

MODEL PROGNOSTYCZNY PLANOWANIA TERMINÓW REALIZACJI ZAMÓWIEŃ

Jolanta RACZYŃSKA, Edward KOZŁOWSKI, Arkadiusz GOLA

Streszczenie: W artykule skupiono się na problematyce planowania produkcji przy jednostkowym i małoseryjnym typie produkcji. Opisane zostały rodzaje planów produkcyjnych na szczeblu strategicznym, taktycznym i operacyjnym. Po analizie problemów występujących na etapie planowania, przedstawiony został model prognostyczny umożliwiający prognozowanie terminu realizacji nowego zamówienia od klienta na poziomie planowania taktycznego.

Słowa kluczowe: planowanie produkcji, produkcja małoseryjna, produkcja jednostkowa, model prognostyczny.

1. Wstęp

Analizując sytuację przedsiębiorstw produkcyjnych o produkcji jednostkowej i małoseryjnej można zauważyć szereg powtarzających się trudności, którym firma, aby utrzymać się na rynku musi sprostać.

Należą do nich m.in. [7]:

- wysokie koszty związane z utrzymywaniem zapasów surowców oraz magazynów,
- nieterminowa realizacja zamówień klientów,
- brak informacji online o aktualnym stanie realizacji poszczególnych zleceń,
- szybka dezaktualizacja planów produkcyjnych.

W wielu przypadkach czynnikiem decydującym o eliminacji lub ograniczeniu wyżej wymienionych problemów jest właściwe planowanie procesu produkcyjnego. Dostarczanie wyrobów w terminie zgodnych pod względem wymagań jakościowych jest dziś standardem, który decyduje o utrzymaniu pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstwa [18]. Niestety wysoka zmienność warunków zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych jest poważnym problemem, który znacznie utrudnia planowanie produkcji. Aby sprostać wymaganiom rynku, działania podejmowane w obszarze produkcji powinny cechować się elastycznością, która jest wymuszana przez konieczność dostosowania się do zmiennych wymagań klientów [11].

Chcąc sprostać normom i jednocześnie zapewnić rentowność produkcji często konieczne jest szybkie reagowanie na problemy pojawiające się w trakcie realizacji procesów produkcyjnych, w konsekwencji pociągające za sobą konieczność korygowania opracowanych planów produkcyjnych. Biorąc pod uwagę fakt, iż optymalizacja planu produkcyjnego należy do zagadnień NP-trudnych, w wielu przypadkach stanowi istotną barierę dla przedsiębiorstw (zwłaszcza tych z sektora małych i średnich przedsiębiorstw) [8]. Z tego też powodu zagadnienia planowania produkcji pozostają ciągle aktualnym kierunkiem prac naukowo-badawczych.

2. Planowanie produkcji

Kluczowym elementem każdego systemu zarządzania produkcją jest planowanie, którego celem jest wygenerowanie (na podstawie zamówień od klientów lub opracowanej prognozy sprzedaży) niezbędnych do realizacji zadań produkcyjnych oraz rozłożenie ich w czasie [3]. Planowanie produkcji jest to formułowanie celów produkcyjnych, ustalanie hierarchii ich ważności, precyzowanie zadań, które należy wykonać, oraz wyznaczanie środków niezbędnych do ich osiągnięcia. Planowanie jest kluczowym elementem zarządzania produkcją. Niezmiernie ważne jest zatem by proces planowania oparty był o rzetelne dane wejściowe. Dopiero kompletne i wiarygodne dane wejściowe mogą zapewnić skonstruowanie planu mającego realną szansę na realizację [6].

3. Rodzaje planowania produkcji

Planowanie i sterowanie produkcją wkomponowane jest w globalny proces planowania strategicznego, taktycznego oraz operacyjnego w przedsiębiorstwie. Zakres, a także stopień szczegółowości planowania i sterowania produkcją uzależniony jest, a właściwie powinien być, od aktualnej sytuacji przedsiębiorstwa, jego poziomu technicznego i organizacyjnego. Planowanie to inaczej projektowanie przyszłości: podejmowanie decyzji o tym co robić, jak to robić oraz w jakim czasie to robić. Planowania dokonuje się jeszcze przed podjęciem konkretnego działania. Planowanie produkcji uwzględnia nie tylko zagadnienia techniczne, ale również organizacyjne, ekonomiczne i zarządzania, które są ze sobą połączone. Planowanie produkcji to przede wszystkim proces ściśle powiązany z projektowaniem działań strategicznych całego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Punktem wyjścia w jego tworzeniu jest, najbardziej ogólna, prognoza sprzedaży [5].

3.1. Planowanie strategiczne

Plany strategiczne, opracowywane są dla zrealizowania misji i strategicznych celów przedsiębiorstwa.

