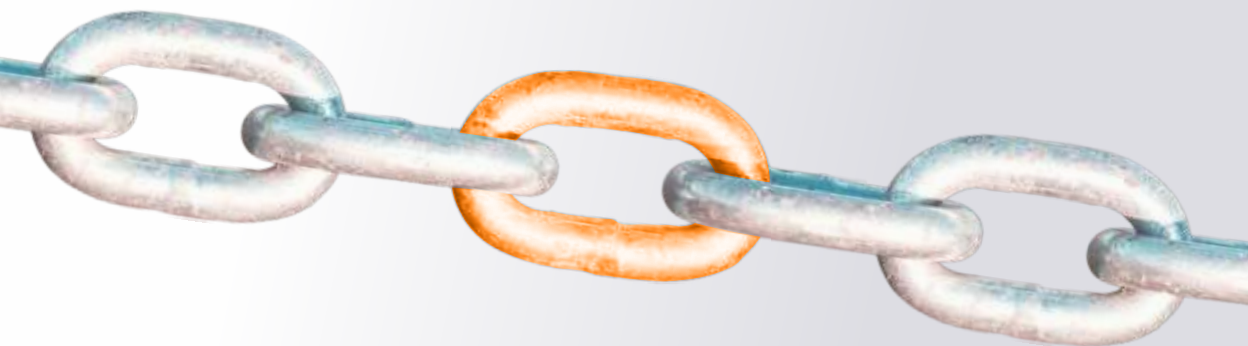


TEORIA OGRANICZEŃ W PRODUKCJI

Patrycja Rogowska



Politechnika
Białostocka

Patrycja Rogowska

TEORIA OGRANICZEŃ W PRODUKCJI



OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI BIAŁOSTOCKIEJ
BIAŁYSTOK 2025

Recenzenci:
prof. dr hab. inż. Radosław Wolniak
dr hab. Agnieszka Marta Sokołowska-Durkalec, prof. UEW

Redaktor naukowy dyscypliny nauki o zarządzaniu i jakości:
dr hab. Ewa Glińska, prof. PB

Korekta językowa:
Katarzyna Duniewska

Skład, grafika i okładka:
Marcin Dominów

Zdjęcie na okładce: manfredrichter
<https://pixabay.com/photos/metal-chain-chain-rusty-iron-4736603/>

© Copyright by Politechnika Białostocka, Białystok 2025

ISBN 978-83-68673-14-2
ISBN 978-83-68673-15-9 (e-Book)
DOI: 10.24427/978-83-68673-15-9



Publikacja jest udostępniona na licencji
Creative Commons Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 4.0
(CC BY-NC-ND 4.0).

Pełną treść licencji udostępniono na stronie
creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.pl.
Publikacja jest dostępna w Internecie na stronie Oficyny Wydawniczej PB.

Druk: Agencja Reklamowa TOP Agnieszka Łuczak

Oficina Wydawnicza Politechniki Białostockiej
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok
e-mail: oficina.wydawnicza@pb.edu.pl
www.pb.edu.pl

Spis treści

Wstęp	5
1. Organizacja i zarządzanie produkcją.....	11
1.1. Charakterystyka procesów produkcyjnych	11
1.2. Charakterystyka systemów produkcyjnych	24
1.3. Otoczenie systemu produkcyjnego	33
2. Teoria ograniczeń	41
2.1. Założenia teorii ograniczeń.....	41
2.2. Ograniczenia	47
2.3. Metody identyfikacji wąskich gardeł.....	52
2.4. Techniki i narzędzia usprawniające przepływ produkcji	56
3. Charakterystyka branży poligraficznej i metodyka badań	73
3.1. Charakterystyka branży poligraficznej	73
3.2. Charakterystyka metody studium przypadku	81
3.3. Charakterystyka badania ankietowego	83
4. Identyfikacja ograniczeń w branży poligraficznej – wyniki badań jakościowych.....	87
4.1. Koncepcja metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym.....	87
4.2. Studium przypadku przedsiębiorstwa A	92
4.3. Studium przypadku przedsiębiorstwa B.....	103
4.4. Wnioski z badań jakościowych	114
5. Gotowość przedsiębiorstw poligraficznych do identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych – wyniki badań ilościowych.....	119
5.1. Charakterystyka badanej próby	119
5.2. Ocena potencjału przedsiębiorstw do identyfikacji ograniczeń.....	121
Podsumowanie.....	131
Załącznik – autorski kwestionariusz badawczy.....	135
Bibliografia	139
Spis tabel.....	149
Spis rysunków	151
Streszczenie	153
Abstract.....	155

Wstęp

Wysoka produktywność systemów produkcyjnych stanowi jedno z głównych wyzwań, które niepokoją menedżerów na różnych szczeblach przedsiębiorstw produkcyjnych. Codziennie muszą oni zmagać się z trudnościami związanymi z eliminacją różnego typu strat i nieciągłości przepływu oraz brakiem zbalansowania pomiędzy maszynami.

Jedną z bardziej interesujących koncepcji, która może pomóc menedżerom w zarządzaniu systemami produkcyjnymi jest teoria ograniczeń (*ang. theory of constraints*, TOC) autorstwa Eliyahu M. Goldratta. Podejście to koncentruje się na identyfikacji głównego ograniczenia, które w największym stopniu hamuje osiąganie przez system lepszych wyników w odniesieniu do jego celu. TOC wyróżnia się względną prostotą i obietnicą wysokiej skuteczności, co może przesądzać o jej atrakcyjności w oczach menedżerów. Mimo że nie jest to nowa koncepcja, nie ma wielu badań, które analizują problematykę jej funkcjonowania w przedsiębiorstwach.

Wątpliwości może wzbudzać słowo „teoria” obecne w nazwie koncepcji będącej przedmiotem zainteresowania w niniejszej monografii. Jednak termin „teoria” nie jest tutaj używany w ściśle naukowym sensie, ale raczej w bardziej potocznym znaczeniu. Według *Słownika języka polskiego PWN* teoria, oprócz „całościowej koncepcji zawierającej opis i wyjaśnienie zjawisk”, to również „czykolwiek koncepcja na określony temat”¹. Podkreślić należy, że TOC została w taki sposób nazwana przez jej autora, Goldratta, i pod taką nazwą funkcjonuje niezmiennie w literaturze światowej.

Ze względu na swój interdyscyplinarny charakter TOC bywa w literaturze przedmiotu różnie klasyfikowana – jako filozofia, koncepcja, podejście systemowe, teoria bądź metoda zarządzania. Zróżnicowanie terminologiczne wynika z faktu, iż TOC obejmuje zarówno ogólne zasady myślenia o funkcjonowaniu systemów, jak i konkretne narzędzia oraz procedury ich doskonalenia. W niniejszej monografii TOC jest traktowana przede wszystkim jako metodyka zarządzania systemowego, integrująca elementy filozofii i koncepcji systemowego myślenia o organizacji z praktycznym wymiarem wdrożeniowym. Takie ujęcie pozwala uniknąć niejednoznaczności terminologicznych i przyjąć, że TOC stanowi spójne podejście łączące wymiary koncepcyjny z operacyjnym, co czyni ją zarówno myślą przewodnią, jak i zbiorem narzędzi możliwych do zastosowania w praktyce zarządzania.

¹ Teoria [w:] *Słownik języka polskiego PWN*, <https://sjp.pwn.pl/slowniki/teoria.html> [dostęp: 25.06.2023].

Na podstawie krytycznego przeglądu literatury² dotyczącego TOC oraz identyfikacji czynnika ograniczającego w systemach produkcyjnych dostrzeżono istniejącą lukę badawczą. Wskazano na **istnienie potrzeby opracowania metodyki służącej identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych**, która będzie pomocnym narzędziem podczas wdrażania TOC w przedsiębiorstwie.

Wskazanie luki badawczej stanowiło kluczowy motyw sformułowania problemu badawczego, który można przedstawić w postaci pytania badawczego: **Jak prawidłowo zidentyfikować ograniczenie systemu produkcyjnego, który charakteryzuje się dużą różnorodnością wyrobów i zróżnicowanym przepływem produkcji?**

Pogłębiona analiza literatury przedmiotu oraz przeprowadzenie wstępnych badań umożliwiły sformułowanie celów i hipotez badawczych. Za cel główny monografii przyjęto **opracowanie metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych typowych dla branży poligraficznej**.

Postawiono również następujące szczegółowe cele badawcze:

- a) synteza obecnej wiedzy na temat TOC, metod identyfikacji wąskich gardeł oraz systemów produkcyjnych;
- b) przeprowadzenie analizy branży poligraficznej w Polsce;
- c) opracowanie koncepcyjne metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej;
- d) empiryczna weryfikacja i rozwinięcie metodyki identyfikacji ograniczeń systemu produkcyjnego poprzez studia przypadków w wybranych przedsiębiorstwach;
- e) sformułowanie rekomendacji dotyczących zastosowania metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej.

Realizacja postawionych celów monografii ma doprowadzić do zweryfikowania hipotezy badawczej przyjmującej następujące brzmienie: **identyfikacja wąskiego gardła systemu produkcyjnego w branży poligraficznej wymaga wielokrotnego potwierdzenia z wykorzystaniem metod opartych na różnych parametrach systemu produkcyjnego**.

Obiektem prowadzonych badań są przedsiębiorstwa działające w sektorze poligraficznym, zajmujące się produkcją różnorodnych wyrobów. Przedsiębiorstwa te stanowią ważny obszar badawczy ze względu na ich specyficzne wymagania i zróżnicowany przepływ produkcji, a także znaczenie ekonomiczne w gospodarce.

Monografia przedstawia szeroki zakres prac badawczych, które obejmują studia literaturowe, studia koncepcyjne, studia przypadków oraz badania ankietowe. Skupiają się one na dogłębnym rozpoznaniu tematu oraz specyfiki branży poligraficznej w celu opracowania kompleksowej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach

² W. Urban, P. Rogowska, *Systematic literature review of theory of constraints* [w:] A. Hamrol, A. Kujańska, M. Barraza (red.), *Advances in manufacturing II*, t. 2, *Production engineering and management*, Springer, 20 s. 129–138.

produkcyjnych. Istotnym aspektem studiów przypadków są pytania badawcze, które pozwalają skoncentrować się na kluczowych zagadnieniach związanych z analizowanym problemem.

W niniejszej monografii w odniesieniu do badań jakościowych postawiono następujące pytania:

1. Czy opracowana koncepcja metodyki identyfikacji ograniczeń jest możliwa do zastosowania w rzeczywistym systemie produkcyjnym branży poligraficznej?
2. Czy opracowana koncepcja metodyki identyfikacji ograniczeń doprowadzi do jednoznacznego i trafnego wskazania wąskiego gardła badanego systemu produkcyjnego?

W odniesieniu do badań ilościowych sformułowano natomiast pytanie: Czy przedsiębiorstwa poligraficzne są gotowe do stosowania metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych?

Monografia składa się z pięciu rozdziałów. Trzy pierwsze mają charakter teoretyczny i przeglądowy. Kolejne dwa koncentrują się na aspektach empirycznych, prezentując wyniki przeprowadzonych badań oraz działań mających na celu rozwiązanie postawionego problemu badawczego.

Pierwszy rozdział pracy prezentuje syntetyczny przegląd literatury dotyczący organizacji i zarządzania produkcją. Zaprezentowano w nim definicję produkcji oraz opisano jej powiązanie z procesem produkcyjnym. Szczegółowo wyjaśniono pojęcie procesu produkcyjnego oraz dokładnie omówiono jego podział ze względu na: znaczenie dla powstawania wyrobu, charakter działań wykonywanych w stosunku do przedmiotu pracy, właściwości produktu, rodzaj stosowanej technologii, udział pracy ludzkiej oraz wykorzystywane środki pracy. W rozdziale tym poświęcono również uwagę rodzajom produkcji oraz formom jej organizacji. Ponadto omówiono istotę cyklu produkcyjnego, cyklu wytwórczego oraz sposoby przekazywania wyrobów między stanowiskami pracy podczas trwania operacji technologicznych. Istotnym aspektem była również analiza zarządzania zapasami, która została szczegółowo opisana. Dodatkowo scharakteryzowano system produkcyjny, dokładnie analizując jego model oraz podział na podsystemy. Omówiono kluczowe wskaźniki oceny systemu produkcyjnego, takie jak zdolność produkcyjna, produktywność oraz wydajność. Rozdział zakończono dogłębną analizą otoczenia systemu produkcyjnego.

W rozdziale drugim, podobnie jak w rozdziale pierwszym, przeprowadzono pogłębione studia literaturowe, których analiza koncentrowała się na TOC jako jednej z metod zarządzania. Dokładnie omówiono jej założenia, przeprowadzono analizę interpretacji definicji wąskiego gardła i ograniczenia oraz wskazano własną interpretację. W rozdziale tym poświęcono szczególną uwagę metodom identyfikacji wąskich gardeł, jakie rozpoznane zostały w literaturze przedmiotu. W dalszej części skupiono się na omówieniu wybranych technik usprawniających przepływ produkcji, takich jak DBR, SMED, 5S, TPM, Kaizen, standaryzacja pracy oraz outsourcing.

W rozdziale trzecim scharakteryzowano obiekt badań – branżę poligraficzną. Omówiono strukturę podziału przedsiębiorstw poligraficznych w Polsce w zależności od ich wielkości w okresie od 2015 do 2020 roku. Następnie dokonano analizy obrotów generowanych przez polskie przedsiębiorstwa poligraficzne i relacji przychodów, a także relacji między przychodami a liczbą zatrudnionych osób. Kolejno omówiono technologie wykorzystywane w procesie produkcji wyrobów oferowanych przez firmy z branży. Następnie skupiono się na planach rozwojowych przedsiębiorstw poligraficznych na najbliższe 2–3 lata oraz ich celach na przyszłość. Dokonano również analizy sprzedaży produktów na rynkach zagranicznych oraz omówiono wpływ branży poligraficznej na środowisko w kontekście ekologii. W dalszej części rozdziału opisano metodykę studium przypadku, która została wykorzystana w badaniach jakościowych. Przedstawiono scenariusz precyzujący kolejność i zakres działań w procesie badawczym. Rozdział zakończono opisem badania ankietowego, przedstawiając strukturę i założenia użytego narzędzia badawczego, charakterystykę badanej populacji oraz przebieg procesu badawczego.

Rozdział czwarty poświęcono analizie studiów przypadków przeprowadzonych w dwóch wybranych przedsiębiorstwach poligraficznych. W ramach tego rozdziału omówiono koncepcję metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych wraz z wyczerpującym opisem każdego etapu. Następnie przedstawiono opisy poszczególnych przypadków, zachowując pełną anonimowość badanych organizacji. Studia przypadków rozpoczynają się od krótkiej charakterystyki obiektów badawczych, a następnie prezentują etap praktycznego wykorzystania metodyki identyfikacji ograniczeń. W pierwszej kolejności zidentyfikowano procesy tworzące przepływ wyrobów. Następnie zastosowano sześć metod identyfikacji wąskiego gardła w badanych systemach produkcyjnych. Po ustaleniu wąskiego gardła określono dystans do kolejnego ograniczenia. Metoda studium przypadku posłużyła do weryfikacji opracowanej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej, a także do zebrania dodatkowych informacji pozwalających na uzupełnienie i uszczegółowienie zaproponowanego podejścia. Rozdział zakończono sformułowaniem wniosków z przeprowadzonych badań wraz z opracowaniem ostatecznej postaci metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej.

Ostatni rozdział monografii prezentuje wyniki badań ilościowych przeprowadzonych na populacji 237 przedsiębiorstw poligraficznych. Przedstawiono charakterystykę badanej próby oraz opisano możliwości dotyczące wykorzystania TOC w branży poligraficznej. Badanie ankietowe umożliwiło zweryfikowanie i uzupełnienie informacji pozyskanych od wybranych przedsiębiorstw podczas przeprowadzania badań jakościowych.

Monografię zakończono podsumowaniem zawierającym wnioski skierowane do kierowników produkcji oraz ekspertów zajmujących się wdrażaniem TOC. W podsumowaniu pracy zawarto również propozycje dalszych badań i wskazano obszary wymagające eksploracji. Propozycje te mogą stanowić punkt wyjścia dla kolejnych prac badawczych mających na celu pogłębienie wiedzy na temat zastosowania TOC w branży poligraficznej.

W pracy zostały wykorzystane zarówno polskie, jak i zagraniczne źródła literaturowe. Oprócz tego wykorzystano informacje pochodzące z autoryzowanych baz danych Głównego Urzędu Statystycznego oraz raportów branżowych Instytutu Gutenberga. Dzięki temu wykorzystano szerokie spektrum informacji uwzględniających zarówno teoretyczne aspekty badanej tematyki, jak i aktualne dane statystyczne oraz raporty związane z branżą poligraficzną.

1. Organizacja i zarządzanie produkcją

1.1. Charakterystyka procesów produkcyjnych

Biorąc pod uwagę rodzaj wykonywanej działalności, wyróżnia się dwa główne typy przedsiębiorstw: produkcyjne i usługowe. Przedsiębiorstwa produkcyjne zajmują się wytwarzaniem różnego rodzaju wyrobów, na przykład maszyn lub pojedynczych ich komponentów. Z kolei przedsiębiorstwa usługowe specjalizują się w świadczeniu różnego rodzaju usług, na przykład handlowych. Oba rodzaje przedsiębiorstw różnią się od siebie rodzajem działalności, ale zarówno jedno, jak i drugie mają na celu osiągnięcie zysków poprzez zaspokajanie potrzeb klientów i rynku³.

Produkcja to proces pracy, w którym ludzka aktywność, świadomie i celowo wykorzystując odpowiednie narzędzia, przekształca przedmioty pracy (surowce i materiały) w produkty. Proces ten składa się z sekwencji skoordynowanych operacji technologicznych, w wyniku których następuje zmiana właściwości mechanicznych lub kształtu produktu. Produkcję można zdefiniować również jako proces wytwarzania produktów lub usług przez producenta, którego celem jest ich sprzedaż na rynku. Produkty te mogą przybierać różne formy, w tym wyrobów przemysłowych, żywnościowych, usług oraz wiele innych. Pojęcie produkcji jest ściśle związane z pojęciem procesu produkcyjnego⁴, który można scharakteryzować w następujący sposób:

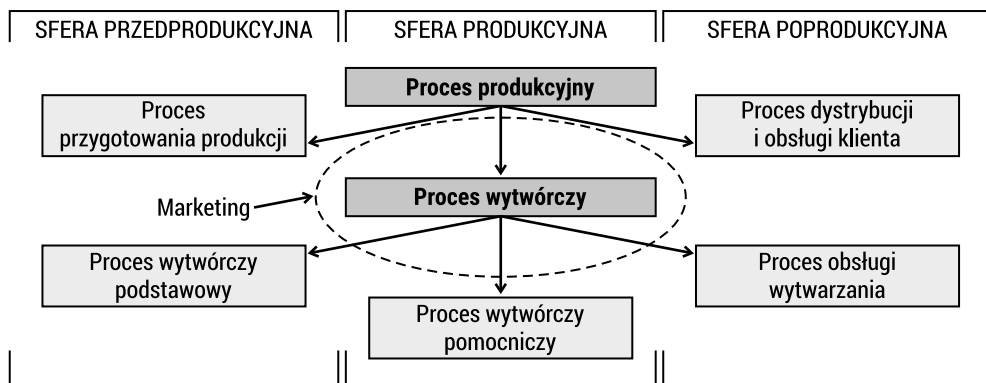
- zespół uporządkowanych działań (zadań, zabiegów, operacji itp.) mających na celu przetworzenie surowców lub materiałów w pojedynczy wyrób lub grupę wyrobów, przy czym wyroby te mogą się zmieniać w zależności od potrzeb rynkowych lub specyfikacji klienta;
- sekwencja czynności, które są wykonywane w określonej kolejności i z wykorzystaniem różnych narzędzi oraz technologii, z uwzględnieniem przy tym ograniczeń czasowych;
- jest podatny na zmienność charakterystyk ilościowych i jakościowych, zasobów energetycznych, materiałowych i informacyjnych, co świadczy o dynamicznym charakterze przebiegu produkcji;

³ J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy produkcyjne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013, 2021, s. 23.

⁴ K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie produkcją*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014, s. 17.

- powinien być opłacalny, czyli realizowany w sposób, który zapewnia optymalne wykorzystanie zasobów produkcyjnych w celu uzyskania najwyższej wydajności przy minimalnych kosztach.

Proces produkcyjny dzieli się na trzy sfery: **przedprodukcyjną**, **produkcyjną** i **poprodukcyjną** (rysunek 1.1).



RYSUNEK 1.1. Struktura procesu produkcyjnego i wytwórczego

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: R. Knosala (red.), *Inżynieria produkcji: kompendium wiedzy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2017, s. 33; R. Kozłowski, B. Liwowski, *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Wolters Kluwer Polska SA, Warszawa 2011, s. 16–17; J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 24.

Na etapie **przedprodukcyjnym**, czyli przygotowania do produkcji, projektowany jest wzorzec wyrobu oraz dokumentowane są kolejne działania potrzebne do jego wytworzenia w rzeczywistej formie. W literaturze przedmiotu etap przygotowania do produkcji jest określany również jako proces badań i rozwoju. Proces ten dotyczy wszystkich trzech obszarów: organizacyjnego, konstrukcyjnego i technologicznego, a jego celem jest, jak sama nazwa wskazuje, przygotowanie do produkcji. Pominięcie tego kroku i uruchomienie czynności produkcyjnych w formie materialnej prowadziłoby do wielu problemów, co utrudniłoby efektywne wykorzystanie zasobów i uniemożliwiłoby przedsiębiorstwu osiągnięcie minimalnej opłacalności. Kolejnym etapem wchodzącym w skład sfery produkcyjnej jest **proces wytwórczy**, który obejmuje proces podstawowy, polegający na przetwarzaniu surowców i półproduktów w gotowe produkty, proces pomocniczy, w którego skład wchodzi prace niezbędne do realizacji procesu podstawowego, ale jednocześnie niestanowiące bezpośredniej części produkcji, oraz proces obsługi wytwarzania, obejmujący wszystkie czynności związane z organizacją pracy i zarządzaniem produkcją. Sfera **poprodukcyjna** skupia się na zapewnieniu funkcjonowania procesów związanych z obsługą klienta i dystrybucją. W ramach tych procesów organizowane są badania marketingowe, obsługa serwisowa oraz sprzedaż. Głównym celem jest utworzenie skutecznych

kanałów dystrybucji, które pozwolą na dostarczenie gotowych produktów do klientów końcowych^{5, 6, 7}.

W sferze produkcyjnej występuje duża różnorodność działań i wytwarzanych wyrobów, co uniemożliwia stworzenie uniwersalnego zestawu reguł i prawidłowości, które mogłyby objąć wszystkie elementy tego obszaru. Z tego powodu konieczne jest uporządkowanie i wyodrębnienie podobnych grup działań, które podlegają wspólnym zasadom i regułom. W tym celu stosuje się klasyfikacje pozwalające na uporządkowanie procesów produkcyjnych i ułatwiające ich analizę oraz ulepszanie⁸.

Na etapie wytwarzania produktów procesy produkcyjne mogą zostać pogrupowane na podstawie ich znaczenia dla powstawania wyrobu na: **procesy podstawowe, pomocnicze (obsługowe) i zarządcze (informacyjno-sterujące)**. **Procesy podstawowe** są niezbędne do zrealizowania wymagań klienta. Koszty z nimi związane są akceptowalne dla klienta, a procesy te dostarczają wartość dodaną produktom końcowym. Wchodzą one w skład procesu produkcyjnego i są bezpośrednio związane z procesem technologicznym, który składa się z ciągu operacji technologicznych mających na celu wytworzenie wyrobu. **Procesy pomocnicze (obsługowe)** również są konieczne do wykonania zamówienia klienta, a więc do realizacji procesów podstawowych, ale nie dostarczają mu wartości dodanej. Ich przeprowadzanie wynika z ustalonej organizacji systemu produkcyjnego i przyczynia się do wzrostu kosztów produkcji, przy czym klient nie akceptuje ponoszenia kosztów tych działań. Procesy pomocnicze obejmują operacje, takie jak: konserwacja, kontrola, transport, magazynowanie oraz składowanie, które wspierają procesy podstawowe, a także umożliwiają ich skuteczną realizację. Operacja konserwacji jest istotnym procesem mającym na celu utrzymanie właściwych cech wyrobu w czasie jego eksploatacji poprzez stosowanie okresowych zabiegów konserwacyjnych. Odbywa się z wykorzystaniem środków konserwujących, które nie są składnikami wytwarzanego wyrobu, tylko są usuwane przed jego użyciem. Operacja kontroli to proces polegający na badaniu części, zespołów lub gotowych wyrobów przez wykonawcę lub specjalistów zgodnie z ustalonym programem kontroli. Badane elementy poddawane są pomiarom i testom przy użyciu specjalnych narzędzi kontrolno-pomiarowych, aby sprawdzić ich zgodność z wzorcami lub normami jakościowymi. Operacja transportu polega na przemieszczaniu materiałów, półwyrobów, części lub gotowych wyrobów z jednego miejsca w drugie. Czas trwania operacji transportu jest uzależniony od wymagań realizowanego procesu. Choć operacja ta nie wpływa na zmiany w produkcji, to wymaga odpowiednich środków transportu i powoduje utratę czasu. W celu zapewnienia płynnego przepływu produkcji konieczne jest minimalizowanie liczby i czasu trwania operacji transportowych. Operacja składowania i magazynowania polega na przechowywaniu materiałów, półproduktów lub gotowych wyrobów w wydzielonych powierzchniach

⁵ R. Kozłowski, B. Liwowski, *Podstawowe zagadnienia...*, s. 16–17.

⁶ R. Knosala (red.), *Inżynieria produkcji...*, s. 33.

⁷ J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 25.

⁸ R. Kozłowski, B. Liwowski, *Podstawowe zagadnienia...*, s. 17.

magazynowych, składowych lub na odpowiednich urządzeniach transportowych. W wyniku tej operacji nie następuje zmiana całego produktu lub jego części, jednak jest ona czasochłonna i wymaga nakładu pracy i środków. Przy odpowiednim zaplanowaniu procesu produkcyjnego należy dążyć do minimalizacji liczby i czasu trwania operacji składowania i magazynowania, tak aby zapewnić ciągły przepływ produkcji. **Procesy zarządcze (informacyjno-sterujące)** są niezbędne do zarządzania procesami produkcyjnymi, takimi jak planowanie, organizowanie, kontrolowanie i koordynowanie działań. Nie przynoszą one bezpośredniej wartości dodanej produktowi, ale ich wykonywanie jest niezbędne do skutecznego zarządzania procesami i osiągnięcia celów produkcji⁹.

Wszystkie trzy rodzaje procesów są ze sobą ściśle powiązane i wzajemnie się uzupełniają. Procesy podstawowe stanowią fundament wytwarzania produktu końcowego, ale nie mogą funkcjonować bez wsparcia ze strony procesów pomocniczych, które dostarczają niezbędnych zasobów i materiałów. Jednocześnie skuteczne zarządzanie procesami produkcyjnymi jest kluczowe dla zapewnienia optymalnego wykorzystania zasobów i koordynacji działań. Procesy pomocnicze i zarządcze nie mają jednak racji bytu bez procesów podstawowych, ponieważ ich głównym celem jest umożliwienie i poprawa wydajności tych właśnie procesów¹⁰.

W zależności od charakteru działań wykonywanych w stosunku do przedmiotu pracy można wyróżnić¹¹:

- **procesy technologiczne** – wszystkie działania mające na celu przekształcenie cech przedmiotu pracy (surowce, materiały) w gotowy wyrób;
- **procesy kontrolno-pomiarowe** – działania pozwalające na określenie cech charakteryzujących stan przedmiotu pracy na danym etapie produkcji, porównanie tych cech z odpowiednim wzorcem i stwierdzenie, czy stan faktyczny jest zgodny z normami, czy też występują odstępstwa;
- **procesy transportowe (wewnętrzne i zewnętrzne)** – czynności związane z przemieszczaniem przedmiotu pracy, które prowadzą do zmiany jego położenia lub pozycji;
- **procesy składowania i magazynowania** – przechowywanie przedmiotu pracy w czasie, kiedy nie jest on poddawany żadnym działaniom związanym z produkcją.

Proces technologiczny jest głównym elementem procesu produkcyjnego (podstawowego), w którym następuje przekształcenie surowców i materiałów poprzez zmianę ich właściwości, kształtu i konfiguracji w celu uzyskania oczekiwanego wyrobu końcowego. Proces technologiczny składa się z serii operacji technologicznych (obróbkowych i montażowych), które są charakterystyczne ze względu na niezmienność obiektu

⁹ J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 25–27.

¹⁰ E. Pająk, *Zarządzanie produkcją*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2021, s. 108.

¹¹ R. Kozłowski, B. Liwowski, *Podstawowe zagadnienia...*, s. 17–20.

przetwarzanego, stanowiska pracy oraz wykonawcy. W trakcie każdej z operacji technologicznych wykonywana jest określona czynność przetwarzania, która ma na celu przekształcenie materiału lub wyrobu w określony sposób. W trakcie operacji technologicznej przedmiot obrabiany jest zamocowany w sposób zapewniający stabilność jego położenia. Operacja ta może być przeprowadzana w jednym lub kilku zamocowaniach oraz w jednej lub kilku pozycjach, co określa położenie przedmiotu w stosunku do narzędzia. Operacja technologiczna składa się z zabiegów realizowanych z wykorzystaniem tych samych parametrów obróbki, ustawienia i pozycji. Zabiegi te dzielą się na proste – dotyczące obróbki jednej powierzchni przy użyciu jednego narzędzia – oraz złożone – obejmujące obróbkę zespołu powierzchni przy użyciu jednego narzędzia i według ustalonego programu. W procesie technologicznym wyróżnia się dwa pojęcia: czynność i ruch elementarny. Każda operacja (lub zabieg) składa się z określonych czynności, takich jak zamocowanie przedmiotu czy uruchomienie maszyny. Aby dokładnie zbadać czas wykonywania danej czynności, można ją podzielić na mniejsze, niewymierne fragmenty – ruchy elementarne, na przykład chwytanie dźwigni czy jej przestawienie. Terminy te są powszechnie używane w produkcji masowej w celu przeprowadzenia analizy czasowej procesu technologicznego¹². Strukturalny podział procesu technologicznego zaprezentowano na rysunku 1.2.

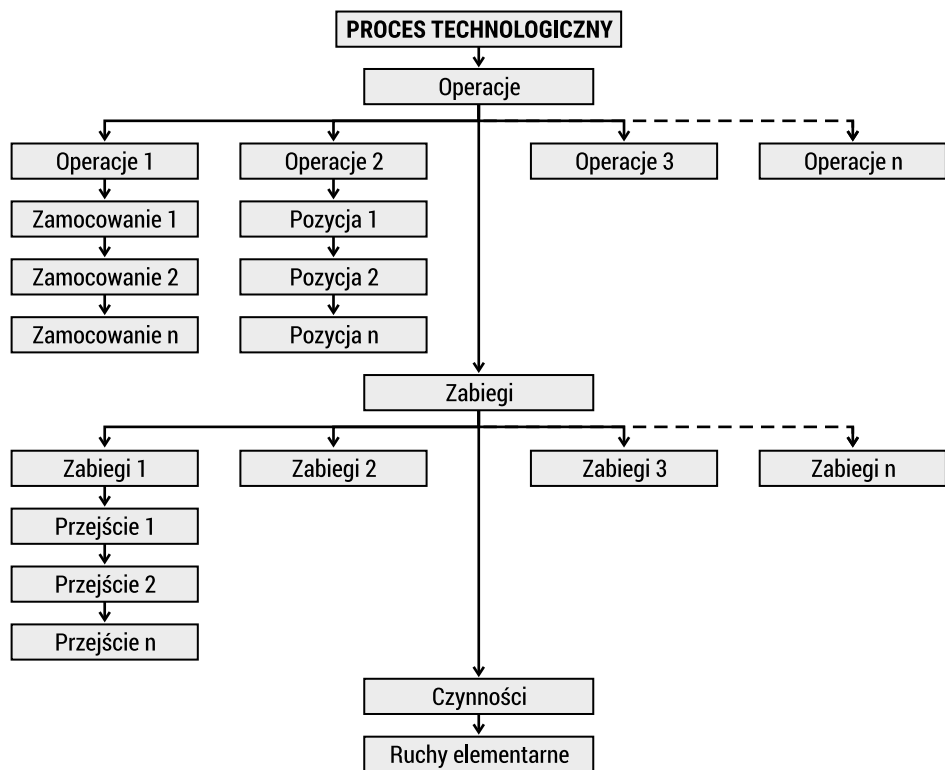
W zależności od wybranych zmiennych oraz charakterystyk można wyróżnić następujące typy procesów produkcyjnych:

- a) sklasyfikowane ze względu na ciągłość i przebieg w czasie¹³:
 - **procesy dyskretnie (nieciągłe)** – charakteryzują się tym, że wymagają udziału człowieka w procesie produkcyjnym – udział ten może przybierać formę bezpośredniego działania pracownika lub wymagać wykorzystania zautomatyzowanych urządzeń, takich jak obrabiarki CNC, roboty czy manipulatory przemysłowe;
 - **procesy ciągłe** – charakteryzują się nieprzerwanym przebiegiem w całodobowym cyklu pracy – takie procesy są często wykorzystywane w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych i zwykle wymagają minimalnej (lub żadnej) ingerencji człowieka;
- b) sklasyfikowane ze względu na złożoność procesów¹⁴:
 - **procesy proste** – zestaw operacji produkcyjnych związanych z produkcją jednej części wyrobu, włączając w to również operacje pomocnicze;
 - **procesy złożone** – składają się z połączonych ze sobą dwóch lub więcej procesów prostych, występują w trakcie procesu montażu wyrobu.

¹² R. Cieślak, E. Pająk, *Projektowanie procesów konwencjonalnych*, Wydawnictwo PWSZ w Koninie, Konin 2013, s. 12–16.

¹³ J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 27–28.

¹⁴ Ibidem, s. 32.



RYSUNEK 1.2. Strukturalny podział procesu technologicznego

ŹRÓDŁO: R. Cieślak, E. Pająk, *Projektowanie...*, s. 11.

W literaturze przedmiotu można znaleźć opis uwzględniający powyższy podział procesów produkcyjnych, który klasyfikuje je jako różne rodzaje produkcji, a dokładniej – wprowadza podział ze względu na policzalność wyrobu (produkcja dyskretna/ciągła) oraz złożoność wyrobu (produkcja prosta/złożona)¹⁵.

Ze względu na rodzaj stosowanej technologii można wyróżnić procesy¹⁶:

- **wydobywcze** – związane z pozyskiwaniem surowców mineralnych, na przykład ropy naftowej;
- **przetwórcze** – mające na celu zmianę właściwości fizykochemicznych surowców, czego skutkiem często jest uzyskanie nowych materiałów o odmiennych właściwościach;
- **obróbkowe** – mające na celu modyfikację wymiarów, kształtu lub struktury wewnętrznej przedmiotów pracy poprzez wykorzystanie specjalnych technik obróbki materiałów;

¹⁵ A. Hamrol, *Strategie i praktyki sprawnego działania. Lean, Six Sigma i inne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018, s. 219–220.

¹⁶ J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 29–30.

- **montażowe i demontażowe** – polegające na łączeniu pojedynczych części wyrobu lub jego fragmentów w celu uzyskania gotowego produktu (procesy montażowe) bądź też na rozłączaniu poszczególnych elementów wyrobu lub jego demontażu w całości (procesy demontażowe); oba rodzaje procesów są wykorzystywane w trakcie remontów, napraw oraz przygotowywania wyrobów do transportu lub przechowywania;
- **naturalne i biotechnologiczne** – prowadzące do modyfikacji właściwości przedmiotów pracy oraz produktów w wyniku interakcji z organizmami żywymi lub poprzez oddziaływanie na ich strukturę wewnętrzną lub powierzchnię.

