	5700	4,3	63,5	Y	2000	1,5	98,9
L	5000	3,8	67,3	Z	1500	1,1	100,0

Tab. 2. Wyroby gotowe oraz sprzedaż w % i sprzedaż narastająco w %

Następnie oblicza się procent ilości produktów, które odpowiadają za 50% sprzedaży wg wzoru:

$$\frac{\text{Liczba produktów odpowiadających za 50\% sprzedaży}}{\text{Liczba wszystkich produktów}} \times 100\% = \text{Liczba produktów w \%}. \quad (1)$$

Według metody sita Glendaya krok ten należy powtórzyć kolejno dla 95%, 99% i 1% sprzedaży narastająco. Wyniki dla omawianego przykładu przedstawione są w tabeli 3.

Kody kolorów służą ukierunkowaniu działań wymaganych dla poszczególnych grup. Grupa zielona to wyroby produkowane w największych ilościach. Oznacza to, że dla wybranych wyrobów z tej grupy można będzie wprowadzić produkcję w cyklach o ustalonej sekwencji i stałych ilościach. W pozostałych grupach należy w pierwszej kolejności przeprowadzić proces doskonalenia produkcji oraz unifikacji stosowanych materiałów.

W analizowanym przykładzie do grupy zielonej należy 7 produktów: A, B, C, D, E, F, G i to dla tych wyrobów wprowadzana będzie produkcja poziomowana.

## 2.2. Podział wybranych wyrobów na rodziny

Po wyznaczeniu wyrobów z grupy zielonej należy podzielić je na rodziny wg kryterium podobieństwa technologicznego, czyli procesów technologicznych [13]. Rodzina wyrobów rozumiana jest jako zbiór wyrobów, których procesy technologiczne są do siebie zbliżone. W tym celu zastosowana została macierz, w której porównano przyjęte procesy technologiczne wyrobów A-G (tab. 4).

Z podanej macierzy wynika, że proces technologiczny wyrobów A, E i G, B i C oraz D i F jest podobny, ponieważ zawiera takie same operacje. Zatem wyróżnić można trzy rodziny wyrobów: AEG, BC oraz DF.

Na potrzeby artykułu przyjęto, że jest możliwość wyznaczenia maszyn, na których będą produkowane tylko i wyłącznie wyroby z przyjętych rodzin. Założono również, że każda z operacji wykonywana jest na innej maszynie.

## 2.3. Analiza zamówień klienta

Niezmiernie istotną sprawą przy wprowadzaniu produkcji poziomowanej jest analiza zamówień klienta. Pozwala ona sprawdzić dokładność zakładanych prognoz oraz przyjrzeć się zamówieniom klienta w poszczególnych okresach czasu. W rozpatrywanym tutaj przykładzie w grupie zielonej znajduje się 7 wyrobów. Dla każdego z nich podano już w punkcie 2.2. sprzedaż całkowitą z przeciągu roku. W tym punkcie należy w pierwszej kolejności obliczyć średnią sprzedaż tych wyrobów oraz przewidywaną na ten okres prognozę (tab. 5). W przykładzie założono, że sprzedaż i prognoza wyznaczona zostanie na okres tygodnia. Następnie należy policzyć dokładność prognozy w % wg wzoru:

$$\text{dokładność prognozy \%} = \frac{\text{średnia tygodniowa sprzedaż}}{\text{prognoza tygodniowa}} \times 100\%. \quad (2)$$

Jak widać zakładane prognozy są dość dokładne. Niestety średnie ujęcie roczne nie oddaje rzeczywistych wartości prezentowanych z tygodnia na tydzień. Zatem kolejnym krokiem jest przygotowanie tabeli na przestrzeni kolejnych tygodni w roku. Dla przykładu, w tabeli 6 obliczono

dokładność prognozowania w ujęciu tygodniowym dla wyrobów A i G.

Z przedstawionej tabeli wynika, że sprzedaż w ujęciu tygodniowym, w wielu przypadkach,

nie jest zbieżna z prognozą. Warto się w tym momencie dokładnie przyjrzeć klientom. Czy ich zamówienia rzeczywiście muszą być aż tak zmienne? Może okazać się, że wcale nie muszą, a wahania w popycie wynikają po prostu ze złej metody zamawiania (np. w oparciu o logikę partii).