Planowanie strategiczne dotyczy następujących obszarów:

- strategii rozwoju wyrobu,
- strategii wyrobu procesów wytwarzania wyrobu,
- strategii rozwoju zdolności produkcyjnych i niezbędnych do tego inwestycji,
- strategii pracy, płac i zatrudnienia,
- strategii finansowej przedsiębiorstwa.

Planowanie strategiczne powinno uwzględniać reagowanie na zmiany otoczenia, w tym na zmieniające się warunki rynkowe, a jego podstawę stanowią wyniki badań marketingowych i prognozy ekonomiczne, techniczne oraz zapotrzebowanie na wyrób i sprzedaż wyrobu [2].

Plan strategiczny to „całościowy plan organizacji dotyczący alokacji zasobów i priorytetów potrzebnych do osiągnięcia celów strategicznych” [10]. Plany strategiczne zwykle opracowywane są w horyzoncie od jednego do pięciu lat. Plan strategiczny odnosi się do misji przedsiębiorstwa, skali działalności, obiektów, konkurencji, wiodących zasad postępowania, zasad wewnętrznej organizacji, kierunków realizacji poszczególnych funkcji, akcentującym przede wszystkim aspekty jakościowe (rzadziej ilościowe) [17].

3.2. Planowanie taktyczne

Plany taktyczne, zawierają sposoby realizacji planów strategicznych przez osiągnięcie celów taktycznych, będących środkami dla strategii przedsiębiorstwa.

Planowanie taktyczne dotyczy [6]:

- marketingu,
- badania i rozwoju wyrobu oraz rozwoju technik wytwarzania wyrobu,
- przygotowania produkcji w tym planów:
 - zapotrzebowania na materiały,
 - zapotrzebowania na wszystkie niezbędne zasoby,
 - taktycznego zarządzania zapasami,
 - sterowania jakością wyrobów,
 - eksploatacji i utrzymania maszyn,
- dystrybucji wyrobów i obsługi serwisowej, w tym planów:
 - przestrzeni dystrybucyjnej przedsiębiorstwa,
 - przepływów wyrobów przez kanały dystrybucyjne,
 - sprzedaży wyrobów i obsługi klientów,
 - obsługi serwisowej wyrobów po sprzedaży,
- plany przepływów środków finansowych, przychodów i zysków przedsiębiorstwa.

Zgodnie z definicją zaprezentowaną w słowniku APICS, plan taktyczny to zestaw planów funkcjonalnych (odnoszących się do poszczególnych funkcji przedsiębiorstwa, np. produkcji, sprzedaży, marketingu) synchronizujący działania przedsiębiorstwa (w szczególności dotyczące ustalania: poziomu produkcji, poziomu zapasów, czy poziomu wykorzystania dostępnych zasobów itp.) dążąc do osiągnięcia celów średnioterminowych [1]. Plan taktyczny ma za zadanie wspierać realizację planu strategicznego. Różni się on od planu strategicznego, nie tylko horyzontem czasu, ale przede wszystkim stopniem szczegółowości zaleceń związanych z wykorzystaniem określonych metod działania, wykorzystywanych mierników, kryteriów ocen [17]. Wspomniany horyzont czasu dla planów taktycznych to przedział pomiędzy miesiącem a rokiem [10].

