

WYBRANE PROBLEMY PLANOWANIA PRODUKCJI WIELOASORTYMENTOWEJ O POPYCIE SEZONOWYM

Arkadiusz GOLA

Streszczenie: Możliwość skutecznego konkurowania na globalnym rynku klienta o zindywidualizowanych preferencjach zakupowych wymusza na przedsiębiorstwach konieczność rozszerzania oferty asortymentowej produkowanych wyrobów. W wielu przypadkach produkty te charakteryzują się popytem sezonowym. Obydwa te czynniki implikują określone problemy mające przełożenie na proces planowania produkcji. W niniejszym artykule przybliżono zagadnienie planowania produkcji wieloasortymentowej o popycie sezonowym ze szczególnym uwzględnieniem występujących w nich problemów oraz proponowanymi rozwiązaniami.

Słowa kluczowe: planowanie produkcji, produkcja wieloasortymentowa, popyt sezonowy.

1. Wprowadzenie

Aktualne wymagania rynkowe przejawiające się w zindywidualizowaniu potrzeb klientów nakładają na przedsiębiorstwa konieczność różnicowania asortymentu produkowanych wyrobów [1, 2]. Stwarza to sytuację, w której przedsiębiorstwa, by być konkurencyjnymi na rynku w swojej ofercie często muszą posiadać kilka, kilkanaście a czasami nawet kilkadziesiąt pozycji asortymentowych. Zjawisko to nakłada określone wymagania, zarówno w obszarze projektowania systemów produkcyjnych [3, 4, 5], jak i w sferze działań zarządzania operacyjnego [6, 7]. Planowanie i zarządzanie produkcją tak szerokiego wachlarza wyrobów nakłada na przedsiębiorstwa wymóg zmierzenia się z określonymi problemami o charakterze organizacyjnym.

Co więcej, w wielu przypadkach produkowane wyroby charakteryzują się popytem sezonowym, co implikuje okoliczności, w których w przeciągu okresu rozliczeniowego (najczęściej roku) mają miejsce sytuacje, gdzie w niektórych miesiącach popyt w znacznym stopniu przekracza zdolności produkcyjne – co uniemożliwia realizację napływających zamówień; w innych zaś popyt jest tak niewielki, że przedsiębiorstwa muszą decydować się na przestoje produkcyjne, wysyłając pracowników na płatne bądź bezpłatne urlopy – posiadany park maszynowy pozostaje zaś w dużym stopniu niewykorzystany [8, 9]. Naturalnym rozwiązaniem, na który często decydują się przedsiębiorstwa jest utrzymywanie olbrzymiego magazynu wyrobów gotowych, który ma stanowić bufor, umożliwiając realizację zleceń w okresie natężonego popytu. Niestety w wielu przypadkach, ze względu na szeroki asortyment posiadanych wyrobów, uzupełnianie stanów magazynowych ma charakter intuicyjny (bez uwzględnienia rzeczywistego zapotrzebowania) co powoduje, że mimo posiadania wysokich stanów magazynowych, poziom realizacji zamówień w okresie zintensyfikowanego popytu sięga tylko 60-70%, podczas gdy po takim okresie stan magazynu ulega stosunkowo niewielkiemu zmniejszeniu.

W szczególnie trudnej sytuacji znajdują się małe i średnie przedsiębiorstwa, które w wielu wypadkach nie posiadają odpowiednich narzędzi wspomagających zarządzanie

produkcją dla takiego typu produkcji [2]. W niniejszym artykule przedstawiono ważniejsze problemy z obszaru planowania produkcji, z jakimi borykają się przedsiębiorstwa realizujące produkcję wielosortymentową o zmiennym (sezonowym) popycie. Wskazano również propozycje i narzędzia radzenia sobie z tego typu problemami.

2. Problem 1 – Produkcja na zamówienie czy według planu?

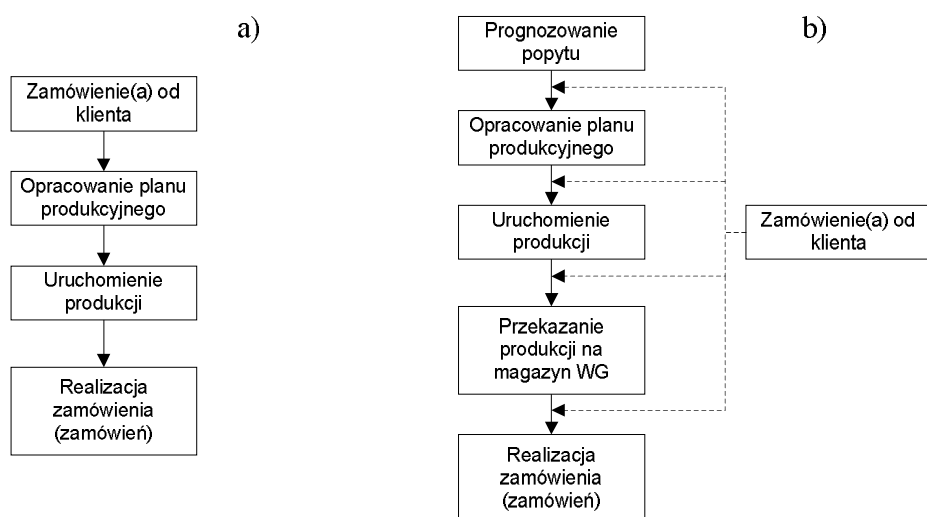
Charakter popytu, rodzaj klientów oraz częstotliwość realizacji dostaw w bezpośredni sposób mają przełożenie na charakter produkcji a tym samym, rodzaj przepływu produkcji oraz związany z tym rodzaj sterowania. W klasycznym ujęciu wyróżnia się dwa modele:

- 1) produkcja realizowana na magazyn (ang. *Make to Stock* – MTS),
- 2) produkcja na zlecenie (ang. *Make to Order* – MTO).

