

**Marek Karkula<sup>1</sup>**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

**Stanisław Gacek<sup>2</sup>**

ANGA Uszczelnienia Mechaniczne sp. z o. o.

## Determinacja przyczyn źródłowych opóźnień w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej

### 1. WPROWADZENIE

Produkcja małoseryjna i wieloasortymentowa charakteryzuje się dużym poziomem zmienności produkowanego asortymentu, dużym poziomem ogólności standardów i procedur oraz wymaga się od niej dużej elastyczności. Ten rodzaj działalności przedsiębiorstwa od inżynierów produkcji i logistyki by analizowali systemy produkcyjne z uwzględnieniem dominującej pozycji czynnika ludzkiego. Wynika to z dużej wagi indywidualnych decyzji ludzi odpowiedzialnych za działania produkcyjne, zazwyczaj istotnie większe niż w produkcji seryjnej. Produkcja małoseryjna i wieloasortymentowa jest pod tym względem podobna do produkcji jednostkowej – duża zmienność powoduje konieczność wysokiego stopnia elastyczności, której nie da się osiągnąć bez wykorzystania naturalnej zdolności człowieka do adaptacji do nowych warunków i jego kreatywności. Ze względu na tę zmienność, a także istotną pozycję czynnika ludzkiego nie jest łatwe określenie rzeczywistych przyczyn opóźnień w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej.

Celem artykułu jest przedstawienie trudności w odnajdywaniu rzeczywistych przyczyn opóźnień, propozycja sposobu określania przyczyn źródłowych oraz zestawienie tychże przyczyn dla wybranego okresu czasu w przedsiębiorstwie o produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej.

W rozdziale 2 przedstawiono zagadnienie terminowości ze szczególnym uwzględnieniem jej specyfiki w zakresie przyczyn opóźnień w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej. W rozdziale 3 przedstawiono propozycję algorytmu odnajdywania przyczyn źródłowych oraz narzędzia analizy przyczynowo-skutkowej, które mogą być z powodzeniem zastosowane do determinacji przyczyn źródłowych opóźnień oraz zaprezentowane ich przykładowe zastosowanie. Zestawiono również rzeczywiste przyczyny źródłowe w wybranym okresie czasu w przedsiębiorstwie o produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej.

### 2. ZAGADNIENIE TERMINOWOŚCI W PRODUKCJI

Ze względu na dużą zmienność w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej trudno jest stosować do określania terminów realizacji dostaw do klienta standardowych okresów czasu potrzebnych na produkcję. Wyroby wytwarzane w ramach zamówień mogą się znacznie od siebie różnić, co w konsekwencji oznacza inne zaangażowanie zasobów w ich produkcję. W takiej sytuacji termin każdego zlecenia lepiej jest potwierdzić indywidualnie, po uprzedniej analizie zaopatrzeniowej, obciążenia wewnątrz firmy oraz obciążenia kooperantów.

Terminowość jest miarą niezawodności [1] rozumianej jako zdolność do dotrzymania przyrzeczonych terminów realizacji dostaw [2], także w zakresie ilościowym [3]. Terminowość można również zdefiniować jako stosunek liczby dostaw dostarczonych do klienta na przyrzeczony czas w stosunku do liczby wszystkich dostaw zrealizowanych w danym okresie czasu.

---

<sup>1</sup>mkarkula@zarz.agh.edu.pl

<sup>2</sup>sgacek@anga.com.pl

Przedsiębiorstwa zazwyczaj nie publikują danych na temat swojej terminowości, co zdecydowanie utrudnia badanie tego zagadnienia, ale klienci są w stanie ją zaobserwować i zmierzyć – w odniesieniu do własnych zamówień [4]. Dla większości współczesnych przedsiębiorstw zarówno produkcyjnych, jak i usługowych terminowość ma wymiar strategiczny. Badania przeprowadzone w Szwecji [5], USA [6], Indiach [7] czy w Nowej Zelandii [8] pokazały, że niezawodność dostaw znajduje się w pierwszej trójce najważniejszych czynników związanych z konkurowaniem. Ponieważ każde przedsiębiorstwo chce być konkurencyjne, zaś ich skuteczność jest uzależniona od skuteczności ich dostawców [9], to naturalnym celem każdej firmy produkcyjnej powinno być ciągle doskonalenie w zakresie terminowości.