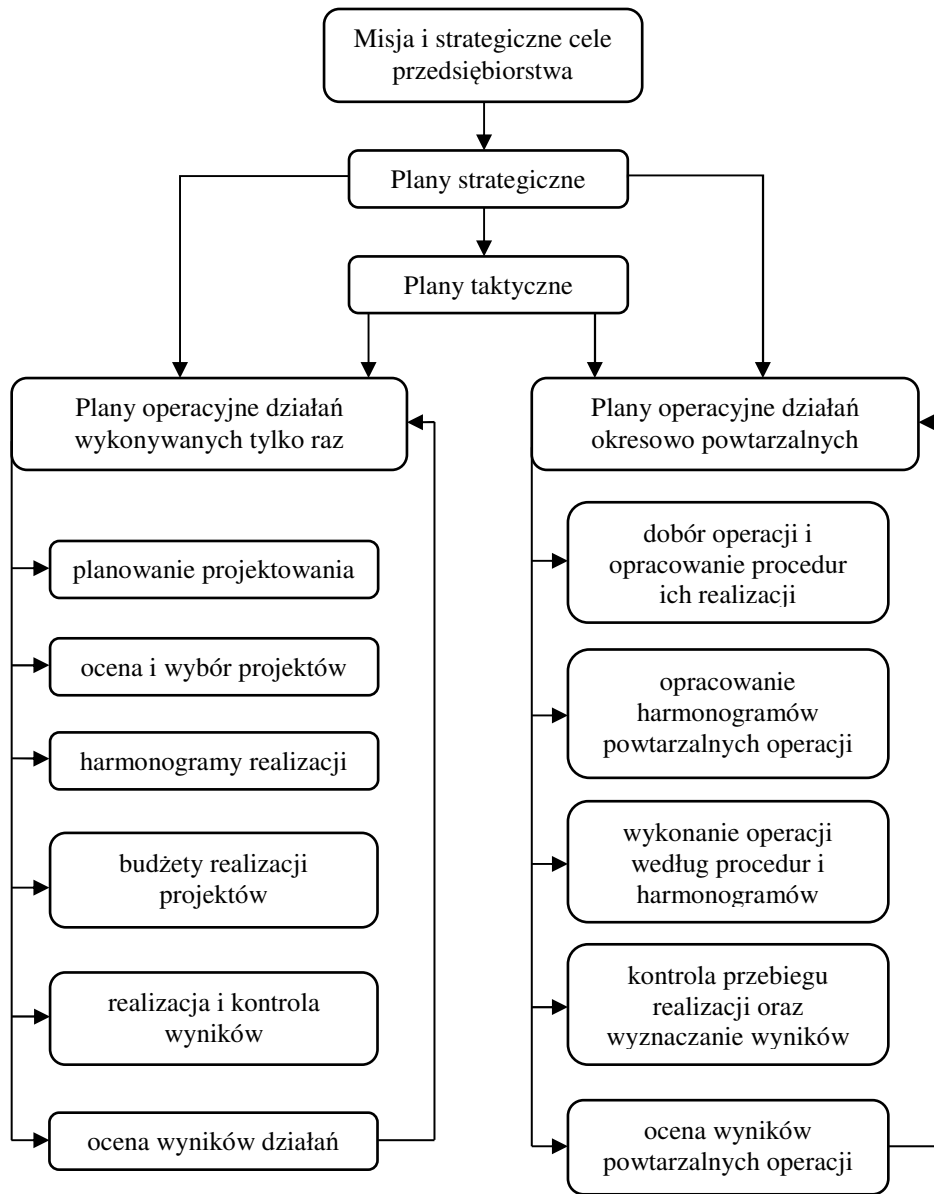
3.3. Planowanie operacyjne

Plany operacyjne, zawierają sposoby wcielania w życie planów taktycznych przez osiągnięcie celów operacyjnych, będących środkami dla taktyki przedsiębiorstwa. Planowanie operacyjne dotyczy działań jednorazowych, nazywanych projektami, najczęściej dotyczącymi przygotowania produkcji oraz działań powtarzalnych dotyczących procesów wytwarzania wyrobów.

Planowanie i sterowanie operacyjne polega na [2]:

- przydzielaniu zleceń produkcyjnych, opracowaniu zadań pracowników, dostarczeniu wyposażenia narzędziowego, materiałów, instrukcji wykonawczych oraz zapewnieniu obsługi poszczególnych stanowisk roboczych,
- ustaleniu kolejności wykonywania zadań, czasu ich trwania oraz określeniu początkowego i końcowego terminu wykonywania zadań,
- aktualizacja stanu zaawansowania prac i korygowania programów wytwórczych,
- określeniu i korygowaniu stanu zapasów produkcji w toku,
- badaniu jakości procesów wytwórczych oraz jakości wytworzonych wyrobów i korygowaniu odchyłań w odniesieniu do wzorca lub normy,

- badaniu poziomu kosztu realizacji i korygowaniu odchyłek w odniesieniu do wzorca lub kosztu normatywnego.
- Schemat hierarchii planów przedsiębiorstwa został przedstawiony na rysunku 1.



Rys.1. Schemat hierarchii planów przedsiębiorstwa
Źródło: [6]

Przedmiotem planu operacyjnego jest całokształt decyzji podejmowanych na bieżąco w różnych obszarach działania przedsiębiorstwa w celu terminowej i skutecznej realizacji