Produkcja *Make to Stock* wiąże się przede wszystkim z produkcją powtarzalną, której wyroby są przeznaczone na magazyn. Odbiorcami takich wyrobów są zazwyczaj hurtownicy, duże sklepy, centra logistyczno-dystrybucyjne. Jednocześnie można zaobserwować duże wymagania w zakresie zmienności produktu oraz szybkiej reakcji na oczekiwania rynku. Prowadzą one do intensywnego rozwoju przedsiębiorstw produkcyjnych, w szczególności przedsiębiorstw średnich, małych i mikro, produkujących na zlecenie klienta. Produkcja na magazyn zazwyczaj jest wykonywana w systemach silnie zautomatyzowanych, nie wymagających szczególnej obsługi.

Produkcja *Make to Order* związana jest z obserwowaną tendencją do poszukiwania przez klientów produktów niepowtarzalnych: pociąga to za sobą konieczność zmian i przekształcenia produkcji masowej na magazyn, wykonywanej na liniach produkcyjnych zsynchronizowanych, w produkcję zmienną, wykonywaną na zlecenie innych firm oraz produkcję na bezpośrednie zamówienie klienta. Taka produkcja jest wykonywana w systemach charakteryzujących się dużą uniwersalnością wyposażenia [10].

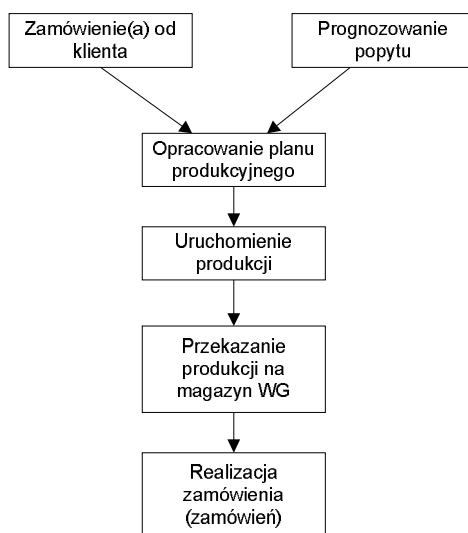
Proces planowania i realizacji zleceń produkcyjnych dla obydwu wyżej przedstawionych modeli został schematycznie pokazany na rys. 1.



Rys. 1. Przebieg procesu produkcyjnego według koncepcji: a) *Make to Order* b) *Make to Stock*

Należy zauważyć, iż w przypadku produkcji wieloasortymentowej o sezonowym charakterze popytu, żaden niniejszych modeli nie ma możliwości lub jest bardzo trudny do zastosowania. Przyjęcie modelu MTO powoduje sytuację w której w okresach wzmożonego popytu, przekraczającego wielkość zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwo nie będzie mogło zrealizować napływających zamówień (w okresie ograniczonego popytu – sytuacja będzie odwrotna i pojawi się problem zagospodarowania wolnych mocy produkcyjnych). Sezonowość popytu i związane z tym problemy w naturalny sposób narzucają konieczność wzięcia pod uwagę możliwość wyrównywania wielkości produkcji w całym okresie rozliczeniowym, traktując magazyn wyrobów gotowych jako bufor pomiędzy zmiennym popytem a ustabilizowaną względnie wielkością produkcji. Niestety tego typu podejście (oparte na modelu MTS) nakłada konieczność prognozowania popytu dla każdej pozycji asortymentowej, co w przypadku szerokiej oferty jest zadaniem niezwykle trudnym.

W związku z powyższym, racjonalnym wydaje się zastosowanie modelu mieszanego (rys. 2), w którym dla części wyrobów zastosowanie znajdzie model *Make to Stock*; dla pozostałych zaś modelu *Make to Order*.