Inny rodzaj klasyfikacji pozwala rozróżniać procesy w zależności od udziału w nich pracy ludzkiej. W tym przypadku można wymienić¹⁷:

- **procesy pracy** – nie mogące odbyć się bez udziału człowieka;
- **procesy naturalne** – będące wynikiem oddziaływań pomiędzy różnymi czynnikami przyrodniczymi, takimi jak temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne czy czas; przykładami tego typu procesów mogą być stygnięcie odlewu lub suszenie drewna.

Można również dokonać podziału procesów produkcyjnych ze względu na to, jakie środki pracy są w nich wykorzystywane. Będą to wówczas procesy¹⁸:

- **ręczne** – polegające na bezpośrednim oddziaływaniu pracownika na przedmioty pracy za pomocą prostych narzędzi;
- **ręczno-maszynowe** – wymagające od pracownika korzystania z maszyny, aby móc obrabiać przedmiot pracy;
- **maszynowe** – realizowane na maszynie, która obrabia przedmiot pracy, a pracownik pełni rolę operatora, czyli steruje maszyną roboczą;
- **zautomatyzowane** – polegające na programowaniu maszyn produkcyjnych oraz na monitorowaniu procesu produkcyjnego przez pracowników, którzy sprawdzają poprawność działania maszyn;
- **zintegrowane komputerowo** – realizowane przy użyciu zintegrowanych systemów produkcyjnych (CIM).

Przy opracowywaniu procesu technologicznego kluczowym czynnikiem jest wielkość produkcji, którą zazwyczaj określa się w odniesieniu do jednostki czasu, na przykład roku. Aby dokładnie określić wielkość produkcji, dzieli się ją na serie produkcyjne, dla których opracowuje się odpowiednie procesy technologiczne¹⁹. Typ (rodzaj) produkcji określa stopień specjalizacji stanowiska roboczego i związany z nim poziom stabilności wykonywanej pracy. Stopień specjalizacji danego stanowiska pracy jest wprost proporcjonalny do liczby wykonywanych na nim operacji lub przebrojeń.

¹⁷ K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie...*, s. 116.

¹⁸ Ibidem, s. 117.

¹⁹ R. Cieślak, E. Pająk, *Projektowanie...*, s. 17.

Wraz ze wzrostem liczby tych czynności stopień specjalizacji maleje. W celu określenia typu produkcji należy wziąć pod uwagę dwa wskaźniki – współczynnik liczby operacji technologicznych lub przebrojeń na jedno stanowisko oraz współczynnik obciążenia stanowiska roboczego. Organizacja przebiegu produkcji jest zależna od typu produkcji, który wiąże się ze specjalizacją stanowisk roboczych i poziomem stabilności pracy. Wraz z rosnącą specjalizacją stanowisk rośnie również poziom organizacji produkcji. Jednakże należy mieć na uwadze, że im wyższy poziom organizacji, tym produkcji dotyczą bardziej sztywne zasady i staje się ona mniej elastyczna na zmiany wynikające z potrzeb klienta²⁰.

Inne podejście do klasyfikacji typów produkcji opiera się na charakterystyce ilościowej, a więc na określeniu stopnia powtarzalności produkcji identycznych wyrobów (seryjności). **Serię produkcyjną** definiuje się jako zestawienie wszystkich wyrobów wytwarzanych zgodnie z jednym, stałym wzorcem, bez względu na to, czy produkcja odbywa się w jednym okresie, czy jest rozłożona w czasie. Natomiast **partia produkcyjna** to określona liczba wyrobów tego samego rodzaju (część serii), wykonanych w ramach jednego ciągu technologicznego bez przerw. W ujęciu klasycznym wyróżnia się trzy rodzaje produkcji: jednostkową, seryjną i masową.

Produkcja jednostkowa – określana również jako indywidualna, to produkcja pojedynczych, unikalnych wyrobów o indywidualnych cechach i specyfikacji, dostosowanych do wymagań klienta. Produkty mogą być wytwarzane jednorazowo lub z pewną powtarzalnością, ale ta powtarzalność zwykle występuje w nieregularnych i trudnych do przewidzenia odstępach czasu. Produkcja jednostkowa charakteryzuje się różnorodnym asortymentem i uniwersalnym parkiem maszynowym, w którym możliwe jest wykonywanie różnorodnych operacji, a także wysoko wykwalifikowaną kadrą. Dzięki tym cechom w procesie produkcji mogą występować określone zjawiska, na przykład:

- długi cykl produkcyjny,
- zwiększenie nakładów pracy,
- wzrost kosztów wytwarzania,
- niskie wykorzystanie możliwości produkcyjnych.

Produkcja seryjna – polega na jednoczesnej i bezpośrednio następującej po sobie produkcji określonej liczby (partii, serii) jednakowych lub podobnych wyrobów. W zależności od liczby produkowanych sztuk wyróżnia się krótko-, średnio- i wielokoseryjną produkcję seryjną. W produkcji seryjnej mogą występować różne zjawiska, na przykład:

- zwiększenie wydajności pracowników,
- wykorzystanie potencjału produkcyjnego na wyższym poziomie,
- krótszy cykl produkcyjny,
- mniejsze zapasy produkcji w toku.

²⁰ K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie...*, s. 124–125.

Produkcja masowa – produkcja dużych liczb identycznych wyrobów, zwykle w skali przemysłowej. Najbardziej charakterystyczną cechą tego typu produkcji jest niezmiennie obciążenie stanowisk pracy tymi samymi czynnościami przez dłuższy czas. Produkcja masowa charakteryzuje się dokładnym przygotowaniem technicznym, ułożeniem stanowisk roboczych zgodnie z kolejnością przebiegu procesu technologicznego wyrobu, w pełni jednorodnym asortymentem oraz powtarzalnością operacji²¹.

Oprócz wymienionych wcześniej rodzajów produkcji można wyróżnić także **produkcję ciągłą**, która polega na nieprzerwanym przetwarzaniu surowców lub półproduktów w celu uzyskania gotowych wyrobów. Przy tego typu produkcji stosuje się ciągłe przetwarzanie surowców, co pozwala na uzyskanie dużej liczby produktów w krótkim czasie. Przykłady produkcji ciągłej to produkcja papieru, aluminium, chemikaliów, a także energii elektrycznej w elektrowniach²².

Ściśle związana z rodzajami produkcji jest forma jej organizacji. To sposób, w jaki poszczególne elementy procesu produkcyjnego, takie jak części, zespoły lub wyroby, są przemieszczane pomiędzy stanowiskami roboczymi w cyklu produkcyjnym. Istnieją dwie główne kategorie form organizacji produkcji – **nierytmiczna i rytmiczna**.

Produkcja nierytmiczna – inaczej nazywana produkcją niepotokową, niestabilizowaną, niepowtarzalną, zmiennoseryjną lub gniazdową. Polega na wytwarzaniu zindywidualizowanych wyrobów na zamówienie klienta. Proces produkcyjny nie jest w tym przypadku stały, a poszczególne stanowiska robocze mogą współpracować z różnymi innymi stanowiskami. Kolejność operacji technologicznych może być zmieniana w zależności od potrzeb. Taką formę organizacji produkcji najczęściej stosuje się w gniazdach technologicznych lub przedmiotowych. Produkcję nierytmiczną charakteryzują następujące cechy²³:

- planowanie produkcji oparte na systemie zleceńowym,
- niski stopień specjalizacji stanowisk pracy,
- gniazdowe ustawienie maszyn,
- wysoki poziom zapasów produkcji w toku,
- wysoka podatność na szybkie zmiany.

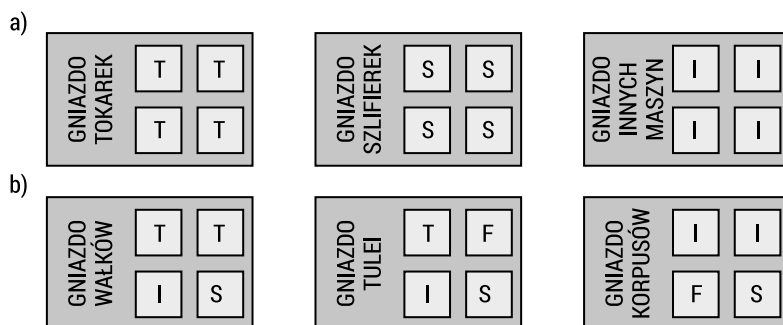
Produkcja nierytmiczna może przyjmować różne formy organizacyjne, w tym rozmieszczenie technologiczne i przedmiotowe. W przypadku rozmieszczenia technologicznego (rysunek 1.3a) podobne elementy wyposażenia są umieszczone we wspólnych lokalizacjach, natomiast w przypadku rozmieszczenia przedmiotowego (rysunek 1.3b)

²¹ R. Kozłowski, B. Liwowski, *Podstawowe zagadnienia...*, s. 30.

²² R. Knosala (red.), *Inżynieria produkcji...*, s. 34.

²³ M. Brzeziński, *Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie*, Difin, Warszawa 2013, s. 108.

całe wyposażenie potrzebne do wytworzenia produktu jest gromadzone na jednej powierzchni, niezależnie od funkcji, jakie pełni w procesie produkcyjnym²⁴.



RYСУNEK 1.3. Rozmieszczenie gniazda: a) technologicznego (T – tokarki, F – frezarki, S – szlifierki, I – inne maszyny), b) przedmiotowego

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: R. Knosala (red.), *Inżynieria produkcji...*, s. 42.

Produkcja rytmiczna – inaczej nazywana produkcją potokową, ustabilizowaną, powtarzalną lub stałoseryjną. Polega na wytwarzaniu większych serii identycznych lub podobnych wyrobów z wykorzystaniem zorganizowanego przepływu produkcji, gdzie kolejność operacji technologicznych oraz sposób przemieszczania się wyrobów między stanowiskami roboczymi są ustandaryzowane. Tego typu forma organizacji produkcji najczęściej stosowana jest w liniach produkcyjnych. W produkcji rytmicznej charakterystyczne są²⁵:

- ściśle określony harmonogram,
- wysoki stopień specjalizacji stanowisk pracy,
- liniowe ustawienie maszyn i urządzeń produkcyjnych,
- ciągły przepływ obrabianych elementów,
- mniejsze zapasy produkcji w toku,
- mała podatność na szybkie zmiany,
- stosowanie systemów kontroli jakości na każdym etapie procesu produkcyjnego.

Jednym z najważniejszych parametrów organizacyjnych określających strukturę czasową procesu produkcji jest **cykl produkcyjny**. Można go zdefiniować jako okres, który upływa od momentu rozpoczęcia procesu produkcyjnego do jego zakończenia, podczas którego surowce lub materiały wejściowe przechodzą przez wszystkie operacje w procesie produkcyjnym, aż do uzyskania gotowego wyrobu. Obejmuje on wszystkie procesy podstawowe oraz procesy pomocnicze, których zadaniem jest

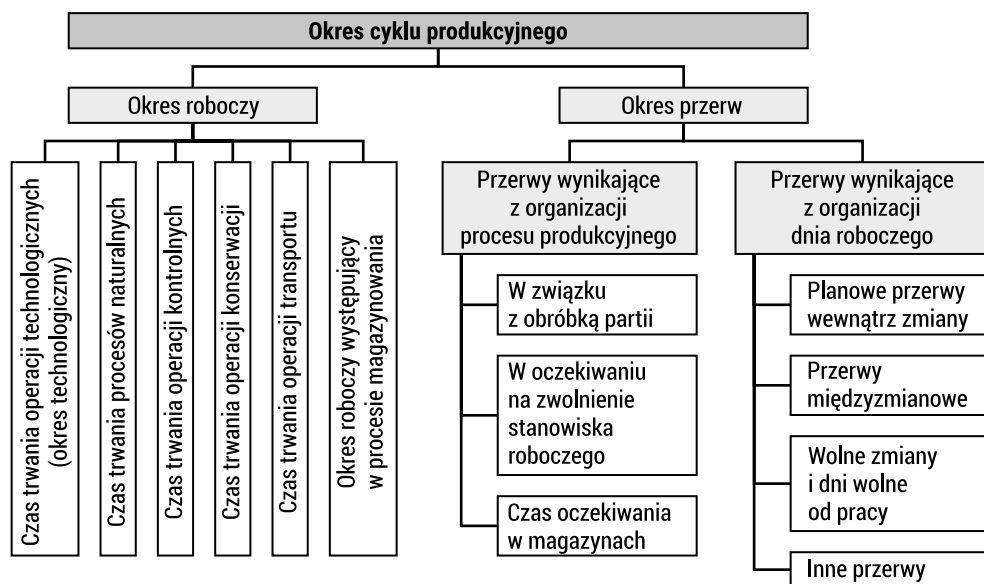
²⁴ J. Mazurczak, I. Gania, *Badanie możliwości pogłębienia specjalizacji przedmiotowej systemów produkcyjnych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2015, nr 65, s. 88–89.

²⁵ M. Brzeziński, *Organizacja produkcji...*, s. 110.

przygotowanie produkcji. Schemat struktury cyklu produkcyjnego zaprezentowano na rysunku 1.4. W cyklu produkcyjnym można wyróżnić dwie kategorie, a mianowicie okres roboczy i okres przerw. Warto zauważyć, że czas trwania operacji technologicznych jest tylko jedną ze składowych w strukturze cyklu produkcyjnego, a stosunkowo duży udział ma czas przerw.

Kolejnym parametrem procesu jest **cykl wytwórczy**. Odnosi się on do sekwencji czynności i procesów, które są wykonywane w ramach systemu produkcyjnego w celu wytwarzania danego produktu. Określa on czas, który upływa od rozpoczęcia pierwszego procesu wytwarzania zgodnie z dokumentacją technologiczną aż do zakończenia wszystkich procesów przewidzianych w tej dokumentacji.

Ze względu na organizację procesu produkcyjnego ważne jest właściwe ułożenie w czasie poszczególnych zadań w trakcie trwania operacji technologicznych. Wybór sposobu przekazywania wyrobów pomiędzy stanowiskami pracy podczas trwania operacji technologicznych może obejmować różne układy: **szeregowy**, **szeregowo-równoległy** i **równoległy**^{26, 27}. Układy te noszą również nazwy harmonogramów szeregowego, szeregowo-równoległego i równoległego²⁸.



RYSUNEK 1.4. Schemat struktury cyklu produkcyjnego

ŹRÓDŁO: A. Gola, *Analiza długości cyklu produkcyjnego partii wyrobów w kontekście bilansowania zdolności produkcyjnej systemu wytwórczego* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2018, s. 421.

²⁶ A. Gola, *Analiza długości cyklu produkcyjnego...*, s. 421–422.

²⁷ D. Plinta, K. Radwan, *Improving material flow in a modified production system*, „Applied Computer Science” 2023, t. 19, nr 1, s. 96.

²⁸ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 221.

Szeregowy ruch wykonania partii polega na wykonywaniu poszczególnych operacji na wszystkich sztukach detali w partii, zanim przystąpi się do następnej operacji. Oznacza to, że każda sztuka detalu przechodzi przez wszystkie etapy produkcji w sekwencji, zanim zostanie przekazana do kolejnego etapu. Dzięki temu, że jest to układ prosty w organizacji, stosuje się go w przypadkach, gdy:

- czas trwania operacji w procesie jest krótki,
- produkcja odbywa się na niewielką skalę,
- proces produkcyjny składa się z prostych etapów technologicznych.

Szeregowo-równoległy ruch wykonania partii polega na przekazywaniu obrabianych detali do następnej operacji, zanim zakończy się operacja na wszystkich sztukach partii. Aby utrzymać ciągłość obróbki na poszczególnych stanowiskach roboczych, części są sukcesywnie przekazywane w tak zwanych partiach transportowych. Tak zorganizowany przebieg obróbki partii umożliwia skrócenie czasu cyklu produkcyjnego poprzez eliminację pokrywających się czasów między operacjami. Układ ten jest stosowany w przypadkach, gdy:

- plan produkcyjny obejmuje wiele zadań i procesów produkcyjnych,
- czas obróbki jest długi i zróżnicowany.

Równoległy ruch wykonania partii polega na tym, że każdy detal jest przekazywany do kolejnej operacji natychmiast po wykonaniu poprzedniej, co skutkuje tym, że jedna partia jest przetwarzana równocześnie w kilku operacjach na różnych stanowiskach roboczych. Układ ten jest stosowany w przypadkach, gdy:

- proces produkcyjny składa się z wielu etapów, a czas wymagany do wykonania każdego z nich jest istotny z punktu widzenia całego procesu produkcyjnego;
- partia jest duża i składa się z wielu detali, co wymaga równoczesnej obróbki na kilku stanowiskach roboczych;
- wymagana jest wysoka wydajność i szybkość produkcji.

Przy wyborze opisanych wcześniej układów należy uwzględnić specyfikę procesu produkcyjnego oraz wymagania co do czasu i wydajności produkcji. Ostateczny wybór powinien być oparty na analizie kosztów, możliwościach technologicznych oraz oczekiwaniach klienta co do jakości i czasu realizacji zamówienia²⁹.

Zapasy to kolejny ważny element w procesie produkcyjnym, a ich analiza jest niezbędna by efektywnie zarządzać produkcją i zapewnić płynność procesów produkcyjnych. Dodatkowo wydajność przedsiębiorstwa produkcyjnego zależy od efektywnego zarządzania, a także kontroli zapasów. Zatem można je zdefiniować jako zasoby różnorodnych elementów, w tym między innymi materiałów, detali, zespołów,

²⁹ M. Brzeziński, *Organizacja produkcji...*, s. 68–74.

półwyrobów i wyrobów gotowych, które są obecne na różnych etapach procesu produkcyjnego. W zależności od miejsca, w którym się znajdują oraz funkcji, jaką mają spełniać, należy wyróżnić trzy rodzaje zapasów, do których należą³⁰:

- **zapasy przedprodukcyjne**, inaczej zaopatrzenia, które obejmują zapasy materiałowe, półwyroby i inne nabywane w handlu;
- **zapasy produkcyjne**, czyli zapasy produkcji w toku (w literaturze można spotkać również określenie WIP od ang. *work in process*), są to półwyroby oczekujące na kolejne operacje cyklu produkcyjnego;
- **zapasy poprodukcyjne**, inaczej nazywane zapasami zbytu, które obejmują wyroby gotowe.

Idąc tym samym tokiem myślenia, można wymienić inne rodzaje zapasów, takie jak zapasy materiałowe, półwyrobów i wyrobów gotowych³¹.

Proces produkcji to ciągle przemieszczanie się przez system produkcyjny materiałów, które są stopniowo przetwarzane w kolejnych etapach produkcji w wyroby gotowe. Zapasy przedprodukcyjne są przechowywane w magazynie przed rozpoczęciem procesu produkcyjnego. Jak wspomniano wyżej, obejmują one różnego rodzaju materiały, półwyroby i gotowe produkty nabyte w handlu, które są wykorzystywane do produkcji. Zapasy te są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania procesu produkcyjnego, ponieważ umożliwiają regularne dostarczanie potrzebnych elementów. **Zapasami produkcji w toku** nazywamy półwyroby i produkty, które znajdują się w procesie produkcji, ale nie zostały jeszcze ukończone. Można je podzielić na dwa rodzaje. Pierwszy z nich to **zapasy wewnątrzkomórkowe**, czyli te, które znajdują się bezpośrednio w komórkach produkcyjnych, w tym **zapasy cykliczne (technologiczne)** i **zapasy pozacykliczne**. Drugi rodzaj to **zapasy międzykomórkowe**, które powstają w wyniku nieregularnej pracy poszczególnych stanowisk w procesie produkcji. Można podzielić je na dwie podkategorie: **zapasy bieżące**, które są potrzebne do utrzymania ciągłości produkcji na danym stanowisku oraz **zapasy rezerwowe**, które służą do pokrycia zapotrzebowania w nieprzewidzianych okolicznościach, takich jak awarie lub nagłe zmiany zapotrzebowania. **Zapasy poprodukcyjne** to produkty gotowe, które są już wytworzone, ale jeszcze nie zostały odebrane przez klienta lub nie zostały przekazane do dalszej dystrybucji^{32, 33}. Kontrola zapasów i zarządzanie nimi odgry-

³⁰ Ibidem, s. 84.

³¹ J. Czerska, *Zarządzanie zapasami dla praktyków: Jak mądrze redukować zapasy w systemie KAN-BAN i MRP*, LeanQ Team, Gdańsk 2015, s. 13.

³² J. Krystek, *Zapasy magazynowe w sterowaniu produkcją powtarzalną*, „Logistyka” 2012, nr 2, s. 821.

³³ G.H. Vidal, *Deterministic and stochastic inventory models in production systems: A review of the literature*, „Process Integration and Optimization for Sustainability” 2023, t. 7(1–2), s. 30–32.

wają fundamentalną rolę w spełnianiu wymagań klientów, kontrolowaniu kosztów, efektywnym planowaniu produkcji, zapewnianiu wysokiej jakości i zarządzaniu przepływami finansowymi³⁴.

1.2. Charakterystyka systemów produkcyjnych

Procesy podstawowe są kluczowe dla każdego przedsiębiorstwa, ponieważ ich realizacja prowadzi do wytwarzania produktów zamówionych przez klienta. Procesy te są nazywane procesami wytwórczymi i odbywają się w ramach systemu produkcyjnego. W systemie tym może być jednocześnie prowadzonych wiele procesów produkcyjnych³⁵.

System produkcyjny to celowo zaprojektowany i zorganizowany zbiór zasobów, który jest wykorzystywany przez człowieka do produkcji dóbr lub usług. W jego skład wchodzi zasoby materialne, energetyczne i informacyjne, a jego celem jest przekształcanie surowców, materiałów i informacji w określone produkty lub usługi. System produkcyjny jest stosowany w różnych organizacjach, takich jak przedsiębiorstwa przemysłowe czy jednostki usługowe. Kluczowym elementem systemu produkcyjnego jest proces produkcji, który ma na celu zaspokajanie potrzeb klientów poprzez dostarczanie wysokiej jakości produktów lub usług^{36, 37}.

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele definicji systemu produkcyjnego^{38, 39, 40}. Przeprowadzając analizę definicji i charakterystyk systemów produkcyjnych, można wyróżnić szereg właściwości, które je cechują⁴¹:

- zaprojektowane jako złożone i hierarchiczne struktury mające za zadanie osiągnąć określony cel;
- składają się z wielu podzespołów, które pełnią różnorodne funkcje;
- składają się z elementów o różnym charakterze (materiałowych, niemateriałowych i ludzkich), które pełnią różne funkcje;

³⁴ M. Salman, M. Bhagat, N. Kumar, R. Wattal, *Role of inventory management and control in a manufacturing company*, „International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)” 2023, t. 11, nr IV, s. 3836.

³⁵ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 108.

³⁶ G. Kost, *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2018, s. 13.

³⁷ M. Brzeziński, *Organizacja produkcji...*, s. 21.

³⁸ T. Karpiński, *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2013, s. 10.

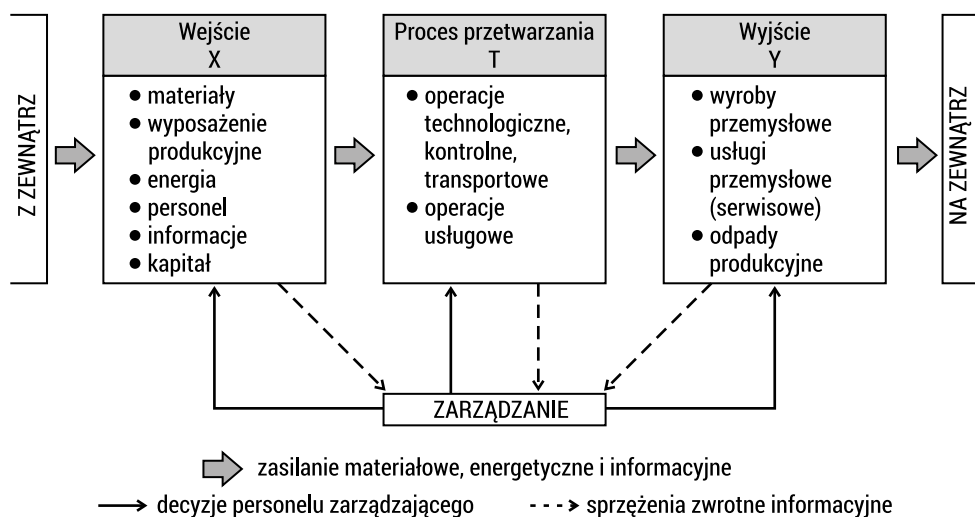
³⁹ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 15.

⁴⁰ R. Piątek, *World Class Manufacturing a Toyota production system: porównanie systemów produkcyjnych w kontekście zrównoważonego rozwoju*, „Nowoczesne Systemy Zarządzania” 2022, z. 17, nr 4, s. 93.

⁴¹ A. Burduk, *Modelowanie systemów narzędziem oceny stabilności procesów produkcyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, s. 26.

- elementy systemów produkcyjnych są wzajemnie powiązane i zintegrowane, co oznacza, że zmiany w jednym elemencie wpływają na pozostałe;
- zmieniają się w czasie i podlegają cyklom życia;
- są otwartymi systemami, co oznacza, że mogą wpływać na swoje otoczenie i podlegać jego wpływom, a także wymieniać z nim elementy;
- podlegają prawom ekonomii i są wrażliwe na zmiany społeczne.

System produkcyjny składa się z wielu elementów. Są to na przykład stanowiska robocze oraz zasoby niezbędne do jego funkcjonowania. Elementy te obejmują między innymi techniczne środki produkcji, takie jak hale produkcyjne, budynki przemysłowe, maszyny i urządzenia. Kolejne to materiały i surowce wykorzystywane do produkcji. System produkcyjny wymaga również czynników energetycznych, takich jak energia elektryczna i paliwa, a także odpowiednio wykwalifikowanej kadry i dostępu do informacji. Niezwykle ważnym elementem jest również zapewnienie odpowiednich środków finansowych, które umożliwią skuteczne funkcjonowanie całego systemu⁴². Rysunek 1.5 przedstawia graficzne ujęcie uogólnionego modelu systemu produkcyjnego.



RYSUNEK 1.5. Uogólniony model systemu produkcyjnego

ŹRÓDŁO: D. Klimecka-Tatar, *Projektowanie i planowanie kierunków rozwoju innowacji procesowych i produktowych w procesie wytwarzania wybranej grupy kompozytów magnetycznych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2019, s. 11.

⁴² E. Kulińska, M. Dendera-Gruszka, D. Masłowski, *Analiza ryzyka systemu produkcyjnego na podstawie wybranego przedsiębiorstwa* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Zarządzania Produkcją, Opole 2018, s. 476.

Według Klimeckiej-Tatar⁴³ system produkcyjny składa się z dwóch tak zwanych podsystemów. Pierwszym z nich jest **podsystem przetwarzania lub produkcji**, który odpowiada za proces wytwarzania produktów lub usług. Drugi to **podsystem zarządzania**, który obejmuje kierowanie i koordynację procesami produkcyjnymi oraz zapewnienie odpowiednich zasobów i środków produkcji. W ramach podsystemu zarządzania występują także sprzężenia informacyjne, które pozwalają na gromadzenie, przetwarzanie i wykorzystywanie danych dotyczących procesów produkcyjnych oraz ich optymalizację. Podsystemy te są ze sobą ściśle powiązane i wpływają na siebie nawzajem.

Podsystem przetwarzania lub produkcji, jako jeden z dwóch głównych podsystemów systemu produkcyjnego, składa się z trzech obszarów, do których należą:

1. **Wektor wejścia X (ang. *input*)** – przed rozpoczęciem każdego procesu produkcyjnego (przetwarzania), konieczne jest zapewnienie odpowiednich zasobów, które zostaną wykorzystane w trakcie jego realizacji. Wśród tych zasobów znajdują się czynniki produkcji, czyli elementy niezbędne do przeprowadzenia procesu. Są to różnego rodzaju zasoby, takie jak surowce, maszyny, ludzie, energia i wiedza, które muszą być dostępne i wykorzystane w sposób właściwy, tak aby umożliwić produktywny proces i osiągnięcie założonych celów produkcyjnych.
2. **Proces przetwarzania $X \rightarrow Y$** , który stanowi kluczową część omawianego podsystemu. Na proces przetwarzania składają się operacje mechaniczne, chemiczne i ręczne, których celem jest przekształcenie wektora wejścia w wektor wyjścia, oraz działania wspierające. Proces ten jest wspierany przez działania pomocnicze, takie jak planowanie i organizacja produkcji, zaopatrzenie w surowce i materiały, magazynowanie wyrobów gotowych, kontrola jakości oraz inne czynności uzupełniające, niezbędne do prawidłowego przebiegu przetwarzania.
3. **Wektor wyjścia Y (ang. *output*)** – po zakończeniu procesu produkcyjnego otrzymuje się gotowe wyroby lub usługi. Oprócz pożądaných produktów końcowych proces produkcji może także generować odpady produkcyjne (szkodliwe dla środowiska), wyroby wybrakowane i surowce, które można wykorzystać ponownie. Istotnym elementem są także informacje dotyczące jakości wyrobu, kosztów jego produkcji oraz wiedza i doświadczenie zdobyte podczas procesu produkcyjnego.

Drugim podsystemem w systemie produkcyjnym jest podsystem zarządzania, który obejmuje:

- a) procesy i mechanizmy zarządzania całym systemem;
- b) sprzężenia informacyjne, materialne i energetyczne między wymienionymi wcześniej elementami systemu produkcyjnego.

⁴³ D. Klimecka-Tatar, *Projektowanie i planowanie...*, s. 11.

System produkcyjny to kompleksowy układ składający się z wielu elementów, które są połączone i oddziałują na siebie wzajemnie. Procesy produkcyjne stanowią centralny element systemu produkcyjnego, zapewniając połączenie między wektorami wejścia i wyjścia oraz wzajemne sprzężenia informacyjne, materiałowe i energetyczne między nimi. Elementy systemu produkcyjnego stanowią integralną całość. W zależności od hierarchii i stopnia złożoności każdy z tych elementów może być traktowany jako podrzędny system. Przedsiębiorstwa lub oddziały mogą wyodrębniać systemy produkcyjne zgodnie z ich celami i potrzebami⁴⁴. Ze względu na funkcjonowanie przedsiębiorstwa możliwe jest również wyodrębnienie innych podsystemów:

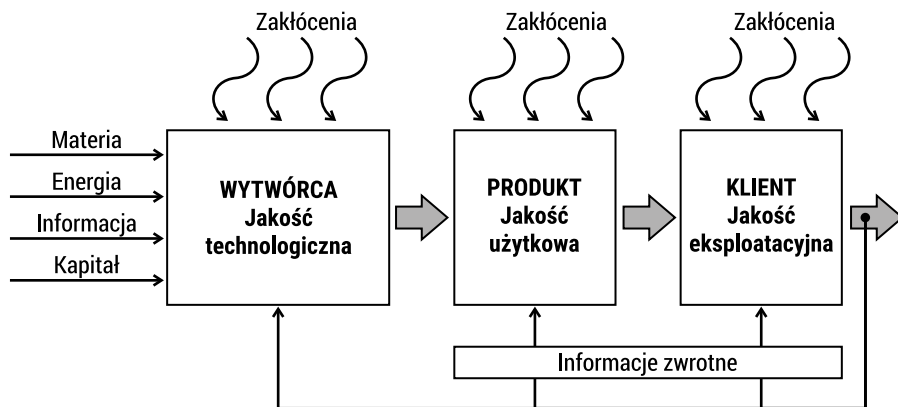
- a) technicznego – składającego się z powiązanych ze sobą środków produkcji, odpowiadającego za zapewnienie efektywnego wykorzystania zasobów technicznych w procesie produkcyjnym, takich jak maszyny, urządzenia, narzędzia oraz materiały i surowce;
- b) technologicznego – odpowiadającego za cały proces przetwarzania czynników produkcji w gotowe produkty lub usługi, w tym wykorzystanie odpowiednich narzędzi, maszyn, procesów technologicznych i działań kontrolnych;
- c) organizacyjnego (zarządzania) – definiującego struktury i procesy zachodzące w ramach przedsiębiorstwa, zapewniając tym samym właściwą organizację pracy, przepływ informacji i koordynację działań;
- d) ekonomicznego – obejmującego procesy kształtujące wartość i aspekty finansowe systemu produkcyjnego;
- e) zarządzania – obejmującego procesy związane z działaniami ludzkimi, które dotyczą funkcji operacyjnych, taktycznych i strategicznych systemu produkcyjnego.

Celem każdego z podsystemów jest realizacja określonych funkcji, które mają przyczynić się do osiągnięcia głównego celu systemu produkcyjnego, czyli produkcji. Wraz z rosnącą konkurencją na rynku producenci nie mogą już skupiać się jedynie na produkcji towarów, ale muszą poświęcać równie dużo uwagi sprzedaży i marketingowi. Konkurencja wymusza bowiem na przedsiębiorstwach nie tylko skuteczne i efektywne wytwarzanie produktów, ale również odpowiednie ich promowanie i dystrybucję na rynku, tak aby klienci wybierali je spośród innych dostępnych opcji. W związku z tym, aby odnieść sukces na współczesnym rynku, przedsiębiorstwa muszą równoważyć cele produkcyjne z celami sprzedażowymi i marketingowymi. Przedsiębiorstwa produkcyjne muszą sprostać rosnącym wymaganiom klientów, którzy oczekują niższych cen, wyższej jakości produktów oraz szerszego asortymentu. W związku z tym producenci muszą podejmować nowe wyzwania, takie jak skracanie czasu technicznego przygotowania produkcji, czasu realizacji zamówień oraz cykli produkcyjnych, a także zmniejszanie kosztów produkcji. System produkcyjny musi dostosowywać

⁴⁴ W. Kubiński, *Inżynieria i technologie produkcji* (wyd. zmienione, poszerzone), Wydawnictwo AGH, Kraków 2017, s. 264.

swoją organizację i działania, tak aby spełnić wymagania rynku, zapewniając przy tym odpowiednie funkcjonowanie przedsiębiorstwa⁴⁵. W każdym przypadku jest on złożonym zespołem elementów, które wzajemnie na siebie oddziałują i wpływają na funkcjonowanie całego systemu⁴⁶.

W systemie produkcyjnym procesy technologiczne są realizowane w taki sposób, aby w wyniku kolejnych etapów (operacji technologicznych) wyrób osiągnął wymaganą jakość technologiczną. Procesy montażowe są kluczowe dla wytwarzania wyrobów o złożonej konstrukcji, takich jak na przykład maszyny. Poprzez odpowiednie ukształtowanie i połączenie poszczególnych elementów montaż prowadzi do powstania gotowego produktu o wymaganej jakości użytkowej. Gdy produkt zostaje dostarczony do klienta i poddany użytkowaniu w zróżnicowanych warunkach, ujawnia się jego jakość eksploatacyjna. Producent powinien wykorzystywać informacje zwrotne od klientów i serwisantów dotyczące jakości użytkowej wyrobu, aby wprowadzać niezbędne usprawnienia i zwiększać jego jakość technologiczną i eksploatacyjną⁴⁷ (rysunek 1.6).