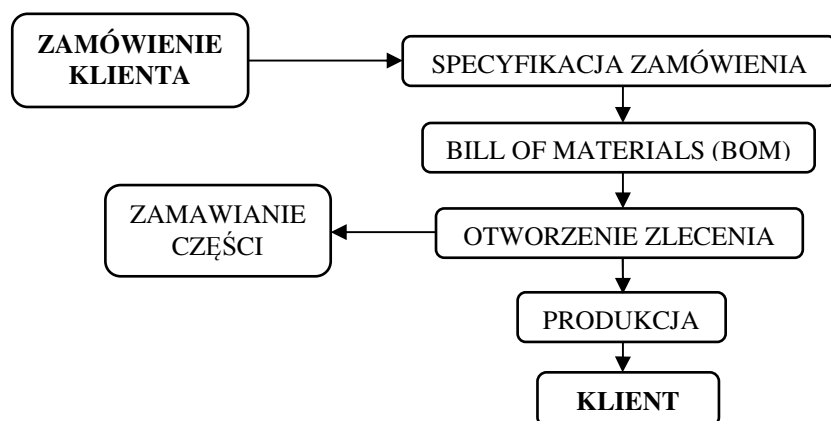
strategii [15]. Plan operacyjny to plan nakierowany na realizację celów operacyjnych (dotyczących bieżącej działalności) określający szczegółowo zadania, działania i warunki w jakich powinno to mieć miejsce [20]. Plan ten jest zwykle bardziej szczegółowy i jednoznaczny wobec planu taktycznego i ma charakter ilościowy (ustala konkretne mierniki, terminy realizacji zadań, wykorzystywane metody) [16].

Planowanie operacyjne określa konkretne sposoby realizacji zamierzeń przedstawionych w planie strategicznym. W ujęciu szczegółowym planowanie operacyjne, jako jedna z funkcji zarządzania operacyjnego, jest odpowiedzialne za wszystkie działania bezpośrednio dotyczące wytwarzania produktów lub usług [19]. Zakresy poszczególnych rodzajów planów i natężenie procesów planistycznych zależne są od poziomu zarządzania oraz od tego jak szeroko potraktujemy to pojęcie.

Podsumowując, obszar planowania produkcji jest najważniejszym czynnikiem prawidłowego zarządzania produkcją. Odpowiednie zaplanowanie produkcji daje szansę większej konkurencyjności na rynku, a co za tym idzie większe zyski i wiarygodność przedsiębiorstwa. Aby odpowiednio zaplanować produkcję należy optymalnie zaplanować czas realizacji zamówienia. Najważniejszym zadaniem dla przedsiębiorstw o produkcji małoseryjnej i jednostkowej jest dotrzymanie terminu realizacji zamówienia. Znając czas w jakim możemy zrealizować zamówienie dla klienta możemy lepiej zaplanować produkcję i zrealizować zamówienie w terminie.

4. Model prognostyczny realizacji zamówienia

Czas realizacji zamówienia jest jednym z głównych wskaźników efektywnego konkurowania przedsiębiorstwa na rynku dóbr i usług. Znając optymalny czas realizacji zamówienia można dokładniej zaplanować produkcję na poziomie taktycznym, co przyczynia się do poprawy realizacji planu na poziomie operacyjnym. W produkcji jednostkowej oraz małoseryjnej jest wiele czynników, które należy uwzględnić przy określeniu terminu realizacji nowego zamówienia od klienta. Uproszczony schemat procesu produkcji począwszy od otrzymania zamówienia do wysyłki gotowego wyrobu do klienta został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Uproszczony schemat realizacji zamówienia
Źródło: opracowanie własne

Oszacowanie na kiedy możliwe jest wykonanie zamówienia daje większą szansę dotrzymania terminu wysyłki gotowego wyrobu do klienta. Dla potrzeb opracowania oraz weryfikacji modelu prognostycznego zostały zgromadzone dane z całego procesu produkcyjnego przedsiębiorstwa zajmującego się montażem maszyn dla przemysłu spożywczego. Proces produkcji nie jest zautomatyzowany, a produkcja odbywa się na zamówienia klienta. Problemem przedsiębiorstwa było zaplanowanie realnej daty realizacji nowego zamówienia od klienta oraz dotrzymanie terminów zamówień już realizowanych. Problemy wynikające z niedotrzymywania terminowości realizacji zamówień były przyczyną stworzenia modelu prognostycznego, który pomoże w określeniu czasu realizacji zamówienia.

Samodzielne podejmowanie decyzji na kiedy zrealizujemy zamówienie, przy pomocy systemu klasy ERP lub plików MS Excel nie zawsze jest skuteczne i jest często przyczyną opóźnień. Problemy te skłoniły do realizacji badań nad określeniem czasu wykonania wyrobu od zamówienia klienta do produktu finalnego. Z danych historycznych powstał model matematyczny, który opisuje zależności między danymi na różnym etapie procesu realizacji zamówienia. Wykorzystując wiedzę na temat całego procesu produkcyjnego można pokazać główne zależności jakie mają wpływ na długość całego procesu produkcji.

Poniżej przedstawiona zostanie analiza wpływu czasów realizacji zadań w poszczególnych działach na czas realizacji całego zamówienia. Niech:

$$Y = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \varepsilon, \quad (1)$$

Gdzie:

Y - czas realizacji całego zamówienia,

X_1 - czas wykonania specyfikacji dla zamówionego produktu,

X_2 - czas otworzenia zlecenia,

X_3 - czas rozpoczęcia montażu,

X_4 - czas montażu,

ε - oddziaływanie czynników zewnętrznych wpływających na czas realizacji zamówienia.