Rys. 2. Przebieg procesu produkcyjnego według koncepcji mieszanej

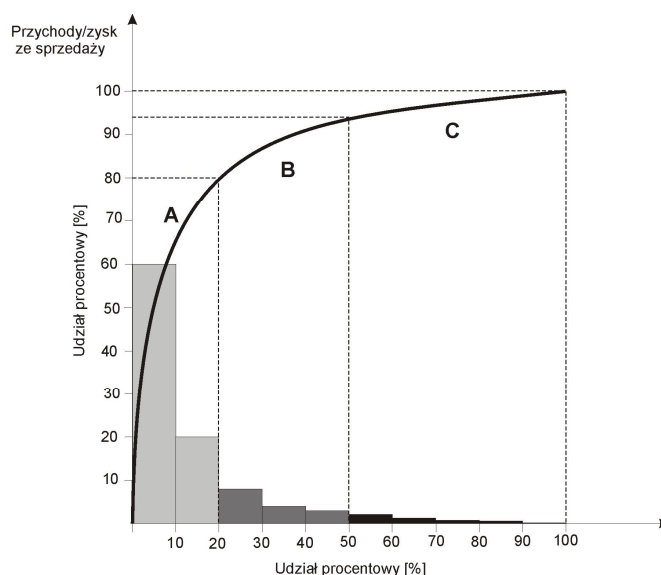
Zastosowanie modelu mieszanego definiuje problem polegający na określeniu, w przypadku których wyrobów należy zastosować model MTS – w których zaś produkcja powinna być realizowana według modelu MTO. Analiza sprzedaży poszczególnych pozycji asortymentowych w okresach historycznych pokazuje, iż mimo dużej liczby posiadanych w ofercie pozycji asortymentowych – tylko stosunkowo niewielka ich ilość generuje większość przychodu (zysku na działalności operacyjnej) przedsiębiorstwa.

Jednym z nasuwających się możliwych rozwiązań jest ograniczenie oferty przedsiębiorstwa poprzez wycofanie z niej wyrobów, które charakteryzują się niskim poziomem sprzedaży lub też niskim poziomem generowanego przychodu lub zysku.

W wielu przypadkach, ze względu na prowadzoną politykę marketingową tego typu rozwiązanie nie jest możliwe do przyjęcia.

W związku z powyższym, w celu określenia sposobu realizacji produkcji dla poszczególnych grup pozycji asortymentowych jednym z możliwych rozwiązań jest wykorzystanie analizy ABC połączonej z analizą XYZ.

Analiza ABC należy do metod analitycznych i bazuje na tzw. prawie Pareto, zwanym również zasadą Pareto (*Pareto principle, Pareto rule*), mówiącym, że ok. 20% elementów wpływa w 80% na efekty danego zagadnienia [11]. Standardowo system klasyfikacji według analizy ABC pozwala podzielić pozycje asortymentowe na trzy grupy, według określonego kryterium (np. wielkości generowanego przychodu lub wielkości generowanego zysku) – rys. 3. Najważniejsze znaczenie mają pozycje asortymentowe, które tworzą grupę A. Są to bardzo wartościowe jednostki (*vital few*). Mniejsze przychody lub zysk generują pozycje asortymentowe z grupy B, a następnie C. Stanowią one większość, zwaną zwykłą masą (*trivial many*).



Rys. 3. Interpretacja analizy ABC w kategoryzacji pozycji asortymentowych

W wielu przypadkach, zwłaszcza, gdy wszystkie lub zdecydowana większość produkowanych wyrobów charakteryzuje się popytem sezonowym, analiza ABC jest w pełni wystarczająca i umożliwia podjęcie decyzji o sposobie realizacji produkcji dla poszczególnych pozycji asortymentowych. W sposób oczywisty wyroby z grupy A predestynowane są do produkcji według modelu MTS – ponieważ to one w dużej mierze decydują o generowanym przychodzie lub zysku ze sprzedaży. Wyroby z grupy C – zwykle stanowiące stosunkowo dużą ilość pozycji asortymentowych generują przychód lub zysk niewielki – produkcja ich więc powinna odbywać się typowo według modelu *Make to Order* a w magazynie w tylko wyjątkowych sytuacjach powinno się utrzymywać minimalny stan zapasów tych wyrobów. W przypadku produktów z grupy B najbardziej uzasadnionym rozwiązaniem wydaje się realizacja produkcji oparta na uzupełnianiu zapasów w magazynie wyrobów gotowych. Określenie poziomu tych zapasów dla każdej

z pozycji powinno być realizowane indywidualnie w oparciu o wskaźniki rotowalności zapasów – problematyka ta jednak wykracza poza zakres niniejszego opracowania.

W wielu przypadkach, zwłaszcza przy pierwszej analizie (lub okresowo) zasadnym wydaje się pogłębienie przeprowadzonej analizy ABC o analizę XYZ, która jest szczególną odmianą analizy ABC. Jest ona budowana na podstawie struktury zużycia pozycji asortymentowych. Zapasy wyrobów gotowych mogą być pobierane i sprzedawane z różną intensywnością. Wśród produktów mogą być bowiem takie, których sprzedaż jest względnie równomierna, będą też takie, które są pobierane nieregularnie lub sporadycznie. Nieregularność pobrań oczywiście związana może być z sezonowością lub pojawiającym się trendem. Szczegółowy sposób analizy XYZ został przedstawiony w pozycji [11].