RYSUNEK 1.6. Kształtowanie jakości produktu w procesie wytwarzania i eksploatacji

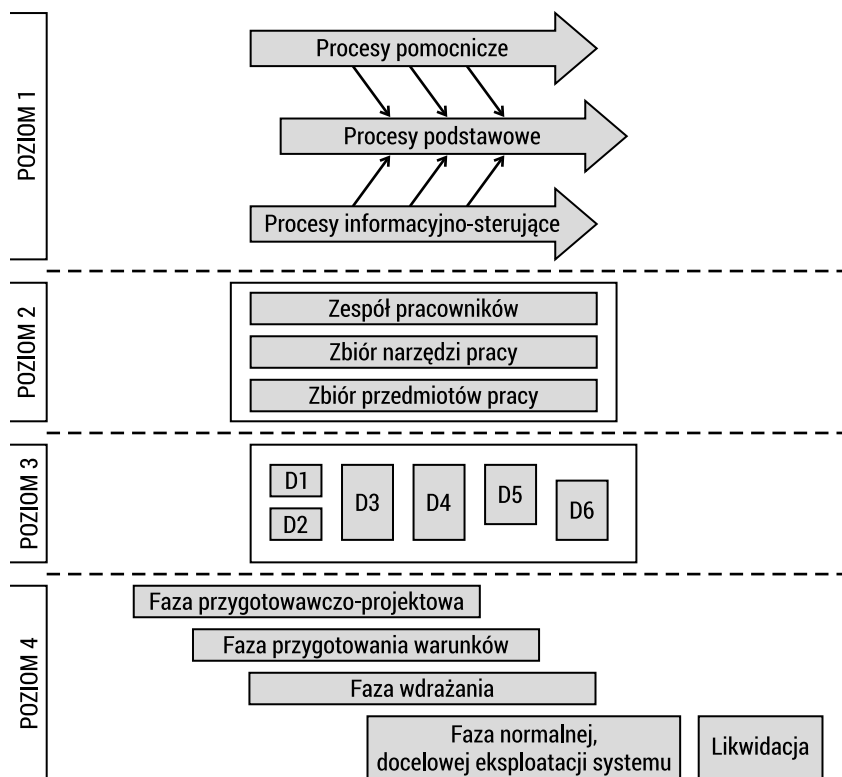
ŹRÓDŁO: J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 18.

Dekompozycja systemu produkcyjnego polega na jego podzieleniu na mniejsze części składowe, które razem tworzą złożoną strukturę zaprojektowaną do realizacji określonych celów produkcyjnych. Celem dekompozycji jest lepsze zrozumienie działania systemu oraz ułatwienie zarządzania jego poszczególnymi elementami. Na rysunku 1.7 zobrazowano graficznie dekompozycję (podział) systemu produkcyjnego.

⁴⁵ M. Brzeziński, *Organizacja produkcji...*, s. 21.

⁴⁶ D. Klimecka-Tatar, *Projektowanie i planowanie...*, s. 12.

⁴⁷ J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy...*, s. 17.



RYSUNEK 1.7. Dekompozycja systemu produkcyjnego

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: M. Brzeziński, *Organizacja produkcji...*, s. 18.

System produkcyjny można podzielić na cztery poziomy, z których pierwszy to podział systemu na procesy ze względu na ich wpływ na realizację celów i zadań systemu. Procesy te można podzielić na: podstawowe, pomocnicze i zarządcze, co zostało szczegółowo opisane w podrozdziale 1.1.

Drugi poziom systemu produkcyjnego dotyczy czynników produkcji, a mianowicie zespołu pracowników, narzędzi pracy oraz przedmiotów pracy. Czynniki te są składnikami podsystemów realizujących poszczególne procesy produkcyjne na pierwszym poziomie systemu. Pracownicy, którzy wykonują pracę, wykorzystują narzędzia, takie jak maszyny, narzędzia ręczne czy urządzenia, aby przetworzyć surowce i materiały w produkty. Przedmioty pracy, czyli surowce i materiały, stanowią surowiec wyjściowy dla procesów produkcyjnych.

Trzeci poziom systemu produkcyjnego dotyczy podziału systemu wytwórczego na wyodrębnione części, czyli działy produkcyjne, produkcyjno-administracyjne oraz informacyjne. Podział ten odbywa się w określonym układzie hierarchii i jest realizowany na podstawie konkretnych kryteriów specjalizacji. Działy produkcyjne to podsystemy skupiające pracowników oraz zasoby narzędzi i przedmiotów pracy, które umożliwiają wykonanie określonego procesu produkcyjnego. Dział

produkcyjno-administracyjny odpowiada za koordynację pracy poszczególnych działów produkcyjnych oraz za obsługę administracyjną całego systemu, działy informacyjne zapewniają zaś zarządzanie przepływem informacji pomiędzy poszczególnymi częściami systemu produkcyjnego.

Ostatni poziom systemu produkcyjnego dotyczy pięciu głównych faz jego rozwoju i wdrażania przedsięwzięć oraz innowacji. Pierwsza faza to programowanie rozwoju, działalność przygotowawczo-projektowa oraz planowanie produkcji. W drugiej fazie procesu produkcyjnego uwaga skupia się na przygotowaniu odpowiednich warunków oraz zasobów niezbędnych do wdrożenia procesów produkcyjnych zaprojektowanych na poziomie pierwszym. Trzecia faza polega na realizacji wdrożenia zaprojektowanego systemu wytwórczego. W czwartej fazie, czyli w trakcie normalnej eksploatacji systemu, kluczowym wyzwaniem jest skuteczne kierowanie i kontrolowanie funkcjonowania całego systemu produkcyjnego. Ostatnią fazą jest zakończenie eksploatacji systemu i jego likwidacja, która zazwyczaj pokrywa się czasowo z początkowymi etapami wdrażania nowego systemu produkcyjnego⁴⁸.

Przedsiębiorstwa dążą do osiągnięcia zysku, który jest jednym z najważniejszych celów ich działalności. Osiągnięte zyski, przychody i koszty podlegają ciągłym zmianom, zależnym od wielu czynników związanych z funkcjonowaniem systemu produkcyjnego. W związku z tym przed projektowaniem i budowaniem systemów produkcyjnych stawia się trzy główne cele⁴⁹:

1. Zmniejszenie kosztów produkcji.
2. Zwiększenie produktywności.
3. Uzyskanie produktów wysokiej jakości.

Powyższe rozważania należy rozszerzyć o dodatkowy cel, jakim jest elastyczność produkcji różnorodnych wyrobów przy równoczesnym dążeniu do minimalizacji kosztów produkcji⁵⁰. Elastyczność produkcji jest rozumiana jako zdolność systemu produkcyjnego do szybkiego wytwarzania różnych pozycji z asortymentu przy zachowaniu stałej jakości⁵¹.

W organizacji produkcji zdolność produkcyjna jest kluczowym czynnikiem umożliwiającym określenie potencjału produkcyjnego przedsiębiorstwa. Zdolność produkcyjna to pojęcie odnoszące się do maksymalnej liczby wyrobów lub usług, jakie przedsiębiorstwo jest w stanie wytworzyć w określonym czasie, przy zachowaniu

⁴⁸ M. Brzeziński, *Organizacja produkcji...*, s. 18–21.

⁴⁹ A. Horzela-Miś, J. Semrau, *Analiza wybranych zagadnień związanych z procesami logistycznymi i produkcyjnymi* [w:] *Forum inżynierów przyszłości. I Konferencja Naukowa*, Wrocław, 23–24.10.2020, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020, s. 87–88.

⁵⁰ A. Gola, *Analiza konfiguracji systemów wytwórczych w aspekcie bilansowania zdolności produkcyjnej*, „Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy” 2018, nr 29(4), s. 260.

⁵¹ O. Moerth-Teo, G. Schlögl, M. Abdul-Hadi, M. Brillinger, M. Weinzerl, C. Ramsauer, *Production resource flexibility assessment: Case studies in the automotive industry*, „Management and Production Engineering Review” 2022, t. 13, nr 3, s. 20.

odpowiednich standardów jakości, oraz optymalnego wykorzystania zasobów produkcyjnych, a także efektywnych metod wytwarzania. W systemie produkcyjnym ocena zdolności produkcyjnej najczęściej obejmuje analizę zarówno urządzeń technologicznych, jak i zasobów ludzkich, szczególnie operatorów tych urządzeń. Jest to proces ciągły i nieustanny. Doskonalenie metod wytwarzania, modernizacji, ulepszania konstrukcji oraz wymiany maszyn może wpływać na wzrost tego wskaźnika. Można wyróżnić trzy poziomy zdolności produkcyjnej w przedsiębiorstwie, które są zależne od czasu i szczebla zarządzania:

1. **Zdolność potencjalna** – maksymalny poziom produkcji, który można osiągnąć przy optymalnych warunkach wykorzystania posiadanych zasobów.
2. **Zdolność aktualna** – część zdolności potencjalnej pomniejszona o rezerwę zdolności produkcyjnej (zazwyczaj o 5%) na wypadek wystąpienia na przykład awarii lub nieobecności pracownika.
3. **Zdolność efektywna** – odzwierciedla realne możliwości systemu produkcyjnego w przyjętym okresie planistycznym, jednak nie uwzględnia remontów maszyn i innych przewidywanych okoliczności.

Celem bilansu zdolności produkcyjnej jest dokonanie analizy zestawienia potencjału systemu produkcyjnego do produkcji wyrobów w odniesieniu do zapotrzebowania klientów, a dokładnie – pracochłonności zamówień. Bilans powinien być opracowany dla określonej grupy stanowisk roboczych, na przykład dla wszystkich tokarek będących częścią zasobów systemu produkcyjnego, które mogą być użyte do realizacji danego zlecenia. Odnosi się on do określonego okresu planistycznego, który obejmuje konkretne jednostki terminowania (w zależności od czasu realizacji zamówienia mogą wynosić minutę, godzinę lub miesiąc). Na jego podstawie możliwe jest sporządzenie wykresów obciążeń poszczególnych stanowisk roboczych, co umożliwi osobom zarządzającym produkcją sterowanie zdolnością produkcyjną na tych stanowiskach. Dzięki analizie obciążenia stanowisk pracy oraz ich dostępnych rezerw zdolności produkcyjnych możliwe jest wprowadzanie korekt poprzez przesuwanie realizacji zleceń (lub partii zleceń) na wcześniejsze lub późniejsze tak zwane jednostki terminowania.

W celu oceny zdolności produkcyjnej oraz przygotowania wykresów obciążeń stanowisk roboczych konieczne jest ustalenie jednoznacznego miernika zdolności produkcyjnej. Choć naturalnym miernikiem jest czas, który odzwierciedla dostępność obrabiarek/maszyn oraz okres potrzebny na realizację zamówień klientów, istnieją również inne przydatne mierniki zdolności produkcyjnej. Przykładami takich mierników mogą być wskaźnik produktywności czy wydajność⁵².

Jednym z podstawowych wskaźników służących do oceny funkcjonowania systemów produkcyjnych jest produktywność rozumiana jako określenie relacji pomiędzy wynikami osiągniętymi w efekcie procesu produkcyjnego a kosztami poniesionymi w związku z jego przeprowadzeniem w danym okresie (relacja efektów do nakładów)⁵³.

⁵² E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 206–209.

⁵³ W. Kubiński, *Inżynieria...*, s. 265–266.

Jest to miara efektywności wykorzystania różnych czynników produkcji, takich jak techniczne środki produkcji, materiały i półprodukty, energia oraz informacje. Produktywność systemów produkcyjnych zależy przede wszystkim od poziomu technologicznego produkcji, sposobu organizacji i zarządzania procesem produkcyjnym, kwalifikacji pracowników oraz inwestycji kapitałowych. Zmiany w tych obszarach, w tym w sferze projektowania i eksploatacji systemów produkcyjnych, mają bezpośredni wpływ na produktywność. Z jednej strony niski poziom produktywności generuje wysokie koszty produkcji, co często skutkuje wzrostem cen produktów. Z drugiej zaś osiągnięcie wyższej produktywności prowadzi do obniżenia kosztów produkcji, zwiększenia wyników produkcyjnych i zysków. Ze względu na to, że produktywność jest pojęciem uniwersalnym, osoba zarządzająca ma swobodę w dostosowywaniu wskaźnika w zależności od potrzeb. Celem tego działania jest uzyskanie prostych i jasnych informacji, na przykład sumy przychodów ze sprzedaży do liczby zatrudnionych pracowników⁵⁴.

Kolejnym miernikiem oceny zdolności produkcyjnej jest wydajność. To miara maksymalnej liczby produktów, które są prawidłowo wykonane zgodnie z wymaganiami w danym czasie. Wartość tego wskaźnika jest uzależniona od charakteru produktu, a szczególnie od jego stopnia skomplikowania. W przypadku produktów o prostych i standardowych specyfikacjach wydajność może być wysoka, ponieważ proces produkcji jest łatwiejszy do powtarzania i realizowania. Jednak w przypadku bardziej skomplikowanych produktów, wymagających większej precyzji wykonania lub zaawansowanych procesów produkcyjnych, wydajność może być niższa⁵⁵.

W kontekście sterowania zdolnością produkcyjną istotnym aspektem jest dostosowanie miernika zdolności produkcyjnej do planu produkcji, który odzwierciedla aktualny popyt na produkty. W tym celu należy efektywnie zarządzać przede wszystkim dwoma kluczowymi zasobami, czyli środkami produkcji i pracownikami. Kontrolowanie tych zasobów umożliwia optymalne dostosowanie zdolności produkcyjnej do dynamicznych wymagań wynikających z planu produkcji i aktualnej sytuacji na rynku. Możliwym sposobem sterowania środkami produkcji jest grupowanie wyrobów w tak zwane rodziny produktów technologicznie podobnych. Natomiast sterowanie długookresową zdolnością produkcyjną skupia się głównie na planowaniu zakupu i wymianie środków produkcji, w tym stosowaniu uniwersalnych urządzeń technologicznych o wysokiej wydajności, umożliwiających realizację różnorodnych operacji technologicznych. Sterowanie drugim zasobem, a dokładnie pracownikami, polega na dążeniu do równoważenia ich obciążeń, głównie poprzez zwiększanie ich kompetencji. Jednym ze skutecznych narzędzi w tym zakresie jest macierz kompetencji, pozwalająca na identyfikację obecnych umiejętności pracowników oraz określenie obszarów, w których mogą potrzebować dalszego rozwoju. Dzięki temu możliwe jest

⁵⁴ Ibidem, s. 266.

⁵⁵ O. Csiki, K. Demeter, D. Losonci, *How to improve firm performance? – The role of production capabilities and routines*, „International Journal of Operations & Production Management” 2023, t. 43, nr 12, s. 3–5.

efektywne dopasowanie pracowników do zadań, z uwzględnieniem ich kompetencji i potencjału. Należy jednak pamiętać, że jest to narzędzie skoncentrowane głównie na krótkoterminowym rozwiązaniu i znajduje największe zastosowanie przede wszystkim w wykonywaniu prostych zadań. Techniczne sposoby sterowania zdolnością produkcyjną systemów produkcyjnych dotyczą głównie procesów podstawowych i pomocniczych. Usprawnienie ich zwiększa możliwości systemu produkcyjnego – na przykład poprzez podniesienie wydajności lub zmniejszenie kosztów w wyniku eliminacji marnotrawstwa. Usprawnianie pojedynczych procesów prowadzi do zmian w obciążeniach środków produkcji. Jednakże usprawnianie poszczególnych procesów może prowadzić do powstawania wąskich gardeł, które stanowią ograniczenie dla całego systemu produkcyjnego. Wąskie gardła są miejscami, w których przepustowość lub wydajność jest ograniczona, co powoduje, że stanowisko pracy staje się potencjalnym ograniczeniem dla reszty systemu produkcyjnego. Oznacza to, że tempo produkcji na tym konkretnym stanowisku jest niższe niż w innych częściach systemu, co skutkuje opóźnieniami i przestojami w przepływie produkcji. Warto dodać, że efektywne zarządzanie zdolnością produkcyjną polega na maksymalnym jego dostosowaniu do planu produkcji. W takich sytuacjach napotyka się na ograniczenia związane z obciążeniem poszczególnych stanowisk, czyli na wspomniane wąskie gardła. W celu osiągnięcia efektywnego sterowania zdolnością produkcyjną kluczowe jest identyfikowanie wąskich gardeł oraz podejmowanie odpowiednich działań mających na celu ich wyeliminowanie lub optymalne zarządzanie nimi. Jest to niezwykle istotne w kontekście zapewnienia płynności przepływu produkcji i minimalizacji opóźnień w systemie produkcyjnym⁵⁶.

1.3. Otoczenie systemu produkcyjnego

Otoczenie systemu produkcyjnego wywiera istotny wpływ na sposób, w jaki on funkcjonuje i osiąga swoje cele. Można je opisać jako dwustopniowe, co oznacza, że składa się z dwóch głównych poziomów wpływu na system produkcyjny^{57, 58}:

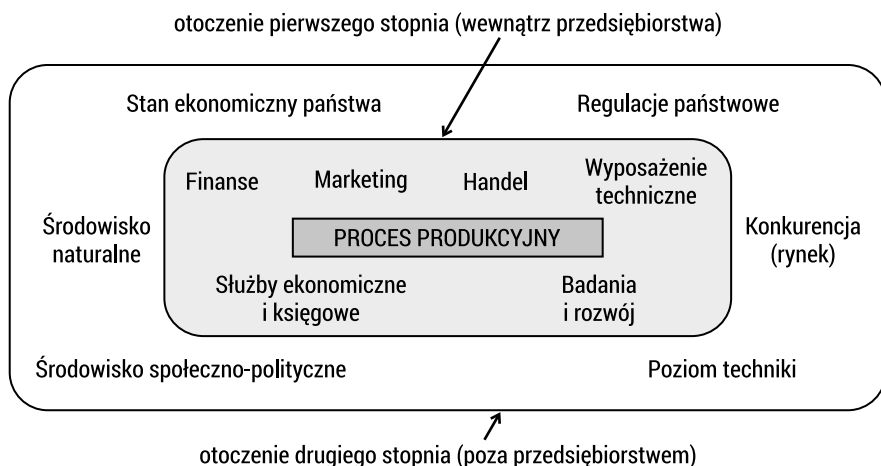
- a) **otoczenie pierwszego stopnia** – nazywane również otoczeniem wewnętrznym, bliższym lub aktywnym; bezpośrednio oddziałuje na system produkcyjny i jest tworzone przez same przedsiębiorstwo, w ramach którego ten system funkcjonuje;
- b) **otoczenie drugiego stopnia** – nazywane również otoczeniem zewnętrznym, dalszym, pasywnym lub globalnym; odnosi się zazwyczaj do gospodarki kraju lub regionu, w którym przedsiębiorstwo funkcjonuje, i składa się z czynników znajdujących się poza obszarem bezpośredniego wpływu przedsiębiorstwa.

⁵⁶ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 210–212.

⁵⁷ B. Zakrzewski, D. Zakrzewska, *Przedsiębiorstwo produkcyjne i procesy realizowane w sferze produkcji*, „Logistyka” 2014, nr 3, s. 6970.

⁵⁸ D. Klimecka-Tatar, *Projektowanie i planowanie...*, s. 12.

Otoczenie systemu produkcyjnego ma istotny wpływ na jego funkcjonowanie⁵⁹. Rysunek 1.8 przedstawia graficzne ujęcie funkcjonowania systemu produkcyjnego w otoczeniu dwustopniowym.



RYSUNEK 1.8. Dwupoziomowe otoczenie systemu produkcyjnego

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: B. Zakrzewski, D. Zakrzewska, *Przedsiębiorstwo produkcyjne...*, s. 6970.

W ramach otoczenia pierwszego stopnia, czyli wnętrza przedsiębiorstwa, na system produkcyjny wpływają następujące czynniki⁶⁰:

- zasoby finansowe przedsiębiorstwa;
- strategia marketingowa i sprzedażowa wdrażana przez przedsiębiorstwo (obsługa klienta);
- poziom techniki produkcji;
- zadania realizowane przez działy ekonomiczny i księgowy;
- postęp prac badawczo-rozwojowych dotyczących projektowania, konstruowania produktów, metod produkcji oraz organizacji procesu produkcyjnego.

Dodatkowo obszar ten można uzupełnić o czynniki związane z organizacją gospodarki magazynowej i zaopatrzenia, obsługą klienta oraz zarządzaniem pracownikami⁶¹.

W literaturze przedmiotu zwraca się również uwagę na fakt, że otoczenie bliższe przedsiębiorstwa obejmuje nie tylko czynniki wewnętrzne, lecz także podmioty zewnętrzne mające bezpośredni wpływ na funkcjonowanie systemu produkcyjnego. Należą do nich w szczególności: klienci, dostawcy, konkurenci, producenci produktów

⁵⁹ W. Kubiński, *Inżynieria...*, s. 265.

⁶⁰ B. Zakrzewski, D. Zakrzewska, *Przedsiębiorstwo produkcyjne...*, s. 6970.

⁶¹ S. Widłok, *Planowanie produkcji i dystrybucji*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016, s. 18.

substytucyjnych oraz potencjalni nowi uczestnicy rynku. Wspomniane elementy, zgodnie z koncepcją pięciu sił Portera, kształtują warunki działania przedsiębiorstwa w jego otoczeniu rynkowym i mogą stanowić źródło zarówno ograniczeń, jak i możliwości rozwojowych.

Ujęcie graficzne (rysunek 1.8) przedstawia dwustopniowe otoczenie systemu produkcyjnego, z zaznaczeniem czynników wewnętrznych przedsiębiorstwa. W szerszym ujęciu otoczenie bliższe można rozszerzyć o uczestników rynku, takich jak klienci, dostawcy czy konkurenci.

W odniesieniu do otoczenia drugiego stopnia istnieje wiele czynników, które mają wpływ na funkcjonowanie systemu produkcyjnego. Są to⁶²:

- stan ekonomiczny państwa – obejmujący regulacje ekonomiczne, kondycję gospodarczą, systemy podatkowy i celny, a także warunki panujące w systemie bankowym;
- regulacje państwowe – obejmujące przepisy dotyczące prawa, podatków, cel, traktatów handlowych, uczestnictwo w organizacjach międzynarodowych i inne aspekty regulacyjne;
- konkurencja (rynek) – natężenie i możliwości konkurentów, poziom cen, trendy, sprzedaż, użytkownicy produktów i usług oraz odbiorcy;
- poziom techniki – obejmujący poziom zaawansowania produkcji, techniki dystrybucji i obsługi serwisowej, nowe technologie, inżynierię materiałową oraz ekosystem;
- środowisko społeczno-polityczne – obejmujące edukację społeczeństwa, poziom kwalifikacji zawodowych, umiejętności pracy, sytuację na rynku pracy, ogólny poziom wykształcenia, kulturę organizacyjną, system wartości oraz etykę zawodową;
- środowisko naturalne – w tym dostęp do zasobów, odkrywanie nowych źródeł, eksploracja nowych możliwości, dynamika cen i kosztów.

Otoczenie systemu produkcyjnego, które obejmuje zarówno stabilne czynniki wchodzące w skład otoczenia pierwszego i drugiego stopnia, jak i tworzy korzystne warunki dla skutecznej przemiany surowców wchodzących w skład końcowych produktów. Ze względu na złożoność procesów produkcyjnych składających się na ten system konieczne jest posiadanie zdolności do elastycznego, szybkiego i precyzyjnego podejmowania decyzji i działań. Odpowiednie warunki otoczenia są kluczowe dla zapewnienia płynnego przebiegu operacji, a także umożliwiają dostosowanie się i reagowanie na zmienne wymagania rynkowe⁶³.

⁶² B. Zakrzewski, D. Zakrzewska, *Przedsiębiorstwo produkcyjne...*, s. 6971.

⁶³ E. Kulińska, M. Dendera-Gruszka, D. Masłowski, *Analiza ryzyka...*, s. 477.

Efektywność funkcjonowania systemu produkcyjnego jest determinowana przez czynniki z otoczenia stopnia pierwszego i drugiego. W odniesieniu do systemu i jego otoczenia można sformułować trzy założenia mające na celu wyjaśnienie tych zależności⁶⁴:

1. Porównywanie zbliżonych systemów produkcyjnych bez wcześniejszego uwzględnienia istotnego wpływu otoczenia każdego poziomu może prowadzić do błędnych ocen i wniosków.
2. Sprawne funkcjonowanie systemów produkcyjnych możliwe jest jedynie w przypadku, gdy działają w identycznym lub zbliżonym otoczeniu systemowym.
3. W celu uzyskania pożądanego efektu produkcyjnego w analizowanym systemie otoczenie bliższe i dalsze powinno być podobne pod względem swoich parametrów funkcjonowania i posiadać zbieżne cele.

Podczas planowania i projektowania systemów produkcyjnych konieczne jest uwzględnienie wpływu i ryzyka związanych z otoczeniem bliższym (pierwszego stopnia) i dalszym (drugiego stopnia). Należy brać pod uwagę zarówno czynniki bezpośrednio związane z przedsiębiorstwem, jak i te wychodzące poza jego obszar, które mogą mieć istotny wpływ na funkcjonowanie systemu. Właściwa analiza i ocena oddziaływania otoczenia są kluczowe dla identyfikacji potencjalnych zagrożeń, dostosowania strategii działania oraz podjęcia odpowiednich działań mających na celu minimalizację ryzyka i zwiększenie efektywności systemu produkcyjnego⁶⁵.

Poprawne funkcjonowanie przedsiębiorstwa w jego otoczeniu zależy od dwustronnych relacji pomiędzy tymi dwoma składowymi. Przedsiębiorstwo musi zaspokajać potrzeby otoczenia, oczekując jednocześnie, że otoczenie będzie odpowiadać na jego potrzeby. Przedsiębiorstwo istnieje w konkretnym otoczeniu, które może być zarówno społeczne, jak i gospodarcze, kulturowe, ekologiczne czy prawne. Otoczenie dostarcza przedsiębiorstwu chociażby zasobów, takich jak surowce, kapitał, ludzie, technologie, a także kształtuje regulacje prawne, trendy konsumenckie, konkurencję i wiele innych czynników. Przedsiębiorstwo natomiast wpływa na swoje otoczenie poprzez działania i decyzje, jakie podejmuje. Przedsiębiorstwo zaspokaja potrzeby otoczenia, dostarczając produkty lub usługi, które są pożądane przez klientów. Ponadto tworzy miejsca pracy, generuje dochody, płaci podatki i może mieć wpływ na rozwój lokalnej społeczności. Jednocześnie przedsiębiorstwo posiada swoje potrzeby i oczekiwania wobec otoczenia. Może to obejmować dostęp do rynków zbytu, stabilne ramy prawne, wsparcie instytucji finansowych, innowacyjne rozwiązania czy korzystne warunki konkurencyjne. Zaspokajanie potrzeb zarówno otoczenia przez przedsiębiorstwo, jak i przedsiębiorstwa przez otoczenie jest kluczowym elementem harmonijnego i zrównoważonego funkcjonowania obydwu. Przedsiębiorstwo utrzymuje interakcje z otoczeniem nie tylko poprzez pobieranie zasobów i informacji na wejściu, ale także poprzez oddawanie produktów, usług lub innych efektów swojej działalności

⁶⁴ D. Klimecka-Tatar, *Projektowanie i planowanie...*, s. 13.

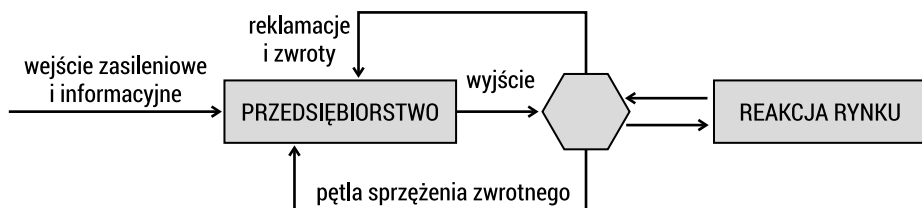
⁶⁵ Ibidem, s. 12.

na wyjściu. Istnieje wzajemna zależność między przedsiębiorstwem a jego otoczeniem, co oznacza, że przedsiębiorstwo wpływa na otoczenie poprzez wyjście, a jednocześnie jest poddawane wpływom otoczenia poprzez wejście⁶⁶.

Przedsiębiorstwo funkcjonuje jako układ względnie odosobniony, co oznacza, że ma określone granice oddzielające je od swojego otoczenia, podczas gdy jednocześnie jest jego częścią i na nie oddziałuje. Przez kanał wejścia przedsiębiorstwo pobiera surowce, informacje, kapitał, siłę roboczą itp., które są niezbędne do prowadzenia jego działalności. Przez kanał wyjścia dostarcza natomiast otoczeniu produkty, usługi i inne rezultaty swojej pracy.

Ważną cechą tego układu jest obecność kanału sprzężenia zwrotnego, który umożliwia przepływ informacji, opinii, reakcji i efektów działalności między przedsiębiorstwem a jego otoczeniem. Dzięki temu, na podstawie informacji zwrotnych od otoczenia, przedsiębiorstwo może monitorować, oceniać i dostosowywać swoje działania do rzeczywistych potrzeb, co jest istotne dla adaptacji do zmieniających się warunków, zapewnienia jakości, innowacji czy też zaspokajania oczekiwań klientów. Kanał sprzężenia zwrotnego stanowi istotny element komunikacji i wzajemnych relacji między przedsiębiorstwem a jego otoczeniem, umożliwiając dynamiczne oddziaływanie i dostosowanie się do wymagań oraz zmian zachodzących na rynku i w otoczeniu gospodarczym. Rysunek 1.9 przedstawia graficzne ujęcie przepływu zasobów oraz informacji pomiędzy przedsiębiorstwem a jego otoczeniem.

Podmioty gospodarcze zarówno w swoim wewnętrznym, jak i zewnętrznym otoczeniu są narażone na ryzyko, które może mieć negatywny wpływ na ich działalność. Zmienność otoczenia zewnętrznego może być rozumiana jako ryzyko, które oddziałuje na przedsiębiorstwo. Sytuacje charakteryzujące się zmiennością i niepewnością wymuszają na organizacjach konieczność utrzymania ciągłej elastyczności i szybkości w podejmowaniu decyzji. Tempo wzrostu zmian w przepisach prawa krajowego i międzynarodowego wraz z niepewnością polityki walutowej prowadzą do dużej dezorientacji i niepewności w funkcjonowaniu całej organizacji⁶⁷.



RYSUNEK 1.9. Przedsiębiorstwo jako układ względnie odosobniony

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: B. Zakrzewski, D. Zakrzewska, *Przedsiębiorstwo produkcyjne...*, s. 6971.

⁶⁶ B. Zakrzewski, D. Zakrzewska, *Przedsiębiorstwo produkcyjne...*, s. 6970.

⁶⁷ Ibidem, s. 6971.

Ryzyko w kontekście systemu produkcyjnego może mieć zarówno wewnętrzny, jak i zewnętrzny wymiar⁶⁸. Istnieją różne czynniki ryzyka, które mogą wpływać na działanie systemu produkcyjnego, a ich przykłady pokazano w tabelach 1.1–1.2.

TABELA 1.1. Czynniki ryzyka otoczenia zewnętrznego wpływające na funkcjonowanie systemu produkcyjnego

OBSZAR		CZNNIKI RYZYKA
OTOCZENIE ZEWNĘTRZNE	rynkowy	stopa procentowa; ceny akcji; ceny towarów i usług; kursy walut; płynność finansowa; bankructwo
	kredytowy	wiarygodność kredytowa; straty z tytułu spadku wartości zastawu; straty z powodu wzrostu wartości materiałów, surowców i usług; wypłacalność
	operacyjny	oszustwo zewnętrzne; relacje z klientami; relacje biznesowe; obrót płatniczy
	płynności	niewypłacalność klienta; termin płatności
	prawny	• prawne uwarunkowania krajowe; prawne uwarunkowania międzynarodowe • nadmierne unormowania życia gospodarczego; ograniczanie wolności gospodarczej; niemożność spełnienia i wyegzekwowania warunków kontraktu; nieprawidłowe udokumentowanie umowy; nieprzestrzeganie przepisów prawa • brak przepisów lub istnienie niejasnych i niejednoznacznych regulacji; wadliwa interpretacja aktów prawnych; działanie organów państwa na szkodę przedsiębiorcy; brak wsparcia instytucji rządowych, samorządowych; niewystarczające kompetencje do zawierania transakcji; nieprawidłowości przy konstruowaniu umów; odpowiedzialność karna, cywilna i administracyjna; utrata wiarygodności
	biznesu	zmiany warunków ekonomicznych; przedsięwzięcia inwestycyjne; konsolidacja/przekształcenia branży; realizacja transakcji strategicznych; zawirowania na rynkach energetycznych; wzrost kosztów; gwałtownie rosnąca presja na stosowanie ekologicznych rozwiązań; zmiany popytu
	rynek pracy	deficyt specjalistów na rynku pracy; braki kadrowe na rynku pracy; brak możliwości zaspokojenia potrzeb kadrowych przedsiębiorstwa; konieczność zaspokojenia potrzeb kadrowych pracownikami z zagranicy; wzrost kosztów pracy; skomplikowane i niejasne procedury dotyczące zatrudniania cudzoziemców
	pozostałe	katastrofy naturalne; klęski żywiołowe; kradzież; zdarzenia losowe; awaria techniczna

ŹRÓDŁO: E. Kulińska, M. Dendera-Gruszka, D. Masłowski, *Analiza ryzyka...*, s. 477–478.

⁶⁸ E. Kulińska, M. Dendera-Gruszka, D. Masłowski, *Analiza ryzyka...*, s. 477.

TABELA 1.2. Czynniki ryzyka otoczenia wewnętrznego wpływające na funkcjonowanie systemu produkcyjnego

OBSZAR		CZYNNIKI RYZYKA
OTOCZENIE WEWNĘTRZNE	zaopatrzenie	terminowość dostaw; jakość materiałów i surowców; wiarygodność dostawców; czas realizacji zamówień; weryfikacja zgodności dostaw z zamówieniami
	dystrybucja	przepływy towarowe; organizacja dystrybucji; identyfikacja i weryfikacja kanałów dystrybucji
	magazynowanie	organizacja powierzchni magazynowej; zabezpieczenie towarów; infrastruktura magazynowa; sprawność wykorzystywanych technologii; zabezpieczenia systemów informatycznych; kompletacja i przygotowywanie zleceń; inwentaryzacja; kontrole przyjęć i wydań magazynowych
	transport	organizacja transportu; prawidłowość funkcjonowania środków transportowych; polityka wymiany taboru; właściwy wybór transportu (własny/obcy)
	zarządzanie zapasami	proces uzupełniania zapasów; rotacja zapasów; wielkość zapasów
	kadry	starzenie się kadry pracowniczej oraz klientów; brak zaangażowania pracowników; brak odpowiedzialności za powierzone mienie; niewłaściwe podejmowanie decyzji przez pracowników; zwolnienia chorobowe, urlopowe pracowników; nieodpowiednie kompetencje pracowników; niewystarczające umiejętności personelu; brak integralności pracowników
	środowisko pracy	choroby zawodowe; wypadki przy pracy; skaleczenie podczas pracy; przemęczenie; przepracowanie; monotonia; brak koncentracji; brak stosowania środków ochrony indywidualnej; brak stosowania osłon i zabezpieczeń na maszynach i urządzeniach; błędy pracowników; nieprzestrzeganie zasad BHP i ppoż.; brak odpowiedniej motywacji pracowników; niewłaściwe zachowanie w miejscu pracy; brak dozoru i kontroli pracowników
	księgowość	niewłaściwa kontrola formalna; nieodpowiednia kontrola materialna
	badania i rozwój	niezdolność do wdrażania innowacji
	produkcja	zdolności produkcyjne; awarie maszyn i urządzeń; przepływ informacji; ograniczenia w transformacji produktów; przestarzały park maszynowy; błędnie zaprojektowane operacje technologiczne; błędy w projektowaniu zleceń produkcyjnych; natłok zleceń produkcyjnych; zbyt zróżnicowana i rozbudowana oferta produkcyjna
	IT	brak systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie przedsiębiorstwem; utrata danych; brak dostępu pracowników do danych i informacji niezbędnych w procesie produkcji; niewłaściwe przetwarzanie danych i informacji; brak odpowiedniego zabezpieczenia danych i informacji

ŹRÓDŁO: E. Kulińska, M. Dendera-Gruszka, D. Masłowski, *Analiza ryzyka...*, s. 477–479.