## 2.4. Wyznaczenie częstości powtórzeń produkcji wyrobów

Wyznaczanie częstości powtórzeń produkcji wyrobów odbywać się może za pomocą wskaźnika EPEI (ang. *Every Part Every Interval*). Wskaźnik ten informuje o tym, jak często możliwe jest wytworzenie każdego spośród wszystkich wyrobów [6]. W przykładzie przyjęto, że liczba wyrobów do wyprodukowania będzie równa średniej dziennej sprzedaży.

$$\frac{\text{LPA}}{\text{MLP}} = \text{EPEI}, \quad (3)$$

gdzie:

LPA – liczba pozycji asortymentowych lub liczba przebrojeń, jaką należy wykonać, by wyprodukować jedną sekwencję wyrobów,

MLP – możliwa liczba przebrojeń w okresie.

Wskaźnik EPEI pozwala wstępnie określić, co jaki czas może zostać powtórzona sekwencja produkcji poszczególnych wyrobów.

W celu wyznaczenia wartości MLP utworzono pomocniczą tabelę obrazującą obliczanie możliwej liczby przebrojeń w okresie dnia przy jednej zmianie produkcyjnej dla stanowiska numer 1 (tab. 7). Na tym stanowisku zgodnie z tabelą 4, produkowane są wszystkie wyroby.

Na potrzeby przykładu przyjęto czas cyklu, dostępny czas pracy, średnią efektywność maszyn oraz średni czas przebrojenia.

W omawianym przykładzie wskaźnik EPEI przyjmie wartość:  $\text{EPEI} = 7/30 = 0,23$ .

Wartość wskaźnika EPEI dla stanowiska nr 1 wynosi 0,23. Wartość ta mówi o tym, że potrzeba 0,23 okresu, w tym przypadku dnia, żeby wyprodukować wszystkie wyroby na stanowisku nr 1.

Dla pozostałych stanowisk wskaźniki EPEI zostały obliczone w ten sam sposób. Wyniki są następujące:

1. Stanowisko 1 – 0,23
2. Stanowisko 2 – 1,0
3. Stanowisko 3 – 0,12
4. Stanowisko 4 – 0,23
5. Stanowisko 5 – 0,42
6. Stanowisko 6 – 0,20
7. Stanowisko 7 – 0,30
8. Stanowisko 8 – 0,23
9. Stanowisko 9 – 0,70
10. Stanowisko 10 – 0,12

Wskaźnik EPEI całego procesu wytwórczego jest taki jak największa wartość wskaźnika spośród wszystkich stanowisk.

Sprzedaż narastająco w %	Liczba produktów w %	Kody kolorów
50	29	Zielony
95	83	Żółty
99	96	Niebieski
1	4	Czerwony

Tab. 3. Procent liczby produktów odpowiadający sprzedaży narastająco

Operacje/Wyroby	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x			x	x	x	x
B	x	x			x	x	x	x	x	x
C	x	x			x	x	x	x	x	x
D	x	x	x		x	x	x	x	x	x
E	x	x	x	x			x	x	x	x
F	x	x	x		x	x	x	x	x	x
G	x	x	x	x			x	x	x	x

Tab. 4. Macierz podobieństwa technologicznego wyrobów

Wyroby	Prognoza tygodniowa	Średnia sprzedaż tygodniowa	Dokładność prognozy w %
A	190	192	98,8%
B	200	190	105,1%
C	180	190	94,5%
D	170	163	104,0%
E	150	158	95,1%
F	130	135	96,6%
G	140	133	105,5%

Tab. 5. Dokładność prognozy dla wyrobów z grupy zielonej

Tydzień/Wyrób		1	2	3	4	5	6	7
A	Sprzedaż	174	210	200	190	185	200	195
	Prognoza	190	190	190	190	190	190	190
	Dokładność prognozy w %	109%	90%	95%	100%	103%	95%	97%
E	Sprzedaż	160	90	200	150	120	170	150
	Prognoza	150	150	150	150	150	150	150
	Dokładność prognozy w %	94%	167%	75%	100%	125%	88%	100%

Tab. 6. Dokładność prognozowania w ujęciu tygodniowym dla wyrobów A i G

Wyroby	A	B	C	D	E	F	G	SUMA
Średnie zapotrzebowanie dzienne	39	38	38	33	32,0	27	27	234
Czas cyklu [h]	0,0017	0,0067	0,0050	0,0033	0,0017	0,0083	0,0033	0,1700
Czas realizacji zapotrzebowania [h]	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	1,0
Dostępny czas pracy [h/dzień]				-				7,7
Średnia Efektywność Maszyn [%]				-				90%
Czas efektywny [h/dzień]				-				6,93
Dostępny czas na przebrojenia				-				5,94
Średni czas przebrojenia [h]				-				0,2
MLP - Możliwa liczba przebrojeń				-				<b>30</b>