W grupie X znajdują się te pozycje asortymentowe, które charakteryzują się wysoką regularnością zużycia a zapotrzebowanie na poszczególne asortymenty jest względnie równomierne. Asortymenty te nie muszą być sprzedawane w dużych ilościach – kluczową kwestią jest tu regularność zużycia, która powoduje, że prognozy zużycia mogą być opracowywane z dużą dokładnością (zob. pkt 3). Do grupy Y przyporządkowane są pozycje asortymentowe o zmiennej sprzedaży – zarówno te charakteryzujące się sezonowością, jak i te, dla których można wyznaczyć linię trendu. Dla pozycji z grupy B możliwe jest również określenie prognoz popytu (pkt. 3). W grupie Z klasyfikowane są pozycje asortymentowe, które charakteryzują się bardzo wolną rotacją i nieregularnym zużyciem. To powoduje, że sprzedaż lub zużycie tych asortymentów obarczone jest bardzo dużym ryzykiem niepewności i nieprzewidywalności. Dlatego grupa tych asortymentów zazwyczaj nie podlega prognozowaniu, gdyż jest ono nieskuteczne.

Połączenie wyników analizy ABC oraz XYZ jest analizą dwukryterialną, która pozwala uzyskać więcej informacji na temat zmienności sprzedawanych produktów, ich wpływu na przychód/zysk ze sprzedaży, niezbędnych do podjęcia decyzji o zastosowanym modelu planowania produkcji. Połączenie wyników, pozwala na wyodrębnienie dziewięciu możliwych grup pozycji asortymentowych (Tab. 1).

Tab. 1. Grupy asortymentowe według analizy ABC/XYZ

Grupy ABC/XYZ	A	B	C
X	AX	BX	CX
Y	AY	BY	CY
Z	AZ	BZ	CZ

Grupa AX jest podgrupą pozycji asortymentowych generujących większość przychodu/zysku ze sprzedaży o względnie regularnym popycie. Grupa BX to grupa, w której asortymenty mają średnią wartość obrotu. Tu również występuje względne zrównoważenie zużycia, co pozwala na uzyskanie prognoz obciążonych niewielkim błędem. Grupa CX charakteryzuje się niską wartością obrotu, ale dużą stabilnością zapotrzebowania i tym samym łatwością sporządzania prognoz.

Grupa AY skupia pozycje asortymentowe o dużej wartości przychodu/zysku. Ich sprzedaż w czasie jest jednak zmienna. Są to produkty, dla których możliwe jest wyznaczenie linii trendu (np. produkty wschodzące lub starzejące się). Do grupy tej należą również wyroby o sezonowym charakterze sprzedaży. To sprawia, że jeżeli zaistniała by konieczność prognozowania popytu – metody prognozowania muszą być prawidłowo dobrane. Grupa BY charakteryzuje się średnią wielkością obrotu oraz nieregularnym

zapotrzebowaniem obciążonym mniejszą pewnością; grupa CY to zaś asortymenty o małej wartości obrotu i nieregularnym zużyciu.

Grupa AZ jest specyficzną grupą, do której przyporządkowane są towary o wysokiej wartości przychodu/zysku, ale niewielkim, wręcz sporadycznym zużyciu. Wartość ta jest najczęściej zależna od bardzo wysokiej ceny produktu lub wysokiego zysku jednostkowego. Incydentalne zużycie powoduje, że asortyment ten trudno jest prognozować. Grupa BZ charakteryzuje się średnią wartością przychodu/zysku i nieregularnością zapotrzebowania. Grupa CZ zawiera również pozycje asortymentowe o incydentalnym zużyciu, a ich wartość generowanego przychodu lub zysku jest mała.

Przeprowadzone powyżej rozważania wskazują, iż w przypadku gdy mamy do czynienia z produktami, z grup AX, AY i AZ – preferowanym modelem realizacji procesu produkcyjnego jest model oparty na koncepcji MTS. Dla pozycji z grup CX, CY i CZ ze względu na licznosc i niewielki wpływ na generowany przychód lub zysk preferowanym modelem produkcji jest produkcja w systemie MTO – w większości przypadków utrzymywanie zapasu tych wyrobów generuje koszt przekraczający zysk z ich sprzedaży.

W przypadku gdy większość produktów firmy charakteryzuje się sezonowością sprzedaży, grupą wymagającą szczegółowej analizy i indywidualnego podejścia jest grupa BY. Jest to bowiem zwykle stosunkowo liczna grupa wyrobów, która posiada również znaczny wpływ na poziom generowanego przychodu lub zysku – tym samym rozważenia wymaga zasadność realizacji produkcji dla wszystkich lub wybranych produktów po szczegółowej analizie wyrobów według modelu MTS.

3. Problem 2 – Jak opracować prognozę popytu?

Wykonanie dokładnej prognozy popytu pozwala przedsiębiorstwom na utrzymanie mniejszego zapasu bezpieczeństwa, przy zachowaniu odpowiedniego poziomu realizacji zleceń. Metody prognozowania popytu mogą zostać podzielone na:

1. Metody szeregów czasowych, które są funkcją wcześniejszych wartości popytu.
2. Metody przyczynowo-skutkowe, które uwzględniają wpływ czynników zewnętrznych, np. zmian pogody.