Czynniki ryzyka zewnętrznego mają istotny wpływ na funkcjonowanie systemu produkcyjnego, ponieważ są związane z otoczeniem całego podmiotu gospodarczego. Mogą one obejmować na przykład utratę płynności finansowej przedsiębiorstwa, co może prowadzić do opóźnień w dostawach surowców lub innych niezbędnych komponentów. W skrajnych przypadkach może dojść nawet do konieczności wstrzymania produkcji. Jest to poważne ryzyko, które wymaga skutecznych strategii zarządzania finansami, w tym utrzymywania odpowiedniej płynności i dostępności rezerw finansowych. Ponadto regulacje prawne mają znaczący wpływ na wytwarzanie dóbr i usług. Przepisy krajowe i międzynarodowe dotyczące jakości, bezpieczeństwa, ochrony środowiska i innych obszarów mogą wprowadzać wymagania, którym przedsiębiorstwo musi sprostać. Należy monitorować te przepisy, aby funkcjonować zgodnie z literą prawa i uniknąć ewentualnych konsekwencji prawnych. Zaangażowanie i współpraca organów państwowych są kluczowe dla działalności całego przedsiębiorstwa. Brak woli pomocy ze strony instytucji państwowych prowadzi do nieefektywnego zarządzania systemem produkcyjnym, co w ostateczności może skutkować likwidacją podmiotu gospodarczego. Kolejnym istotnym ryzykiem wpływającym na produkcję są ciągłe zmiany zarówno na rynkach międzynarodowych, jak i na rynku pracy. Niedobór odpowiednich kandydatów może prowadzić do wydłużenia czasu produkcji lub konieczności angażowania pracowników zagranicznych, co z kolei wiąże się z zawiłymi przepisami prawnymi dotyczącymi zatrudniania cudzoziemców.

Czynniki ryzyka wewnętrznego to przede wszystkim warunki pracy, które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo pracowników produkcyjnych oraz proces doboru pracowników o odpowiednich kwalifikacjach i umiejętnościach. Istotny wpływ na organizację produkcji mają również sprawność parku maszynowego oraz precyzyjne formułowanie zleceń produkcyjnych. Nie wolno zapominać o tym, że dostępność materiałów i surowców w wystarczającej ilości i odpowiedniej jakości jest niezbędna do rozpoczęcia i kontynuowania produkcji bez zakłóceń⁶⁹.

⁶⁹ Ibidem, s. 480.

2. Teoria ograniczeń

2.1. Założenia teorii ograniczeń

Teoria ograniczeń (ang. *theory of constraints*, TOC) to wieloaspektowa metodyka systemowa, która stopniowo rozwijała się, aby pomóc organizacjom myśleć o problemach, opracowywać rewolucyjne rozwiązania oraz wdrażać je z sukcesem⁷⁰. Po raz pierwszy została opublikowana w 1984 roku w książce *The goal: Excellence in manufacturing*⁷¹ przez izraelskiego doktora fizyki Eliyahu M. Goldratta, który zastosował metody nauk ścisłych do rozwiązywania problemów biznesowych. Jednak jej początek sięga lat 70. XX wieku, kiedy to Goldratt wraz z zespołem opracowali system planowania i sterowania produkcją, początkowo nazywany zoptymalizowanym harmonogramem produkcji (ang. *optimised production timetable* – 1979 r.), a następnie, od roku 1982, technologią optymalizacji produkcji (ang. *optimised production technology*, OPT)⁷². OPT to pakiet oprogramowania stworzony przez firmę Creative Output Inc. w Stanach Zjednoczonych, służący do szczegółowego planowania operatywnego produkcji (harmonogramowania), przy uwzględnieniu bilansowania zadań z możliwościami⁷³.

TOC została spopularyzowana dzięki takim powieściom biznesowym, jak: *The goal: A process of ongoing improvement*⁷⁴, *It's not luck*⁷⁵, *Critical chain*⁷⁶, *Late night*

⁷⁰ V.J. Mabin, S.J. Balderstone, *The performance of the theory of constraints methodology – Analysis and discussion of successful TOC applications*, „International Journal of Operations & Production Management” 2003, t. 23, nr 6, s. 570.

⁷¹ E.M. Goldratt, J. Cox, *The Goal: Excellence in manufacturing*, North River Press, Croton-on-Hudson 1984.

⁷² V.J. Mabin, S.J. Balderstone, *The performance...*, s. 571.

⁷³ M. Ćwiklicki, *Wprowadzenie do współczesnych narzędzi harmonizacji*, „Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie” 2001, nr 564, s. 104.

⁷⁴ E.M. Goldratt, J. Cox, *The goal: A process of ongoing improvement*, North River Press, Croton-on-Hudson 1984.

⁷⁵ E.M. Goldratt, *It's not luck*, North River Press, Great Barrington 1994.

⁷⁶ E.M. Goldratt, *Critical chain*, North River Press, Great Barrington 1997.

*discussions on the theory of constraints*⁷⁷, *Necessary but not sufficient*⁷⁸, *Isn't it obvious?*⁷⁹. Opis stosowania TOC jako odrębnej metodyki zarządzania można znaleźć w wielu pozycjach literatury, na przykład: *The haystack syndrome: Sifting information out of the data ocean*⁸⁰, *What is this thing called the theory of constraints and how should it be implemented?*⁸¹, *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*⁸², *Breaking the constraints to world-class performance*⁸³, *The constraints management handbook*⁸⁴, *Thinking for a change: Putting the TOC thinking processes to use*⁸⁵, *Constraint management: Throughput, operating expense and inventory*⁸⁶ oraz *Theory of constraints handbook*⁸⁷.

TOC pierwotnie była stosowana do obszarów produkcyjnych, natomiast można ją również wykorzystywać do obszarów tak różnorodnych, jak zarządzanie projektami, dystrybucja, sprzedaż, marketing, zarządzanie łańcuchem dostaw, zarządzanie zasobami ludzkimi⁸⁸, księgowość i finanse, służba zdrowia, edukacja, planowanie wojskowe czy inżynieria oprogramowania⁸⁹.

Przeprowadzona analiza⁹⁰ 40 publikacji naukowych związanych z TOC wyłoniła cztery główne perspektywy badawcze – praktyczne wykorzystanie TOC, powiązanie badanego obszaru z narzędziami lean manufacturing, przekształcanie (udoskonalanie) narzędzi TOC oraz propozycja nowych instrumentów. Wyniki studiów

⁷⁷ E.M. Goldratt, *Late night discussions on the theory of constraints*, North River Press, United Kingdom 1998.

⁷⁸ E.M. Goldratt, E. Schragenheim, C.A. Ptak, *Necessary but not sufficient*, North River Press, Great Barrington, MA 2000.

⁷⁹ E.M. Goldratt, I. Eshkoli, J. Brownleer, *Isn't it obvious?*, North River Press, Great Barrington 2009.

⁸⁰ E.M. Goldratt, *The haystack syndrome: Sifting information out of the data ocean?*, North River Press, Croton-on-Hudson 1990.

⁸¹ E.M. Goldratt, *What is this thing called the theory of constraints and how should it be implemented?*, North River Press, Croton-on-Hudson 1990.

⁸² W.H. Dettmer, *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*, ASQC Quality Press, Milwaukee 1997.

⁸³ W.H. Dettmer, *Breaking the constraints to world-class performance: A senior manager's/ executive's guide to business improvement through constraint management*, ASQC Quality Press, Milwaukee 1998.

⁸⁴ J.F. Cox III, M.S. Spencer, *The constraints management handbook*, St. Lucie Press, Boca Raton 1998.

⁸⁵ L. Scheinkopf, *Thinking for a change: Putting the TOC thinking processes to use*, St. Lucie Press, Boca Raton 1999.

⁸⁶ M. Chowdhary, *Constraint management: Throughput, operating expense and inventory*, Global India Publications, New Delhi 2009.

⁸⁷ J.F. Cox III, J.G. Schleier, Jr., *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010.

⁸⁸ S. Estellés-Miguel, T.B. Ribera, J.M. Albarracín-Guillem, C.M. Dema Pérez, *Revision to theory of constraints*, „IFIP Advances in Information and Communication Technology” 2010, nr 322, s. 195.

⁸⁹ A.M. Mohammad Ali, S.M. Jabir, *Using attribute-based costing and theory of constraints for product-mix decisions*, „Journal of Management Information and Decision Sciences” 2022, t. 25, nr S2, s. 4.

⁹⁰ W. Urban, P. Rogowska, *Systematic literature review...*, s. 129–138.

literaturowych wskazały szeroki zakres zrealizowanych badań związanych z TOC, co świadczy o potencjale rozwoju tej dziedziny.

Koncepcja ta kieruje się trzema podstawowymi zasadami⁹¹:

- a) **koncentracji** – dotyczy skupienia na najważniejszych z punktu widzenia całego systemu zadaniach i angażowania się w ich realizację;
- b) **podejścia całościowego** – wymaga konsekwencji w działaniu i przewidywania skutków podejmowanych decyzji w skali całego przedsiębiorstwa;
- c) **wzajemnego szacunku** – wskazuje na zaufanie do współpracowników oraz potrzebę docenienia ich pracy poprzez motywowanie.

TOC to filozofia zarządzania oparta na identyfikacji czynnika ograniczającego, a następnie koncentracji na zarządzaniu ograniczeniem w celu zwiększania jego przepustowości. Jej podstawowym założeniem jest stwierdzenie, że zdolność przerobowa całego systemu przedsiębiorstwa określana jest przez zdolność przerobową ograniczenia. Goldratt dowodził, że w przedsiębiorstwach istnieją nieujawnione rezerwy możliwości, które odpowiednio eksploatowane pozwolą na ich znaczny wzrost, często w sposób bezinwestycyjny⁹². Po dokonaniu identyfikacji ograniczenia oraz przyjrzeniu się jego pracy często okazuje się, że jest ono w znacznym stopniu marnotrawione, czyli występują straty, które wydłużają czas przerobu. Przykładem straty jest posiadanie zbyt dużych zapasów, co w konsekwencji przekłada się na wysokie koszty utrzymania oraz na wysiłek, jaki należy włożyć, aby sprzedać je, zanim staną się przestarzałe⁹³. Przedsiębiorstwo można porównać do łańcucha, które posiada minimum jedno ogniwo hamujące jego obecny potencjał i niepozwalające na zwiększanie wyników. Zatem w każdym systemie istnieje tylko jeden obszar, który ogranicza zdolność do osiągnięcia zamierzonego celu. W przeciwnym razie działalność przedsiębiorstwa generowałaby Nielimitowane zyski⁹⁴. Goldratt twierdził, że ograniczenia determinują wydajność całego systemu, a TOC dostarcza metod efektywnego i skutecznego wykorzystania tych ograniczeń⁹⁵.

Celem TOC jest dostarczanie praktykom odpowiedzi na pytanie, co zmienić, ale również na pytanie, jak to zmienić. Składa się z zasad i narzędzi, które zapewniają

⁹¹ AGI-Goldratt Institute, *Combining lean, Six Sigma and theory of constraints to achieve breakthrough performance* [w:] J.F. Cox III, J.G. Schleier, Jr. (red.), *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010, s. 1067.

⁹² E.M. Goldratt, *What is this thing...*, s. 4.

⁹³ G. Kendall, *Theory of constraint strategy* [w:] J.F. Cox III, J.G. Schleier, *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010, s. 523.

⁹⁴ J. Lewandowski, B. Skołod, D. Plinta, *Organizacja systemów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2018, s. 298.

⁹⁵ J.H. Blackstone, *A review of literature on drum-buffer-rope, buffer management and distribution* [w:] J.F. Cox III, J.G. Schleier, Jr. (red.), *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010, s. 149.

właściwy kierunek podejmowanych działań⁹⁶. Goldratt ujął założenia TOC jako ogólne zasady mogące pomóc przedsiębiorstwom odpowiedzieć na trzy podstawowe pytania⁹⁷:

1. **Co zmienić?** W przedsiębiorstwach istnieje wiele problemów, które należałoby rozwiązać, jednak zadaniem osoby zarządzającej jest znalezienie kluczowego problemu, który ogranicza wydajność całego przedsiębiorstwa.
2. **Na co zmienić?** Należy określić stan pożądany (jak powinno być?) i znaleźć proste i praktyczne rozwiązania.
3. **Jak spowodować zmianę?** Wybór sposobu wdrożenia zmiany oraz jej zastosowanie jest jednym z najtrudniejszych kroków. Osoby zarządzające, oprócz poświęcenia czasu i włożenia wysiłku, często spotykają się z emocjonalnym oporem pozostałych pracowników przed wdrożeniem zmiany.

Pytania te dotyczą głównie systemu produkcyjnego (ograniczeń znajdujących się w tym obszarze), a nie procesu produkcyjnego. Uzyskane odpowiedzi mają niewątpliwie wpływ na procesy produkcyjne, jednak ich celem jest koncentracja wysiłków na doskonaleniu systemu produkcyjnego⁹⁸. Dwa pierwsze pytania, o to, co zmienić i na co zmienić, należy uznać za pytania techniczne, natomiast ostatnie, o to, jak spowodować zmianę, jest pytaniem psychologicznym⁹⁹.

W przypadku ograniczeń fizycznych dotyczących procesu produkcyjnego Goldratt zaproponował metodę pięciu kroków skupienia (ang. *5 focusing steps*, 5FS), zwanych również jako proces ciągłego doskonalenia (ang. *process of on-going improvement*, POOGI). Koncentrację na problemach opartą na zasadzie ciągłego doskonalenia przedstawiono na rysunku 2.1.

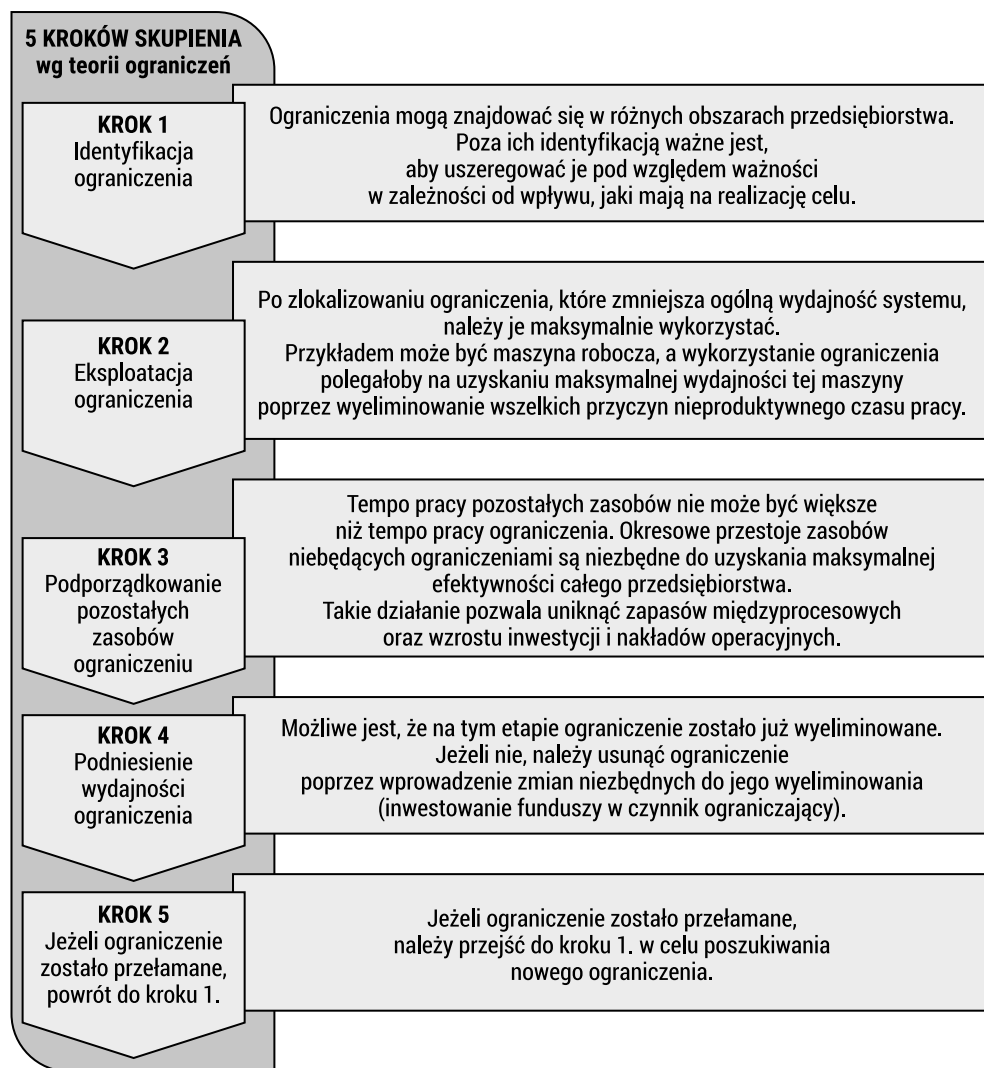
Pierwszy krok procesu ciągłego doskonalenia – **identyfikacja ograniczenia** – zakłada precyzyjne zlokalizowanie zasobu systemu, który ogranicza jego wydajność. Istotne jest odszukanie właśnie tego zasobu, ponieważ usprawnienie innych elementów oraz poprawa wydajności lokalnej nie wpłynie na wydajność całego systemu. Zasoby ograniczające moce przerobowe w literaturze przedmiotu są określane jako CCR (ang. *capacity constraint resource*). CCR to maszyna, proces lub obszar o najmniejszych możliwościach przetwarzania. Goldratt dowodził, że każde przedsiębiorstwo posiada przynajmniej jedno ograniczenie. Gdyby nic nie ograniczało przedsiębiorstwa, to osiągnęłoby ono wartość nieskończoną. Zatem poprawna identyfikacja ograniczenia jest konieczna do właściwego zarządzania przedsiębiorstwem.

⁹⁶ F.B. de Souza, V.A. Sobreiro, M.S. Nagano, J.W. de Souza Manfrinato, *When less is better: Insights from the product mix dilemma from the theory of constraints perspective*, „International Journal of Production Research” 2013, t. 51, nr 9, s. 5840.

⁹⁷ K. Dohn, *Studium oceny procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie przemysłowym*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006, s. 35.

⁹⁸ W.H. Dettmer, *Goldratt's theory of constraints...*, s. 11.

⁹⁹ E.M. Goldratt, *What is this thing...*, s. 9.



RYSUNEK 2.1. Metoda pięciu kroków skupienia według teorii ograniczeń

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: A. Lizarralde, U. Apaolaza, M. Mediavilla, *Practical perspectives from the industry for the identification of the bottleneck in "make-to-order" manufacturers: a strategic or an operational decision? – Practical perspectives from industry*, „Dyna Engineering and Industry” 2019, nr 94, s. 508.

Krok drugi – **eksplotacja ograniczenia** – polega na eliminacji czynników wydłużających pracę na zasobie ograniczającym oraz na jego maksymalnym wykorzystaniu, czyli uzyskaniu więcej z ograniczenia. Każda minuta nieproduktywności ograniczenia jest stratą dla całego systemu. Należy więc zminimalizować czas bezproduktywny ograniczenia i dążyć do jego nieprzerwanej, ciągłej pracy.

Krok trzeci – **podporządkowanie** – polega na dostosowaniu tempa pracy (zagwarantowaniu dostaw) pozostałych zasobów do ograniczenia. Wszystkie elementy systemu niebędące ograniczeniem posiadają większą zdolność produkcyjną niż ograniczenie, dlatego ważne jest, aby nie przekraczały możliwości przerobowych ograniczenia. Podniesienie lokalnej efektywności zasobów, które nie są ograniczeniem, oddala przedsiębiorstwo od wyznaczonego celu. Pozostawienie bez kontroli zasobów niebędących ograniczeniem powoduje nadmiar zapasów w toku. Pracę pozostałych zasobów należy skoordynować zgodnie z harmonogramem pracy ograniczenia.

Eksploatacja ograniczenia (krok 2) i podporządkowanie pozostałych zasobów (krok 3) są ważne z punktu widzenia TOC, ponieważ przyczyniają się do uporządkowania systemu oraz nadania właściwego tempa pracy. Nadal jednak pozostaje wiele sposobów na zwiększenie przerobu oraz ciągle doskonalenie systemu.

Krok czwarty – **podniesienie wydajności ograniczenia** – po wyczerpaniu możliwości zwiększenia przepustowości ograniczenia zawartych w kroku drugim, krok czwarty dopuszcza inwestowanie funduszy w czynnik ograniczający, na przykład w dodatkowe maszyny, nową technologię, zatrudnienie pracownika lub uruchomienie dodatkowej zmiany produkcyjnej. Poniesione inwestycje przyczynią się do zwiększenia przepustowości całego systemu. Na tym etapie ograniczenie powinno zostać wyeliminowane¹⁰⁰.¹⁰¹. Krok ten nie zawsze jest wymagany, lecz zależy od strategii przedsiębiorstwa¹⁰².

Jeżeli podjęte w poprzednich krokach działania przyniosły oczekiwany rezultat, jakim jest usunięcie ograniczenia, należy przejść do **poszukiwania następnego ograniczenia** i zgodnie z zasadami ciągłego doskonalenia zacząć pięciokrokową procedurę od nowa (krok piąty).

Goldratt wskazał ponadto dwa dodatkowe kroki przed zastosowaniem 5FS, zanim zostanie podjęta decyzja o identyfikacji ograniczenia. Kroki te są następujące¹⁰³:

1. Zrozumienie funkcjonowania całego systemu oraz zdefiniowanie globalnego celu przedsiębiorstwa.
2. Ustalenie prostych miar umożliwiających ocenę wpływu decyzji podjętej w podsystemie lub dowolnej lokalnej decyzji na wyznaczony cel.

W literaturze przedmiotu można znaleźć liczne badania włączające te dwa kroki do metody 5FS, co tym samym redefiniuje ją jako metodę siedmiostopniową^{104, 105}.

¹⁰⁰ W.H. Dettmer, *Beyond lean manufacturing: Combining lean and the theory of constraints for higher performance*, System International, Port Angeles 2001, s. 53.

¹⁰¹ J. Trojanowska, A. Koliński, Wpływ zastosowania narzędzi TOC na wybrane wskaźniki efektywności procesu produkcji, „Logistyka” 2015, nr 4, s. 9.

¹⁰² B. Ronen, S. Pass, *focused operations management: Achieving more with existing resources*, John Wiley & Sons, Hoboken 2007, s. 101.

¹⁰³ W.H. Dettmer, *Beyond lean manufacturing...*, s. 53.

¹⁰⁴ A. Coman, B. Ronen, *IS management by constraints: Coupling IS effort to changes in business bottlenecks*, „Human System Management” 1994, t. 13, nr 1, s. 66.

¹⁰⁵ P. Pretorius, *Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps*, „International Journal of Production Research” 2014, t. 52, nr 2, s. 7.

2.2. Ograniczenia

Jak już wspomniano w podrozdziale 1.1., TOC opiera się między innymi na poszukiwaniu ograniczeń. Aby poprawnie zlokalizować ich występowanie w przedsiębiorstwie, poddano dyskusji poglądy autorów na ten temat. W dostępnej literaturze przedmiotu pojawia się wiele ujęć wąskiego gardła. Pierwszymi badaczami analizującymi to zagadnienie byli Lawrence i Buss (1994), którzy scharakteryzowali **wąskie gardło** jako¹⁰⁶:

- a) zasób, w przypadku którego zapotrzebowanie przekracza jego możliwości;
- b) zasób, w przypadku którego czas oczekiwania na zapasy w toku pracy jest maksymalny;
- c) zasób o maksymalnym stopniu wykorzystania.

Inni badacze również podejmowali działania, aby wyjaśnić czym jest wąskie gardło. W dostępnej literaturze można znaleźć następujące określenia:

- a) zasób, którego tempo produkcji jest najmniejsze w stosunku do całego procesu produkcyjnego¹⁰⁷ (1996);
- b) zasób, którego średni czas pracy jest najdłuższy¹⁰⁸ (2001);
- c) każdy zasób, którego zdolność produkcyjna jest równa lub mniejsza niż zapotrzebowanie na niego¹⁰⁹ (2004);
- d) zasób o minimalnym łącznym czasie spędzonym w stanie nieaktywności¹¹⁰ (2008);
- e) zasób posiadający najmniejszą wydajność, a tym samym ograniczający przepustowość systemu¹¹¹ (2009);
- f) zasób, który najsilniej wpływa na wydajność całego systemu przedsiębiorstwa¹¹² (2010);
- g) zasób krytyczny systemu, który determinuje jego wydajność¹¹³ (2014).

¹⁰⁶ S.R. Lawrence, A.H. Buss, *Shifting production bottlenecks: Causes, cures, and conundrums*, „Production and Operations Management” 1994, nr 3(1), s. 25.

¹⁰⁷ C.-T. Kuo, J.-T. Lim, S.M. Meerkov, *Bottlenecks in serial production lines: a system-theoretic approach*, „Mathematical Problems in Engineering” 1996, t. 2, s. 234.

¹⁰⁸ C. Roser, M. Nakano, M. Tanaka, *A practical bottleneck detection method* [w:] B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, M.W. Rohrer, *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001, s. 949.

¹⁰⁹ E.M. Goldratt, J. Cox, *The goal: A process of ongoing improvement*, wyd. 3, The North River Press, Great Barrington 2004, s. 57.

¹¹⁰ S. Sengupta, K. Das, R.P. VanTil, *A new method for bottleneck detection* [w:] *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Miami 2008, s. 1741.

¹¹¹ C.E. Betterton, J.F. Cox, *Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models*, „International Journal of Production Economics” 2009, t. 117, nr 1, s. 69.

¹¹² S. Biller, J. Li, S.P. Marin, S.M. Meerkov, L. Zhang, *Bottlenecks in Bernoulli serial lines with rework*, „IEEE Transactions on Automation Science & Engineering” 2010, t. 7, nr 2, s. 210.

¹¹³ K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie...*, s. 391.

Dwa kolejne określenia odnoszą się natomiast do procesów realizowanych w przedsiębiorstwie, proponując następujące definicje:

- a) najslabsze ogniwo, ograniczające pełne wykorzystanie możliwości przedsiębiorstwa lub systemu produkcyjnego, uniemożliwiające rozwój poprzez hamowanie następnych działań w łańcuchu dostaw¹¹⁴ (2021);
- b) proces wpływający na przepustowość oraz na czas dostawy¹¹⁵ (2021).

Termin „wąskie gardło” jest dość szeroko stosowany w badaniach naukowych oraz w praktyce, jednak niewielu naukowców jest zgodnych co do jego znaczenia. Powyższe definicje skupiają się na wydajności systemu lub są powiązane z konkretną miarą, która ma związek z wybraną metodą (lub metodami) identyfikacji wąskiego gardła. Dokonując analizy powyższych charakterystyk, można podzielić je na dwie grupy – pierwsza i szósta odnoszą się do **zapotrzebowania na dany produkt lub grupę produktów**. Zmienna liczba zleceń produkcyjnych może powodować, że przedsiębiorstwo nie będzie w stanie zabezpieczyć popytu rynkowego. Pozostałe opisy tworzą grupę wąskich gardeł **występujących w procesie produkcyjnym**. Wskazują na problem dotyczący układu techniczno-materiałowego, na przykład zapasów, stopnia wykorzystania maszyn lub mocy produkcyjnych.

W dostępnej literaturze przedmiotu badacze stosują również pojęcie **ograniczenia**, wyjaśniając, że jest to:

- a) wszystko to, co uniemożliwia systemowi osiągnięcie wyższej skuteczności w realizacji celu¹¹⁶ (2009);
- b) wszystko, co ogranicza system w osiągnięciu wyższej wydajności w stosunku do jego celu¹¹⁷ (2010);
- c) przyczyna, która powoduje niekorzystne skutki dla systemu¹¹⁸ (2011);
- d) źródłowy problem znajdujący się w dowolnym obszarze przedsiębiorstwa¹¹⁹ (2012);
- e) wszystko, co staje na drodze do osiągnięcia większego zysku¹²⁰ (2014);
- f) czynnik, który uniemożliwia osiągnięcie wyższego poziomu wydajności¹²¹ (2014);

¹¹⁴ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 212.

¹¹⁵ M. Thüerer, L. Ma, M. Stevenson, C. Roser, *Bottleneck detection in high-variety make-to-order shops with complex routings: an assessment by simulation*, „Production Planning and Control” 2021, t. 33.

¹¹⁶ T. Corbett, *Finanse do góry nogami: zdroworozsądkowa rewolucja w rachunkowości*, wyd. 2, Mint-Books, Warszawa 2009, s. 20.

¹¹⁷ J.H. Blackstone, *A review of literature...*, s. 149.

¹¹⁸ J. Trojanowska, *Zarządzanie produkcją na zamówienie w oparciu o teorię ograniczeń*, Wybrane problemy logistyki produkcji, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011, s. 4.

¹¹⁹ P. Cyplik, M. Adamczak, L. Hadaś, *Critical chain project management and drum-buffer-rope tools integration in construction industry – case study*, „Log-Forum” 2012, t. 8, nr 1, s. 30.

¹²⁰ Z.T. Şimşit, N.S. Sebla Günay, Ö. Vayvay, *Theory of constraints: A literature review*, „Procedia – Social and Behavioral Sciences” 2014, t. 150, s. 934.

¹²¹ P. Pretorius, *Introducing in-between decision...*, s. 4.

- g) przeszkody występujące na drodze do osiągnięcia większego zysku¹²² (2017);
- h) element systemu, który ogranicza jego działanie i często jest przeszkodą w osiągnięciu założonego celu¹²³ (2018).

W odniesieniu do powyższych definicji należy podkreślić, że istnieje wiele interpretacji ograniczenia, a ich charakter jest dość ogólny. Odnoszą się one do dowolnego problemu, który oddala przedsiębiorstwo od zwiększenia swoich wyników. Dokonując analizy ujęć wąskiego gardła i ograniczenia, należy zatem stwierdzić, iż konieczne jest doprecyzowanie sposobu ich rozumienia, co ułatwi ich rozróżnienie. W związku z powyższym w niniejszej monografii **ograniczenie będzie rozumiane jako czynnik ograniczający pełne wykorzystanie możliwości przedsiębiorstwa, który występuje w różnych obszarach przedsiębiorstwa lub w jego otoczeniu, natomiast wąskie gardło będzie traktowane jako czynnik wewnętrzny systemu produkcyjnego, który ogranicza wzrost przepływu produkcji.**

Podsumowując, cały zbiór czynników wpływających na rozwój przedsiębiorstwa należy nazwać ograniczeniami, natomiast czynniki ograniczające strumień produkcji uznać za *wąskie gardła*. Przyjęcie takich interpretacji wskazuje, że *wąskie gardło* jest rodzajem ograniczenia.

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele rodzajów ograniczeń, które występują w przedsiębiorstwach. Wyniki przeglądu literatury przedstawiono w tabeli 2.1.

Analizując dane zawarte w tabeli 2.1, należy zauważyć, że Goldratt¹²⁴, Cox i Spencer¹²⁵ oraz McMullen¹²⁶ i Scheinkopf¹²⁷ proponują podział ograniczeń na fizyczne i нефизyczne. Skołud i Zientek¹²⁸ wyróżniają natomiast ograniczenia po stronie dostawcy, rynku oraz znajdujące się wewnątrz przedsiębiorstwa. Reid¹²⁹ dodatkowo dokonuje podziału ograniczeń na wewnętrzne, do których zaliczane są ograniczenia fizyczne i polityczne, oraz zewnętrzne, obejmujące dostawców i rynek. Woepfel¹³⁰

¹²² T. Sims, H. Wan, *Constraint identification techniques for lean manufacturing systems*, „Robotics and Computer-Integrated Manufacturing” 2017, t. 43, s. 50.

¹²³ J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 298.

¹²⁴ E.M. Goldratt, *The haystack syndrome...*, s. 62–63.

¹²⁵ J.F. Cox III, M.S. Spencer, *The constraints management...*, s. 64.

¹²⁶ T.B. McMullen, *Introduction to the theory of constraints (TOC) management system*, St. Lucie Press, Boca Raton 1998, s. 20–21.

¹²⁷ L. Scheinkopf, *Thinking for a change...*, s. 16–21.

¹²⁸ B. Skołud, A. Zientek, *Programowanie w logice z ograniczeniami do zarządzania w środowisku wieloprojektowym*, „Zeszyty Naukowe. Mechanika” 2005, nr 152, s. 174.

¹²⁹ R.A. Reid, *Applying the TOC five-step focusing process in the service sector: A banking subsystem*, „Managing Service Quality” 2007, t. 17, nr 2, s. 210–213.

¹³⁰ M.J. Woepfel, *Jak wdrożyć teorię ograniczeń w firmie produkcyjnej: Poradnik praktyka*, MintBooks, Warszawa 2009, s. 11–13.

wyróżnia z kolei ograniczenia polityczne, ograniczenia związane z zasobami fizycznymi oraz ograniczenia materiałowe, natomiast Lewandowski, Skołud i Plinta¹³¹ proponują podział ograniczeń na techniczne, rynkowe i ludzkie.

TABELA 2.1. Rodzaje ograniczeń

Autor/ autorzy	Podział ograniczeń		Wyjaśnienie	Przykłady
Goldratt, 1990; Cox i Spencer, 1998; McMullen, 1998; Scheinkopf, 1999	fizyczne		miejsca ograniczające osiągnięcie wyższego poziomu wydajności	• zdolność produkcyjna; • popyt na rynku
	niefizyczne		związane ze stylem zarządzania	• polityka zarządzania, np. duże partie towaru; • zachowanie ludzi, np. ukryte cele, apatia
Skołud i Zientek, 2005	dostawcy		związane z dostawą surowców	• trudność w pozyskaniu surowca potrzebnego do produkcji
	rynek		popyt mniejszy niż możliwości przedsiębiorstwa	• niedostateczny poziom sprzedaży związany z niskim popytem; • ograniczenie dystrybucyjne
	wewnątrz firmy		czynniki wpływające na przepustowość systemu	• niedostateczne zdolności produkcyjne; • zaangażowanie pracowników
Reid, 2007	wewnętrzne (bezpośrednio pod kontrolą kierownictwa)	fizyczne	operacja lub proces w systemie nie ma wystarczającej zdolności do pełnego zaspokojenia popytu rynkowego	• wydajność systemu
		polityczne	stosowanie reguł ograniczających możliwości operacyjne lub ograniczające elastyczność przedsiębiorstwa w osiąganiu celu	• ograniczenie w planowaniu nadgodzin; • utrudnienia w zatrudnianiu nowych pracowników; • ograniczenie w bezpośrednim zakupie surowców

¹³¹ J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, op. cit., s. 298–299.

Autor/ autorzy	Podział ograniczeń		Wyjaśnienie	Przykłady
Reid, 2007	zewnętrzne (znajdujące się na zewnątrz systemu)	dostawcy	ograniczony kontakt z dostawcą sprzętu lub materiałów	• brak odpowiednich dostawców, którzy spełniliby potrzeby systemu, przepisy lub zasady ograniczające dostawę; • niewystarczająca świadomość klienta na temat usług przedsiębiorstwa; • konkurencja, restrykcyjne zasady sprzedaży
		rynek	popyt na rynku jest mniejszy niż zdolność przedsiębiorstwa do tworzenia i dostarczania produktu lub usługi	
Woepfel, 2009	polityka (paradygmat)		zasada, miara lub warunek wpływający na zachowanie przedsiębiorstwa	• zasady określania wielkości serii produkcyjnej; • wytyczne związane z wykorzystaniem zasobów; • procedury dotyczące wprowadzania zmian w maszynach; • przyjęcie polityki wytwarzania długich serii
	zasoby (fizyczne)		odzwierciedlenie ograniczeń związanych z polityką	• maszyny; • pracownicy; • umiejętności; • rynek
	materiały		związane z dostawą materiałów	• niedostatek materiałów; • problemy z dostawą materiałów powszechnie dostępnych
Lewandowski, Skołud i Plinta, 2018	techniczne		występują w postaci zasobów, których zdolności produkcyjne są mniejsze niż zapotrzebowanie	• niedostateczne zdolności produkcyjne środków trwałych
	rynkowe		brak możliwości wykorzystania potencjału przedsiębiorstwa	• brak zamówień na produkty, usługi
	ludzkie		przywyczajenia pracowników, ich przekonania i rutyna	• procedury; • polityka przedsiębiorstwa; • strategia postępowania

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie przeglądu literatury.