Tab. 7. Wyznaczanie możliwej liczby przebrojeń MLP dla stanowiska nr 1

A zatem EPEI dla procesu jest równy 1,0. Oznacza to, że co jeden okres (w tym przypadku jest to dzień roboczy, czyli jedna zmiana ośmiogodzinna) mogą zostać wyprodukowane wszystkie wyroby.

### 2.5. Wyznaczanie wielkości zapasów

Kolejnym krokiem jest wyznaczanie wielkości zapasów wyrobów gotowych w supermarkecie. Ten punkt jest niezwykle istotny, ponieważ w produkcji poziomowanej zamówienia bieżące klienta są realizowane właśnie z supermarketu, bez zmian planu i harmonogramu produkcji. Supermarket to magazyn, w którym wyroby zawsze mają przypisane swoje miejsce, zachowana zostaje kolejka FIFO (ang. *First In First Out*) oraz jest jasno określony maksymalny oraz minimalny poziom wielkości zapasów.

W supermarkecie wyróżnia się trzy rodzaje zapasów:

1. Zapas rotujący – wyroby niezbędne do pokrycia normalnego zapotrzebowania klienta;
2. Zapas buforowy – wyroby niezbędne do pokrycia zmienności w zapotrzebowaniu klienta;
3. Zapas bezpieczeństwa – wyroby niezbędne do pokrycia strat wewnętrznych.

Zapas całkowity w supermarkecie jest sumą zapasu rotującego, buforowego i bezpieczeństwa.

Obliczenia rozpoczyna się od wyznaczenia zapasu rotującego. W zapasie rotującym uwzględnia się średni dzienny popyt oraz czas uzupełnienia wyrobów w magazynie. Czas uzupełnienia jest w gruncie rzeczy wartością maksymalną wskaźnika EPEI dla poszczególnych wyrobów. Wzór na obliczenie tego zapasu jest następujący:

$$\text{Średni popyt} \times \text{czas uzupełnienia} = \text{zapas rotujący} \quad (4)$$

W tabeli 8 przedstawiono zapas rotacyjny dla omawianego przykładu. W kolumnach zawarto popyt dzienny dla wyrobów A-G, założony czas przejścia wyrobu przez proces oraz obliczony zapas rotacyjny.

Wyroby	Średnia sprzedaż dzienna [szt]	Czas uzupełnienia [dni]	Zapas rotacyjny [szt]
A	38	1,0	38
B	38	1,0	38
C	38	1,0	38
D	33	1,0	33
E	32	1,0	32
F	27	1,0	27
G	27	1,0	27

Tab. 8. Zapas rotacyjny dla wyrobów A-G

Wyroby	Współczynnik zmienności	Zapas rotacyjny [szt]	Zapas buforowy [szt]
A	25%	39	10
B	25%	38	10
C	25%	38	10
D	25%	33	8
E	25%	32	8
F	25%	27	7
G	25%	27	7

Tab. 9. Zapas buforowy dla omawianego przykładu

Zapas buforowy związany jest z wartością zapasu rotującego i współczynnikiem zmienności zapotrzebowania. Zapas ten określa się wzorem:

$$\text{Współczynnik zmienności} \times \text{zapas rotujący} = \text{zapas buforowy} \quad (5)$$

Współczynnik zmienności popytu związany jest ze stopniem przewidywalności popytu oraz zakresem zmienności zapotrzebowania na wyroby. W tabeli 9 przedstawiono zapas buforowy dla zapasu rotacyjnego przedstawionego w tabeli 8 dla wyrobów A-G. Przyjęto współczynnik zmienności na poziomie 25%.

Zapas bezpieczeństwa związany jest z zapasem rotującym i buforowym oraz współczynnikiem bezpieczeństwa. Współczynnik ten zależy od wielu czynników, np.: poziom wyrobów niezgodnych, częstość awarii. Wzór na obliczenie tego zapasu jest następujący:

$$\text{Współczynnik bezpieczeństwa (zapas rotujący + buforowy)} = \text{zapas bezpieczeństwa} \quad (6)$$

W tabeli 10 przedstawiono zapas bezpieczeństwa dla wyrobów A-G. Przyjęto współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 20%.