Do prognozowania stosuje się najczęściej metody szeregów czasowych. Nie wymagają pozyskiwania danych zewnętrznych. Metody te oparte są na opracowanych modelach matematycznych. W literaturze prezentowane są metody oparte na analizie szeregów czasowych, umożliwiające prognozowanie popytu zarówno dla produktów charakteryzujących się względnie stałym popytem, jak również tych dla których popyt wykazuje charakter zmienny (możliwy do przybliżenia linią trendu lub też wyrobów o charakterze sezonowym) [11,12,13,14]. Metody te podzielić można na:

1. Metody prognozowania krótkoterminowego dla szeregów czasowych, które nie charakteryzuje zmienność trendu. Wyróżnia się tu:
 - metodę naiwną,
 - metodę średniej arytmetycznej,
 - metodę średniej arytmetycznej ruchomej,
 - metodę średniej arytmetycznej ruchomej z filtrem,
 - metodę średniej arytmetycznej ruchomej ważonej,
 - metodę wygładzania wykładniczego I rzędu (model Browna).
2. Metody prognozowania krótkoterminowego, przy występowaniu zmian trendu:
 - Wygładzanie wykładnicze wg. modelu Holta.
3. Metody prognozowania długoterminowego, przy braku sezonowości:

- Regresja liniowa.
- 4. Metody prognozowania długoterminowego popytu, który charakteryzuje się zmiennością sezonową:
 - Metoda Wintersa,
 - Metody współczynników sezonowości.

W przypadku, gdy w przedsiębiorstwie większość produktów charakteryzuje się zmiennością popytu o charakterze sezonowym – zastosowanie dla prognozowania popytu dla tych produktów znajdują metody przedstawione w pkt. 4. Metoda (model) Wintersa należy do klasy modeli wygładzania wykładniczego i pozwala na tworzenie prognoz krótkookresowych. W większości przypadków metodą, która jest prosta w zastosowaniu (nie wymaga narzędzi optymalizujących) i przynosi w pełni zadawalające wyniki jest metoda współczynników sezonowości (*multiplicative seasonal metod, MSE*).

Metoda współczynników sezonowych jest metodą średniokresową, w której wykorzystywany jest tak zwany współczynnik sezonowy (*seasonal factor*). Pozwala ona na opracowanie prognoz popytu dla produktów sezonowych, które w długim okresie charakteryzuje określona (rosnąca, malejąca lub stała) tendencja sprzedaży (trend). Do analizy wahań i prognozy przyszłego zapotrzebowania potrzebne są dane historyczne miesięczne, kwartalne lub roczne z kilku ostatnich lat (zob. np. tab. 2).

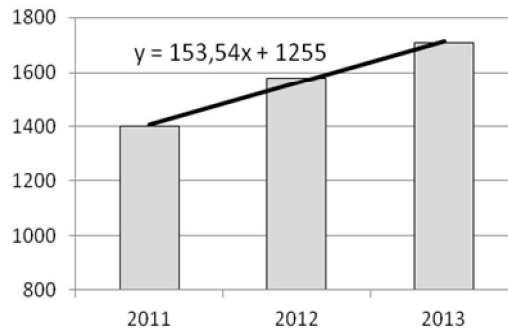
Tab. 2. Dane dotyczące wielkości sprzedaży wyrobu w latach 2011-2013 (przykład)

2011												
m-c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wlk. sprzed. (szt.)	511	605	637	1001	1615	1836	2536	3006	1654	1478	1023	913
2012												
m-c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wlk. sprzed. (szt.)	604	623	927	1167	1745	1905	2785	3303	2056	1638	1269	897
2013												
m-c	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wlk. sprzed. (szt.)	747	811	978	1268	1793	2058	2769	3548	2174	1939	1708	7057

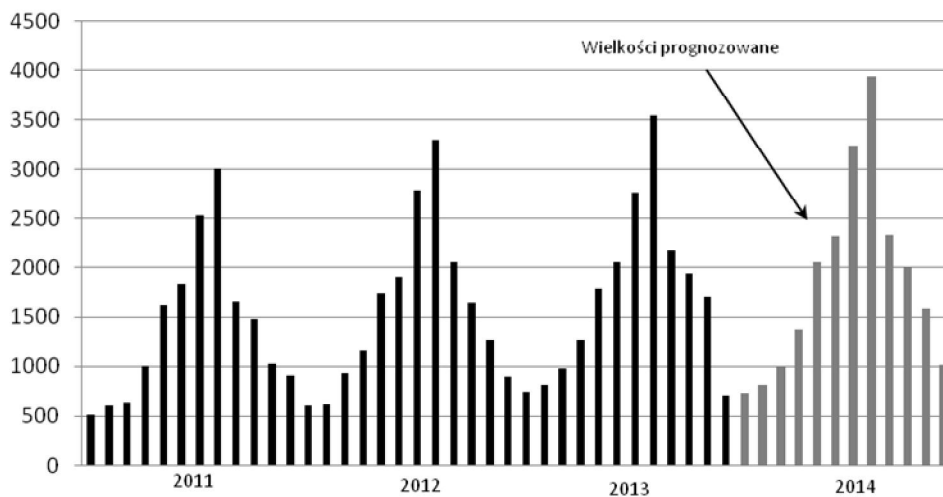
Procedura wyznaczania prognozy popytu wg metody współczynników sezonowych sprowadza się do realizacji następujących czynności:

1. Określenie średniej wielkości sprzedaży dla każdego z poprzednich lat;
2. Wyznaczenie współczynnika sezonowego dla każdego z miesięcy (dla każdego z lat oddzielnie);
3. Wyznaczenie średnich współczynników sezonowych dla każdego z miesięcy;
4. Wyznaczenie linii trendu dla średnich wielkości sprzedaży dla każdego z lat;
5. Wyznaczenie średniej wstępnej prognozy sprzedaży z wykorzystaniem metod regresji liniowej;
6. Wyznaczenie prognoz miesięcznych na kolejny (prognozowany) rok.