Podsumowując, poszczególni autorzy mają różne spojrzenie na ograniczenia oraz dokonują odmiennych podziałów. Pomimo powtarzających się nazw poszczególnych kategorii zakwalifikowane do nich ograniczenia w istocie różnią się od siebie. Ponadto trudno stwierdzić, czy istniejące podziały dotyczą wszystkich przedsiębiorstw lub branż, czy tylko wybranych, oraz czy występują w każdym systemie produkcyjnym.

2.3. Metody identyfikacji wąskich gardeł

Wykrycie wąskiego gardła jest kluczowym zadaniem w nowoczesnym przemyśle umożliwiającym zwiększenie produkcji bądź skrócenie czasu potrzebnego do wyprodukowania danej partii wyrobów¹³². Występowanie wąskiego gardła przyczynia się do powstawania zapasów produkcji w toku, przestojów, wydłużenia czasu realizacji zlecenia oraz problemów z dotrzymaniem terminów dostaw¹³³. Dlatego w pierwszym kroku należy dokładnie zlokalizować i wskazać zasób (CCR), który w największym stopniu ogranicza wydajność systemu produkcyjnego. Aby znaleźć problem, należy zidentyfikować jego źródło. Według TOC usprawnianie innych elementów systemu niż wąskie gardło nie wpłynie na wydajność całego systemu¹³⁴.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod wykrywania wąskich gardeł¹³⁵. W tabeli 2.2 przedstawiono wyniki przeglądu literatury dotyczącego metod identyfikacji wąskich gardeł wykorzystywanych w przemyśle oraz ich krótki opis.

Jedną z najczęściej wskazywanych metod jest **analiza długości kolejki**. Polega ona na analizie liczby zadań oczekujących w kolejce przed każdym procesem. Maszyna lub proces, które osiągnęły maksymalną długość kolejki uważane są za wąskie gardło. W praktyce, aby zastosować tę metodę, konieczne jest porównanie długości kolejek na wszystkich zasobach w określonym odstępie czasu, na przykład podczas pojawienia się kolejnego zadania. Jeżeli długość kolejki na danym zasobie jest znacząco większa niż na pozostałych zasobach, wskazuje to na możliwość występowania wąskiego gardła. Metoda analizy długości kolejki dostarcza informacji o tym, które maszyny lub procesy mają największe obciążenie i mogą stanowić potencjalne ograniczenie wydajności.

Kolejną metodą jest metoda **najdłuższego czasu oczekiwania**. Koncentruje się ona na pomiarze czasu, jaki zadania „spędzają”, oczekując na rozpoczęcie przetwarzania na każdym zasobie. Zadanie, które ma najdłuższy czas oczekiwania w kolejce, jest uważane za potencjalne wąskie gardło. Aby uzyskać dokładne wyniki, konieczne są dłuższa obserwacja i mierzenie czasu oczekiwania poszczególnych zadań¹³⁶.

¹³² C. Roser, M. Subramaniam, A. Skoogh, B. Johansson, *An enhanced data-driven algorithm for shifting bottleneck detection*, „Advances in Production Management Systems” 2021, nr 630, s. 1.

¹³³ J. Schultheiss, J. Kreutzfeldt, *Performance improvement in production systems through practice-oriented bottleneck management* [w:] *Proceedings of the 4th European Conference*, 2009, s. 1–2.

¹³⁴ K. Lisiecka, *TOC, Six Sigma i lean management – kompozycja metod na rzecz doskonalenia systemu zarządzania organizacją*, „Problemy Jakości” 2013, s. 48.

¹³⁵ W. Urban, P. Rogowska, *Methodology for bottleneck identification in a production system when implementing TOC*, „Engineering Management in Production and Services” 2020, t. 12, nr 2, s. 74–82.

¹³⁶ C.E. Betterton, S.J. Silver, *Detecting bottlenecks in serial production lines – A focus on interdeparture time variance*, „International Journal of Production Research” 2012, t. 50, nr 15, s. 4162.

TABELA 2.2. Metody identyfikacji wąskich gardeł w przemyśle

Nawa metody	Autor/rzy	Rok	Opis
Długość kolejki	Lawrence i Buss	1994	Analiza liczby zadań oczekujących w kolejce przed każdym procesem
Czas oczekiwania	Law i Kelton	2000	Pomiar czasu trwania zadań spędzonych w kolejce przed każdym procesem
Wykorzystanie procesu	Hopp i Spearman	2000	Pomiar czasu pracy każdego zasobu pomniejszony o straty wydajności
Czas aktywności/ średni czas aktywności	Roser, Masaru i Minoru	2002	Ciągły pomiar aktywności maszyny
Czas procesu	Delp, Si i Wang	2003	Pomiar czasu przepływu materiału w procesie
Czas kolejki/ średni czas oczekiwania	Faget, Eriksson i Herrmann	2005	Pomiar czasu oczekiwania przed rozpoczęciem procesu
Nieaktywność procesu	Sengupta, Das i VanTil	2008	Pomiar czasu nieaktywności procesu
Punkt zwrotny	Li, Chang i Ni	2009	Pomiar czasu blokowania się i oczekiwania procesów
Spacer wzdłuż procesów	Roser, Lorentzen i Deuse	2014	Obserwacja procesów oraz poziomu zapasów międzyprocesowych
Ograniczony przepływ	Sims i Wan	2017	Porównanie czasu taktu i czasu cyklu zasobów
Skorygowany czas cyklu	Urban	2019	Pomiar czasu cyklu i stopnia wykorzystania każdego procesu

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie przeglądu literatury.

Następna metoda to **wykorzystanie procesu**, znane również jako metoda efektywnego czasu procesu. Wąskie gardło wykrywa się poprzez pomiar czasu pracy każdego zasobu pomniejszony o straty wydajności (na przykład awaria lub ustawienie maszyny) w określonym czasie. Proces o najwyższym stopniu wykorzystania uważany jest za wąskie gardło¹³⁷.

Kolejną metodą jest metoda **czasu aktywności/średniego czasu aktywności**, która koncentruje się na czasie, w jakim maszyna jest aktywna bez przerwy. Stan aktywności maszyny rozumiany jest jako czas jej pracy, oczekiwania na inną maszynę, zaplanowany serwis, czas naprawy lub wymiany narzędzia. Wąskie gardło jest procesem o najdłuższym średnim okresie aktywnym, ale wykryte może także zostać chwilowe wąskie gardło, czyli proces z jedynie chwilowo najdłuższym aktywnym okresem.

¹³⁷ Z. Dongping, T. Xitian, G. Junha, *A bottleneck detection algorithm for complex product assembly line based on maximum operation capacity*, „Mathematical Problems in Engineering” 2014, nr 3, s. 2.

Warto podkreślić, że do zastosowania tej metody potrzebne są obszerne dane dotyczące procesu¹³⁸.

Następną metodą jest metoda **czasu procesu**, czyli koncentracja na pomiarze czasu przepływu materiału w procesach, bez uwzględnienia strat produkcyjnych. Podejście to umożliwia pokazanie maksymalnej wydajności procesów w badanych warunkach¹³⁹.

Metoda **czasu kolejki**, nazywana w literaturze również metodą średniego czasu oczekiwania, polega na pomiarze czasu oczekiwania zadań przed każdym procesem. Proces, dla którego średni czas oczekiwania jest najdłuższy, uważany jest za wąskie gardło¹⁴⁰.

Metoda **nieaktywności procesu** wyznacza wąskie gardło jako miejsce o minimalnym łącznym czasie spędzonym w stanie nieaktywnym. Nieaktywność procesu jest rozumiana jako czas, w którym maszyna nie pracuje, a więc czeka na elementy z poprzedniego procesu¹⁴¹.

Metoda **punktu zwrotnego** polega na obserwacji oraz pomiarze czasu blokowania się i oczekiwania procesów. Punktem zwrotnym (wąskim gardłem) jest proces, który ma największy udział czasu pracy w porównaniu z sąsiednimi procesami. Punkt zwrotny nie występuje, kiedy czas oczekiwania procesu jest dłuższy niż czas jego blokady. Jeżeli czas oczekiwania dla każdego procesu jest dłuższy niż jego blokada, za wąskie gardło uważa się pierwszy proces. W odwrotnym przypadku wąskim gardłem jest proces ostatni¹⁴².

Metoda **spaceru wzdłuż procesów** polega na obserwacji pracy poszczególnych procesów oraz poziomu zapasów międzyprocesowych. Technika ta nie wymaga pomiarów, obliczeń i statystyk. Metoda zakłada, że jeżeli proces oczekuje na części, to wąskie gardło znajduje się w którymś miejscu przed tym procesem. Natomiast jeżeli proces jest zablokowany, ponieważ nie może przekazać części do kolejnego procesu, to wąskie gardło znajduje się za zablokowanym procesem. Źródłem informacji są również bufor międzyprocesowe. Jeżeli bufor między procesami jest pełny, to wąskie gardło znajduje się na dalszych etapach procesu produkcyjnego, natomiast jeżeli bufor jest pusty, to wąskie gardło znajduje się przed badanym miejscem. W przypadku, gdy bufor wypełniony jest do połowy, to wąskie gardło może znajdować się w dowolnym miejscu. Założenia te wskazują „kierunek” wąskiego gardła. Podczas obserwacji procesu produkcyjnego należy zapisywać kierunek wąskiego gardła. Wąskie gardło znajduje się pomiędzy strzałkami narysowanymi ku sobie¹⁴³.

¹³⁸ C. Roser, M. Nakano, M. Tanaka, *Shifting bottleneck detection* [w:] *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, t. 2, San Diego 2002, s. 1080.

¹³⁹ C. Roser, K. Lorentzen, J. Deuse, *Reliable shop floor bottleneck detection for flow lines through process and inventory observations*, „*Procedia CIRP*” 2014, t. 19, s. 64.

¹⁴⁰ Z. Dongping, T. Xitian, G. Junha, *A bottleneck detection algorithm...*, op. cit., s. 2.

¹⁴¹ C. Yu, A. Matta, *A statistical framework of data-driven bottleneck identification in manufacturing systems*, „*International Journal of Production Research*” 2016, t. 54, nr 21, s. 6318.

¹⁴² L. Li, Q. Chang, J. Ni, *Data driven bottleneck detection of manufacturing systems*, „*International Journal of Production Research*” 2009, t. 47, nr 18, s. 5019–5036.

¹⁴³ C. Roser, K. Lorentzen, J. Deuse, *Reliable shop floor...*, s. 65–67.

Metoda **ograniczonego przepływu** to podejście oceniające zapotrzebowanie klienta. Wąskie gardło systemu produkcyjnego identyfikowane jest w wyniku porównania czasu taktu i czasu cyklu zasobów w systemie produkcyjnym. Jeżeli czas cyklu maszyny jest dłuższy niż czas potrzebny na wykonanie zlecenia, wówczas zasób ten staje się wąskim gardłem systemu produkcyjnego. Drugim podejściem w tej metodzie jest wskaźnik wykorzystania wolnych mocy przerobowych maszyny. Wolne moce przerobowe to różnica między czasem cyklu a czasem taktu. Wąskie gardło w systemie produkcyjnym charakteryzującym się różnymi czasami cykli identyfikowane jest poprzez największe wykorzystanie zasobu¹⁴⁴.

Ostatnią z wymienionych metod jest metoda **skorygowanego czasu cyklu (C/T)**, która koncentruje się na pomiarze czasu cyklu i stopnia wykorzystania każdego procesu w strumieniu produkcyjnym. Iloczyn C/T oraz wskaźnika wykorzystania procesu wskazuje faktyczny czas potrzebny do wyprodukowania wyrobu. Obliczenie wydajności procesów poprzez skorygowane C/T wskaże proces, który jest wąskim gardłem¹⁴⁵.

Wymienione w tabeli 2.2 metody identyfikacji wąskich gardeł można podzielić na dwie grupy. Metoda spaceru wzdłuż procesów koncentruje się na obserwacji procesu produkcyjnego i zapasów międzyprocesowych bez konieczności zbierania obszernych danych. Pozostałe metody wymagają natomiast oparcia się na danych z dłuższych okresów funkcjonowania systemu produkcyjnego, przykładowo kilku miesięcy lub roku.

Jeszcze innym podejściem do identyfikacji wąskich gardeł są algorytmy matematyczne. Na przykład Dongping, Xitian i Junha¹⁴⁶ zaproponowali algorytm wykrywania wąskiego gardła dla złożonych linii montażowych, a Li¹⁴⁷ algorytm wykrywania wąskich gardeł na podstawie danych systemu produkcyjnego. Kolejne podejście przedstawili Gilbert, Tito i Doniger¹⁴⁸, którzy opracowali metodę określania wąskich gardeł w sektorze wytwórczym.

Ostatnią rozpoznaną w ramach przeprowadzonego przeglądu literatury metodą identyfikacji wąskiego gardła są zaś symulacje. Kamiński i Drobina¹⁴⁹ wykorzystali metodę symulacji komputerowej do zlokalizowania wąskiego gardła w przemyśle metalurgicznym, bazując na czasie trwania cyklu poszczególnych operacji technologicznych.

¹⁴⁴ T. Sims, H. Wan, *Constraint identification techniques...*, s. 50–58.

¹⁴⁵ W. Urban, *TOC implementation in a medium-scale manufacturing system with diverse product rotating*, „Production & Manufacturing Research” 2019, t. 7, nr 1, s. 183–185.

¹⁴⁶ Z. Dongping, T. Xitian, G. Junha, *A bottleneck detection algorithm...*, s. 3–5.

¹⁴⁷ L. Li, *A systematic-theoretic analysis of data-driven throughput bottleneck detection of production systems*, „Journal of Manufacturing Systems” 2018, t. 47, s. 46–50.

¹⁴⁸ C. Gilbert, M.D. Tito, C. Doniger, *Quantifying bottlenecks in manufacturing*, „FEDS Notes” 2021, nr 3022, s. 3–7.

¹⁴⁹ P. Kamiński, R. Drobina, *Wyznaczenie wąskiego gardła w przedsiębiorstwie branży metalurgicznej z wykorzystaniem pakietu symulacyjnego programu ARENA*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2021, nr 84, s. 95–110.

2.4. Techniki i narzędzia usprawniające przepływ produkcji

Przedsiębiorstwa, które umiejętnie organizują swoje procesy produkcyjne i pozostałe procesy biznesowe, są w stanie lepiej poradzić sobie z wymaganiami rynku oraz przeciwstawić się konkurencji. Niekiedy zdarza się jednak, że wszystkie procesy produkcyjne lub wydziały wytwarzające części składowe wyrobu są ze sobą doskonale zsynchronizowane. Skutkiem braku synchronizacji produkcji jest na przykład tworzenie zapasów produkcyjnych. Za główny cel sterowania produkcją uważa się wyprodukowanie odpowiedniej liczby wyrobów w ustalonych przez przedsiębiorstwa w planach zbytu tych wyrobów. Natomiast podstawowym celem każdego przedsiębiorstwa jest osiągnięcie dodatniego wyniku finansowego, gdyż dąży ono do satysfakcjonującego poziomu zysków. Sterowanie przepływem produkcji powinno zatem spełniać również ten cel¹⁵⁰.

Ciągły przepływ produkcyjny charakteryzuje się minimalnym marnotrawstwem, nieprzerwanym przepływem materiałów i produkcji w toku oraz minimalnymi zapasami produkcji w toku¹⁵¹. Jednak w rzeczywistych procesach produkcyjnych zazwyczaj występują różnego rodzaju zakłócenia przepływu produkcyjnego, które powodują odchylenia wydajności procesów od przyjętych norm oraz przewidywanych terminów realizacji zlecenia. Do podstawowych przyczyn zakłóceń występujących w procesie produkcji można zaliczyć na przykład awarie maszyn produkcyjnych, braki produkcyjne, niepełne dane decyzyjne, nieterminowe dostawy materiałów, trudności w znalezieniu materiału do obróbki lub kłopoty z elastycznością procesów, rozumiane jako dopasowanie przepustowości procesów produkcyjnych do wielkości zapotrzebowania rynkowego. W związku z wystąpieniem zakłóceń powodujących zaburzenia w przepływie produkcji należy podjąć takie działania, które umożliwią zachowanie terminów produkcji lub wyprodukowanie zamówionych produktów w określonym czasie¹⁵².

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele metod, technik i narzędzi wykorzystywanych w usprawnianiu przepływu produkcyjnego. Poniżej opisano kilka najważniejszych, według autorki, koncepcji z punktu widzenia TOC. Metody te mają zastosowanie przede wszystkim w poprawie przepływu produkcyjnego, czyli w zwiększaniu przepustowości wąskich gardeł.

Werbel-bufor-lina (DBR)

TOC w przypadku ograniczeń wykrytych w procesie produkcyjnym, czyli wąskich gardeł, proponuje rozwiązanie werbel-bufor-lina (ang. *drum-buffer-rope*, DBR). Metoda ta rozwinęła się stopniowo dzięki doświadczeniom Goldratta z oprogramowaniem

¹⁵⁰ K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie...*, s. 317.

¹⁵¹ J. Czerska, *Pozwól płynąć swojemu produktowi: Tworzenie ciągłego przepływu*, Wydawnictwo Placet, Gdańsk 2011, s. 12.

¹⁵² K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie...*, s. 326.

do planowania produkcji o nazwie OPT. Celem DBR jest synchronizacja zasobów produkcyjnych przy jednoczesnej minimalizacji zapasów i produkcji w toku¹⁵³. Koncepcja ta bazuje na kilku podstawowych założeniach¹⁵⁴:

1. Przepływ produkcji przy małych wielkościach partii jest szybszy i bardziej elastyczny niż w przypadku dużych partii i związanych z nimi kolejek.
2. Zakłócenia w przepływie produkcyjnym są wynikiem wewnętrznej zmienności przedsiębiorstwa i zewnętrznej niepewności występującej poza nim.
3. Wyeliminowanie wszystkich zakłóceń występujących w przepływie nie jest praktyczne.
4. Każdy zasób produkcyjny ma zazwyczaj inną wydajność.
5. W przypadku, gdy system nie jest w równowadze z popytem rynkowym, próby zrównoważenia wydajności zasobów produkcyjnych będą trudne do zrealizowania.
6. Wydajność całego systemu nie może być większa niż wydajność wąskiego gardła.
7. Poprawa wydajności zasobu niebędącego wąskim gardłem nie poprawi wydajności całego systemu.

W algorytmie DBR zasób krytyczny (wąskie gardło) wyznacza tempo pracy zasobom niekrytycznym, występującym przed oraz za nim. To wąskie gardło wpływa na wydajność całego systemu produkcyjnego, decyduje o wielkości oraz częstotliwości dostaw materiałów. W związku z tym wszelkie działania planistyczne powinny być skoncentrowane na maksymalizacji przepływów produkcyjnych w wyniku podporządkowania pozostałych zasobów niekrytycznych wąskiemu gardłu¹⁵⁵. Metoda DBR składa się z trzech elementów^{156, 157}:

1. **Werbel** (ang. *drum*) – wyznacza rytm pracy produkcji zgodnie z tempem pracy wąskiego gardła.
2. **Bufor** (ang. *buffer*) – zapewnia stabilny przepływ oraz ciągłość produkcji wąskiego gardła. Umieszczany jest w newralgicznych miejscach, w szczególności przed wąskim gardłem, zapewniając mu warunki maksymalnej eksploatacji oraz zapobiega sytuacjom przerwania procesu produkcyjnego z powodu awarii zasobu krytycznego. Bufor może występować jako bufor czasowy (materiał przed wąskim gardłem dostarczany jest z wyprzedzeniem), bufor ilościowy (zapas produkcji w toku znajdujący się przed wąskim gardłem) lub bufor wysyłkowy (zabezpieczenie terminu dostawy przed możliwymi zakłóceniami występującymi między innymi w procesie produkcji).

¹⁵³ J.H. Blackstone, *A review of literature...*, s. 149.

¹⁵⁴ W.H. Dettmer, *Beyond lean manufacturing...*, s. 26.

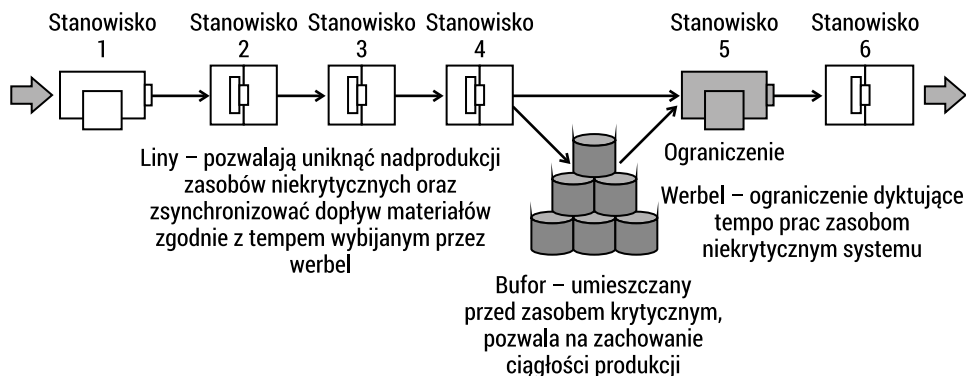
¹⁵⁵ J. Krystek, T. Trznadel, *Zastosowanie algorytmu DBR teorii ograniczeń do planowania produkcji*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2012, nr 88(10b), s. 163.

¹⁵⁶ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 216.

¹⁵⁷ J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 302.

3. **Lina** (ang. *rope*) – wyznacza rytm dostarczania materiałów lub półwyrobów do procesów znajdujących się przed wąskim gardłem w celu wyeliminowania nadprodukcji na zasobach niekrytycznych.

Graficzną interpretację metody werbel-bufor-lina przedstawiono na rysunku 2.2.



RYSUNEK 2.2. Graficzna interpretacja metody werbel-bufor-lina

ŹRÓDŁO: E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 217.

Algorytm DBR jest spójny z logiką metody pięciu kroków skupienia: krok 1 – identyfikacja najsłabszego ogniwa, czyli werbla, wyznaczającego tempo produkcji; krok 2 – eksploatacja ograniczenia, czyli opracowanie poziomu buforów w celu jak najskuteczniejszego wykorzystania wąskiego gardła; krok 3 – podporządkowanie harmonogramu wydawania materiałów procesowi w celu utrzymania stałej pojemności bufora przy pomocy narzędzia, jakim jest lina¹⁵⁸.

Metoda DBR poprzez skoncentrowanie się na najsłabszym ogniwie, optymalizacji poziomu buforów i kontrolowanemu wydawaniu materiałów pozwala na zwiększenie przepustowości wąskich gardeł i poprawę ogólnej wydajności całego systemu produkcyjnego.

Schragenheim opracował uproszczoną metodę werbel-bufor-lina o nazwie S-DBR (ang. *simplified drum-buffer-rope*). Metoda ta zakłada, że ograniczeniem jest rynek. Na tej podstawie wykorzystuje się tylko jeden bufor wysyłkowy, który ma na celu zabezpieczenie terminu dostawy. Głównym celem S-DBR jest zapewnienie terminowości realizacji zamówień, natomiast celem klasycznego DBR jest zwiększenie przepustowości i przepływu produkcji w wyniku podporządkowania pozostałych procesów zasobowi krytycznemu¹⁵⁹.

¹⁵⁸ J.H. Blackstone, *A review of literature...*, s. 149.

¹⁵⁹ M.B. Benavides, H. Van Landeghem, *Implementation of S-DBR in four manufacturing SMEs: a research case study*, „Production Planning and Control” 2015, t. 26, nr 13, s. 1111.

Skrócenie czasu przezbrojeń metodą SMED

Różnorodne potrzeby klientów wymagają szybkiej reakcji ze strony przedsiębiorstw, co prowadzi do konieczności częstych zmian produkowanych wyrobów. Produkcja niewielkich partii produkcyjnych zróżnicowanych wyrobów prowadzi do częstych zmian zadań produkcyjnych na poszczególnych stanowiskach. Przechodzenie z jednego zlecenia na kolejne wymaga czasu, na przykład na zmianę oprzyrządowania (w procesach obróbczych) lub wyczyszczenie instalacji (w procesach drukowania). Aby sprostać postawionym wymaganiom wykorzystuje się SMED (ang. *single minute exchange of die*), czyli metodę szybkiego przezbrajania maszyn, urządzeń i procesów produkcyjnych (skrócenie czasów przygotowawczo-zakończeniowych), której twórcą jest japoński inżynier Shigeo Shingo¹⁶⁰. Głównym celem metody SMED jest wykonanie przezbrojenia w jak najkrótszym czasie, przy wykorzystaniu jak najmniejszej liczby narzędzi. Metoda ta ma zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, na przykład w motoryzacyjnej, hutniczej, drzewnej czy przetwórstwa tworzyw sztucznych.

Przezbrajanie maszyny jest pracochłonnym procesem, który wymaga zaangażowania operatora w wykonanie wielu czynności mających na celu przygotowanie maszyny do nowego zadania. W rezultacie podczas przeprowadzania przezbrajania maszyna nie pracuje, czyli nie wytwarza wyrobów. Do najczęstszych przeprowadzanych wówczas czynności można zaliczyć na przykład wymianę narzędzi i oprzyrządowania, wymianę elementów maszyny, regulację, czyszczenie, zmianę surowca, półfabrykatów lub dokumentacji procesu¹⁶¹. Metoda SMED bazuje na czterech głównych działaniach, które mogą wpłynąć na skrócenie czasu przezbrojenia¹⁶²:

1. Podział czynności na zewnętrzne i wewnętrzne

Czynności zewnętrzne (*off-line*) to te, które można wykonać w czasie pracy maszyny, na przykład: pobranie i dostarczenie narzędzia do obrabiarki, wstępne ustawienie tego narzędzia lub oddanie gotowych elementów do magazynu.

Czynności wewnętrzne (*on-line*) to te, które trzeba wykonać w czasie postoju maszyny, na przykład zamocowanie narzędzia w uchwycie, wprowadzenie nowej bazy danych lub wyczyszczenie maszyny po procesie poprzednim.

Taki podział czynności stwarza duże możliwości przyspieszenia procesu przezbrojenia.

2. Wykonywanie czynności w tym samym czasie

Czynności, które są wykonywane podczas procesu przezbrojenia powinny być realizowane według wcześniej ustalonej kolejności. W celu przyspieszenia tego procesu niektóre z nich mogą być prowadzone przez kilku pracowników jednocześnie.

¹⁶⁰ B. Skotnicka-Zasaden, P. Masoń, *Doskonalenie obiektów technicznych przy wykorzystaniu metody SMED*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2016, z. 87, s. 328.

¹⁶¹ J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 178.

¹⁶² A. Hamrol, *Strategie i praktyki...*, s. 261–262.

3. Ustalenie jak najkrótszych odległości do pokonania

Ustalenie standardów postępowania oraz usytuowanie wszystkich narzędzi pomocniczych i elementów maszyny w taki sposób, aby pracownik dokonujący przebrojenia pokonywał jak najkrótszy dystans.

4. Wprowadzenie usprawnień technicznych

Stosowanie różnego rodzaju usprawnień, które mogą przyczynić się do zaoszczędzenia czasu, na przykład stosowanie połączeń szybkozłącznych, uproszczenie konstrukcji lub unifikacja elementów.

Istotą działań w ramach metody SMED jest zamiana części czynności wewnętrznych na czynności zewnętrzne, a następnie skrócenie czasu ich wykonania. Metoda ta opiera się na trzech etapach, które zostały szczegółowo opisane w tabeli 2.3.

TABELA 2.3. Charakterystyka poszczególnych kroków wdrażania SMED

Etap	Charakterystyka	Wykorzystywane techniki i narzędzia
Separacja czynności zewnętrznych i wewnętrznych	Zarejestrowanie procesu przebrojenia uwzględniającego ruchy rąk i ciała operatora, a następnie dokładna analiza wykonywanych czynności wraz z czasem ich trwania	• nagranie wideo; • obserwacja; • lista kontrolna; • próba funkcjonowania (kontrola sprawności narzędzi); • usprawnienie transportu narzędzi, matryc i materiałów
Przekształcenie czynności wewnętrznych na zewnętrzne	Uważne przyjrzenie się celowości czynności wewnętrznych oraz znalezienie rozwiązań dotyczących możliwości przekształcenia ich w czynności zewnętrzne	• przygotowanie stanowiska pracy przed rozpoczęciem wewnętrznego procesu przebrajania; • standaryzacja parametrów montażu; • wykorzystanie przyrządów pośredniczących
Usprawnienie czynności przygotowawczych	Dalsza analiza czynności wewnętrznych i zewnętrznych pod kątem sposobu ich wykonywania, mająca na celu skrócenie czasu trwania tego procesu	Dla czynności wewnętrznych: • równoległa realizacja operacji przez co najmniej dwie osoby; • zaprojektowanie jak najkrótszej drogi dla operatora. Dla czynności zewnętrznych: • doskonalenie składowania; • usprawnienie metod transportu narzędzi, przyrządów, części i materiałów

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 178; M. Kruczek, Z. Żebrucki, *Wykorzystanie techniki SMED w usprawnieniu procesu produkcyjnego*, „Logistyka” 2012, nr 2, s. 801–802.

W wyniku zastosowania metody SMED przedsiębiorstwo jest w stanie skrócić czas przestojów, co wiąże się ze zwiększeniem wydajności maszyn. Takie działanie może częściowo lub całkowicie wyeliminować wąskie gardło w procesie produkcyjnym.

Dodatkowe korzyści wynikające z wdrożenia metody to zwiększenie elastyczności produkcji, skrócenie czasu realizacji zlecenia, ograniczenie poziomu zapasów oraz poprawa jakości produkowanych wyrobów¹⁶³.

Metodę SMED należy połączyć z działaniami 5S i TPM. Między tymi metodami występuje duża współzależność, ponieważ niewyobrażalne jest osiągnięcie dobrych rezultatów w skróceniu czasu przebrojenia bez zapoznania się z zasadami dobrej organizacji stanowiska pracy oraz dodatkowej konserwacji maszyn przez operatorów¹⁶⁴.

Skrócenie czasu przebrojeń umożliwia szybką zmianę produkcji z jednego produktu na inny, minimalizując czas bezproduktywny i przyspieszając uruchamianie produkcji. W rezultacie przepływ produkcyjny staje się bardziej płynny, eliminując blokady i umożliwiając sprawniejszy przepływ materiałów przez system produkcyjny.

Zarządzanie stanowiskiem pracy – metoda 5S

Metoda 5S to podejście do organizacji i zarządzania w miejscu pracy zmierzające do podnoszenia wydajności w wyniku usprawnienia procesów zachodzących na stanowisku pracy, redukcji zbędnych czynności oraz wyeliminowania strat na tym stanowisku¹⁶⁵. Przyczynia się do poprawy przepływu materiałów, efektywności pracy i jakości produktów. W praktyce stosowanie metody 5S oznacza dbałość o porządek, dyscyplinę i skrzętne gospodarowanie. Jest to zbiór prostych zasad prowadzących do skutecznych zachowań, czyli proces wypracowywania przez pracowników dobrych nawyków pozwalających utrzymać przedsiębiorstwo w czystości oraz podnieść jego wydajność i efektywność¹⁶⁶. Nazwa 5S pochodzi od pierwszych liter japońskich słów: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* i *shitsuke*. Opis poszczególnych etapów metody 5S przedstawiono w tabeli 2.4.

Każdy etap podejścia 5S jest niezwykle ważny i wymaga skrupulatnego wykonania, aby osiągnąć zakładane efekty. Prawidłowe zastosowanie trzech pierwszych kroków (selekcja, systematyka i sprzątanie) pozwala na identyfikację dotychczas niezauważalnych problemów oraz ich eliminację. Wdrożenie kolejnych dwóch etapów (standaryzacja i samodyscyplina) ma na celu stworzenie naturalnej potrzeby utrzymania wypracowanych zasad organizacji stanowiska pracy¹⁶⁷.

¹⁶³ S. Kowal, K. Knop, *Wykorzystanie metody SMED do poprawy efektywności pracy stanowiska wytłaczania rurek gładkich*, „Zeszyty Naukowe Quality. Production. Improvement” 2017, nr 2(7), s. 100.

¹⁶⁴ J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 180.

¹⁶⁵ M. Kuczyńska-Chałada, *Proces wdrożenia metody 5S w przedsiębiorstwie produkcyjnym* [w:] R. Knośala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, s. 3.

¹⁶⁶ A. Pacana, A. Gazda, P. Wołoszyn, *Wykorzystanie metody 5S do doskonalenia procesów logistycznych*, „Modern Management Review” 2014, t. 19, nr 21(2) s. 74.

¹⁶⁷ J. Łopatowska, *Metoda 5S jako narzędzie modelowania procesów na stanowisku pracy* [w:] L. Zawadzka, *Inżynieria systemów zarządzania*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002, s. 127.

TABELA 2.4. Charakterystyka metody 5S

Etap		Charakterystyka	Narzędzie	Cel
1S	Seiri (selekcja, sortowanie)	Sortowanie przedmiotów znajdujących się na stanowisku pracy z podziałem na potrzebne i niepotrzebne. Usunięcie ze stanowiska rzeczy niepotrzebnych, utrudniających pracę	Przedmioty niepotrzebne oznaczone czerwoną etykietą	Lepsze wykorzystanie powierzchni roboczej stanowiska pracy, usprawnienie wykonywanych czynności
2S	Seiton (porządkowanie, systematyka)	Określenie stałych miejsc przedmiotów. Przedmioty często wykorzystywane powinny znaleźć się w bliskim odstępie	Elementy wizualizacji, np. pola odkładcze, tablice cieni, etykiety, obrysowanie stanowiska	Zmniejszenie strat czasu na poszukiwanie narzędzia
3S	Seiso (sprząatanie)	Utrzymanie czystości stanowiska pracy poprzez regularne sprząatanie	Środki czystości	Wypracowanie nawyku sprząatania w rytmie dnia pracy. Zwiększenie bezpieczeństwa. Mniejsza awaryjność maszyn
4S	Seiketsu (standaryzacja)	Ustalenie zasad i standardów na danym stanowisku pracy uzyskanego w poprzednich trzech krokach	Tworzenie standardów i procedur	Utrzymanie w dobrym stanie stanowiska pracy
5S	Shitsuke (samo- dyscyplina)	Trzymanie się ustalonych zasad i procedur na stanowisku pracy. Eliminowanie przyzwyczajeń pracowników	Kontrola stanowisk pracy – audyty 5S. Dokonywanie oceny i wizualizacja wyników	Utrzymanie wypracowanego standardu. Samodoskonalenie

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: M. Kuczyńska-Chałada, *Proces wdrożenia...*, s. 4; J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 177.

Zastosowanie metody 5S niesie za sobą wiele korzyści, na przykład podniesienie produktywności, wzrost wydajności, poprawę jakości wytwarzanych wyrobów, zapobieganie powstawaniu błędów w procesie produkcyjnym, zmniejszenie marnotrawstwa czasu pracowników oraz poprawę bezpieczeństwa pracy. Metoda 5S jest bardzo atrakcyjna dla przedsiębiorstwa, ponieważ jest dość prosta w zastosowaniu

oraz nie wymaga dużych nakładów finansowych, a korzyści i rezultaty z jej zastosowania dostrzegane są od razu¹⁶⁸.