Jak wcześniej wspomniano, zapas całkowity w supermarkecie jest sumą zapasu rotacyjnego, buforowego i bezpieczeństwa. W tabeli 11 przedstawiono obliczony zapas całkowity dla omawianych wyrobów na podstawie tabel 7, 8, 9.

### 2.6. Utworzenie poziomowanego planu produkcji

Ostatnim krokiem metodyki jest wyznaczenie poziomowanego planu produkcji. W tym etapie należy wyznaczyć, ile czasu potrzeba, aby wyprodukować dane rodziny wyrobów. Pod uwagę należy wziąć zapas rotacyjny, czas przejścia wyrobu przez proces oraz zakładaną liczbę przestojów. Poniżej przedstawiono przykład obliczeń dla rodziny AEG.

Wyroby	Współczynnik bezpieczeństwa	Zapasy rotacyjny [szt]	Zapasy buforowy [szt]	Zapasy bezpieczeństwa [szt]
A	20%	39	10	10
B	20%	38	10	10
C	20%	38	10	10
D	20%	33	8	8
E	20%	32	8	8
F	20%	27	7	7
G	20%	27	7	7

Tab. 10. Zapasy bezpieczeństwa dla omawianego przykładu

Wyroby	Zapasy rotacyjny [szt]	Zapasy buforowy [szt]	Zapasy bezpieczeństwa [szt]	Zapasy całkowite [szt]
A	39	10	10	59
B	38	10	10	57
C	38	10	10	57
D	33	8	8	49
E	32	8	8	47
F	27	7	7	41
G	27	7	7	40

Tab. 11. Zapasy całkowite dla omawianych wyrobów

Należy wyprodukować 39 sztuk wyrobu A, 32 sztuki wyrobu E oraz 27 sztuk wyrobu G. Czasy przejścia poszczególnych wyrobów przez proces wynoszą kolejno: 0,01 h/dz, 0,01 h/dz, 0,03 h/dz. Średni czas przebrojeń wynosi 0,2 h. Zakładając, że na wyrób przypada jedno przebrojenie, zatem w tym przypadku będą występowały 3 przebrojenia. A zatem czas potrzebny na wyprodukowanie całej rodziny wyrobów jest następujący:

$$39 \text{ szt.} \times 0,01 \text{ h/dz} + 32 \text{ szt.} \times 0,01 \text{ h/dz} + 27 \text{ szt.} \times 0,03 \text{ h/dz} + 0,6 \text{ h} = 2,27 \text{ h/dz.}$$

Dla rodziny BC i DF obliczenia przeprowadzono w sposób analogiczny. Czas potrzebny na wyprodukowanie rodziny BC wynosi 2,12 h/dz, a dla rodziny DF – 1,64 h/dz.

Przykładowy poziomowany plan produkcji uwzględniający czas dostępny oraz średnią efektywność maszyn dla omawianego przykładu może przybrać postać jak na rysunku 3.

### 3. Ocena skuteczności poziomowania produkcji

Aby sprawdzić skuteczność poziomowania produkcji należy wyznaczyć mierniki jej skuteczności. W zależności od specyfiki przedsiębiorstwa oraz celu wdrażania poziomowanej produkcji autorzy proponują takie mierniki jak: terminowość realizacji zamówień, wielkość zapasów (surowców, produkcji w toku, wyrobów gotowych), zdolność produkcyjną (wielkość produkcji, jaką można uzyskać

w danym okresie przy optymalnym wykorzystaniu zasobów produkcyjnych), czas przejścia wyrobu przez proces. Wspomniane mierniki należy zdefiniować przed wprowadzeniem poziomowanej produkcji. Otrzymane wartości wybranych mierników będzie można porównać z wartościami otrzymanymi po realizacji metodyki. Wyznaczenie ich jest istotne, ponieważ na ich podstawie po wdrożeniu produkcji poziomowanej będzie można sprawdzić, czy ten zabieg przyniósł zakładane efekty, czy też nie.

### 4. Wnioski i dalsze prace

W literaturze można znaleźć różne metody wdrażania produkcji poziomowanej, jednak zdaniem autorów są one niewystarczające bądź trudne do realizacji w warunkach rzeczywistych. Przedstawiona metodyka powstała w oparciu o przemyślenia własne oraz analizę dostępnej literatury zarówno polskiej, jak i światowej.