Na podstawie danych zgromadzonych w przedsiębiorstwie oszacowano parametry strukturalne modelu (1). Dane dotyczyły procesu przepływu realizacji zamówienia w każdym dziale w przedsiębiorstwie, począwszy od działu sprzedaży do logistyki. Wartości estymatorów parametrów strukturalnych oraz badanie istotności tych parametrów zawiera tabela 1.

Tab. 1. Wartości estymatorów parametrów strukturalnych

i	$\hat{\alpha}_i$	$S_{\hat{\alpha}_i}$	$t_{\hat{\alpha}_i}$	$P(T > t_{\hat{\alpha}_i})$
1	0.89752	0.06654	13.488	$< 2 \cdot 10^{-16}$
2	0.30109	0.13458	2.237	0.0298
3	0.63237	0.07490	8.442	$3.47 \cdot 10^{-11}$
4	1.80696	0.24332	7.426	$1.29 \cdot 10^{-09}$

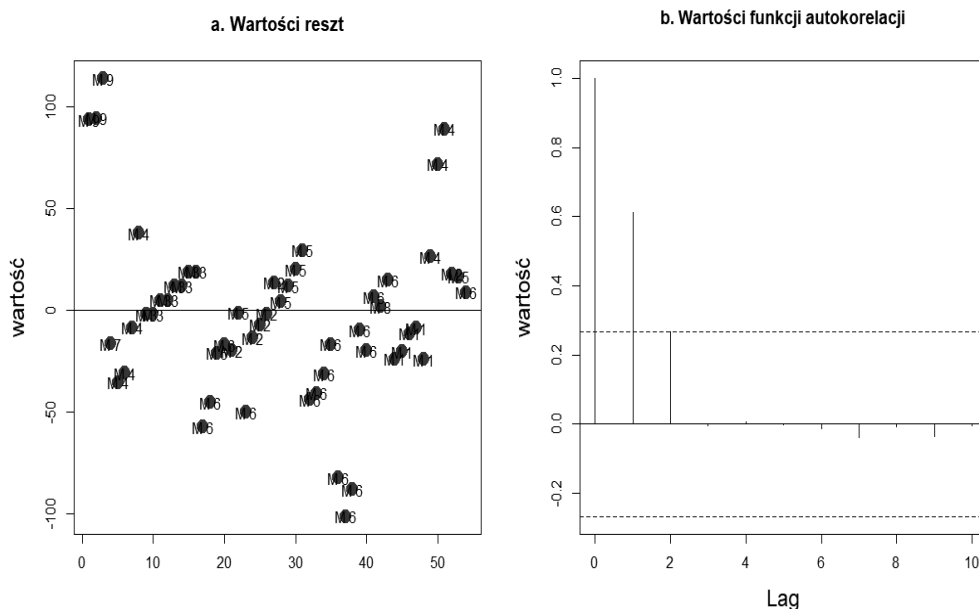
Źródło: opracowanie własne

W tabeli 1 zawarte są wartości estymatorów, odchylenia standardowe parametrów, wartości statystyk oraz prawdopodobieństwa nieistotnego wpływ zmiennej niezależnej. Na poziomie istotności 0,05 dla każdego z parametrów strukturalnych tworzymy hipotezy robocze w których zakładamy, że parametr jest równy zero bądź nieistotnie różni się od zera ($H_0 : \alpha_i = 0$ dla $i = 1,2,3,4$). Z przeprowadzonych badań wynika, że dla każdego z parametrów strukturalnych α_i , $i = 1,2,3,4$ hipotezy robocze należy odrzucić na korzyść hipotez alternatywnych.

Zatem na czas realizacji zamówienia wpływają czynniki:

- czas wykonania specyfikacji,
- czas otworzenia zlecenia,
- czas rozpoczęcia montażu,
- czas montażu.

Współczynnik determinacji R^2 dla modelu (1) wynosi 0.9758 (zmiennosc czasu realizacji zamówienia w 97.58% jest wyjaśniana przez model). Również została wykonana analiza istotności współczynnika korelacji wielorakiej. Wartość statystyki F jest równa 504,6, która ma rozkład Fischera-Snedecora dla $m_1 = 4$ oraz $m_2 = 50$ stopni swobody. Dla wartości statystyki F prawdopodobieństwo wynosi poniżej $2,2 \cdot 10^{-16}$. Wobec powyższego na poziomie istotności 0,05 hipotezę roboczą mówiącą o braku istotności współczynnika korelacji wielorakiej ($H_0: R = 0$) należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej, zatem współczynnik korelacji wielorakiej istotnie różni się od zera oraz stopień dopasowania modelu (1) do danych jest dostatecznie wysoki. Dla modelu (1) również przeprowadzono badanie własności odchyłeń losowych. Rysunek 3.a przedstawia wartości reszt, natomiast rysunek 3.b wartości funkcji autokorelacji.