Wykresy przedstawiające prostą trendu i równanie prostej regresji liniowej oraz wielkości sprzedaży w latach 2011-2013 wraz z opracowaną niniejszą metodą, prognozą popytu na rok 2014 zostały przedstawione na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Równanie trendu i równanie prostej regresji liniowej dla danych z tab. 2



Rys. 5. Rzeczywiste wielkości sprzedaży w latach 2013 i prognoza popytu na rok 2014

Oczywiście metoda współczynników sezonowości, jako metoda prognozowana znajduje zastosowanie dla pozycji asortymentowych z grup AY i BY wyłonionych w analizie ABC/XYZ. O ile w przedsiębiorstwie zidentyfikowano pozycje asortymentowe należące do grup AX lub AY zastosowanie mogą znaleźć również inne metody prognozowania dla popytu względnie stałego.

4. Problem 3 – Jak sporządzić zagregowany plan produkcji?

Opracowana prognoza popytu stanowi dane wejściowe do opracowania planu produkcyjnego bazującego na przyjętym modelu MTS. Po przełożeniu prognozy sprzedaży na wielkość posiadanych zdolności produkcyjnych, następnym krokiem jest opracowanie zagregowanego planu produkcji. Dwa podstawowe rodzaje zagregowanych planów produkcji to plany wyrównane i dostosowawcze [15]. Najważniejsza różnica pomiędzy nimi dotyczy tego, w jaki sposób zmieniają się poziomy produkcji i zapasów.

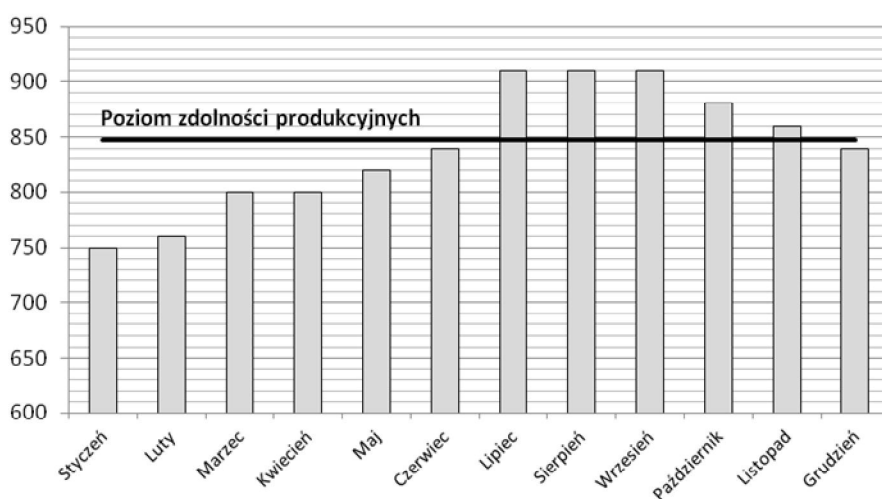
W przypadku *wyrównanego planu produkcji* wielkość produkcji jest stała, a zapasy pochłaniają różnicę pomiędzy produkcją a sprzedażą. *Dostosowawczy plan produkcji* jest przeciwieństwem planu wyrównanego. W tym przypadku wielkość produkcji jest zmieniana w każdym okresie w celu dopasowania się do prognozy sprzedaży. W wyniku tego poziom produkcji dostosowuje się do popytu [14].

Niestety w sytuacji, gdy większość produktów firmy stanowią produkty o sprzedaży sezonowej zastosowanie w czystej postaci planu dostosowawczego jest często niemożliwe. W celu zobrazowania tego typu sytuacji założmy, że przedsiębiorstwo produkcyjne którego miesięczne moce produkcyjne wynoszą 848 szt., określiło prognozowany popyt dla grupy wyrobów na poziomie przedstawionym w tab. 3.

Tab. 3. Dane dotyczące prognozy popytu na określony produkt (przykład)

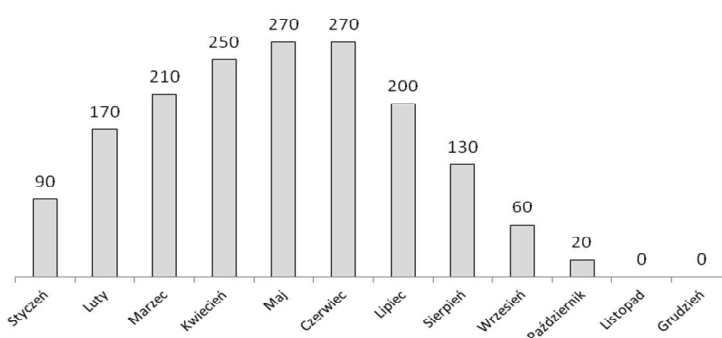
Miesiąc	Prognoza popytu	Miesiąc	Prognoza popytu
Styczeń	750	Lipiec	910
Luty	760	Sierpień	910
Marzec	800	Wrzesień	910
Kwiecień	800	Październik	880
Maj	820	Listopad	860
Czerwiec	840	Grudzień	840