Zaprezentowana w artykule autorska metodyka pokazuje kroki postępowania przy wprowadzaniu poziomowanej produkcji. Pozwala ona w prosty i zrozumiały sposób wyznaczyć poziomowany plan produkcji w pierwszej kolejności dla wyrobów kluczowych dla przedsiębiorstwa (grupa zielona), a następnie dla pozostałych wyrobów.

Ważne jest zdefiniowanie i wyznaczenie mierników poziomowania produkcji. Znajomość ich wartości pozwala

Dzień/Godzina	1	2	3	4	5	6	7	8
Poniedziałek		AEG			BC			DF
Wtorek		AEG			BC			DF
Środa		AEG			BC			DF
Czwartek		AEG			BC			DF
Piątek		AEG			BC			DF

Rys. 3. Poziomowany plan produkcji

ocenić, czy poziomowana produkcja przynosi zakładane efekty.

Przedstawiona metodyka jest w fazie rozwoju. Kolejnym krokiem prac będzie próba przetestowania metodyki w warunkach rzeczywistych w jednym z wielkopolskich przedsiębiorstw.

#### Literatura:

- [1] Andel T., *Accentuate heijunka, eliminate junk, supply chain flow*, "Material Handling Engineering" 1999, Vol. 54, No. 8, p. 77.
- [2] Araujo L.F.D., Queiroz A.A.D., *Production Leveling (Heijunka) Implementation in a Batch Production System: A Case Study*, International Federation For Information Processing 2010, p. 105-112.
- [3] Baumol W.J., *Economic Dynamics*, Macmillan, London 1951.
- [4] Beckman M.J., *Production smoothing and inventory control*, "Operations Research" 1961, Vol. 9, p. 456.
- [5] Birmingham F., Jelilnek J., *Quick Changeover Simplified The Manager's to Improving Profits with SMED*, Productivity Press, New York 2007.
- [6] Bohnen F., Maschek T., Deuse J., *Leveling of low volume and high mix production based on a Group Technology approach*, "Journal of Manufacturing Science and Technology" 2011, Vol. 4, p. 247-251.
- [7] Buhl M., Bohnen F., Deuse J., Schneider R., *Effiziente Kleinserienfertigung durch Produktionsnivellierung*, "Productivity Management" 2009, Vol. 14, p. 19-22.
- [8] Chabowski P., Rewers P., *Wpływ przebrożeń na elastyczność produkcji*, „Logistyka” 4/2015.
- [9] Chase R.L., *Differing perceptions*, "The Total Quality Management Magazine" 1993, 5 (2), p. 19-21.
- [10] Coleman J.B., Vaghefi M., *Heijunka: a key to the Toyota production system*, "Production & Inventory Management Journal" 1994, Vol. 34, No. 4, pp. 31-35.
- [11] Czarska J., *Doskonalenie strumienia wartości*, Centrum Doradztwa i Informacji Difin Sp. z o.o., Warszawa 2009.
- [12] Dennis P., *Lean Production Simplified*, Productivity Press, New York 2007.
- [13] Domański R., Hadaś Ł., *Technological and organizational similarity coefficient ( $\hat{a}$ ) as a basis for value streams in lean production*, "LogForum" 2008, Vol. 4, Issue 2, No 3.
- [14] Elmaleh J. and Eilon S., *A new approach to production smoothing*, "International Journal of Production Research" 1974, Vol. 12, No. 6, pp. 673-681.
- [15] Fujimoto T., *The Evolution of a Manufacturing System*, Oxford University Press, Toyota, New York 1999.
- [16] Glenday I., *Przejdź na logikę przepływu, przestań gasić pożary i popraw obsługę klienta*, Wydawnictwo Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław 2010.
- [17] Hall R.W., *Zero Inventories*, Irwin, Homewood, IL 1983.
- [18] Hamrol A., *Strategie i praktyki sprawnego działania: Lean, Six Sigma i inne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
- [19] Hopp W.J., Spearman M.L., *Factory Physics*, first ed. Irwin, Chicago 1996.
- [20] Hüttmeir A., Treville S., Ackere A., Monnier L., Prenninger J., *Trading off between heijunka and just-in-sequence*, "Int. Journal Production Economics" 2009, Vol. 118, p. 501-507.
- [21] Korytkowski P., Grimaud F., Dolgiu A., *Exponential smoothing for multi-product lot-sizing with heijunka and varying demand*, "Management and Production Engineering Review" 2014, Vol. 5, No 2, p. 20-26.
- [22] Liker J.K., Meier D., *Droga Toyoty Fieldbook, Praktyczny przewodnik wdrażania 4P Toyoty*, 2011.
- [23] Liker J.K., *The Toyota Way*, McGraw-Hill, New York 2004.
- [24] Monden Y., *Toyota Production System*, Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA 1983.
- [25] Monden Y., *Toyota Management System*, Productivity Press, Portland, OR 1993.
- [26] Pająk E., *Doświadczenia w zakresie wdrażania koncepcji lean manufacturing w małych firmach produkcyjnych*, „Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, nr 6, Poznań 2007.
- [27] Powell D., Alfnes E., Semini M., *The Application of Lean Production Control Methods within a Process-Type Industry?: The Case of Hydro Automotive Structures*, IFIP International Federation for Information Processing 2010, p. 243-250.
- [28] Rinehart J., *After lean production: evolving employment practices in the world auto industry*, "American Journal of Sociology" 1997, Vol. 104, No. 4, p. 1212-1214.
- [29] Schonberger, R.J., *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*. Free Press, New York 1982.
- [30] Szydełko M., *Logistyczna obsługa klienta jako element kształtowania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa*, „Czasopismo Logistyka” nr 5/2012,
- [31] Teece D.J., Pisano G., Shuen A., *Dynamic capabilities and strategic management*. "Strategic Management Journal" 1997, 18 (7), p. 509-533.
- [32] Waters D., *Zarządzanie operacyjne. Towary i usługi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [33] Womack J.P., Jones D.T., Roos D., *The Machine that Changed the World*. Harper Collins Publishers, New York 1990.
- [34] Xiaobo Z., Zhou Z. and Asres A., *A note on Toyota's goal of sequencing mixed models on an assembly line*, "Computers & Industrial Engineering" 1996, Vol. 36, pp. 57-65.
- [35] Yano C., Rachamadugu R., *Sequencing to minimize overload in assembly lines with product options*, "Management Science" 1991, Vol. 37, No. 5, p. 572.
- [36] Van Staden M., Du Plessis W., *Being the lean dream*, CIE42 Proceedings, 16-18 July 2012, Cape Town, South Africa.