W literaturze można spotkać różne publikacje związane z poprawą poziomu terminowości, nawet jeżeli odbywa się to pośrednio – np. poprzez skrócenie czasu realizacji zleceń, z którym terminowość jest ściśle skorelowana. Zakres zagadnień jest szeroki i obejmuje Just-In-Time [10], teorię ograniczeń TOC [11], szybkie przebrojenia SMED [12], globalne utrzymanie ruchu TPM [13], mapowanie strumienia wartości VSM [14] i inne. By jednak móc skutecznie zastosować któreś z dostępnych podejść czy narzędzi w zakresie terminowości, trzeba w pierwszej kolejności poprawnie określić przyczyny źródłową opóźnień.

Przyczyny źródłowe nieterminowości można podzielić na trzy grupy:

- 1) przyczyny związane z planowaniem – występują one w trakcie analizy planistycznej,
- 2) przyczyny związane ze sterowaniem produkcją – dotyczą niezgodności planu produkcji pochodzącego z harmonogramu z rzeczywistością, występują w trakcie trwania fazy produkcji,
- 3) przyczyny związane ze zdarzeniami nieplanowanymi i nieprzewidywalnymi – jak problemy technologiczne, opóźnienia dostaw. Przyczyny te mogą wystąpić w każdym momencie od momentu wpłynięcia zamówienia, aż do przykazania produktu do magazynu.

Przyczyny opóźnień ukryte są często w indywidualnych decyzjach ludzkich, stosowanych procedurach, zaniedbaniach, stosowanych metodach, technologii produkcji zaś objawiają się brakowością, nadmiernym obciążeniem stanowisk pracy, awariami czy opóźnieniami w dostawie surowców. Istotne jest by nie mylić objawów z przyczynami, gdyż wówczas wszelkie działania naprawcze są nieskuteczne.

To co utrudnia poznanie prawdziwych przyczyn opóźnień w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej to:

- duża zmienność wytwarzanych produktów,
- istotny wpływ czynnika ludzkiego na procesy produkcyjne,
- wysoki udział prototypów w produkcji,
- nieszczegółowy opis procesów technologicznych.