Rys. 3. Wartości reszt oraz wartości funkcji autokorelacji ciągu reszt

Źródło: opracowanie własne

Dokonano identyfikacji ciągu reszt $\{\varepsilon_t\}_{1 \leq t \leq n}$ za pomocą modeli klasy ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Modele ARIMA to scałkowane procesy autoregresji i średniej ruchomej, są bardzo ogólną klasą szeregów czasowych. Ich budowa oparta jest na zjawisku autokorelacji. Mogą być one stosowane do modelowania stacjonarnych szeregów czasowych lub szeregów niestacjonarnych sprowadzalnych do stacjonarnych. Szeroko stosowane modele liniowe obejmują jednoczynnikową analizę szeregów czasowych i autoregresyjną zintegrowaną ruchomą średnią (ARIMA). Metody te są szeroko stosowane ze względu na ich prostotę i praktyczne zastosowanie w działalności operacyjnej [14]. Weryfikację stacjonarności szeregu czasowego można przeprowadzić w oparciu o testy Kwiatkowskiego, Phillipsa, Schmidta i Shina (test KPSS) [9,13]. Do badań stacjonarności szeregów czasowych można wykorzystać rozszerzony test Dickeya-Fullera (test ADF)[4,12]. Za pomocą testów: ADF, PP, KPSS dokonano analizy integracji elementów szeregu $\{\varepsilon_t\}_{1 \leq t \leq n}$.

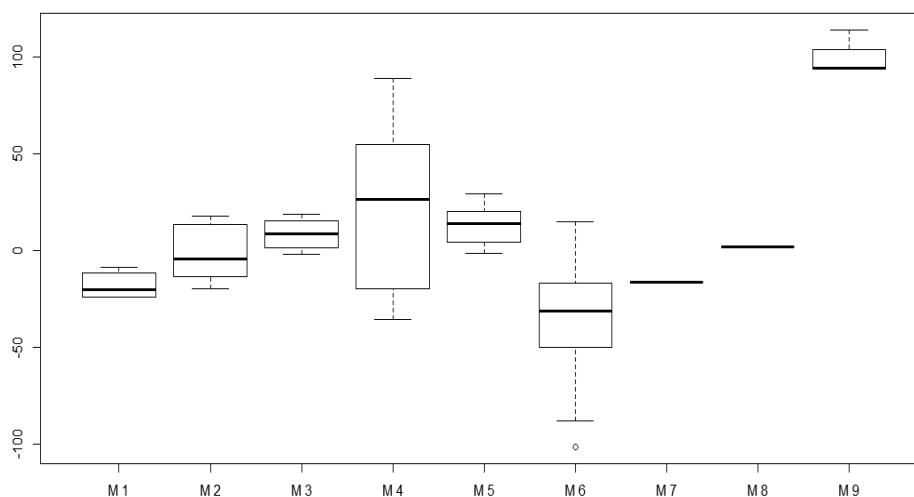
W analizowanym przypadku stopień integracji wynosi 0. Na podstawie kryterium AIC i BIC wynika, że szereg reszt $\{\varepsilon_t\}_{1 \leq t \leq n}$ jest dany wzorem:

$$\varepsilon_t = 0.665\varepsilon_{t-1} + \xi_t, \quad (2)$$

gdzie: $\{\xi_t\}_{1 \leq t \leq n}$ jest ciągiem niezależnych zmiennych losowych o rozkładzie normalnym $N(0,32^2)$.

Porównano wielkości reszt w modelu (1) w zależności od typu maszyn. Podstawową analizę reszt przedstawia rysunek 4.