Jak pokazano na rys. 6 w okresie roku, w niektórych miesiącach popyt znacznie przekracza poziom zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa, podczas gdy w innych następuje nadwyżka posiadanych zdolności produkcyjnych. Oczywiście, w przypadku natężonego popytu często istnieje możliwość zwiększenia posiadanych zdolności produkcyjnych, np. poprzez uruchomienie pracy w nadgodzinach – często jednak rozwiązaniem to i tak nie daje możliwości realizacji produkcji na poziomie nadchodzących zamówień od klientów.



Rys. 6. Porównanie prognozowanych wielkości popytu z poziomem posiadanych zdolności produkcyjnych

Pozornie, predestynowanym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie planu wyrównanego, według którego uśredniona wielkość produkcji wynosząca 840 szt. miesięcznie zapewniała by praktycznie całościowe wykorzystanie mocy produkcyjnych z zachowaniem niewielkiej rezerwy dla realizacji zleceń z grupy B i C realizowanych według modelu MTO. Kwestią niezbędną do dalszych analiz jest możliwość i koszt utrzymania wymaganych poziomów zapasów stanowiących bufor pomiędzy wielkością popytu, a wielkością produkcji. Jak pokazano na rys. 7, dla analizowanego przypadku, poziom zapasów wyrobów gotowych waha się w granicach 0-270 sztuk/miesięcznie – liczba magazynowanych wyrobów w ciągu roku wynosi łącznie 1670 sztuk.



Rys. 7. Poziom stanów magazynowych w poszczególnych miesiącach przy wyrównanym planie produkcyjnym

Dla przykładu można zadać pytanie – czy w miesiącach wzmożonego popytu nie było by bardziej opłacalne uruchomienie produkcji w nadgodzinach aniżeli utrzymywanie magazynu wyrobów w rozmiarze umożliwiającym gromadzenie tak wysokich zapasów? Inaczej mówiąc – czy istnieje możliwość opracowania zagregowanego planu produkcyjnego „mieszanego”, który umożliwi uzyskanie minimalnych kosztów wytwarzania i magazynowania przy jednoczesnym spełnieniu ograniczeń organizacyjnych wynikających ze specyfiki przedsiębiorstwa (maksymalna wielkość posiadanego magazynu, możliwość zwalniania/zatrudniania pracowników, możliwość uruchomienia produkcji w nadgodzinach). Tak sformułowane zagadnienie jest NP-trudnym problemem optymalizacyjnym o funkcji celu w postaci równania (1).

$$K_M = k_{rm} \sum_{i=1}^{i=12} n_{irm} + k_{ro} \sum_{i=1}^{i=12} n_{iom} + k_e \sum_{i=1}^{i=12} n_{ie} + k_d \sum_{i=1}^{i=12} n_{id} + k_s \sum_{i=1}^{i=12} n_{is} \rightarrow \min \quad (1)$$

gdzie:

K_M – całkowity koszt wytwarzania i magazynowania, k_{rm} – koszt jednostkowy produkcji regularnej, n_{irm} – liczba wyrobów wyprodukowana w normalnym czasie pracy w miesiącu i , k_{ro} – koszt jednostkowy produkcji w nadgodzinach, n_{iom} – liczba wyrobów wyprodukowana w nadgodzinach w miesiącu i , k_e – koszt zatrudnienia pracownika, n_{ie} – liczba zatrudnionych pracowników w miesiącu i , k_d – koszt zwolnienia pracownika, n_{id} – liczba zwolnionych pracowników w miesiącu i , k_s – jednostkowy koszt magazynowania, n_{is} – liczba magazynowanych wyrobów w miesiącu i .

W ramach przeprowadzonych prac badawczych opracowano narzędzie umożliwiające generowanie mieszanego zagregowanego planu produkcji wykorzystujące teorię algorytmów genetycznych. Szczegółowe rozwiązania i analizy dla danych przedstawionych powyżej zostały przedstawione w pracy [16]. Jak pokazano w tab. 4 wykorzystanie algorytmów genetycznych pozwala na opracowanie planów produkcyjnych charakteryzujących się niższym całkowitym kosztem produkcji i magazynowania. Porównanie otrzymanych wyników pokazuje, iż całkowity koszt dla planu mieszanego (zoptymalizowanego) bez ograniczeń jest niższy o prawie 60 tys. zł aniżeli w przypadku planu dostosowawczego oraz niższy o prawie 75 tys. zł w porównaniu z planem wyrównanym.