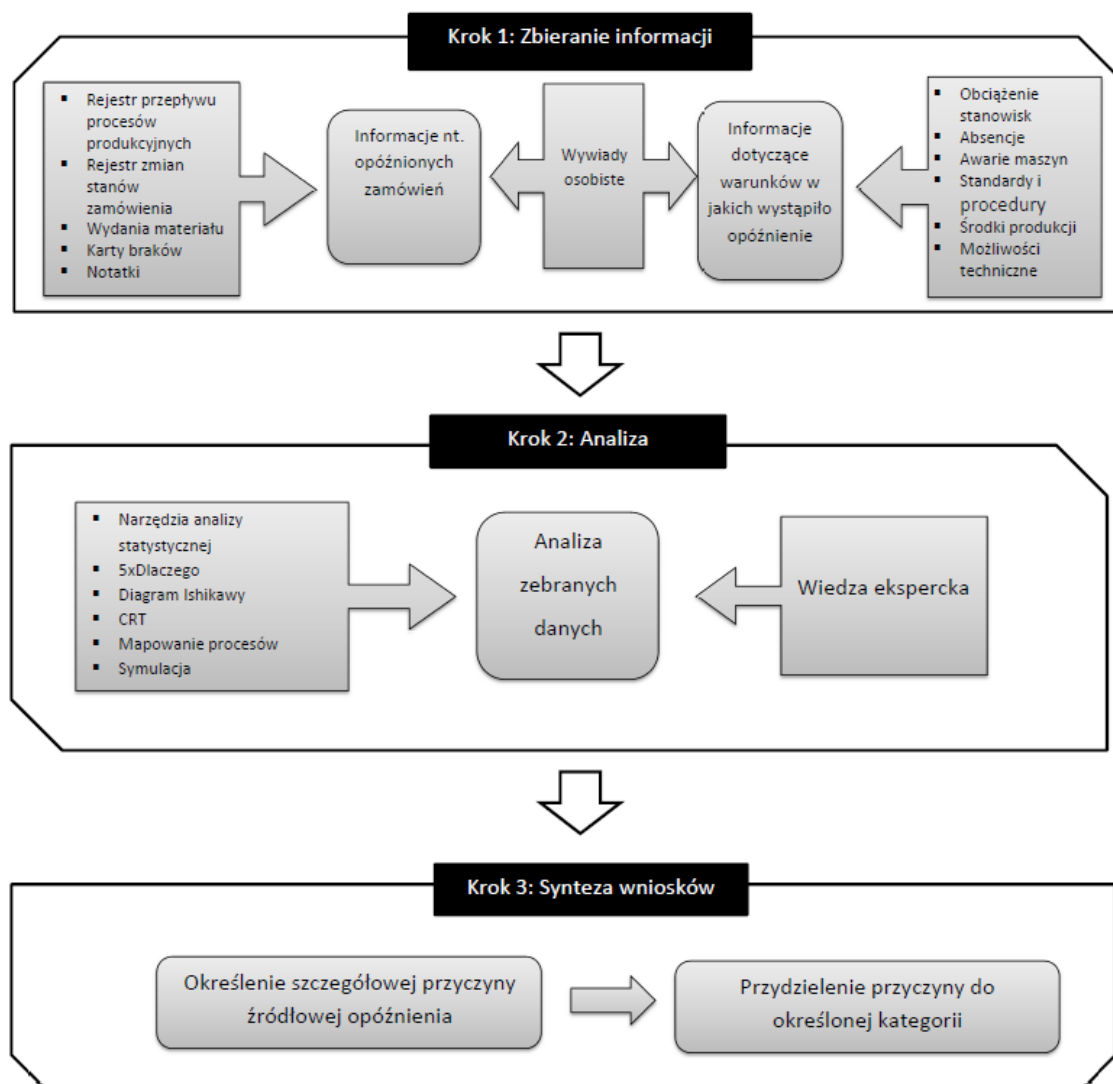
Ze względu na te trudności, często sami pracownicy firm zaangażowani w produkcję nie są w stanie poprawnie wskazać przyczyn źródłowych opóźnień. By poprawnie wskazać te przyczyny, należy posiadać wiedzę ekspercką zarówno o analizowanym systemie produkcyjnym, stosowanej technologii, produkcji jak i być zdeterminowanym by dotrzeć do „dna” problemu. Wiedza ekspercka jest niezbędna do poprawnej analizy zdarzeń do których doszło, często zapisanych w systemie komputerowym (jak rejestracja prac).

### 3. IDENTYFIKACJA PRZYCZYŃ ŹRÓDŁOWYCH OPÓŹNIEŃ

W celu poprawnego określenia przyczyny źródłowej, należy zebrać szczegółowe informacje o produkcji oraz warunkach w jakich był wytwarzany oraz sposób przygotowania jego produkcji. Część potrzebnych informacji można uzyskać poprzez wewnątrz zakładowy system komputerowy, gdzie rejestrowane są operacje technologiczne, dane jakościowe, wydajność pracowników, obciążenie

stanowisk etc. Cennym źródłem informacji są pracownicy zaangażowani w produkcję danego produktu. Mogą oni posiadać informacje na temat zdarzeń nigdzie nie zarejestrowanych – jak np. drobna poprawa wymiaru detalu, która jednak spowodowała opóźnienie rozpoczęcia innej operacji technologicznej w planowanym czasie.

W produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej występuje bardzo duża zmienność, dlatego warto gromadzić informacje o opóźnieniach niezwłocznie po ich wystąpieniu, gdyż wiele informacji zapisanych jest w pamięci pracowników, a ludzka pamięć jest ulotna. Odnalezienie przyczyny źródłowej opóźnień nie jest łatwe. Do tego celu proponuje się wykorzystać algorytm odnajdywania przyczyn opóźnień przedstawiony na Rysunku 1.



Rys. 1. Algorytm odnajdywania przyczyn opóźnień

Źródło: opracowanie własne

Algorytm składa się z trzech następujących po sobie kroków, które scharakteryzowano poniżej.