## **METHODOLOGY OF CONDUCT IN PROVIDING CREATION OF REPEATABLE PRODUCTION PLAN**

### **Key words:**

production leveling, EPEI, production plan

### **Abstract:**

This article presents an original methodology of implementation of repeatable production plan. After analyzing the available literature, both Polish and world, and their own thoughts, it was found that the available methods of implementation production leveling are imprecise or difficult to implement in real conditions. Accordingly, an attempt was made creation of such to the methodology that would be simple to implement the in enterprises.

The methodology consists of six steps procedure. The first step is to choose products which will be implemented leveled production. For this purpose uses a sieve Glenday. Sieve Glenday allows it to designate products made of “green group” that is, those that are most commonly sold. The next step is the division of products families, according to the similarity criterion of technological products. For this purpose uses matrix similarity technological products. The third step is the analysis of customer orders for products from the “green group”. For this purpose to be determined the average weekly sales of products. Then, on the basis of the forecast is calculated weekly forecast accuracy. This step is particularly important to the company so far has proven demand fluctuations and verifiability forecasts. The fourth step is to determine the frequency of repetitions production products. This is done using EPEI gauge, which informs how often it is possible to produce the next sequence products.. The next step is determining the volume of stocks: cycle, buffer, safety in the warehouse of finished products. In the production leveling it said that the store is called. Supermarket different from the traditional magazine primarily that is always retained FIFO. The last step is to create reproducible production plan.

To check the leveling of production to be determined gauges the effectiveness of the leveling of production, for example volume of stocks, production capacity, etc. Evaluation of effectiveness of the leveling of production is particularly important because it helps determine whether production leveling brought the desired effect or not.

Presented in the article the methodology is under development. The next step of the work will attempt to test the methodology in real conditions in the enterprise.

**Prof. dr hab. inż. Adam HAMROL**  
**dr inż. Krzysztof ŻYWICKI**  
**mgr inż. Paulina REWERS**  
**mgr inż. Przemysław CHABOWSKI**

Politechnika Poznańska  
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji  
paulina.h.rewers@doctorate.put.poznan.pl