Tab. 4. Porównanie poszczególnych grup kosztów w różnych wariantach zagregowanego planu produkcji

	Plan wyrównany	Plan dostosowawczy	Plan mieszany
Koszty produkcji regularnej	20 160 000 zł	19 712 000 zł	19 968 000 zł
Koszty produkcji w nadgodzinach	0 zł	474 260 zł	197 952 zł
Koszty zatrudnień i zwolnień	16 250 zł	39 000 zł	19 500 zł
Koszt utrzymania zapasów	114 800 zł	50 240 zł	30 680 zł
Koszt całkowity:	20 291 050 zł	20 275 500 zł	20 216 132 zł

5. Wnioski

Tak zwany rynek klienta oraz globalna konkurencja powodują, iż zjawisko wieloasortymentowości będzie zjawiskiem coraz bardziej powszechnym. Mimo częstych prób ograniczenia asortymentu produkowanych wyrobów, działania te okazują nieskuteczne lub krótkofalowe. W wielu przypadkach sprzedaż części lub większości produkowanych wyrobów ma charakter sezonowy, co powoduje określone problemy w zakresie odpowiedniego planowania i realizacji procesów produkcyjnych.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane problemy z zakresu planowania produkcji wieloasortymentowej o popycie sezonowym. W szczególności analizie poddane zostały problemy wyboru modelu planowania produkcji (*Make to Stock* lub *Make to Order*) dla poszczególnych grup asortymentowych wyszczególnionych z wykorzystaniem analizy ABC i XYZ. Wskazano również możliwości metody prognozowania popytu dla wyszczególnionych grup asortymentowych, a także przybliżono problematykę opracowywania zagregowanych planów produkcyjnych dla wyrobów produkowanych w oparciu o model MTS.

Ze względu na ograniczony zakres pracy, skupiono się wyłącznie na przedstawieniu samej problematyki dotyczącej planowania produkcji wieloasortymentowej o popycie sezonowym. Przedstawione przykłady stanowią ilustracje proponowanych rozwiązań i stanowią tylko wyciąg zrealizowanych wg niniejszej koncepcji prac zleconych na rzecz przedsiębiorstwa z branży odzieżowej z województwa lubelskiego. W trakcie dalszych prac zakłada się prowadzenie badań pod kątem opracowania kompleksowej metodologii i narzędzia wspomagającego proces planowania i zarządzania produkcją wieloasortymentową o zróżnicowanym charakterze popytu, ze szczególnym ukierunkowaniem na możliwość implementacji w przedsiębiorstwach z sektora MŚP.

Literatura

1. Skołod B.: Planowanie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z. 136, Gliwice 2000.
2. Skołod B., Krenczyk D., Kalinowski K., Grabowik C., Ćwikła G., Chlebus E., Cholewa M., Czajka J.: Zintegrowany system wspomagania zarządzania produkcją w małych i średnich przedsiębiorstwach o zmiennej produkcji wieloasortymentowej na zlecenie, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
3. Gola A., Świć A., Directions of Manufacturing Systems' Evolution from the Flexibility Level Point of View, [w:] R.Knosala (ed.) Innovations in Management and Production Engineering, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012, 226-238.
4. Gola A., Świć A., Kramar V.: A multiple-criteria approach to machine-tool selection for focused flexibility manufacturing systems, Management and Production Engineering Review, Vol. 2, No. 4, 2011, 21-32.
5. Gola A., Świć A.: Computer Aided FMS Machine Tools Subsystem Selection – Conception of Methodology, Applied Computer Science. Vol. 5, No. 1, 2009, 27-39.
6. Plecka P., Bzdyra K.: Algorithm of Selecting Cost Estimation Methods for ERP Software Implementation, Applied Computer Science, Vol. 9, No. 1, 2013, 5-19.
7. Skołod B. (red.): Efektywne zarządzanie przepływem produkcji. Wyd. Wrocławskiej Rady FSNT NOT, Wrocław 2009.
8. Sobaszek Ł., Gola A.: Zastosowanie Matlab w szeregowaniu zadań produkcyjnych, [w:] M.Janczarek, J.Lipski, Technologie informacyjne w technice i kształceniu, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2013, 101-114.
9. Gola A., Świć A.: Algorytm generowania ścieżek technologicznych w procesie doboru obrabiarek, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, Nr 1 (2011), 8-16.
10. Skołod B.: Zarządzanie operacyjne. Produkcja w małych i średnich przedsiębiorstwach. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
11. Grzybowska K.: Gospodarka zapasami i magazynem. Część 1 – Zapasy, Wyd. Difin, Warszawa 2010.
12. Krzyżaniak S.: Podstawy zarządzania zapasami w przykładach, Biblioteka Logistyka, Poznań 2008.
13. Waters D.: Zarządzanie operacyjne. Towary i usługi, PWN, Warszawa 2001.
14. Bozarth C., Handfield R.B.: Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw, Wyd. Helion, Gliwice 2007.
15. Al-e-Hashem S.M.J.M., Baboli A., Sazvar Z.: (2013). A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions, European Journal of Operational Research, Vol. 230, Issue 1, 26-41.
16. Gola A.: Genetic-Based Approach to Production Planning with Minimization Cost of Manufacturing, Actual Problems of Economics, Vol. 153, No. 1, 2014, 157-165.

Dr inż. Arkadiusz GOLA
Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38
tel.: (0-81) 538 44 83; fax.: 538 46 81
e-mail: a.gola@pollub.pl