W literaturze przedmiotu prezentowana jest również metoda 6S. Jest to uzupełnienie metody 5S o dodatkowy aspekt bezpieczeństwa (ang. *safety*). Celem tego kroku jest zwiększenie świadomości i skupienie się na bezpieczeństwie pracy podczas wdrażania metody 5S¹⁶⁹.

Kompleksowe utrzymanie ruchu (TPM)

TPM (ang. *total productive maintenance*) to współczesna koncepcja utrzymania maszyn w pełnej sprawności i dostępności do produkcji wywodząca się z Japonii, choć pierwsze działania mające na celu usprawnienie funkcjonowania parku maszynowego były podejmowane na większą skalę już na początku XX wieku w USA. Nazwa TPM po raz pierwszy została zdefiniowana w 1971 roku przez Japan Institute of Plant Engineers¹⁷⁰. Koncepcja ta dotyczy ogółu prac związanych z produktywnym utrzymaniem ruchu urządzeń technologicznych wewnątrz przedsiębiorstwa, wykonywanych przez pracowników działu utrzymania ruchu (planowana konserwacja), a także operatorów maszyn (autonomiczna konserwacja). Taka współpraca pozwala na wzajemne poznanie się oraz zwiększenie umiejętności operatorów maszyn poprzez lepsze zrozumienie urządzenia technologicznego. Koncepcja TPM zakłada, że pracownik obsługujący dany proces produkcyjny jest w stanie przewidywać oraz zapobiegać awariom. Dzięki temu możliwe jest wydłużenie cykli remontowych, zmniejszenie liczby usterek, skrócenie czasu ich usuwania oraz lepsze gospodarowanie częściami zamiennymi¹⁷¹.

Każdy przestój maszyny lub innej instalacji niezbędnej do realizacji produkcji wiąże się z utratą środków pieniężnych. Straty te stają się szczególnie istotne, gdy przestój maszyny jest nieoczekiwany, spowodowany awarią lub destabilizuje cały proces produkcyjny. Tego rodzaju przestoje mogą wpływać na powstawanie wąskich gardeł w systemie produkcyjnym. TPM dotyczy strat związanych z urządzeniami technologicznymi. Występowanie strat w procesie produkcyjnym powoduje skrócenie efektywnego czasu pracy, a co za tym idzie, procesy te mogą stać się wąskim gardłem¹⁷². Można wyróżnić następujące rodzaje strat:

- a) planowe zatrzymanie procesu wytwórczego spowodowane okresową obsługą instalacji i urządzeń technologicznych;

¹⁶⁸ A. Jamróz, A. Pleskacz, *Zastosowanie metody 5S do poprawy organizacji miejsca pracy w wybranej firmie produkcyjnej*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomii i Informatyki” 2018, nr 14, s. 139.

¹⁶⁹ K. Konieczka, M. Konieczna, *Bariery i ograniczenia przy wdrożeniu metody 6S: studium przypadku*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2019, nr 79, s. 121.

¹⁷⁰ K. Szatkowski, *Nowoczesne zarządzanie...*, s. 307.

¹⁷¹ P. Kisiel, *Koncepcja wdrożenia wybranych metod lean production w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, „Logistyka” 2016, r. 18, nr 6, s. 1410.

¹⁷² E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 334.

- b) związane z czasem przebrojenia urządzeń technologicznych i wyregulowaniem sprzętu;
- c) spowodowane występowaniem awarii urządzeń technologicznych;
- d) wynikające z nieprawidłowej realizacji procesu, na przykład niewłaściwie dobrane parametry technologiczne pracy urządzeń, błędy półwyrobu, błędy operatora;
- e) wynikające z nieprzewidzianych sytuacji mogących wystąpić w procesie wytwórczym;
- f) związane z niedotrzymaniem parametrów jakościowych oraz koniecznością usunięcia wad.

Różnica pomiędzy TPM a tradycyjnym utrzymaniem ruchu polega na odmiennym podejściu do konserwacji i przeglądów maszyn. Według TPM czas przeznaczony na te czynności procentuje w późniejszym okresie, gdy maszyna stale jest gotowa do produkcji. TPM dąży do spełnienia warunku: zero awarii maszyn, zero wad wynikających z ich pracy, zero wypadków przy pracy. Celem tej metody jest utrzymanie parku maszynowego przedsiębiorstwa w kondycji zapewniającej ciągłość produkcji, czyli poprawa efektywności eksploatacji parku maszynowego w wyniku redukcji sześciu wielkich strat, takich jak awarie, długi czas przebrojeń i regulacji, drobne przestoje i bezczynność, braki jakościowe i poprawki, mniejsza wydajność podczas rozruchu oraz obniżona prędkość pracy. Aby zrealizować cel TPM, należy działać w następujących obszarach, nazywanych ośmioma filarami TPM¹⁷³:

1. **Autonomiczne zespoły utrzymania ruchu**

Zaangażowanie operatorów maszyn w wykonywanie przeglądów i konserwacji w obszarze wykonywanej pracy niezależnie od działu utrzymania ruchu. Obejmuje to takie działania, jak: czyszczenie i przegląd maszyn, eliminacja źródeł problemów (poprawa dostępu do elementów maszyny, smarowanie), przeprowadzanie przeglądu maszyny w celu wykrycia i usunięcia błędów i usterek, stworzenie samodzielnego zespołu podejmującego decyzje w zakresie napraw.

2. **Doskonalenie Kaizen**

Ciągłe doskonalenie procesu w celu wykrycia przyczyn problemu przy wykorzystaniu różnych narzędzi TPM. Przykładowym narzędziem stosowanym do doskonalenia jest cykl Deminga, który wspomaga przejście przez kolejne kroki (ang. *plan, do, check, act* – „zaplanuj, wykonaj, sprawdź, popraw”), tak aby skutecznie rozwiązać problem. Inne narzędzie to wykres Ishikawy wizualizujący problem wraz z potencjalnymi przyczynami. Jako kolejny element filozofii Kaizen można wyróżnić metodę 5WHY, której celem jest odnalezienie przyczyny istniejącego problemu.

3. **Terminowe wykonywanie przeglądów**

Planowe przeprowadzanie działań zapobiegawczych w celu uniknięcia awarii maszyn poprzez: analizę usterek, smarowanie, wymianę zużytych podzespołów, regulację, zarządzanie częściami zamiennymi czy skrócenie czasu naprawy.

¹⁷³ P. Kisiel, *Koncepcja wdrożenia...*, s. 1410–1411.

4. **Zapewnienie jakości**
Przegląd techniczny miejsc linii technologicznej, w których powstaje najwięcej błędów wpływających na ostateczny produkt.
5. **Planowy zakup nowych maszyn**
Rozsądne inwestowanie w park maszynowy na podstawie faktycznych danych.
6. **Zarządzanie parkiem maszynowym**
Wyznaczanie standardów skutecznego czyszczenia i smarowania, przygotowywanie list kontrolnych przeprowadzania autonomicznego przeglądu maszyn, wizualne zarządzanie, opracowanie zasad zbierania danych na temat awarii oraz ich analiza.
7. **BHP i środowisko**
Podejmowanie działań zorientowanych na bezpieczeństwo wykonywanej pracy oraz środowiska naturalnego poprzez ograniczenie zużycia materiałów i energii.
8. **Szkolenia**
Ciągłe podnoszenie umiejętności technicznych personelu oraz doskonalenie go w technikach rozwiązywania problemów. Samodzielne przeprowadzanie mniej skomplikowanych napraw przez operatorów maszyn.

Kluczowym wskaźnikiem do zbadania całkowitej efektywności maszyn jest wskaźnik **OEE** (ang. *overall equipment effectiveness*). To wskaźnik najczęściej wykorzystywany przez menedżerów do oceny wydajności maszyn, linii produkcyjnych czy też oddziałów zakładowych, uwzględniający sześć wielkich strat podczas pracy maszyny. Jego wartość powyżej 60% uważana jest za pożądaną. Wskaźnik OEE obliczany jest na podstawie wzoru¹⁷⁴:

$$OEE = A \cdot P \cdot Q \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

A – dostępność, czyli czas produkcji pomniejszony o planowane przerwy i nieplanowane zdarzenia (awarie), który oblicza się według wzoru:

$$A = \frac{\text{czas zmiany} - \text{czas przestoju}}{\text{czas zmiany}} \quad (2)$$

P – wydajność, czyli stosunek produkcji rzeczywistej (liczba wytworzonych wyrobów) do docelowej wielkości produkcji, uwzględniający czynniki zmniejszające maksymalną prędkość produkcji (na przykład krótkie przerwy, uruchomienie maszyn), który oblicza się według wzoru:

$$P = \frac{\text{produkcja rzeczywista}}{\text{produkcja docelowa}} \quad (3)$$

¹⁷⁴ A. Gola, E. Kosicka, K. Daniewski, D. Mazurkiewicz, *Analiza błędów przy ocenie wskaźnika OEE na przykładzie linii rozlewu butelkowego* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Zarządzania Produkcją, Opole 2016, s. 559–560.

Q – jakość, czyli stosunek wyrobów spełniających standardy jakości do produkcji rzeczywistej, który oblicza się ze wzoru:

$$Q = \frac{\text{produkcja rzeczywista} - \text{braki}}{\text{produkcja rzeczywista}} \quad (4)$$

Metoda TPM wykorzystuje wiele innych wskaźników do pomiaru postępów w zakresie zwiększania efektywności wykorzystania maszyn. Do szczegółowej analizy strat, jakimi są awarie, służą dwa kluczowe wskaźniki:

1. **MTBF** (ang. *mean time between failures*) – średni czas pracy pomiędzy występującymi awariami w ustalonym czasie. W przedsiębiorstwach wykorzystywany jest do ustalania harmonogramu przeglądów profilaktycznych. Oblicza się go ze wzoru:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{czas pracy}}{\text{liczba awarii w ustalonym czasie}} [\text{min.}] \quad (5)$$

2. **MTTR** (ang. *mean time to repair*) – średni czas potrzebny do usunięcia awarii liczony od momentu jej zgłoszenia do zakończenia naprawy. W przedsiębiorstwach wykorzystywany jest do oceny efektywności pracowników działu utrzymania ruchu oraz do oceny prowadzonych przez nich napraw. Oblicza się go ze wzoru:

$$\text{MTTR} = \frac{\text{czas napraw}}{\text{liczba awarii}} [\text{min.}] \quad (6)$$

Analizę powyższych wskaźników należy prowadzić poprzez śledzenie ich trendów w perspektywie dni, tygodni lub miesięcy. Dzięki temu można zauważyć, czy działania TPM przynoszą efekty¹⁷⁵.

Należy zwrócić szczególną uwagę, iż w ostatniej dekadzie wzrosła świadomość osób zarządzających dotycząca efektywnego wykorzystania parku maszynowego oraz możliwości włączenia pracowników w utrzymanie jego w pełni sprawnego stanu. Poprzez zaangażowanie wszystkich osób w przedsiębiorstwie w utrzymanie ciągłości produkcji koncepcja TPM stała się jednym z najczęściej stosowanych narzędzi w czołowych przedsiębiorstwach w krajach najbardziej rozwiniętych¹⁷⁶. Dodatkowo utrzymanie parku maszynowego w pełnej sprawności, a także zapewnienie jego dostępności, jest korzystne z punktu widzenia TOC, ponieważ umożliwia ciągłość produkcji i optymalne wykorzystanie zasobów.

Kaizen

Kaizen to filozofia, której nazwa pochodzi od dwóch japońskich słów: *kai* oznaczającego zmianę i *zen* oznaczającego „na lepsze”. Kaizen można interpretować jako ciągłe, nieustanne doskonalenie. Jest to praktyka biznesowa, która ma na celu zaangażowanie

¹⁷⁵ K. Antosz, D. Stadnicka, *Evaluation measures of machine operation effectiveness in large enterprises: study results*, „Maintenance and Reliability” 2015, t. 17, nr 1, s. 108–109.

¹⁷⁶ J. Lewandowski, B. Skołud, D. Plinta, *Organizacja...*, s. 304.

w ciągle doskonalenie oraz podnoszenie jakości przedsiębiorstwa i produktów. Za głównego promotora filozofii Kaizen uważa się japońskiego badacza Masaakiego Imai, który w 1986 roku wydał książkę pt. *Kaizen*¹⁷⁷.

Kaizen polega na nieustannym poszukiwaniu usprawnień swojego miejsca pracy oraz sposobu wykonywania czynności na danym stanowisku, a w efekcie na usunięciu niezgodności i zmniejszeniu marnotrawstwa. Należy dążyć do sytuacji, w której czynności wykonywane podczas pracy każdego pracownika będą tworzyć wartość dodaną. Wprowadzanie stopniowych zmian w przedsiębiorstwie wymaga zaangażowania pracowników każdego szczebla w ciągle poszukiwanie pomysłów udoskonalania różnych obszarów przedsiębiorstwa oraz bazowanie na istniejącej technologii. Proces ten odbywa się małymi krokami, jednak w dłuższej perspektywie czasowej przynosi pozytywne wyniki. W głównej mierze należy skupić się na identyfikowaniu i eliminowaniu marnotrawstwa oraz ustandaryzowaniu wdrożonych usprawnień w celu ich utrzymania oraz uzyskania jednolitej metody pracy w przedsiębiorstwie. Kaizen jest uważany za uniwersalne narzędzie, które sprawdzi się w każdej branży i w każdym przedsiębiorstwie. Poprzez doskonalenie różnych obszarów przedsiębiorstwa dąży się do osiągnięcia celów, takich jak redukcja kosztów, skrócenie czasu realizacji procesu oraz poprawa jakości¹⁷⁸. Filozofia Kaizen bazuje na **10 zasadach**¹⁷⁹:

1. Problemy stwarzają możliwości.
2. Odkryj prawdziwą przyczynę, stosując metodę 5 × WHY (5 razy „dlaczego?”).
3. Szukaj prostych rozwiązań.
4. Przyjmuj wszystkie pomysły (usprawnienia).
5. Wdrażaj możliwe rozwiązania.
6. Zapomnij o ustalonych procedurach wykonywania danej czynności.
7. Nie szukaj wymówek.
8. Użyj sprytu zamiast pieniędzy.
9. Pomyłki poprawiaj na bieżąco.
10. Ciągle poszukuj nowych usprawnień.

W przedsiębiorstwie system Kaizen jest realizowany w następujących etapach¹⁸⁰:

1. Identyfikacja problemu oraz znalezienie przykładów marnotrawstwa.
2. Zbadanie sytuacji i zebranie danych w celu znalezienia przyczyny źródłowej problemu (najczęściej wykorzystywany jest diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy).

¹⁷⁷ S. Urban, *System Kaizen w przedsiębiorstwie Toyota Motor Manufacturing Poland*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Nauki o Zarządzaniu” 2011, nr 164, s. 167–168.

¹⁷⁸ A. Hamrol, *Zarządzanie i inżynieria jakości*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017, s. 193.

¹⁷⁹ K. Midor, M. Lenart, *Wdrożenie systemu Kaizen w firmie branży motoryzacyjnej – studium przypadku*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji: Jakość i Bezpieczeństwo” 2015, z. 3(12), s. 119.

¹⁸⁰ Ibidem, s. 120.

3. Znaleźcie rozwiązanie problemu, przy czym przykładowe sposoby generowania pomysłów to: stosowanie „burzy mózgów” w małych grupach, gotowe wzorce pomysłów, analiza ekonomii ruchów.
4. Stworzenie planu dalszych działań (ocena pomysłu, oszacowanie opłacalności, znalezienie wad rozwiązania).
5. Wdrożenie pomysłu i sprawdzenie jego rezultatów.

Ważnym elementem Kaizen jest przeprowadzanie akcji informacyjnych wśród pracowników. Należy zapoznać ich z działaniem systemu Kaizen w przedsiębiorstwie oraz przedstawić zasady jego realizacji. Kolejnym istotnym aspektem jest utworzenie systemu nagród w celu motywowania pracowników do zaangażowania i chęci zgłaszania pomysłów usprawnień¹⁸¹.

Korzyści wynikające z wdrożenia Kaizen w przedsiębiorstwie można oszacować na podstawie poszczególnych usprawnień. Wszystkie wdrożenia eliminujące marnotrawstwo będą generować oszczędności powiązane z kosztem jednostkowym. Kaizeny (potoczna nazwa wdrożonych usprawnień) dotyczące optymalizacji procesu będą powiązane ze skróceniem czasu przebiegu, co korzystnie wpłynie na wskaźniki efektywności pracy, wskaźniki jakościowe i wydajnościowe (poprawę przepływu produkcyjnego). Dodatkowo pomogą one zmniejszyć liczbę wypadków przy pracy, korzystnie wpłyną na zadowolenie klientów, podniosą morale pracowników oraz ich chęć ciągłego uczenia się. Korzyści wynikające z wdrożenia Kaizen są wprost proporcjonalne do wzrostu doświadczenia i kwalifikacji pracowników¹⁸².

Standaryzacja pracy

Według słownika wyrazów obcych słowo „standard” oznacza „wzorzec”¹⁸³. Zatem standaryzacja pracy polega na wyznaczeniu takiego wzorca, który będzie podstawą działania pracowników na ich stanowiskach pracy. Standaryzacja określa procedury i sekwencje dla procesów oraz operacji, których celem jest umożliwienie zastępowalności pracownika w razie konieczności bez straty dla procesu produkcji. Opisuje szczegółowy sposób wykonywania pracy, oprządkowanie stanowiska oraz niezbędne materiały¹⁸⁴.

Cel standaryzacji pracy jest określony na podstawie czasu taktu, czyli rytmu, w jakim wyroby powinny przechodzić przez proces, aby zrealizować zamówienie klienta w określonym czasie. Ciągłe usprawnianie czynności wykonywanych na stanowiskach pracy wpływa na skracanie czasu cyklu, czyli eliminację marnotrawstwa.

¹⁸¹ G. Ćwikła, C. Grabowik, A. Gwiazda, K. Kalinowski, R. Gmur, *Ocena działania systemu ciągłego doskonalenia Kaizen w przykładowej firmie* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, s. 294.

¹⁸² K. Midor, M. Lenart, *Wdrożenie systemu Kaizen...*, s. 128.

¹⁸³ *Wzorzec* [w:] DobrySłownik.pl, <https://dobrysloownik.pl/slowo/standard/53228> [dostęp: 23.06.2023].

¹⁸⁴ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 315.

Pracownik powinien wykonywać tylko te działania, które przynoszą przedsiębiorstwu wartość dodaną. Jeżeli stanowisko zostanie pozbawione marnotrawstwa, należy zapewnić warunki umożliwiające odtwarzanie sposobu pracy poprzez opracowanie określonego standardu¹⁸⁵. Przygotowanie standardu pracy wymaga natomiast potwierdzenia stabilizacji procesu. Wówczas opracowany standard nie dotyczy chwilowej poprawy procesu. Przygotowanie standardów pracy odbywa się według następujących etapów^{186, 187}:

1. Identyfikacja i analiza procesów pod kątem wykonywanych czynności i marnotrawstwa – porównanie stanu rozpoznanego z oczekiwanym.
2. Znaczenie standardu – ustalenie potrzeby nowego rozwiązania.
3. Opracowanie standardu – ustalenie czynności naprawczych i nowego sposobu wykonywania pracy.
4. Implementacja standardu – wdrożenie zaproponowanych zmian.
5. Monitoring i kontrola standardu – ocena skuteczności zaproponowanych zmian.
6. Wdrożenie drobnych zmian – ustalenie i wprowadzenie zmian naprawczych.

Do najczęstszych form dokumentacji standardu należą arkusz lub karta standaryzacji pracy. Zawierają one standard wykonania całego procesu lub każdej operacji z osobna dla jednego lub kilku operatorów, w ustalonej sekwencji, wraz z czasem trwania każdej czynności. Opracowanie sekwencji wykonywania poszczególnych czynności ma na celu zapewnienie powtarzalności procesu oraz redukcję błędów. Dodatkowo musi zawierać podstawowe informacje, takie jak nazwa procesu, obszar, data opracowania i jego autor, a także lista niezbędnych narzędzi¹⁸⁸. Osobą tworzącą standardy pracy powinien być pracownik, który przede wszystkim dobrze zna opracowywany proces. Do poszukiwania najskuteczniejszej metody pracy powinni być zaangażowani także inni pracownicy, natomiast sprawdzenie standardu powinno odbywać się wyłącznie przez pracowników spoza standaryzowanego obszaru¹⁸⁹. Należy podkreślić, że opracowane standardy nie są stałe. Opisują najlepszy sposób wykonania pracy w danej chwili, jednak wraz z pojawieniem się nowych usprawnień należy zmienić lub uaktualnić standard¹⁹⁰.

Standaryzacja jest nieodłącznym elementem procesu ciągłego doskonalenia. To etap konieczny, w którym bez ustalenia w pełni powtarzalnej sekwencji zdarzeń nie jest możliwa poprawa jakości realizacji procesów. Standaryzację pracy należy wdrażać w tych obszarach, które mają największe znaczenie z punktu widzenia celu przedsiębiorstwa. Zazwyczaj największe straty występują w obszarach obejmujących: czas

¹⁸⁵ J. Czerska, *Podstawowe narzędzia lean manufacturing*, LeanQTeam, Gdańsk 2014, s. 57–59.

¹⁸⁶ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 317.

¹⁸⁷ K. Kolińska, A. Koliński, *Zastosowanie standaryzacji pracy w celu poprawy efektywności produkcji*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2013, nr 61, s. 67.

¹⁸⁸ E. Pająk, *Zarządzanie...*, s. 318.

¹⁸⁹ J. Czerska, *Podstawowe narzędzia...*, s. 62.

¹⁹⁰ Ibidem, s. 57.

i metody produkcji, wydajność procesów przy założonej liczbie przebrojeń, przeglądy maszyn i urządzeń, szkolenia oraz obsługę klienta¹⁹¹. Standaryzacja sprzyja utrzymaniu wysokiej produktywności, bezpieczeństwu pracy, redukcji kosztów, a także wspomaga zaangażowanie pracowników. Wdrożenie standaryzacji skraca czas przyswojenia niezbędnej wiedzy przez nowych pracowników, co w efekcie poprawia w przedsiębiorstwie płynność przepływów związanych z zakłóceniami wynikającymi z rotacji kadry pracowniczej¹⁹².

Outsourcing

Termin „outsourcing” pojawił się już na przełomie XIX i XX wieku. Henry Ford podkreślał, że przedsiębiorstwo nie powinno realizować działań, które mogą być wykonane przez inne podmioty wydajniej, taniej i lepiej¹⁹³. Słowo „outsourcing” pochodzi z języka angielskiego i jest skrótem od wyrażenia *outside-resource-using*, oznaczającego „korzystanie ze źródeł zewnętrznych”. W praktyce jest to lokowanie pewnych zasobów przedsiębiorstwa poza swoim obszarem w celu usprawnienia jego funkcjonowania¹⁹⁴. Obecnie zjawisko outsourcingu należy rozpatrywać nie tylko z punktu widzenia przedsiębiorstw specjalizujących się w świadczeniu usług outsourcingowych, ale też przedsiębiorstw korzystających z takich usług¹⁹⁵.

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele definicji outsourcingu. Według Trockiego outsourcing to określenie funkcji ze struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa oraz przekazanie ich do realizacji zewnętrznym podmiotom gospodarczym¹⁹⁶. Według Kopczyńskiego polega on na przekazaniu zasobów przedsiębiorstwa na zewnątrz w celu nawiązania długookresowej współpracy¹⁹⁷. Natomiast amerykański pionier outsourcingu, Greaver, definiuje go jako przekazanie zewnętrznym usługodawcom wewnętrznych zadań przedsiębiorstwa na podstawie warunków ustalonych w umowie kontraktowej¹⁹⁸.

¹⁹¹ J. Lipiak, K. Ejsmont, *Standaryzacja procesu druku fleksograficznego a zmiana wskaźnika OEE – studium przypadku* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017, s. 1.

¹⁹² J. Czerska, *Podstawowe narzędzia...*, s. 64.

¹⁹³ C.M. Harland, L.A. Knight, R.C. Lamming, H. Walker, *Outsourcing: Assessing the risks and benefits*, „International Journal of Operations & Production Management” 2005, t. 25, nr 9.

¹⁹⁴ W.M. Grudzewski, I.K. Hejduk, *Metody projektowania systemów zarządzania*, Difin, Warszawa 2004, s. 210.

¹⁹⁵ D. Nowak (red.), *Production-operation management. The chosen aspects*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań 2021, s. 106.

¹⁹⁶ M. Trocki, *Outsourcing. Metoda restrukturyzacji działalności gospodarczej*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001, s. 13.

¹⁹⁷ T. Kopczyński, *Outsourcing w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010, s. 46–47.

¹⁹⁸ M.F. Greaver, *Strategic outsourcing. A structural approach to outsourcing decisions and initiatives*, Amacom, New York 1999, s. 3.

Istota outsourcingu polega zatem na przekazywaniu części zadań wyspecjalizowanemu partnerowi zewnętrznemu, przy uwzględnieniu korzyści ekonomicznych pomiędzy stronami. Dzięki temu przedsiębiorstwo może skoncentrować się na swojej zasadniczej działalności, która umożliwia mu przewagę konkurencyjną¹⁹⁹. Strategiczny wymiar outsourcingu wynika z próby dostosowania wielkości przedsiębiorstwa do często zmieniających się wymagań otoczenia (na przykład klientów). Przedsiębiorstwa decydują się na takie rozwiązanie, traktując outsourcing jako rodzaj strategii umożliwiającej zwiększenie elastyczności produkcji, obniżenie kosztów lub poprawę funkcjonowania. Inne korzyści wynikające z zastosowania outsourcingu to między innymi doskonalenie produkowanych wyrobów, dostęp do innowacji, usprawnienie przepływu produkcyjnego, zapewnienie ciągłości produkcji, zmniejszenie nakładów na inwestycje, rozwój działalności operacyjnej (na przykład zwiększenie wydajności) czy poprawa jakości.

W praktyce wyróżnia się dwa rodzaje outsourcingu – selektywny i całościowy. Przedsiębiorstwa produkcyjne znacznie częściej wybierają outsourcing selektywny niż outsourcing całościowy. Selektywny, czyli taki, gdzie jedynie część procesu produkcyjnego jest zlecana na zewnątrz do wyspecjalizowanych przedsiębiorstw. Przykładem może być wybrany proces produkcyjny, linia produkcyjna lub zespół pracowników o odpowiednich kompetencjach. Natomiast outsourcing całościowy polega na przekazaniu przedsiębiorstwu zewnętrznemu całego zlecenia produkcyjnego²⁰⁰.

Wyróżnia się trzy poziomy outsourcingu: **taktyczny, strategiczny i transformacyjny**. Outsourcing taktyczny jest wykorzystywany do rozwiązywania problemów przedsiębiorstwa, takich jak na przykład niewystarczające fundusze na inwestycje lub nieopłacalność inwestycji, redukcja zatrudnienia, brak dostępu do nowoczesnych metod stosowanych w danym obszarze. Podstawą współpracy z usługodawcą jest umowa (kontrakt) zawierająca szczegółowe postanowienia opisujące zapewnienie klientowi wyższego poziomu jakości w porównaniu do samodzielnego wykonania, przy niższych kosztach, a także mniejsze zaangażowanie klienta w realizację zlecenia (jednak nie wyklucza klienta całkowicie). W umowie opisane są metody realizacji zlecenia, jak również przewidywane efekty. Outsourcing strategiczny koncentruje się na wykorzystaniu możliwości oferowanych przez rynek. Skupia się na długoterminowych celach przedsiębiorstwa. Może dotyczyć konkretnych obszarów działania, produktu lub segmentu rynku. Jego celem jest dostarczenie klientowi wartości dodanej. Outsourcing transformacyjny jest najlepiej rozwiniętą formą współpracy. Usługodawca przekształca metody wykorzystywane do wykonania zlecenia oraz uczestniczy w usprawnianiu procesów u klienta²⁰¹.

¹⁹⁹ M. Źródło-Loda, *Outsourcing w zarządzaniu organizacją*, „Prace Naukowo-Dydaktyczne PWSZ im. S. Pigonia w Krośnie” 2015, z. 68, s. 395.

²⁰⁰ A. Hyla, *Outsourcing w firmie produkcyjnej – zalety i wady*, „Inżynieria & Utrzymanie Ruchu” 2016, nr 2(113), s. 94.

²⁰¹ D. Nowak (red.), *Production-operation management...*, s. 108.

Należy podkreślić, że nie każdy proces produkcyjny można zlecić na zewnątrz. Przedsiębiorstwa realizujące zaawansowane projekty nie zawsze są w stanie sprostać wymaganiom niektórych zlecniodawców. Rozwiązaniem tego problemu może być zatrudnienie i przeszkolenie personelu oraz zakup niezbędnych maszyn. Takie inwestycje obciążają jednak finansowo przedsiębiorstwo, dlatego należy oszacować ich opłacalność oraz przemyśleć ścieżki ich wdrożenia²⁰².

Z perspektywy TOC przedsiębiorstwa, które decydują się na usługi outsourcingu, tymczasowo korzystają z nich w okresach zwiększonego zapotrzebowania wynikającego z większego popytu. Jest to strategiczny wybór, dokonywany zanim podejmą decyzję o zwiększeniu swojej zdolności produkcyjnej – na przykład poprzez inwestycję w nowe maszyny.

²⁰² A. Hyla, *Outsourcing w firmie produkcyjnej...*, s. 96.

3. Charakterystyka branży poligraficznej i metodyka badań

3.1. Charakterystyka branży poligraficznej

Branża poligraficzna jest jedną z systematycznie rozwijających się na przestrzeni ostatnich lat gałęzią polskiej gospodarki. W 2018 roku przedsiębiorstwa poligraficzne stanowiły 3,28% wszystkich polskich przedsiębiorstw. Rozwój technologii oraz wzrost sprzedaży maszyn i urządzeń wykorzystujących big data i dane zgromadzone w chmurze pozwoliły polskim firmom poligraficznym na dogonienie rynków zachodnich oraz stanie się konkurencyjnym rynkiem na arenie międzynarodowej. Znacząca liczba polskich przedsiębiorstw rozpoczęła sprzedaż na rynkach międzynarodowych i dogania wskaźniki efektywności firm z innych, wysoko rozwiniętych krajów²⁰³.

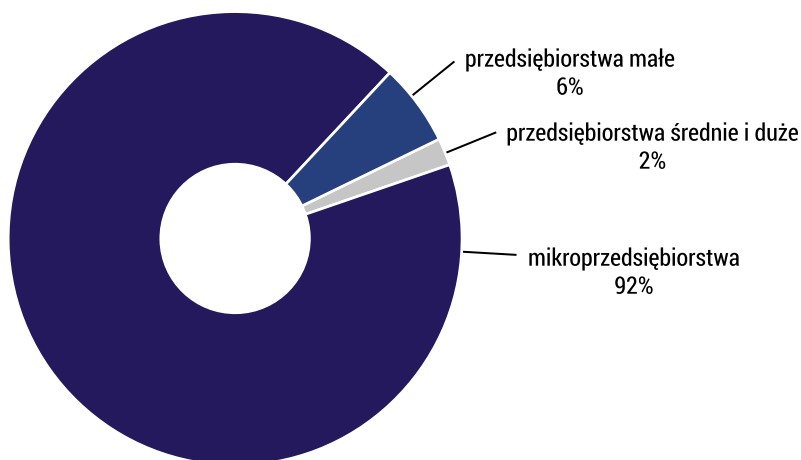
Zgodnie z informacjami publikowanymi przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) Polska jest największym rynkiem poligraficznym w regionie Europy Środkowo-Wschodniej i piątym w całej Unii Europejskiej pod względem przychodów i liczby zatrudnionych osób²⁰⁴. W branży poligraficznej w Polsce w 2020 roku odnotowano 9 322 przedsiębiorstwa prowadzące działalność gospodarczą, w tym 92% to mikroprzedsiębiorstwa (do 9 zatrudnionych osób), 6% – firmy małe (od 9 do 49 zatrudnionych osób), a pozostałe 2% to spółki średnie (od 50 do 249 zatrudnionych osób) i duże (powyżej 250 zatrudnionych osób). W sumie w branży poligraficznej w 2020 roku w Polsce pracowało około 55 tys. osób. Strukturę przedsiębiorstw poligraficznych w Polsce w 2020 roku w zależności od ich wielkości przedstawiono na rysunku 3.1.

W ostatnich latach nie można wyróżnić jednego wyraźnego trendu w zakresie liczby przedsiębiorstw poligraficznych w Polsce, wskazującego na jej wzrost lub spadek. Zauważalne jest jednak zmniejszenie liczby mikroprzedsiębiorstw i liczby pracowników zatrudnionych w nich od roku 2019. Głównym czynnikiem, który przyczynił się do tego spadku, była pandemia COVID-19. Wiele spośród mikroprzedsiębiorstw to punkty ksero prowadzone przez jedną osobę, które nie były w stanie poradzić sobie z ekonomicznymi skutkami pandemii. Ograniczenia epidemiologiczne wywarły istotny wpływ także na podmioty drukujące media papierowe, takie jak gazety lub książki, których sprzedaż z tego względu spadła. Jednakże w roku poprzedzającym pandemię

²⁰³ W. Cetera, *Poligrafia w czasie pandemii*, „Zarządzanie Mediami” 2021, t. 9(1), s. 175.

²⁰⁴ Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl> [dostęp: 04.04.2023].

zauważalny był zdecydowany wzrost liczby przedsiębiorstw poligraficznych w stosunku do lat poprzednich. Wzrost ten wskazuje na zainteresowanie przedsiębiorców inwestowaniem w branżę poligraficzną, co świadczy o zauważeniu potencjału i możliwości zarobku w tym sektorze²⁰⁵. Liczbę przedsiębiorstw poligraficznych w poszczególnych grupach w latach 2015–2020 pokazano na rysunku 3.2.



RYSUNEK 3.1. Struktura przedsiębiorstw poligraficznych w Polsce ze względu na ich wielkość w roku 2020

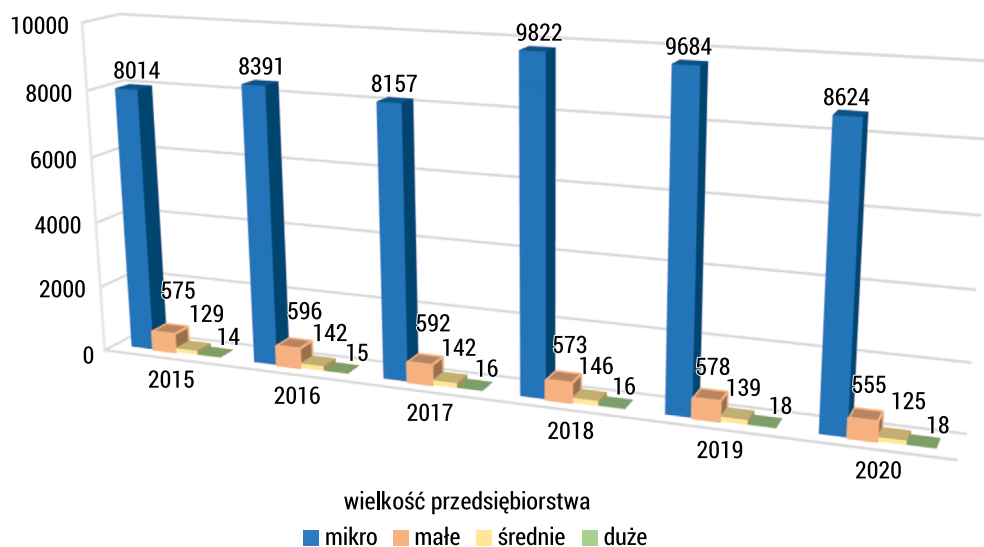
ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Obroty wygenerowane przez polskie przedsiębiorstwa poligraficzne w 2020 roku wyniosły 4,3 mld euro i należały do jednych z największych w całej branży w krajach UE. Polska zajęła piąte miejsce w Unii pod względem wartości obrotów, wyprzedzając tym samym większość krajów. Na pierwszym miejscu znalazł się rynek niemiecki z obrotami wynoszącymi 16,8 mld euro, na drugim włoski (8,9 mld euro), na trzecim francuski (6,6 mld euro), a na czwartym hiszpański (5,3 mld euro). Średnie przychody polskich przedsiębiorstw uplasowały się na poziomie 456 tys. euro. Wynik ten był znacznie niższy niż w przypadku przedsiębiorstw niemieckich (1,539 mld euro). Na podstawie omawianych danych można wywnioskować, że polski rynek jest mniej skonsolidowany niż rynki Europy Zachodniej. Na naszym rynku istnieje wiele mniejszych przedsiębiorstw o niewielkich obrotach i małej sprzedaży, a liczba dużych potentatów poligrafii, którzy generowaliby jeszcze większe obroty, na poziomie Niemiec czy Włoch, jest symboliczna.