### Krok 1: Zbieranie informacji.

Do określenia przyczyny źródłowej opóźnień niezbędne jest zebranie odpowiednich danych. Dużym ułatwieniem dla badacza mogą być dane gromadzone w systemie komputerowym firmy, niejako „przy okazji” normalnego obiegu zleceń produkcyjnych. Zalicza się do nich rejestr operacji

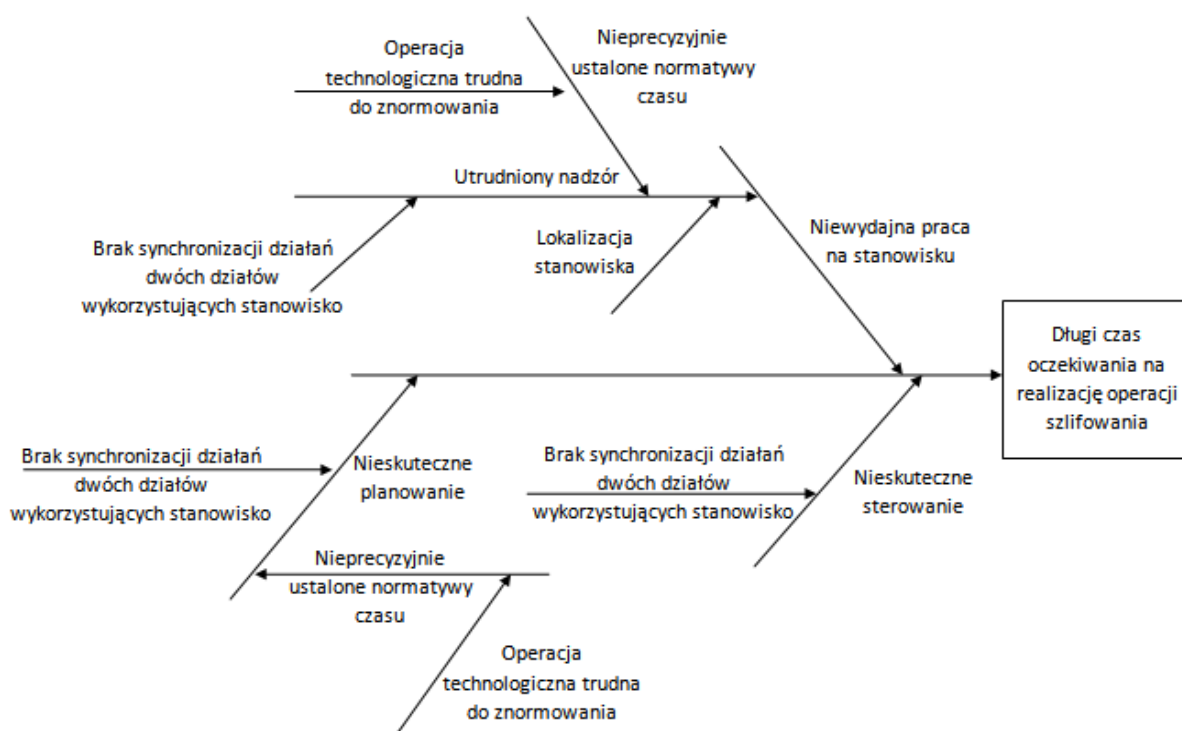
technologicznych, czyli informacje kto, gdzie i kiedy realizował daną operację oraz w jakim czasie czy też karty braków wystawiane przez działy kontroli jakości. Oprócz informacji o samym opóźnionym zleceniu i jego przedmiocie, niezbędne są także dane dotyczące warunków w jakich to opóźnienie wystąpiło. Do danych tych zalicza się między innymi obciążenie stanowisk, awarie, możliwości techniczne i inne.

## Krok 2: Analiza.

W kroku tym dane zebrane w kroku poprzednim poddawane są analizie, której efektem ma być określenie szczegółowej przyczyny źródłowej opóźnienia. Do analizy wykorzystuje się narzędzia analizy przyczynowo-skutkowej, symulację, mapowanie strumienia wartości i narzędzia analizy statystycznej. Szczególne zastosowanie mają narzędzia analizy przyczynowo-skutkowej jak np. diagram rybich ości Ishikawy czy 5xDlaczego.