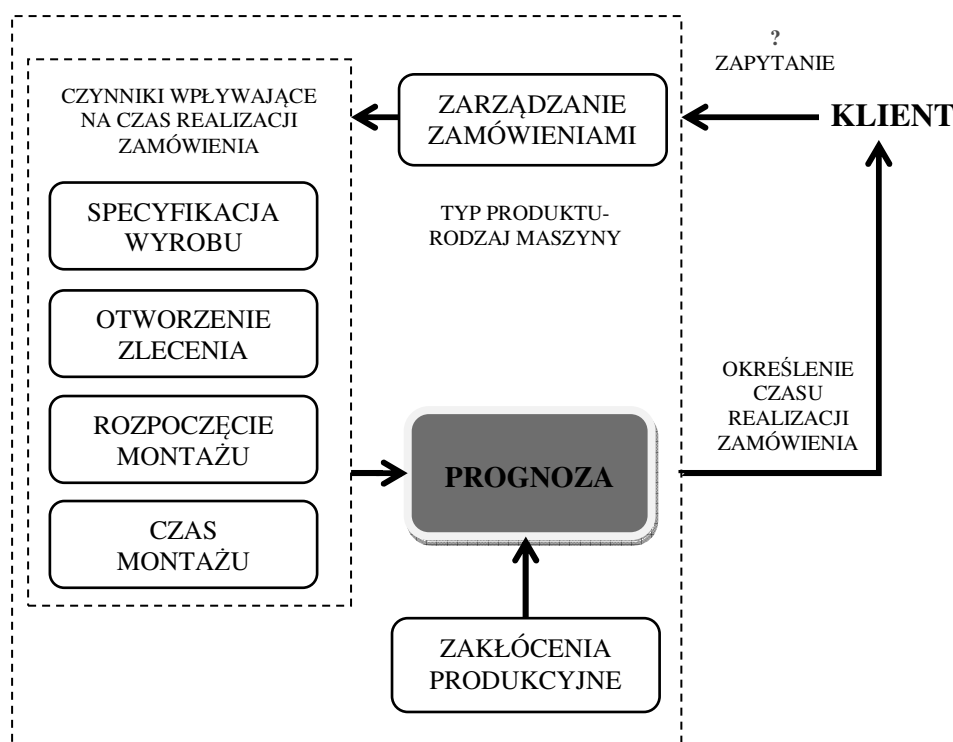
1. Dla maszyny „M9” czas wykonania jest większy niż oczekiwany z modelu (1) (reszty są dodatnie).
2. Dla maszyny „M6” czas wykonania jest mniejszy niż oczekiwany z modelu (1) (reszty są ujemne).
3. Najmniej przewidywalny czas wykonania maszyny „M4” (zbyt duże odchylenie reszt).



Rys. 4. Wykres „ramka-wąsy” reszt ze względu na maszyny
Źródło: opracowanie własne

Najbardziej przewidywalne i mieszczące się w modelu (1) maszyny to M1, M2, M3, M5, M7, M8. Dla tych maszyn najłatwiej określić czas realizacji zamówienia, rzadko występuje zaburzenie modelu - nie ma czynników zewnętrznych zaburzających w znacznym stopniu czasu realizacji zamówienia. Maszyny M9 są zazwyczaj wykonywane w dłuższym terminie niż pokazuje model. Po przeanalizowaniu danych maszyn M9 można poznać jakie czynniki spowodowały, że czas realizacji jest znacząco większy niż czas, który określa model. Spowodowane może to być czynnikami zewnętrznymi, na które firma nie ma wpływu albo czynnikami wewnętrznymi, które po dogłębnym przeanalizowaniu mogą pomóc skrócić czas realizacji zamówienia. Maszyny M4 są najbardziej niepewne do przewidzenia przez model, gdyż są zbyt duże odchylenia i trudno jest określić optymalny czas realizacji zamówienia.

Z analizy danych jesteśmy w stanie określić najważniejsze czynniki z procesu zamówienia jakie wpływają na określenie jego czasu realizacji. Model ten został przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Model prognostyczny określający czas realizacji zamówienia
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 5 przedstawiony został model algorytmu wspomagania podejmowania decyzji w planowaniu produkcji, który ma wspomagać planowanie optymalnych terminów realizacji zamówień oraz zachowania terminu realizacji raz potwierdzonego zamówienia nawet przy występujących zaburzeniach zewnętrznych.

Po analizie dużej ilości danych zgromadzonych w przedsiębiorstwie tylko nieliczne

dane miały rzeczywisty wpływ na czas realizacji zamówienia. Dane, które istotnie wpływają na określenie czasu realizacji zamówienia zostały zamieszczone w modelu (rys. 5). Największe korzyści jaki niesie model to udzielenie klientowi szybkiej odpowiedzi o terminie realizacji zamówienia oraz dotrzymanie potwierdzonego terminu nawet przy występujących w trakcie zaburzeniach.

Znając najistotniejsze czynniki wpływające na czas realizacji zamówienia możemy oszacować na wejściu zapytania od klienta, ile czasu będziemy potrzebować na zrealizowanie zamówienia. To pomoże w lepszej organizacji pracy na produkcji oraz mobilizacji innych działów, które istotnie wpływają na całkowity czas realizacji zamówienia. Optymalizując proces pozyskiwania danych, które uzależniają odpowiedź do klienta możemy w przyszłości skrócić czas realizacji zamówienia.

Skrócenie czasów: wykonania specyfikacji, utworzenia zlecenia, rozpoczęcia montażu, montażu, daje możliwość skrócenia czasu realizacji zamówienia, co niesie znacznie większą konkurencyjność przedsiębiorstwa na rynku.