Kolejnym ważnym wskaźnikiem charakteryzującym branżę poligraficzną jest stosunek przychodów w zależności od liczby osób zatrudnionych w przedsiębiorstwie. Na podstawie tego wskaźnika można określić średnią produktywność przedsiębiorstw w różnych krajach. W 2020 roku średnia produktywność krajów w UE

²⁰⁵ Ibidem, s. 180.

wyniosła 108,6 tys. euro. Krajem o największej produktywności okazała się Belgia z wynikiem 212,5 tys. euro przychodu na jednego pracownika, następnie Austria (177,7 tys. euro) oraz Dania (172,8 tys. euro). Zauważalna jest znaczna dysproporcja w przychodach na jednego pracownika pomiędzy krajami zachodnioeuropejskimi i wschodnioeuropejskimi. Produktywność polskich przedsiębiorstw znalazła się poniżej średniej UE i wynosiła tylko 78,1 tys. euro na pracownika, co świadczy o mniejszej efektywności pracy zatrudnionych osób i nadal dużej dysproporcji między Polską a krajami wysoko rozwiniętymi. Jest to jednak lepszy wynik niż średnia produktywność sąsiednich krajów. Przykładowo w sąsiadujących z Polską Czechach średnia produktywność wyniosła 66,3 tys. euro na pracownika²⁰⁶.



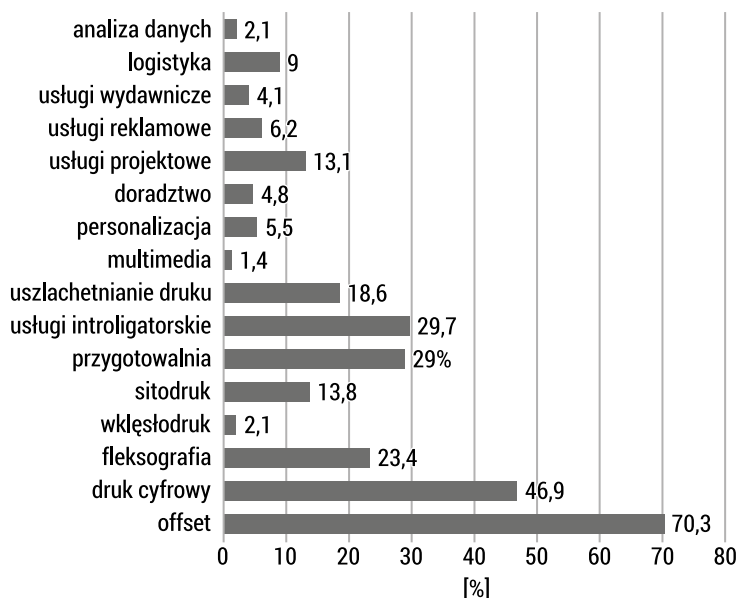
RYSUNEK 3.2. Liczba przedsiębiorstw poligraficznych w poszczególnych grupach w latach 2015–2020

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Branża poligraficzna oferuje klientom szeroki wachlarz produktów, co wymaga korzystania z wielu różnych technologii ich produkcji. W Polsce w 2022 roku najczęściej wykorzystywaną technologią był druk offsetowy, który stosowało aż 70,3% przedsiębiorstw. Kolejne pozycje pod względem popularności zajmowały druk cyfrowy – 46,9%, a także usługi introligatorskie – 29,7%. Technologia offsetowa miała znaczny udział w sprzedaży, stanowiąc około 80% udziału w przedsiębiorstwach ją wykorzystujących. Jednak pomimo tego, że druk cyfrowy był drugą najczęściej wykorzystywaną technologią, stanowił on jedynie 20% udziału w sprzedaży

²⁰⁶ Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny i opakowań z nadrukiem w Polsce*, raport – edycja ósma i dziewiąta, Warszawa 2022, s. 29.

w przedsiębiorstwach z niego korzystających. Jednym z kluczowych elementów całkowitej sprzedaży generowanej przez przedsiębiorstwa było wykorzystanie fleksografii, która stanowiła 90% udziału w sprzedaży w przedsiębiorstwach wykorzystujących tę technologię²⁰⁷. Technologie stosowane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku przedstawiono na rysunku 3.3.



RYSUNEK 3.3. Technologie wykorzystywane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny...*, s. 58.

Ciągły rozwój technologii, rosnące wymagania konsumentów, a także konkurencyjność rynku krajowego i międzynarodowego wymuszają na przedsiębiorstwach poszerzanie gamy oferowanych usług oraz rozwoju tych, które już są w ofercie. Według danych przedstawionych w Raporcie Polskiego Bractwa Kawalerów Gutenberga polskie przedsiębiorstwa poligraficzne na najbliższe 2–3 lata planują znaczne zwiększenie wykorzystania druku cyfrowego, uszlachetniania druku oraz usług intrologatorskich, czyli technologii już obecnie najczęściej stosowanych.

Aż 36,4% przedsiębiorstw planuje zwiększyć wykorzystanie druku cyfrowego, przy czym tylko nieliczne rozważają zmniejszenie jego wykorzystania. Interesująca jest prognoza dotycząca technologii offsetowej, która przynosi znaczną część zysków w przedsiębiorstwach ją wykorzystujących. Niewiele ponad 16% przedsiębiorstw planuje zwiększyć wykorzystanie tej technologii, a jednocześnie około 10% planuje

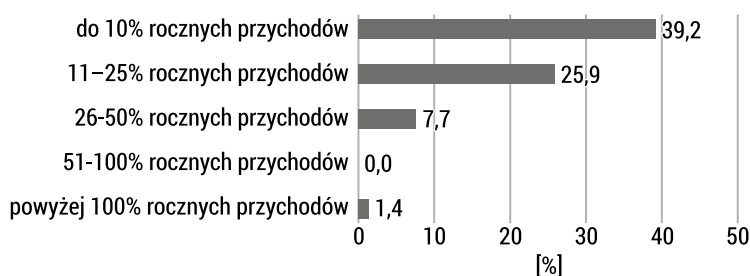
²⁰⁷ Ibidem, s. 58.

zmniejszenie jej wykorzystania w swojej działalności. Tendencja ta może wskazywać na kładzenie nacisku na rozwój i inwestowanie w technologie alternatywne. Do równie rozwojowych technologii należy uszlachetnianie druku, gdyż blisko 18% przedsiębiorstw planuje zwiększenie wykorzystywania go. Jest to obecnie jedna z najlepiej rozwijających się technologii druku i może stanowić dochodową gałąź branży poligraficznej. Można stwierdzić, że wpływ COVID-19 prawdopodobnie zmniejszył zakres planowanych zmian w przedsiębiorstwach. Pandemia wymusiła na organizacjach większą ostrożność w inwestycjach, a wcześniej planowane rozbudowanie usług intrologatorskich prawdopodobnie nie osiągnęło tak znaczącego poziomu jak zakładano ze względu na likwidację części punktów ksero, które głównie oferowały takie usługi, oraz na wzrost popularności prasy i książek w wersji elektronicznej. Wiele przedsiębiorstw zauważyło natomiast, że przyszłościową technologią może być druk na materiałach certyfikowanych. Zauważalny jest również trend coraz większego skupienia uwagi na działaniach proekologicznych oraz wzrost świadomości dotyczącej ochrony środowiska.

Polskie przedsiębiorstwa poligraficzne wprowadzają swoje produkty nie tylko na rynek krajowy, ale również eksportują je za granicę. W 2022 roku aż 61% przedsiębiorstw deklarowało sprzedaż produktów na rynkach zagranicznych. Zauważalny jest także rosnący udział przychodów ze sprzedaży zagranicznej. W 2018 roku eksport stanowił 21% przychodu ze sprzedaży, w 2019 roku – 24%, w 2020 roku – 25%, a w 2021 roku już 27%. Tendencja ta świadczy o umocnieniu się polskich przedsiębiorstw na rynku międzynarodowym oraz o konkurencyjności ich produktów w porównaniu z produktami z innych krajów. Największym importerskim polskimi produktami są Niemcy, Wielka Brytania, Francja, Holandia i kraje skandynawskie. Większość krajów, do których polskie przedsiębiorstwa poligraficzne eksportują swoje towary, to kraje UE. Jednolitość rynku i swoboda przepływu towarów i osób pomiędzy krajami UE sprzyjają prowadzeniu działalności gospodarczej i nawiązywaniu współpracy międzynarodowej. Jednak za główną przeszkodę rozpoczęcia sprzedaży zagranicznej przez przedsiębiorstwa może być uznawana zbyt mała skala prowadzonej działalności lub skupienie się na lokalnym rynku. Do barier, które zniechęcają firmy do rozpoczęcia sprzedaży na rynkach zagranicznych, można zaliczyć również brak znajomości tych rynków, trudności ze znalezieniem partnerów biznesowych, brak finansowania takich przedsięwzięć, a także bariery prawne i administracyjne wejścia na zagraniczny rynek.

Jak już wcześniej wspomniano, pandemia COVID-19 spowodowała dużą ostrożność wśród przedsiębiorców, którzy zredukowali swoje plany inwestycyjne. Wiele podmiotów wciąż odczuwa negatywne skutki ekonomiczne pandemii. Prawie 40% wszystkich przedsiębiorstw planuje zawiesić inwestycje w najbliższych 2–3 latach lub prognozuje, że nie przekroczą one 10% rocznych przychodów. Mikroprzedsiębiorstwa często nie przewidują wzrostu produkcji i tym samym nie inwestują w rozwój swojego biznesu. Tylko 1,4% przedsiębiorstw planuje inwestycje o wartości przekraczającej 100% rocznych przychodów. Tak niski odsetek wskazuje

na dokonywanie inwestycji na mniejszą skalę. Strukturę planowanych nakładów inwestycyjnych w przedsiębiorstwach poligraficznych na najbliższe 2–3 lata przedstawiono na rysunku 3.4.



RYSUNEK 3.4. Planowane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku nakłady inwestycyjne na najbliższe 2–3 lata

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny...*, s. 62.

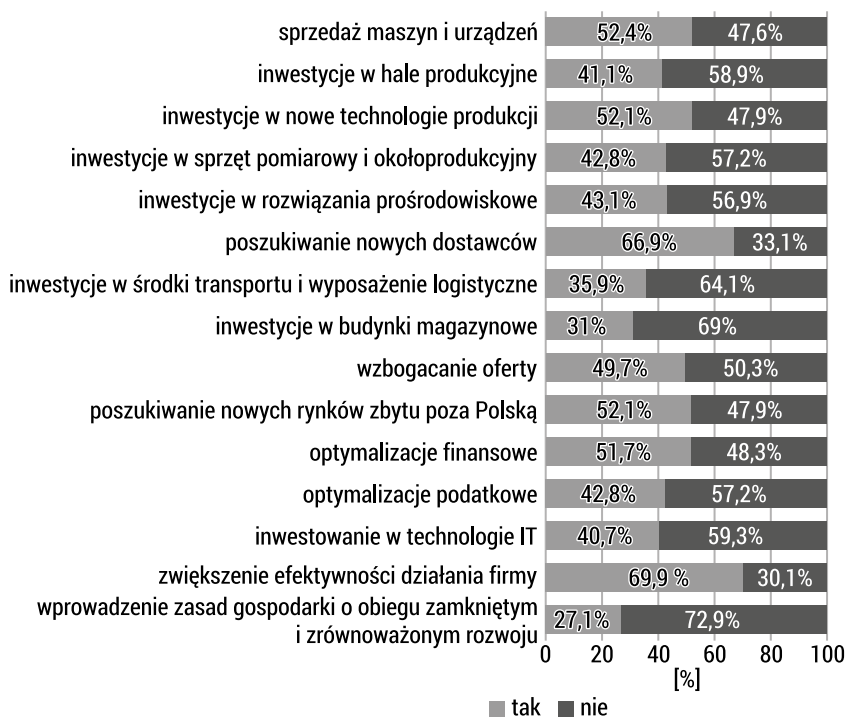
Wśród głównych inwestycji, które przedsiębiorstwa podejmowały przed rokiem 2022 było wdrażanie innowacji. Aż 50% przedsiębiorstw wdrożyło strategię zarządzania odpadami, a 40,8% rozwiązania prośrodowiskowe. Ponadto ponad 30% przedsiębiorstw przeznaczyło środki na badania i rozwój, a prawie 45% skorzystało z usług doradczych. Potwierdza to pozycję branży poligraficznej jako jednego z najbardziej innowacyjnych sektorów w Polsce²⁰⁸.

Pomimo deklarowanej ostrożności w inwestowaniu oraz niskich planowanych nakładów inwestycyjnych przedsiębiorstwa poligraficzne wyznaczają sobie ambitne cele na najbliższe lata. Konkurencyjność oraz rosnące wymagania ze strony klientów są czynnikami, które zmuszają je do podejmowania kolejnych działań w celu poprawy swojej pozycji na rynku. Struktura planowanych celów inwestycyjnych polskich przedsiębiorstw poligraficznych na najbliższe 2–3 lata przedstawiona została na rysunku 3.5.

Za priorytetowe działanie inwestycyjne przedsiębiorstwa uznają ogólne zwiększenie efektywności prowadzonej działalności, dzięki czemu możliwe będzie zwiększenie generowanych zysków. Około 67% podmiotów planuje inwestować w poszukiwanie nowych dostawców, co umożliwi im wzbogacenie oferty lub obniżenie kosztów produkcji. Wiele przedsiębiorstw deklaruje również inwestycje w poszukiwanie zagranicznych rynków zbytu dla swoich produktów. Oprócz inwestycji okołoprodukcyjnych firmy deklarują chęć inwestowania w zakup nowych maszyn i urządzeń, w technologie IT, sprzęt pomiarowy i produkcyjny lub w budowę hal produkcyjnych. Wiele z przedsiębiorstw planuje zainwestować we wzbogacenie swojej oferty i innowacje produktowe. Przedsiębiorcy chcą również finansować rozwiązania prośrodowiskowe oraz wykorzystywać optymalizacje finansowe i podatkowe. Ponadto planują inwestować w środki

²⁰⁸ Ibidem, s. 59–61.

transportu i usługi logistyczne. Cele inwestycyjne zakładane przez przedsiębiorstwa pokrywają się z wcześniej zaprezentowanymi danymi wskazującymi na chęć zwiększenia eksportu oraz rozwijania technologii²⁰⁹.



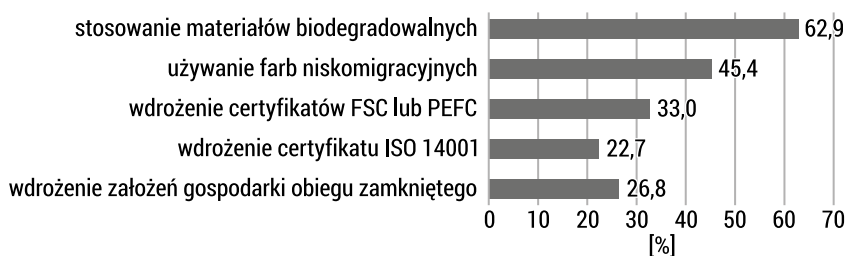
RYSUNEK 3.5. Przyjęte przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku cele inwestycyjne na najbliższe 2–3 lata

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny...*, s. 63.

Podobnie jak we wszystkich sektorach produkcji również w poligrafii pojawia się temat ekologii i wpływu branży na środowisko. Wymogi prawne i rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa zmuszają przedsiębiorców do podejmowania działań proekologicznych. Jak już wcześniej wspomniano, część planowanych inwestycji dotyczy właśnie działań środowiskowych. Ponad 60% producentów deklaruje konieczność stosowania materiałów biodegradowalnych przy produkcji swoich wyrobów, a 45,4% użycia farb niskomigracyjnych. Część badanych widzi korzyści z wprowadzania gospodarki o obiegu zamkniętym, dzięki której wartość surowców, materiałów i gotowych produktów jest zachowywana możliwie jak najdłużej, a powstawanie odpadów minimalizowane. Wprowadzenie takiej gospodarki wymaga co prawda od przedsiębiorstw dużych nakładów pracy i nie zawsze jest opłacalne

²⁰⁹ Ibidem, s. 63.

finansowo, jednak niesie za sobą liczne zyski niematerialne. Nie wszystkie przedsiębiorstwa dostrzegają również konieczność edukowania i zwiększania świadomości proekologicznej pracowników. Certyfikaty środowiskowe stają się jednak coraz popularniejszym rozwiązaniem wdrażanym w przedsiębiorstwach. Uzyskanie takiego certyfikatu wiąże się z koniecznością dostosowania standardów działania organizacji do zaleceń i wymagań przewidywanych przez odpowiednie normy dotyczące ochrony środowiska. Otrzymanie certyfikatu FSC (ang. *Forest Stewardship Council*) lub PEFC (ang. *Programme for the Endorsement of Forest Certification*) stanowi dowód na to, że przedsiębiorstwo prowadzące produkcję, przetwarzanie oraz handel drewnem i produktami pochodzenia leśnego, w tym papierem, działa zgodnie z wymaganiami UE oraz że użyte w procesie produkcji drewno pochodzi z legalnych źródeł. W 2022 roku 33% przedsiębiorstw zadeklarowało wdrożenie tych certyfikatów. Kolejnym ważnym certyfikatem, zyskującym coraz większą popularność, jest ISO 14001, którego wdrożenie zadeklarowało 22,7% przedsiębiorstw. Potwierdza on stosowanie przepisów dotyczących organizacji Systemu Zarządzania Środowiskowego. Wdrażanie przedstawionych certyfikatów pozwala przedsiębiorstwom poprawić wizerunek w oczach konsumentów oraz zwiększyć ich zaufanie, co może przyczynić się do zwiększenia sprzedaży. Ponadto certyfikaty umożliwiają redukcję kosztów, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej oraz zwiększenie zaufania w oczach klientów i współpracowników²¹⁰. Planowane wdrożenia działań proekologicznych w przedsiębiorstwach poligraficznych przedstawiono na rysunku 3.6.



RYSUNEK 3.6. Planowane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku wdrożenia rozwiązań proekologicznych

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie: Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny...*, s. 66.

Na podstawie przedstawionych danych można zauważyć, jak mocno rozwiniętą branżą jest polski sektor poligraficzny. Ciągłe udoskonalanie produkcji, wdrażanie nowych technik produkcyjnych i zwiększanie wachlarza usług pozwalają

²¹⁰ Ibidem, s. 66.

na umacnianie się polskiej gospodarki na arenie międzynarodowej. Dzięki dużej popularności branży poligraficznej i chęci wielu przedsiębiorców do inwestowania w tę gałąź gospodarki technologicznie zbliża się ona do krajów zachodnioeuropejskich.

3.2. Charakterystyka metody studium przypadku

Studium przypadku (ang. *case study*) jest metodą badawczą zaliczaną do badań jakościowych, której celem jest dokładna analiza pojedynczego przypadku lub kilku przypadków i może być przeprowadzana przez jednego badacza lub zespół badawczy. Jej celem jest poznanie szczegółów, okoliczności i kontekstu danego przypadku oraz wyciągnięcie wniosków i implikacji dla dalszych badań lub praktyki. Przez „przypadek” należy rozumieć pojedynczy obiekt badawczy, który jest wyodrębniany na podstawie określonego celu badawczego, a także kontekstu, w którym jest usytuowany. Przypadek jest analizowany za pomocą różnych technik gromadzenia i analizy danych w celu uzyskania szczegółowej i głębokiej wiedzy na temat danego zjawiska, procesu lub problemu²¹¹.

Metodę badania przypadków wyróżniają trzy cele: teoriiwórczy, testowania teorii oraz orientacji praktycznej. Pierwszy cel dotyczy rozwijania istniejącej teorii poprzez dostarczanie wyjaśnień zjawisk, które do tej pory pozostawały nierozpoznane oraz pomaga w zrozumieniu przebiegu procesów w czasie. Drugi polega na testowaniu teorii poprzez jej falsyfikację i ukazywanie okoliczności, w których się ona nie sprawdza. Trzeci cel jest związany z orientacją praktyczną i pomaga w zrozumieniu okoliczności oraz ścieżek decyzyjnych, jakie wybierają konkretni decydenci w określonych sytuacjach²¹².

Wybór metody studium przypadku jest uzasadniony ze względu na eksplorację obszarów dotychczas słabo zbadanych, dla których brakuje ustalonej teorii lub ram poznawczych. W realizowanym procesie badawczym metoda ta posłużyła do weryfikacji opracowanej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej, a także do zebrania dodatkowych informacji pozwalających na uzupełnienie i uszczegółowienie zaproponowanego podejścia.

Istotnym aspektem studium przypadku są pytania badawcze, które pozwalają skoncentrować się na istotnych zagadnieniach związanych z analizowanymi przypadkami. W niniejszej monografii, w odniesieniu do badań jakościowych postawiono następujące pytania:

1. Czy opracowana koncepcja metodyki identyfikacji ograniczeń jest możliwa do zastosowania w rzeczywistym systemie produkcyjnym branży poligraficznej?

²¹¹ W. Czakon, *Zastosowanie studiów przypadku w badaniach nauk o zarządzaniu* [w:] W. Czakon, *Podstawy metodologii badań w naukach o zarządzaniu*, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2016, s. 190.

²¹² Ibidem, s. 192–198.

2. Czy opracowana koncepcja metodyki identyfikacji ograniczeń doprowadzi do jednoznacznego i trafnego wskazania wąskiego gardła badanego systemu produkcyjnego?

Badaniem objęto dwa przedsiębiorstwa produkcyjne funkcjonujące w branży poligraficznej, którym – na potrzeby analizy – nadano fikcyjne nazwy. Wybrane podmioty różniły się wielkością zatrudnienia: jedno z nich reprezentowało sektor średnich przedsiębiorstw, drugie – dużych. Dobór próby miał charakter celowy, gdyż umożliwiał zbadanie funkcjonowania systemów produkcyjnych w organizacjach o bardziej złożonej strukturze.

Choć w branży poligraficznej dominują małe firmy, objęcie analizą przedsiębiorstw średnich i dużych pozwoliło na identyfikację specyficznych wyzwań oraz możliwości związanych z wdrażaniem narzędzi zarządczych – w tym opracowanej metodyki identyfikacji ograniczeń – w złożonych systemach produkcyjnych. Takie ujęcie badawcze umożliwia również głębsze zrozumienie potencjalnych trudności implementacyjnych, jakie mogą występować w różnych typach organizacji. Przedmiotem badań był system produkcyjny funkcjonujący w każdym z analizowanych przedsiębiorstw.

Przeprowadzone studia przypadków opierają się na dostępie do szczegółowych danych opisujących analizowane przypadki. Wykorzystano kilka źródeł informacji w celu zwiększenia wiarygodności badań. Jako główne źródło danych przyjęto wywiady swobodne z kluczowymi uczestnikami, a mianowicie z dyrektorami produkcji. Są to osoby posiadające największą wiedzę oraz kompetencje decyzyjne w obszarze objętym badaniem. Kolejnym wykorzystanym źródłem były historyczne dane produkcyjne gromadzone przez badane przedsiębiorstwa, na podstawie których przeprowadzano wszystkie obliczenia. Badania wspierano również bezpośrednią obserwacją procesu produkcyjnego, co pozwoliło na weryfikację danych i lepsze zrozumienie rzeczywistego przebiegu procesów.

Badanie zostało wykonane zgodnie z ustalonym scenariuszem, który precyzował kolejność i zakres działań w procesie badawczym. Scenariusz ten przedstawia się następująco.

1. Ogólna charakterystyka przedsiębiorstwa:
 - a) wielkość przedsiębiorstwa,
 - b) zasięg działalności,
 - c) produkowane wyroby.
2. Metodyka identyfikacji wąskiego gardła w przedsiębiorstwie:
 - a) obserwacja:
 - przepływu produkcyjnego oraz jego podział na procesy,
 - beczynności procesów,
 - stanu zapasu przed procesem.
 - b) analiza danych wtórnych i pierwotnych dotyczących:
 - aktywności procesów,
 - czasu trwania cyklu procesów,

- rodzaju strat produkcyjnych oraz uwzględnienia ich w aspekcie czasu trwania cyklu procesów,
 - rozpoznania zaangażowania każdego procesu w produkcję wyrobów oraz uwzględnienia tych informacji w aspekcie czasu trwania cyklu procesów.
- c) ocena wyników analiz w kontekście pewności co do umiejscowienia wąskiego gardła.

3.3. Charakterystyka badania ankietowego

Studia przypadków przeprowadzone w dwóch przedsiębiorstwach pozwoliły na rozpoznanie możliwości wykorzystania opracowanej metodyki identyfikacji wąskich gardeł w branży poligraficznej. Jednak w celu sprawdzenia uniwersalności metodyki zastosowano badania ilościowe, polegające na przeprowadzeniu ilościowych pomiarów zmiennych przy zastosowaniu odpowiednich narzędzi badawczych²¹³.

W procesie badawczym wykorzystano kwestionariusz ankiety, który został opracowany w oparciu o dotychczasowy stan wiedzy i wyniki przeprowadzonych badań jakościowych²¹⁴. Pełny kwestionariusz ankiety skierowany do przedsiębiorstw z branży poligraficznej składał się z trzech części (13 pytań) poprzedzonych listem przewodnim zachęcającym do udziału w badaniu i wyjaśniającym jego cel. Dodatkowo respondentom udostępniono adres e-mail autorki, na który mogli wysłać wiadomość wyrażającą chęć otrzymania raportu zbiorczego z wynikami badań, jak również zadać pytania dotyczące zagadnień poruszonych się w kwestionariuszu. Badania były anonimowe.

Na potrzeby niniejszej monografii zaprezentowano wybrane wyniki badań ankietowych. Analizowany zakres dotyczył oceny gotowości przedsiębiorstw poligraficznych do identyfikowania ograniczeń w systemie produkcyjnym, a tym samym ich zdolności do wdrożenia opracowanej metodyki w swoich systemach produkcyjnych. Treść analizowanego fragmentu ankiety została zamieszczona w załączniku do niniejszej pracy.

W części zatytułowanej *Ograniczenie przedsiębiorstwa* poproszono respondentów o wskazanie jednego procesu produkcyjnego, który według nich jest obecnie wąskim gardłem. Lista potencjalnych wąskich gardeł została opracowana na podstawie przeglądu literatury branżowej oraz raportów analizujących rynek poligraficzny w Polsce. Ostatnie trzy pytania służyły do pozyskania informacji na temat systematycznej i celowej obserwacji procesu produkcyjnego, zbierania i analizy parametrów procesu oraz występujących strat produkcyjnych. Możliwe odpowiedzi zostały dobrane na podstawie przeprowadzonych badań jakościowych w przedsiębiorstwach.

²¹³ J. Niemczyk, *Metodologia nauk o zarządzaniu*, [w:] W. Czakon, *Podstawy metodologii badań w naukach o zarządzaniu*, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2016, s. 24.

²¹⁴ Wyniki badań jakościowych zostały szczegółowo omówione w rozdziale 5.

Głównym celem pytań znajdujących się w tej części kwestionariusza było pozyskanie informacji na temat wąskiego gardła oraz poziomu trudności jego wyznaczania w przedsiębiorstwie.

Część ankiety zatytułowana *Dane o przedsiębiorstwie* służyła do pozyskania informacji o badanych podmiotach. Kwestionariusz umożliwił zgromadzenie danych dotyczących wielkości przedsiębiorstwa. W kolejnym etapie poproszono o wskazanie zasięgu działalności, co przełożyło się na identyfikację skali ekspansji zagranicznej przedsiębiorstw.

Respondentami we właściwym badaniu były przedsiębiorstwa zarejestrowane w sekcji C Polskiej Klasyfikacji Działalności – Przetwórstwo przemysłowe. Według danych GUS liczba przedsiębiorstw poligraficznych w Polsce w roku 2020 wyniosła 698, przy uwzględnieniu przedsiębiorstw zatrudniających powyżej 10 osób. Badanie było skierowane do małych, średnich i dużych przedsiębiorstw, z wyłączeniem mikroprzedsiębiorstw (zatrudniających do 9 osób), które ze względu na swoją skalę działalności, ograniczone zasoby oraz niski poziom zaawansowania technologicznego nie były w stanie w pełni wdrożyć ani przetestować badanej metodyki identyfikacji ograniczeń. W badaniu przewidziano pozyskanie próby reprezentatywnej. Minimalna liczebność próby przy założeniu współczynnika ufności na poziomie 0,95 oraz maksymalnym dopuszczalnym błędzie nieprzekraczającym 5%, obliczona dla populacji, wyniosła 248 respondentów. Ostatecznie uzyskano odpowiedzi od 237 przedsiębiorstw. Badanie zostało zakończone, ponieważ mimo wszelkich starań ze strony autorki nie było możliwe uzyskanie odpowiedzi od pozostałych podmiotów.

Badanie ilościowe zostało zrealizowane przez instytut badawczy pod nazwą „5 zmysłów” w okresie od maja do lipca 2022 roku. Firmie zewnętrznej udzielono szczegółowych wskazówek dotyczących przebiegu procesu badawczego. Główną techniką realizacji procesu badawczego wykorzystywaną przez wykonawcę była metoda CAWI wspomagana metodą CATI. Pełny kwestionariusz ankiety w formie elektronicznej zamieszczono w serwisie [profitest.pl](https://www.profitest.pl)²¹⁵, po wcześniejszej akceptacji przez autorkę niniejszej monografii. Wykonawca badań na bieżąco zgłaszał występujące problemy lub wątpliwości, które były rozwiązywane zgodnie z sugestiami autorki. Wyniki badań zostały przekazane w formie danych surowych w formacie arkusza Excel pakietu MS Office.

Poziom rzetelności obliczono za pomocą współczynnika α Cronbacha. Rzetelność w badaniach to spójność i powtarzalność, a więc każdorazowe zastosowanie opracowanego narzędzia badawczego powinno prowadzić do otrzymania takich samych wyników pomiaru podczas badania tego samego zagadnienia (o ile to, co będzie mierzone, nie uległo zmianom)²¹⁶. Im wyższa jest spójność wewnętrzna narzędzia, tym wyższa jest wartość α Cronbacha. Współczynnik mieści się w zakresie od 0 do 1,

²¹⁵ Kwestionariusz ankiety był dostępny pod adresem <https://www.profitest.pl/s/47606/1OF7dGGR> od maja do lipca 2022 r.

²¹⁶ A. Stanisławski, *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*, t. 3, *Analizy wielowymiarowe*, StatSoft Polska, Kraków 2007, s. 437.

jednak prawdopodobieństwo uzyskania skrajnych wartości jest bardzo małe. Wartość α Cronbacha należy rozpatrywać w następujących zakresach: poniżej 0,6 – niedopuszczalna, od 0,6 do 0,65 – niepożądana, od 0,65 do 0,7 – minimalnie dopuszczalna, od 0,7 do 0,8 – właściwa, od 0,8 do 0,9 – bardzo dobra, powyżej 0,9 – zalecane skrócenie skali²¹⁷. Analizę rzetelności opracowanego narzędzia badawczego wykonano przy wykorzystaniu programu STATISTICA 13.3. Współczynnik α Cronbacha wyniósł 0,827. Należy go zatem interpretować jako bardzo dobry oraz wskazujący na bardzo dużą rzetelność narzędzia badawczego.

²¹⁷ R.F. DeVellis, *Scale development: Theory and applications*, wyd. 2, SAGE Publications, London–New Delhi 2003, s. 95.

4. Identyfikacja ograniczeń w branży poligraficznej – wyniki badań jakościowych

4.1. Koncepcja metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym

TOC zakłada, że zdolność produkcyjna całego systemu przedsiębiorstwa jest uzależniona od zdolności przerobowej jego najsłabszego ogniwa – ograniczenia. Jest to czynnik decydujący o możliwościach produkcyjnych przedsiębiorstwa, ale jednocześnie mogący ograniczać jego sukces, dlatego właściwe zarządzanie nim jest niezwykle ważne. Zidentyfikowanie ograniczeń jest kluczowe dla udoskonalenia systemu produkcyjnego i zwiększenia zysków. Przedsiębiorstwa stale rozwijające się i dążące do ciągłego doskonalenia wzmacniają swoją pozycję konkurencyjną na rynku²¹⁸. W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod identyfikacji wąskich gardeł, o czym wspomniano w podrozdziale 2.3. Trudno jednak jest wybrać jedną, która wskaże rzeczywiste ograniczenie systemu produkcyjnego. Stosując wybraną metodę, nie ma się pewności, czy daje ona prawdziwy obraz wąskiego gardła w procesie. Badanie przeprowadzone na funkcjonującym systemie²¹⁹ ujawniło, że zastosowane metody identyfikacji wskazywały jako wąskie gardła odmienne procesy. W związku z tym należy stwierdzić, że brakuje praktycznych rozwiązań, które wspomogłyby identyfikację ograniczeń. Krok ten wymaga dalszych badań i praktycznych wskazówek, które pozwolą poprowadzić kadrę kierowniczą w kierunku skutecznej identyfikacji wąskich gardeł w realizowanych procesach.

W celu wykrycia wąskiego gardła w systemie produkcyjnym branży poligraficznej opracowano autorską metodykę identyfikacji ograniczeń. Proponowana koncepcja składa się z trzech etapów i łącznie ośmiu zadań:

1. Identyfikacja procesów tworzących przepływ wyrobów.

²¹⁸ W. Urban, P. Rogowska, *The case study of bottlenecks identification for practical implementation to the theory of constraints* [w:] *XV International Conference: Multidisciplinary Aspects of Production Engineering (MAPE), Conference proceedings*, t. 1, nr 1, Wydawnictwo PANOVA, Zabrze 2018, s. 399.

²¹⁹ W. Urban, *TOC implementation...*, s. 178–194.

2. Rozpoznanie wąskiego gardła na podstawie:
 - wizualnej oceny bezczynności procesów,
 - wizualnej oceny stanu zapasów przed procesem,
 - pomiaru czasu aktywności procesów,
 - pomiaru czasu cyklu procesów,
 - pomiaru czasu cyklu procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych,
 - skorygowanego czasu trwania cyklu na podstawie zaangażowania procesów.
3. Ustalenie wąskiego gardła oraz określenie dystansu do kolejnego ograniczenia.

Proponowana koncepcja ma na celu zaspokojenie potrzeb menedżerów w zakresie dostarczenia jasnych wskazówek na temat sposobów praktycznego rozpoznania, w którym miejscu w systemie produkcyjnym występuje wąskie gardło. Jest to pomocne narzędzie, przeznaczone dla kierowników produkcji, a także dla ekspertów, do wykonywania podczas stosowania TOC.