Diagram przyczynowo-skutkowy – diagram rybich ości – stworzył Dr Kaoru Ishikawa w 1943 roku, kiedy wyjaśniał wpływ różnych czynników i ich wpływ na siebie inżynierom z Kawasaki Steel Works. Diagram Ishikawy jest tworzony przez zapisanie skutku po prawej stronie, a po lewej skierowanego do niego łuku. Do łuku dodaje się następane, oznaczające czynniki wpływające na skutek. Do tak zapisanych czynników dopisuje się następane, do momentu w którym ujęte zostaną wszystkie elementy mogące wpływać na analizowany skutek [15].

Na rysunku 2 przedstawiono wykres Ishikawy zbudowany podczas odnajdywania przyczyn zbyt długiego czasu oczekiwania na realizację operacji szlifowania w firmie z branży maszynowej o produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej w roku 2013.



**Rys. 2.** Diagram Ishikawy dla problemu zbyt długiego czasu oczekiwania na realizację operacji szlifowania

*Źródło: opracowanie własne*

Metoda 5xDlaczego polega na pięciokrotnym zadaniu sobie pytania dlaczego doszło do danego zdarzenia. Taichi Ohno tak opisuje tę metodę [16]: „Prawdę mówiąc system produkcyjny Toyoty opiera się na ćwiczeniu i rozwijaniu tej metody. Pytając pięć razy dlaczego i próbując odpowiedzieć na to pytanie, możemy dotrzeć do rzeczywistej przyczyny problemu, która często ukrywa się za bardziej oczywistymi symptomami”.

Poniżej przedstawiono zastosowanie metody 5xDlaczego do odnalezienia przyczyny źródłowej problemu nadmiernego obciążenia stanowiska frezarek w firmie z branży maszynowej o produkcji małoseryjnej i wielosortymentowej w roku 2013:

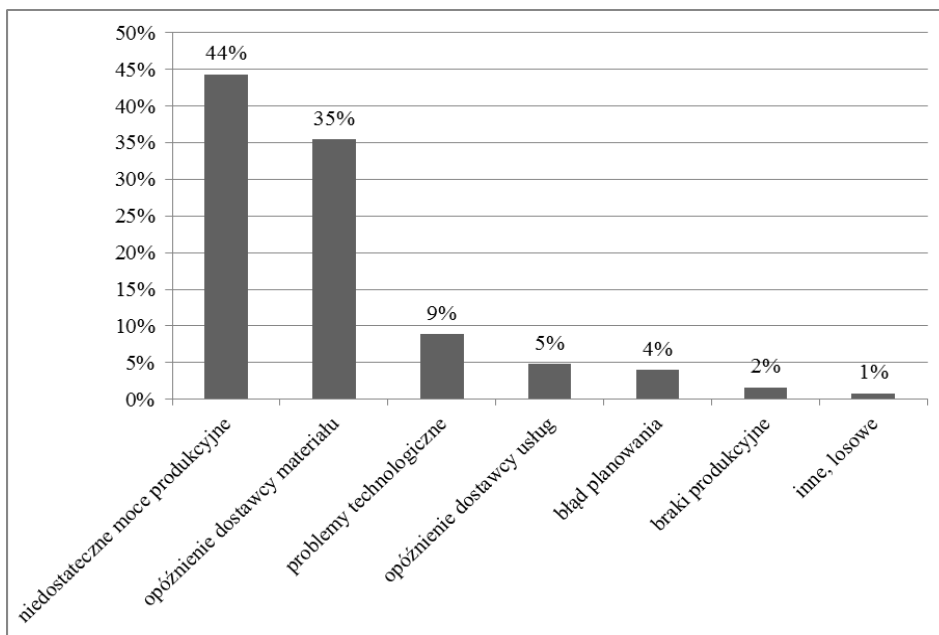
- 1) Dlaczego stanowisko frezarek było nadmiernie obciążone?  
*Ponieważ w danym okresie czasu zapotrzebowanie na liczbę maszynogodzin było większe od liczby godzin dostępnych.*
- 2) Dlaczego w danym okresie czasu występowało większe zapotrzebowanie na liczbę maszynogodzin od liczby dostępnych?  
*Wynikało to z potwierdzonych terminów zleceń produkcyjnych.*
- 3) Dlaczego terminy zleceń były potwierdzone w taki sposób, że doszło do nadmiernego obciążenia stanowiska frezarek?  
*Ponieważ planista tak je potwierdził będąc przekonany, że zostaną one dotrzymane.*
- 4) Dlaczego w czasie potwierdzania, planista był przekonany, że potwierdzane przez niego terminy będą dotrzymane?  
*Wynikało z przeprowadzonej przez niego analizy obciążenia przy założeniu, że jedno z wcześniej potwierdzonych zleceń, bardzo pracochłonne pod względem frezowania, jest wstrzymane od realizacji.*
- 5) Dlaczego po podjęciu decyzji o kontynuacji tego zlecenia, jego termin nie został zaktualizowany tak, by nie przeciążać stanowiska frezarek, co w efekcie spowodowało opóźnienia wielu innych potwierdzonych wcześniej zleceń?  
*Wynikało to z obawy planisty przed podaniem zbyt długiego terminu realizacji przy założeniu, że wiedział o tym że nastąpi przeciążenie na stanowisku frezarek lub z braku tej wiedzy, pomimo dostępu do odpowiednich danych.*