5. Podsumowanie

Zaprojektowanie systemu planowania produkcji dla każdego przedsiębiorstwa jest poważnym wyzwaniem. Żaden ze znanych modeli nie jest idealny, nie opisuje wszystkich istotnych cech procesu, a znane systemy radzą sobie lepiej lub gorzej w różnych okolicznościach. Proces produkcji obejmuje działania zapewniające, że wyrób finalny jest zgodny z postawionymi wymaganiami i wykonany w założonym budżecie i czasie. Spełnienie tych założeń jest możliwe dzięki dokładnemu zaplanowaniu oraz zorganizowaniu procesu produkcyjnego w możliwie najbardziej optymalny sposób.

Dokładne planowanie daje gwarancję zrealizowania wszystkich etapów produkcji w ustalonym czasie, a w konsekwencji, wysyłki wyrobu gotowego w terminie ustalonym z klientem. Planując produkcję na zamówienie klienta musimy na początku dobrze określić optymalny czas w jakim możemy wykonać zamówienie bez opóźnienia, uwzględniając ewentualne zaburzenia występujące w trakcie procesu produkcyjnego. Analiza i wyniki danych pozwoliły określić model, który może pomóc w dokładniejszym planowaniu realizacji zamówienia, określeniu czasu realizacji poszczególnych zadań oraz uwzględnieniu zaburzeń występujących w trakcie procesu produkcji.

Literatura:

1. Blackstone Jr., J.H.: APICS Dictionary Twelfth Edition. Georgia: APICS 2008.
2. Brzeziński M.: Sterowanie produkcją. Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1999.
3. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 2002.
4. Chow G.C.: Ekonometria. Wydawnictwo PWN, 1995.
5. Durlik I.: Inżynieria zarządzania cz. I i II. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998.
6. Dwiliński L.: Zarządzanie Produkcją. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
7. Gola A., Małyszek E., Sobaszek Ł.: Logistyczne dylematy organizacji przepływu produkcji [w:] Świć A., Gola A.: Techniczno-organizacyjne aspekty projektowania procesów i urządzeń. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2017.

8. Gola A.: Genetic-Based Approach to Production Planning with Manufacturing Cost Minimization, *Actual Problems of Economics*. No. 3 (153) 2014.
9. Hamilton J.D.: *Time Series Analysis*. Princeton: Princeton University Press, 1994.
10. Kisielnicki, J.: *Zarządzanie*. Wydawnictwo PWE, Warszawa 2008.
11. Kłosowski G., Gola A.: Risk-based estimation of manufacturing order costs with artificial intelligence [in:] Ganzha M., Maciaszek L., Paprzycki M. (eds.). *Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FEDCSIS)*, IEEE, 2016.
12. Kosicka E., Kozłowski E., Mazurkiewicz D.: The use of stationary tests for analysis of monitored residual processes. *Eksploatacja i Niezawodność Maszyn – Maintenance and Reliability* 2015, nr 4, vol. 17.
13. Kozłowski E.: *Analiza i identyfikacja szeregów czasowych*. Wyd. Politechnika Lubelska, Lublin 2015.
14. Kozłowski E., Kowalska B., Kowalski D., Mazurkiewicz D.: Water demand forecasting by trend and harmonic analysis. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 18 (2018).
15. Koźmiński, A.K., Piotrowski W.: *Zarządzanie, teoria i praktyka*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2006.
16. Przybyła, M.: *Organizacja i zarządzanie. Podstawy wiedzy menedżerskiej*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2003.
17. Robbins, S.P., DeCenzo, D.A.: *Podstawy zarządzania*. Wydawnictwo PWE, Warszawa 2002.
18. Trojanowska J.: *Zarządzanie produkcją na zamówienie w oparciu o teorię ograniczeń*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
19. Waters, D.: *Zarządzanie operacyjne. Towary i usługi*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 2001.
20. Zawiślak, A.M.: *Organizacja i planowanie. Ujęcie systemowe*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 2001.

Mgr inż. Jolanta RACZYŃSKA
 International Tobacco Machinery Poland Sp. z o.o.
 ul. Warsztatowa 19A, 26-600 Radom
 tel.: +48 48 368-61-00
 e-mail: jolanta.raczynska@itmgroup.eu

Dr Edward KOZŁOWSKI
 Katedra Metod Ilościowych w Zarządzaniu
 Politechnika Lubelska
 20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
 tel.: (0-81) 538 46 28
 e-mail: e.kozlovski@pollub.pl

Dr inż. Arkadiusz GOLA
 Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych,
 Politechnika Lubelska 20-618 Lublin,
 ul. Nadbystrzycka 36
 tel.: (0-81) 538 45 35
 e-mail: a.gola@pollub.pl