### Krok 3: Synteza wniosków.

Istnieje wiele różnych przyczyn opóźnień. Po określeniu szczegółowych przyczyn opóźnień, w zależności od bieżącej potrzeby analizy, należy przypisać je do odpowiednich kategorii, w celu zwiększenia czytelności uzyskanych rezultatów. Uwzględniając to przyczyny źródłowe nieterminowości można podzielić na trzy grupy:

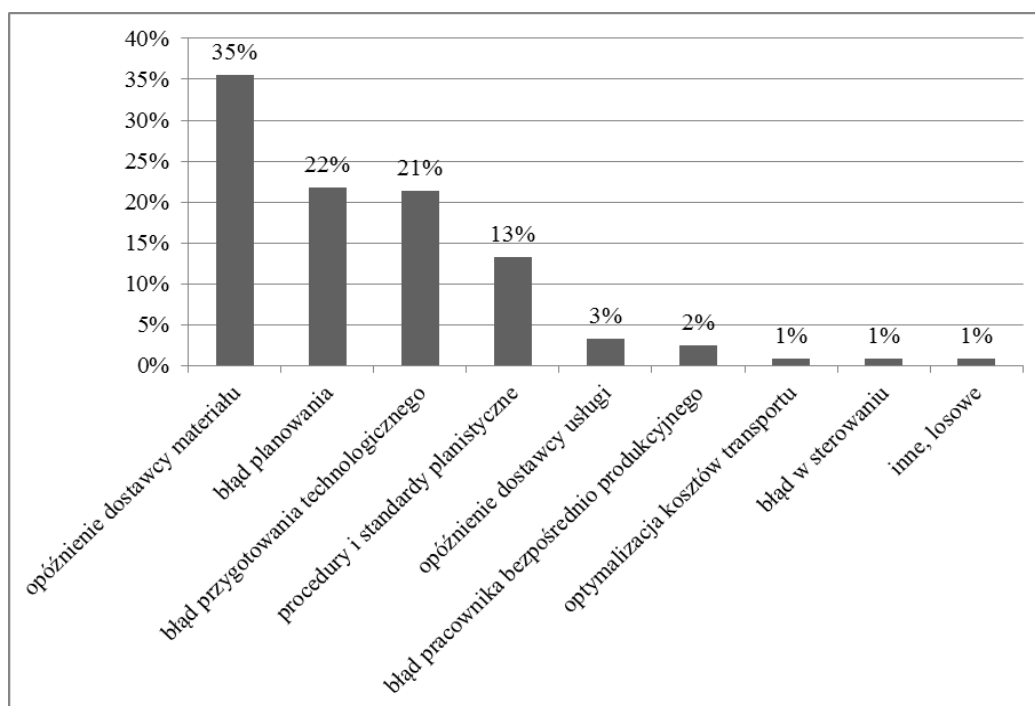
- 1) przyczyny związane z planowaniem – występują one w trakcie analizy planistycznej,
- 2) przyczyny związane ze sterowaniem produkcją – dotyczą niezgodności planu produkcji pochodzącego z harmonogramu z rzeczywistością, występują w trakcie trwania fazy produkcji,
- 3) przyczyny związane ze zdarzeniami nieplanowanymi i nieprzewidywalnymi – takimi jak m.in. problemy technologiczne czy opóźnienia dostaw. Przyczyny te mogą wystąpić w każdym momencie od chwili wpłynięcia zamówienia, aż do przyjęcia produktu do magazynu.

Istotnym utrudnieniem w determinacji przyczyn źródłowych opóźnień jest fakt, że do uzyskania prawdziwych wniosków niezbędny jest wysoki poziom wiedzy eksperckiej badacza poszukującego przyczyn źródłowych w zakresie produktu, procesu technologicznego, systemu produkcyjnego oraz ludzi będących jego częścią. Jeżeli nie odnaleziono zostaną źródłowe przyczyny opóźnień, można dojść do błędnych wniosków co do działań naprawczych. Na rysunku 3 przedstawiono przyczyny opóźnień według działu przygotowania produkcji w firmie z branży maszynowej o produkcji małoseryjnej i wielosortymentowej w roku 2013. Zestawienie obejmuje tylko część produkcji, która była opóźniona.



**Rys. 3.** Przyczyny źródłowe opóźnień według działu przygotowania produkcji  
*Źródło: opracowanie własne*

Na podstawie tak zebranych przyczyn wydaje się, że największy problem tkwi w tym, że nie ma wystarczająco dużej liczby maszyn i pracowników. W rzeczywistości na rysunku 3 w większości wypisane są objawy a nie przyczyny opóźnień. Na rysunku 4 przedstawiono rzeczywiste przyczyny opóźnień za ten sam okres czasu w tej firmie. Jak widać przyczyny bardzo się zmieniły i wskazują na inne działania naprawcze. W analizowanym okresie czasu problem nie tkwił w niewystarczających zasobach ludzkich i maszynowych, ale w planowaniu. Warto zwrócić uwagę na stosunkowo duży udział procedur i standardów planistycznych, jako przyczynę opóźnień. Należy pamiętać, że te same standardy i procedury istotnie wpłynęły na terminową realizację zamówień nie opóźnionych, a więc wcale nie musi to oznaczać, że wymagają one zmiany.



**Rys. 4.** Rzeczywiste przyczyny źródłowe opóźnień  
*Źródło: opracowanie własne*

Przykłady te pokazują jak ważne jest dokładne określanie przyczyn, i zmusza do refleksji nad sensem badania pewnych zjawisk, na który wpływa wiele czynników i między którymi występują skomplikowane interakcje – jak zjawisko nieterminowości – poprzez kwestionariusze i wywiady z pracownikami firm. Często osoby najlepiej znające dany system produkcyjny, mają problem z prawidłowym określeniem przyczyn występujących problemów, a nawet gdy je znają, trudno jest im wskazać swoje obszary zadaniowe jako przyczyny opóźnień, co wynika z natury ludzkiej.

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zagadnienie determinacji przyczyn opóźnień w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej. Omówiono istotę terminowości we współczesnym przedsiębiorstwie produkcyjnym oraz przedstawiono trudności w określaniu tychże przyczyn. Zaproponowano algorytm służący do determinacji powodów nieterminowości oraz pokazano zestawienie przyczyn opóźnień przed i po szczegółowej analizie przyczyn źródłowych opóźnień dla przedsiębiorstwa o produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej.

Wydaje się, że ze względu na trudności w poprawnym określeniu przyczyn źródłowych opóźnień, nie jest zasadne stosowanie w tym zakresie badań ankietowych, gdyż wyniki obciążone będą błędem subiektywnej percepcji tych przyczyn przez pracowników firm. Z drugiej strony niezależny badacz może nie posiadać niezbędnej do interpretacji danych wiedzy eksperckiej. Z tych powodów, a także osobistych doświadczeń autorów, można sformułować wniosek, że najskuteczniejszą metodą analizy przyczyn opóźnień w produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej jest studium przypadku.

#### Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie trudności w odnajdywaniu rzeczywistych przyczyn opóźnień, propozycja sposobu określania przyczyn źródłowych oraz zestawienie tychże przyczyn dla wybranego okresu czasu w przedsiębiorstwie o produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej. W artykule przedstawiono charakterystykę produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej ze szczególnym uwzględnieniem jej specyfiki w zakresie przyczyn opóźnień. Przedstawiono propozycję algorytmu odnajdywania przyczyn źródłowych oraz narzędzia analizy przyczynowo-skutkowej, które mogą być z powodzeniem zastosowane do determinacji przyczyn źródłowych opóźnień oraz zaprezentowano ich przykładowe zastosowanie. Zestawiono również rzeczywiste przyczyny źródłowe w wybranym okresie czasu w przedsiębiorstwie o produkcji małoseryjnej i wieloasortymentowej.

Słowa kluczowe: przyczyny opóźnień, terminowość, opóźnienia, produkcja małoseryjna

#### The determination of the root causes of delays in the small lot and multi-assortment production

#### Abstract

The aim of the article is to explain how the root causes of delays can be determined in the small lot and multi-assortment production. Difficulties in the determination are listed and commented. The delay cause finding algorithm is presented with associated root-cause analysis tools. The examples of their use are shown. The real root-causes of delays in a production company with the small lot and multi-assortment production are presented.

Keywords: root cause, delays, on-time, small lot multi-assortment production

#### LITERATURA

- [1] Nowakowski, T.: Problematyka niezawodności procesów logistycznych. Proces magazynowania, Logistyka i Transport, 2007, 1, 4, s. 63-71.
- [2] Leong, G.K., Snyder, D.L., Ward, P.T.: Research in the process and content of manufacturing strategy, Omega, 1990, 18, 2, s. 114.

- [3] Vickery, S.K., Droge, C., Markland, R.E.: Dimensions of manufacturing strength in the furniture industry, *Journal of Operations Management*, 1997, 15, s. 317-330.
- [4] Boyaci, T., Ray, S.: The Impact of Capacity Costs on Product Differentiation in Delivery Time, Delivery Reliability, and Price. *Production and Operations Management*, 2006, 15, 2, s. 179-197.
- [5] Horte, S.A., Lindberg, P. and Tunalv, C.: Manufacturing strategies in Sweden, *International Journal of Production Research*, 1987, 25, 11, s. 1573-1586.
- [6] Vokurka, R.J. and Davis, R.A.: Focused factories: empirical study of structural and performance differences, *Production & Inventory Management Journal*, 2000, 41, 1, s. 44-55.
- [7] Dangayach, G.S. and Deshmukh, S.G.: Evidence of manufacturing strategies in Indian industry: a survey, *International Journal of Production Economics*, 2003, 8, 3, s. 279-298.
- [8] Corbett, L.M.: A comparative study of the operations strategies of globally and domestically-oriented New Zealand manufacturing firms, *International Journal of Production Research*, 1996, 34, 10, s. 2677-2689.
- [9] Rajagopal, S. and Bernard, K.N.: Strategic procurement and competitive advantage, *International Journal of Purchasing & Materials Management*, 1993, 29, 4, s. 12-20.
- [10] Kumar, A., Motwani, J.: A methodology for assessing time-based competitive advantage of manufacturing firms, *International Journal of Operations & Production Management*, 1995, 15, 2, s. 36-53.
- [11] Mabin, V. J., Balderstone S. J.: *World of the Theory of Constraints: A review of the International Literature*, Boca Raton Florida, St. Lucie Press/APICS Series on Constraints Management, 2000.
- [12] Shingo Sh.: *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Productivity Press, 1985.
- [13] Madu, Ch.: Strategic value of reliability and maintainability management, *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 2005, 22, 2-3, s. 317-328.
- [14] Nepal, B., Natarajarathinam, M., Balla, K.: Improving manufacturing process for biomedical products: a case study, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2011, 22, 4, s. 527-540.
- [15] Ishikawa, K.: *Guide to quality control*, Asian productivity organization, Tokio 1982, s. 18-29
- [16] Ohno T.: *System Produkcyjny Toyoty: Więcej niż produkcja na dużą skalę*, Productivity Press, Wrocław 2008