Pierwszym, a zarazem bardzo ważnym etapem metodyki, bez którego skuteczna analiza nie jest możliwa, jest **identyfikacja procesów tworzących przepływ wyrobów**. Wymaga on dokładnego zrozumienia procesów, jakie zachodzą w systemie produkcyjnym oraz identyfikacji wszystkich operacji, które są podczas nich wykonywane. W tym celu należy przeprowadzić bezpośrednią obserwację procesu, uwzględniając nie tylko operacje produkcyjne, ale także rozszerzyć obserwację, na przykład o procesy logistyczne, magazynowe lub przepływ informacji. Głównym założeniem tego etapu jest nie tylko ułożenie procesów w logicznym porządku, ale przede wszystkim dokładne i wnikliwe zrozumienie zachodzących procesów oraz ich wzajemnych relacji. Podjęcie takich działań pozwala poznać i ocenić dotychczasowy stan systemu.

Przepływ produkcji w systemie produkcyjnym pozostaje bezpośrednio związany z produkcją, która jest w toku i czeka na kolejne procesy. W związku z tym kolejny krok, jaki obejmuje proponowana metodyka, to **wizualna ocena bezczynności procesów** na podstawie ich obserwacji. Dzięki temu działaniu można wykryć nieaktywne procesy. Jednakże bezczynność danego procesu nie oznacza wprost, że nie stanowi on wąskiego gardła w systemie produkcyjnym. Warto zastanowić się, dlaczego dany proces nie jest aktywny – być może wynika to z problemów logistycznych lub braku odpowiedniej liczby pracowników na danym stanowisku. Należy pamiętać, że na podstawie jednej obserwacji nie można jednoznacznie wykluczyć procesu, który nie jest wąskim gardłem. Dlatego też zalecane jest wykonanie kilku obserwacji na różnych etapach produkcji i podczas różnych zmian pracowniczych. Wykorzystując tę metodę, wąskie gardło należy zidentyfikować na procesie, który byłby najrzadziej, lub być może nigdy, obserwowany jako bezczynny.

Następne proponowane działanie polega na dokładnej **wizualnej ocenie stanu zapasów przed procesem** poprzez szczegółową analizę ich poziomu. W tym celu konieczne jest przeprowadzenie obserwacji, podczas których należy przemieszczać się wzdłuż linii procesu. Istotne jest monitorowanie zapasów tworzących się między procesami oraz kontrolowanie ich optymalnego poziomu. W przypadku, gdy poziom

zapasów jest zbyt wysoki, może to wskazywać na istnienie wąskiego gardła w systemie produkcyjnym znajdującego się za tymi zapasami. W celu potwierdzenia rekomendowane jest wykonanie przynajmniej dwóch obserwacji w różnym czasie.

Kolejnym krokiem jest **pomiar czasu aktywności procesów**. W zależności od danych, jakimi dysponuje przedsiębiorstwo, czas aktywności można zmierzyć na dwa sposoby. Pierwsza możliwość to pobranie danych z systemu monitorowania maszyn. Druga to obserwacja i bezpośredni pomiar czasu pracy procesów przez okres zapewniający jego wiarygodność. Po dokonaniu pomiarów każdego procesu należy porównać czas aktywności między tymi procesami. Trzeba zwrócić szczególną uwagę na ten proces, który charakteryzuje się najdłuższym czasem pozostawania w stanie aktywnym, ponieważ jest to wąskie gardło.

Następnym proponowanym w metodyce działaniem jest **pomiar czasu trwania cyklu (C/T) każdego procesu**. Wskaźnik ten pozwala określić rzeczywisty czas pomiędzy produkcją kolejnych sztuk wyrobu w procesie. W zależności od podziału przepływu i procesów może dotyczyć również czasu załadunku lub transportu. Proces, który charakteryzuje się najdłuższym C/T, jest uważany za wąskie gardło. W przypadku zastosowania tej metody do pomiaru C/T można podejść na dwa sposoby. Pierwsza możliwość to bezpośredni pomiar C/T przy maszynie. W przypadku niektórych kluczowych procesów produkcyjnych w poligrafii, takich jak drukowanie lub sztancowanie, bezpośredni pomiar czasu trwania cyklu może być utrudniony lub nawet niemożliwy ze względu na dużą prędkość maszyn. Natomiast w przypadku innych procesów (zidentyfikowanych w pierwszym etapie metodyki), takich jak na przykład prace ręczne, bezpośredni pomiar jest możliwy. Drugie podejście to oszacowanie czasu trwania cyklu na podstawie zebranych danych. W przypadku braku możliwości bezpośredniego pomiaru, aby oszacować C/T, należy wykorzystać dostępne dane, takie jak czas pracy poszczególnych maszyn czy liczba wyprodukowanych wyrobów w określonym czasie. Ważne jest jednak, aby uwzględnić różnice w warunkach produkcji między okresami, w których odbywały się pomiary oraz ewentualne zmiany w procesie produkcyjnym.

Pomiar C/T procesów z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych to kolejny proponowany etap prowadzący do identyfikacji wąskiego gardła w systemie produkcyjnym. W opracowanej metodyce straty produkcyjne są definiowane jako czynniki bezpośrednio wydłużające obróbkę partii, wynikające na przykład z oczekiwania na dostępność maszyn lub procesów, awarii, przebrożeń maszyn lub nieplanowanych przestojów, które uniemożliwiają lub ograniczają możliwość wytwarzania w danym czasie. Czas strat należy ustalić, wykorzystując dane zbierane przez przedsiębiorstwo. Uwzględnienie strat produkcyjnych do wartości C/T procesów to ważny element, który ostatecznie wpływa na wynik. Według omawianej metody proces z najdłuższym C/T to wąskie gardło.

Branża poligraficzna charakteryzuje się dużą różnorodnością oferowanych produktów. W zależności od wymagań klienta i specyfiki zlecenia, produkowane wyroby w różnym stopniu wykorzystują procesy produkcyjne przedsiębiorstwa. Brak ciągłości przepływu wyrobu przez proces produkcyjny prowadzi do różnego poziomu

zaangażowania poszczególnych procesów produkcyjnych. W przypadku takiej charakterystyki systemu produkcyjnego, kolejną metodą wyróżnianą w metodyce identyfikacji wąskiego gardła jest **skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów** w produkcję asortymentu. Jak wskazuje jej nazwa, metoda ta koncentruje się na pomiarze C/T każdego procesu, ale dodatkowo także stopnia jego zaangażowania w strumieniu produkcyjnym. Iloczyn tych dwóch wskaźników wskazuje faktyczny czas potrzebny do wyprodukowania wyrobu we wszystkich zidentyfikowanych procesach. Skorygowany C/T odzwierciedla rzeczywisty czas potrzebny do wyprodukowania wyrobu. Zgodnie z tą metodą proces o najwyższym skorygowanym C/T jest wąskim gardłem.

Ostatnim działaniem proponowanej metodyki jest **ustalenie wąskiego gardła** na podstawie wcześniej opisanych metod, a następnie określenie jego **dystansu do kolejnego ograniczenia**. Dystans należy rozumieć jako skalę niedoboru wydajności w stosunku do kolejnego procesu, które prawdopodobnie wystąpi po wyeliminowaniu aktualnego ograniczenia. Dzięki określeniu dystansu możliwe jest rozpoznanie, „jak daleko” od obecnego wąskiego gardła znajdują się następne ograniczenia, co umożliwia planowanie działań mających na celu zwiększenie jego przepływu.

Zaproponowane etapy metodyki identyfikacji ograniczeń są wynikiem przekrojowych studiów i prac koncepcyjnych nad zagadnieniem poprawnego określenia, gdzie znajduje się wąskie gardło. To podstawowy krok, niezbędny do poprawnego stosowania TOC przez przedsiębiorstwa. Opracowana metodyka pozwala na spójne podejście do analizy systemu produkcyjnego. Umożliwia to lepsze zrozumienie systemu jako całości oraz dokładne poznanie jego wewnętrznych mechanizmów. Warto podkreślić, że każda kolejna metoda identyfikacji ograniczeń opiera się na coraz szerszym spojrzeniu na zachodzące procesy oraz wymaga analizy różnych dodatkowych informacji i czynników. Przeprowadzanie analizy na coraz bardziej zaawansowanym poziomie może przyczynić się do skutecznego wykrywania ograniczeń.

Metodyka identyfikacji ograniczeń systemu produkcyjnego nie wymusza przeprowadzenia wszystkich zaproponowanych kroków. Poszukiwanie wąskiego gardła powinno być kontynuowane aż do momentu, w którym menedżer uzyska: (1) pewność, że dany proces jest rzeczywiście wąskim gardłem systemu; (2) istotne parametry, które umożliwią określenie dystansu do kolejnego ograniczenia²²⁰. Identyfikacja wąskiego gardła w systemie produkcyjnym niesie ze sobą jednak także pewne ryzyko. Może zdarzyć się, że ustalone wąskie gardło nie będzie rzeczywistym ograniczeniem systemu, a skutki wprowadzenia zmian na podstawie nieprawidłowych założeń będą prowadzić do różnych wyników. Mogą one objawić się na przykład w postaci pogorszenia wydajności, spadku jakości produkcji lub braku zmian w systemie. W celu zapewnienia prawidłowego przebiegu wdrożenia TOC i spełnienia opisanych warunków zaproponowano zastosowanie listy pytań mającej na celu potwierdzenie zidentyfikowanego wąskiego gardła (tabela 4.1).

²²⁰ W. Urban, P. Rogowska, *Methodology for bottleneck...*, s. 74–82.

TABELA 4.1. Lista pytań mająca na celu potwierdzenie zidentyfikowanego wąskiego gardła

PYTANIA	TAK	NIE
1. Czy dobrze poznano przepływ i proces oraz ich wzajemne relacje?	☐	☐
2. Czy dany proces w systemie produkcyjnym jest najsłabszym punktem, który ogranicza zwiększenie przepływu?	☐	☐
3. Czy dokładnie określono, jakie czynniki przyczyniają się do powstawania wąskiego gardła w tym procesie?	☐	☐
4. Czy znana jest skala niedoboru wydajności wąskiego gardła w stosunku do kolejnego ograniczenia?	☐	☐
5. Czy wprowadzenie proponowanych działań usprawniających będzie prowadzić do zwiększenia przepływu (zwiększenia wolumenu realizowanej produkcji)?	☐	☐

ŹRÓDŁO: opracowanie własne.

Udzielenie pozytywnych odpowiedzi na wszystkie pytania z listy oznacza, że udało się zlokalizować rzeczywiste wąskie gardło systemu produkcyjnego oraz kolejne ograniczenie. Można więc stwierdzić, że pierwszy krok doskonalenia na podstawie TOC – identyfikacja ograniczenia – został wykonany i menedżer może przejść do kolejnych kroków, które polegają na opracowaniu i wdrożeniu odpowiednich działań usprawniających w celu zwiększenia przerobu. W przypadku, gdy któraś z odpowiedzi na pytania jest negatywna, należy podjąć odpowiednie kroki w celu rozwiązania tego problemu i uzyskania pozytywnych odpowiedzi na wszystkie pytania. Jak już wcześniej wspomniano, opracowana metodyka nie narzuca konieczności zastosowania wszystkich metod identyfikacji wąskiego gardła, zatem jednym z rozwiązań mających na celu uzyskanie wszystkich pozytywnych odpowiedzi, może być wykorzystanie kolejnej metody.

W metodyce identyfikacji ograniczeń systemu produkcyjnego niektóre z zaproponowanych metod prowadzących do rozpoznania wąskiego gardła opierają się na przeprowadzeniu obserwacji. Należy jednak pamiętać, że obserwacja powinna być dokładna i uwzględniać dogłębne zrozumienie przepływu produkcji. Ważne jest także, aby brać pod uwagę przyczyny zaistniałych sytuacji, a nie tylko ich skutki. Pozostałe metody opierają się na analizie danych historycznych przedsiębiorstwa. Pobieranie takich danych jest niezbędne do prawidłowej analizy procesów produkcyjnych i identyfikacji wąskiego gardła. Jednakże, aby uzyskać wiarygodne wyniki, należy wybrać okres, który jest reprezentatywny dla badanej produkcji, czyli taki, w którym przedsiębiorstwo realizowało dużą liczbę zleceń. W branży przemysłowej okres ten często określa się jako sezonowość produkcji. Dzięki temu uzyskane wyniki analizy będą miarodajne i umożliwią lepsze zrozumienie procesów, co w efekcie przyczyni się do skuteczniejszego zidentyfikowania wąskiego gardła.

Identyfikacja wąskich gardeł jest to ważny krok w kierunku osiągnięcia optymalnej wydajności procesów i wykorzystania dostępnych zasobów, co prowadzi do lepszych wyników. W związku z tym opracowanie skutecznej metodyki identyfikacji ograniczeń

jest niezwykle ważne dla przedsiębiorstw, ponieważ pozwala na zwiększenie efektywności i wydajności procesów produkcyjnych. Wdrożenie opracowanej metodyki umożliwia zaś lepsze zrozumienie procesów oraz skuteczne wykrywanie problemów, co skutkuje wprowadzeniem usprawnień i zwiększeniem efektywności produkcji.

4.2. Studium przypadku przedsiębiorstwa A

Ogólna charakterystyka przedsiębiorstwa

Przedsiębiorstwo A należy do grona wiodących producentów specjalistycznych opakowań z nadrukiem. Specjalizuje się w produkcji na zamówienie i corocznie realizuje około ośmiu tys. zleceń. W ofercie przedsiębiorstwa znajduje się szeroka gama produktów przeznaczonych dla branży spożywczej, medycznej oraz ochrony zdrowia, w tym między innymi etykiety, opakowania sztywne oraz pudełka składane. Przedsiębiorstwo zatrudnia ponad 300 wykwalifikowanych pracowników.

W kolejnym kroku przystąpiono do zastosowania metodyki identyfikacji ograniczeń w badanym systemie produkcyjnym.

Identyfikacja procesów tworzących przepływ wyrobów

W przedsiębiorstwie A zidentyfikowano szereg procesów produkcyjnych. Pierwszym z nich jest naświetlanie form drukowych, które polega na utwardzaniu na płytach obszarów zafarbowania koloru za pomocą naświetlarki. Czas naświetlania jednej płyty wynosi około trzy minuty. Drugim procesem jest drukowanie techniką druku offsetowego, obsługiwane przez dwóch pracowników na trzech maszynach drukujących. Kolejny proces to tłoczenie folii metodą *hot-stamping*. Proces ten jest wykorzystywany do uszlachetniania produktów z segmentu premium. Przedsiębiorstwo posiada trzy maszyny tłoczące, z których każdą obsługują dwaj pracownicy. Następnym procesem jest sztancowanie wyrobu, które odbywa się na sześciu maszynach obsługiwanych przez jednego pracownika na każdym stanowisku. Po sztancowaniu następuje ręczne wyrywanie nadatku materiału z arkusza. Proces ten wymaga udziału od trzech do sześciu pracowników – liczba ta zależy od nakładu. Ostatnim zidentyfikowanym procesem jest składanie i klejenie wyrobów. Przedsiębiorstwo posiada sześć składarko-sklejarek, z których każda jest obsługiwana przez dwóch pracowników. Po zakończeniu produkcji gotowy produkt jest przenoszony do magazynu wyrobów gotowych. Przedsiębiorstwo A dysponuje również magazynem surowców, w którym przechowywane są palety z materiałami wejściowymi do procesu (arkusze drukarskie).

Rozpoznanie wąskiego gardła

#1. Wizualna ocena beczynności procesów

Pierwszą metodą identyfikacji ograniczenia jest wizualna oceny beczynności procesów. Metoda ta polega na obserwowaniu i analizowaniu czasu, jaki każdy proces spędza w stanie beczynności (bez wykonywania zadania) w porównaniu z całkowitym czasem jego trwania. Wąskim gardłem będzie miejsce, w którym zaobserwowano najkrótszy czas przebywania procesu w stanie nieaktywnym.

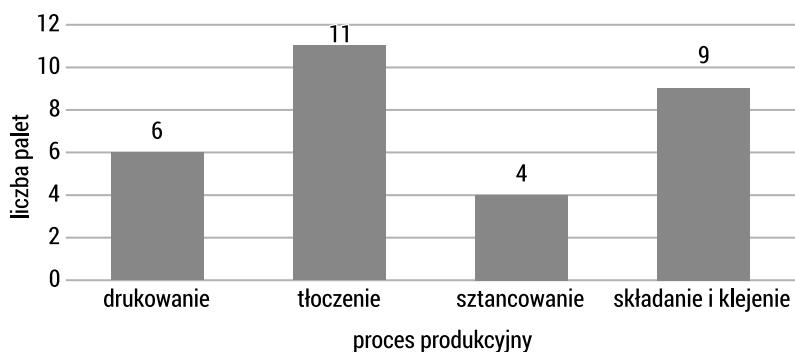
W celu identyfikacji wąskiego gardła przeprowadzono trzy obserwacje procesów produkcyjnych. Zauważono, że każdy proces produkcyjny był aktywny, a czas beczynności był minimalny w porównaniu do całkowitego czasu jego trwania. Zastosowanie metody wizualnej oceny beczynności procesów nie dało podstaw do wnioskowania o wąskim gardle w badanym systemie produkcyjnym.

#2. Wizualna ocena stanu zapasów przed procesem

Kolejna metoda wykrycia wąskiego gardła w systemie produkcyjnym to wizualna ocena stanu zapasów przed każdym procesem, polegająca na oszacowaniu liczby wyrobów (palet). Wysoki poziom zapasów jest oznaką tego, że za nimi znajduje się wąskie gardło, które znacząco wpływa na poziom zapasów oczekujących.

Rysunek 4.1 przedstawia liczbę palet znajdujących się przed każdym procesem w badanym systemie produkcji. Dane zebrano w wyniku bezpośredniego liczenia palet w hali produkcyjnej. Z obserwacji wynika, że każda paleta to około 2500 arkuszy. Obliczenia wykonano w jeden dzień.

Dane zawarte na rysunku 4.1 wskazują na wysoki poziom zapasów znajdujący się przed procesem tłoczenia. Według zastosowanej metody proces tłoczenia jest wąskim gardłem badanego systemu produkcyjnego. Warto jednak zaznaczyć, że ustalenia te nie dostarczają żadnych wskazówek dotyczących względnej skali wąskiego gardła, czyli skali niedoboru wydajności w stosunku do kolejnego wąskiego gardła. W związku z tym należy przejść do kolejnej zaproponowanej metody.



RYSUNEK 4.1. Liczba palet przed każdym procesem w przedsiębiorstwie A

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie obserwacji procesu produkcyjnego.

#3. Pomiar czasu aktywności procesów

Metoda czasu aktywności procesów koncentruje się na analizie czasu, jaki każdy proces spędza na wykonywaniu swojego zadania w porównaniu z całkowitym czasem trwania procesu. Dzięki tej metodzie można zidentyfikować obszar, który zajmuje najwięcej czasu i jest najbardziej narażony na opóźnienia.

W przypadku poszczególnych analizowanych procesów produkcyjnych badanego systemu przedsiębiorstwo dysponuje różną liczbą maszyn. W przypadku procesów drukowania i tłoczenia są to po trzy maszyny, natomiast sztancowania oraz składania i klejenia – po sześć. W zaproponowanym podejściu aktywność procesu uwzględnia nie tylko czas pracy obejmujący wytwarzanie wyrobów, ale także czas związany z przeobrażaniem maszyn, oczekiwaniem oraz czyszczeniem maszyn. W celu uzyskania wyników dotyczących czasu trwania aktywności procesu produkcyjnego istotne jest dokładne wybranie odpowiedniego przedziału czasowego uwzględnianego w analizie. W przypadku wykorzystywania metod, które opierają się na danych zgromadzonych przez przedsiębiorstwo, kluczowe jest wybranie okresu, w którym przedsiębiorstwo wykonuje najwięcej zleceń produkcyjnych. Taki przedział czasowy jest reprezentatywny dla obciążenia procesu produkcyjnego i pozwala na zebranie wystarczającej ilości danych niezbędnych do uzyskania wiarygodnych wyników. W przypadku analizy czasu trwania aktywności procesu produkcyjnego wybrano okres dwóch miesięcy. Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono w tabeli 4.2.

TABELA 4.2. Czas trwania aktywności procesów badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa A

Operacje	Proces produkcyjny			
	Drukowanie	Tłoczenie	Sztancowanie	Składanie i klejenie
	[h]			
Praca maszyn	966	1672	2096	2069
Inne aktywności	1743,25	987,7	835,8	1369,1
Suma czasu aktywności na proces	2709,25	2659,70	2931,8	3438,1
Suma czasu aktywności na maszynę	903,1	886,6	488,6	573

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane zawarte w tabeli 4.2, można zauważyć, że największa suma czasów aktywności występuje w przypadku procesu składania i klejenia (3438,1 h). Jednakże konieczne jest uwzględnienie także liczby maszyn wykorzystywanych w procesie. W związku z tym uzyskaną sumę czasów aktywności dotyczącą każdego procesu podzielono przez liczbę maszyn. Tym samym najdłuższy czas trwania aktywności

uzyskano w przypadku procesu drukowania (903,1 h). Zgodnie z założeniami metody czasu aktywności wąskim gardłem badanego systemu produkcyjnego jest więc proces drukowania.

#4. Pomiar C/T procesów

Metoda pomiaru czasu trwania cyklu (C/T) jest jedną z podstawowych metod stosowanych w analizie procesów produkcyjnych. W ramach tej metody mierzony jest czas, jaki upływa od rozpoczęcia produkcji jednej sztuki wyrobu do rozpoczęcia produkcji kolejnej sztuki. Pomiar C/T obejmuje wszystkie procesy produkcyjne. W przypadku tej metody wąskim gardłem będzie proces, który osiągnie najwyższą wartość C/T.

Przemysł poligraficzny charakteryzuje się dużą różnorodnością produkcji i nieopowtarzalnością serii. Prędkość pracy maszyn jest zwykle wysoka, co utrudnia dokładny pomiar czasu trwania cyklu bezpośrednio przy maszynie. Aby uzyskać miarodajne wyniki C/T przeprowadzono analizę nakładów, czyli liczby arkuszy wyprodukowanych w każdym procesie, oraz czasu produkcji tych nakładów. Analiza danych dotyczyła w każdym przypadku tego samego okresu – dwóch miesięcy. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.3.

TABELA 4.3. Czas trwania cyklu procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie A

Proces produkcyjny	Nakład [arkusz]	Czas produkcji [h]	Czas cyklu (C/T) [s/ark.]
Drukowanie	11 664 130	966	0,3
Tłoczenie	5 296 312	1672	1,14
Sztancowanie	11 621 190	2096	0,65

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane w tabeli 4.3, można zauważyć, że w czasie dwóch miesięcy nakład procesu drukowania wyniósł 11 664 130 arkuszy, a czas produkcji nakładu – 966 h (3 447 600 s). Poniżej przedstawiono obliczenia C/T procesu drukowania.

$$3447600 \text{ s} / 11664130 \text{ ark.} = 0,3 \text{ s/ark.}$$

C/T procesu drukowania wyniósł 0,3 s/ark. W analogiczny sposób obliczono czas trwania cyklu procesu tłoczenia (C/T = 1,14 s/ark.) i procesu sztancowania (C/T = 0,65 s/ark.).

W trakcie analizy czwartego procesu, czyli składania i klejenia zauważono problem związany z jednostką opisującą proces. Przedsiębiorstwo wyraża efekty procesu drukowania, tłoczenia i sztancowania w arkuszach drukarskich, natomiast składania i klejenia w mniejszych częściach, tak zwanych użytkach. Z tego wynika, że na jednym arkuszu drukarskim może być drukowanych kilka użytków jednocześnie, co należy nazwać multiplikacją wyrobów. Ponieważ metoda C/T procesów nie uwzględnia tego

problemu, konieczne jest wprowadzenie korekty usuwającej tę przeszkodę. Aby zidentyfikować wąskie gardło za pomocą C/T procesów w badanym procesie produkcyjnym, należy przyjąć taką samą jednostkę we wszystkich procesach, czyli arkusz drukarski. W dalszej części badania przedstawiono obliczenia umożliwiające ustalenie wspólnej jednostki.

W pierwszym etapie badania wyznaczono C/T procesu składania i klejenia wyrażony na użytek. Przeanalizowano dane przedsiębiorstwa, a dokładnie nakład i czas produkcji, przy uwzględnieniu tego samego horyzontu czasowego (dwa miesiące). Wyniki analizy zaprezentowano w tabeli 4.4.

TABELA 4.4. Czas cyklu procesu składania i klejenia w przedsiębiorstwie A

Proces produkcyjny	Nakład [użytek]	Czas produkcji [h]	Czas cyklu (C/T) [s/użytek]
Składanie i klejenie	75 078 666	2 069	0,1

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane zawarte w tabeli 4.4 możemy zauważyć, że C/T procesu składania i klejenia wyrażony na użytek wynosi 0,1 sekundy. Przed podjęciem próby rozwiązania problemu multiplikacji wyrobów w procesie składania i klejenia należy jednak przyjąć pewne założenie. Analiza zleceń badanego przedsiębiorstwa wykazała, że 90% nakładu procesu sztancowania przechodzi do kolejnego procesu, jakim jest składanie i klejenie, natomiast pozostałe 10% produktów trafia w płaskiej formie bezpośrednio do klienta. Pozyskane informacje stanowią podstawę do obliczenia średniej liczby użytków, które przypadają na jeden arkusz drukarski, a to pozwoli z kolei na wyznaczenie C/T procesu składania i klejenia w tej samej jednostce co w przypadku pozostałych procesów (arkusz drukarski).

90% nakładu procesu sztancowania: 10 459 071 arkuszy

nakład procesu składania i klejenia: 75 078 666 użytków

10 459 071 arkuszy = 75 078 666 użytków

1 arkusz = x użytków

x = 7,2 użytku

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że średnio na jeden arkusz przypada 7,2 użytku. Zatem C/T procesu składania i klejenia jednego arkusza wynosi:

7,2 użytków $\times$ 0,1 s = **0,72 s**

Po przeanalizowaniu C/T wszystkich procesów produkcyjnych należy stwierdzić, że wartości te różnią się od siebie, co oznacza, że wydajność każdego procesu jest inna. Proces tłoczenia ma najwyższą wartość C/T (1,14 s), dlatego według tej metody jest to wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

#5. Pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych

W celu wykrycia wąskiego gardła w badanym systemie produkcyjnym zastosowano kolejną metodę – pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych. Jest to rozszerzenie podstawowej metody C/T, która w tym przypadku dodatkowo opiera się na coraz bardziej szczegółowej analizie procesów produkcyjnych i wymaga zrozumienia różnych czynników wpływających na działanie systemu produkcyjnego. Jak już wspomniano na etapie opisywania opracowanej metodyki, straty produkcyjne należy rozumieć jako czynniki bezpośrednio wydłużające obróbkę partii, a czas ich trwania należy ustalić, wykorzystując dane zebrane przez przedsiębiorstwo. Tak samo jak w poprzedniej metodzie, proces mający najdłuższy C/T to wąskie gardło.

Analiza danych przedsiębiorstwa pozwoliła wyznaczyć siedem rodzajów strat produkcyjnych, do których należą: (1) wyroby niespełniające norm jakościowych, (2) czas trwania przebrojenia, (3) czyszczenie maszyny, (4) awaria techniczna maszyny, (5) oczekiwanie na dział graficzny, (6) oczekiwanie na zatwierdzenie oraz (7) problemy z materiałem wejściowym. W pierwszej kolejności zbadano, jaki udział procentowy nakładu w przypadku każdego procesu stanowią wyroby niespełniające norm jakościowych. Analizę przeprowadzono dla dwóch miesięcy, a jej wyniki przedstawiono w tabeli 4.5.

TABELA 4.5. Wyroby niespełniające norm jakościowych w przedsiębiorstwie A

Proces produkcyjny	Nakład	Wyroby wadliwe	Wyroby wadliwe wykryte w następnych procesach produkcyjnych		Suma wyrobów wadliwych	% nakładu
Drukowanie	11 664 130 arkuszy	51 322 arkuszy	tłoczenie	2100 arkuszy	120 527 arkuszy	1,03
			sztancowanie	30 arkuszy		
			składanie i klejenie	67 075 arkuszy		
Tłoczenie	5 296 312 arkuszy	869 arkuszy	–		869 arkuszy	0,02
Sztancowanie	11 621 190 arkuszy	5583 arkuszy	składanie i klejenie	5533 arkuszy	11 116 arkuszy	0,1
Składanie i klejenie	75 078 666 użytków	558 316 użytków	–		558 316 użytków	0,75

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Przeprowadzona analiza danych przedsiębiorstwa pozwoliła ustalić, że w ciągu dwóch miesięcy spośród wytworzonych wyrobów 1,03% stanowiły wyroby niezgodne w procesie drukowania, 0,02% w procesie tłoczenia, 0,1% w procesie sztancowania, a 0,75% w procesie składania i klejenia. W kolejnym kroku na podstawie otrzymanych wartości niezgodności wyrobów oraz C/T każdego procesu (wartości uzyskane w kroku #4) obliczono, ile czasu zajęła produkcja wyrobów niezgodnych. Poniżej przedstawiono przykład obliczania procesu drukowania.

$$120\,527 \text{ ark.} \times 0,3 \text{ s} = 10 \text{ h}$$

Przy uwzględnieniu, że wyroby niezgodne procesowi drukowania wynoszą 1,03% (120 527 arkuszy), a C/T tego procesu wynosi 0,3 s, czas produkcji wyrobów niezgodnych wytworzonych w procesie drukowania w ciągu dwóch miesięcy wyniósł 10 h. Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych procesów produkcyjnych. Otrzymano następujące wyniki: tłoczenie – 0,3 h, sztancowanie – 2,1 h, składanie i klejenie – 15,6 h.

W następnym etapie na podstawie danych przedsiębiorstwa zbadano, ile czasu upłynęło z powodu strat produkcyjnych. Ostateczne wyniki analizy zostały przedstawione w tabeli 4.6.

TABELA 4.6. Czas, który upłynął z powodu strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie A

Straty produkcyjne	Proces produkcyjny			
	Drukowanie	Tłoczenie	Sztancowanie	Składanie i klejenie
	[h]			
Wyroby niespełniające norm jakościowych	10	0,3	2,1	15,6
Czas przebrojenia	1390	974	794,3	1198
Czyszczenie maszyny	261	13	41	172
Awaria techniczna maszyny	97	24	43	32
Oczekiwanie na informację zwrotną z działu graficznego	56	–	–	–
Oczekiwanie na zatwierdzenie	36,25	0,7	0,5	0,1
Problemy z materiałem wejściowym	79	0,6	0,5	–
Suma	1929,25	1012,6	881,4	1417,7

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane przedstawione w tabeli 4.6, można zauważyć, że nie wszystkie straty produkcyjne występują w każdym procesie produkcyjnym. Przykładowo oczekiwanie na informację zwrotną z działu graficznego wystąpiło tylko w procesie drukowania, natomiast w procesie składania i klejenia nie odnotowano problemów z materiałem wejściowym. W analizowanym okresie czas strat produkcyjnych był zróżnicowany między procesami – najdłuższy dotyczył procesu drukowania (1 929,25 h), a najkrótszy procesu sztancowania (881,4 h).

Na podstawie danych dotyczących czasu, który upłynął z powodu strat produkcyjnych w przypadku poszczególnych procesów, ilości nakładów oraz ich czasu produkcji obliczono czas trwania cyklu procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych. Poniżej przedstawiono przykład obliczania procesu drukowania.

$$(966 \text{ h} + 1\,929,5 \text{ h}) / 11\,664\,130 \text{ ark.} = 0,89 \text{ s/ark.}$$

Przyjmując, że czas produkcji procesu drukowania wynosi 966 h, czas strat produkcyjnych – 1 929,25, a wielkość dwumiesięcznego nakładu – 11 664 130 arkuszy, czas trwania cyklu procesu drukowania z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych wynosi 0,89 s/ark. Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych procesów produkcyjnych. Dane wykorzystywane do obliczeń oraz ostateczne wartości C/T ze stratami produkcyjnymi zaprezentowano w tabeli 4.7.

TABELA 4.7. Czas trwania cykli procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie A

Proces produkcyjny	Czas produkcji [h]	Czas strat [h]	Nakład [ark.]	C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych [s/ark.]
Drukowanie	966	1929,25	11 664 130	0,89
Tłoczenie	1672	1012,6	5 296 312	1,82
Sztancowanie	2096	881,4	11 621 190	0,92
Składanie i klejenie	2069	1417,7	10 427 592	1,20

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Z tabeli 4.7 wynika, że C/T procesów uwzględniające czas strat produkcyjnych różnią się od siebie, a ich wartości są większe niż C/T uzyskane przy zastosowaniu poprzedniej metody. Najwyższy C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych dotyczy procesu tłoczenia (1,82 s/ark.). Według założeń tej metody jest to więc wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

#6. Skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów

Cechą charakterystyczną branży poligraficznej jest duża różnorodność oferowanych produktów, co skutkuje koniecznością angażowania różnych procesów produkcyjnych w zależności od wymagań klienta i specyfiki zlecenia. W związku z taką charakterystyką systemu produkcyjnego w celu identyfikacji wąskiego gardła zastosowano metodę skorygowanego C/T na podstawie zaangażowania procesów. W celu obliczenia zaangażowania każdego procesu wielkość nakładu jest porównywana z całkowitym nakładem wynikającym ze zleceń produkcyjnych. Wartości C/T procesów, które zostały obliczone w kroku #4, są teraz korygowane poprzez ich zaangażowanie. Poniżej przedstawiono przykład obliczeń procesu tłoczenia.

$$1,14 \text{ s/ark.} \times 60\% = 0,68 \text{ s/ark.}$$

Jeśli przyjmiemy, że C/T procesu tłoczenia wynosi 1,14 s/ark., a jego zaangażowanie w produkcję asortymentu wynosi 60%, obliczony skorygowany C/T procesu tłoczenia wyniesie 0,68 s/ark. Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych procesów produkcyjnych. Otrzymane wyniki skorygowanego C/T na podstawie zaangażowania procesów prezentuje tabela 4.8.

TABELA 4.8. Zaangażowanie procesów i skorygowany C/T w przedsiębiorstwie A

Proces	Zaangażowanie procesu w produkcję asortymentu [%]	C/T [s/ark.]	Skorygowany C/T [s/ark.]
Drukowanie	100	0,30	0,30
Tłoczenie	60	1,14	0,68
Sztancowanie	100	0,65	0,65
Składanie i klejenie	90	0,72	0,65

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Z tabeli 4.8 wynika, że procesy drukowania i sztancowania są w pełni zaangażowane w produkcję wszystkich wytwarzanych wyrobów (100%), podczas gdy pozostałe procesy są zaangażowane z różnym nasileniem (tłoczenie – 60%, składanie i klejenie – 90%). Na podstawie informacji dotyczących indywidualnego zaangażowania każdego procesu możliwe jest obliczenie ich skorygowanej wartości C/T. Na przykład proces tłoczenia jest zaangażowany w 60% całkowitej produkcji, co oznacza, że jego skorygowany C/T wynosi 0,68 s/ark., przy rzeczywistym C/T równym 1,14 s/ark. Według autora metody²²¹ skorygowana wartość C/T symbolicznie odzwierciedla czas potrzebny do wytworzenia produktu, który seryjnie przechodzi przez wszystkie

²²¹ W. Urban, *TOC implementation...*, s. 188.

procesy. Najwyższą wartość uzyskano dla procesu tłoczenia, zatem należy uznać, że według założeń zastosowanej metody jest to wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

Ustalone wąskie gardło oraz dystans do kolejnego ograniczenia

Badany system produkcyjny został poddany identyfikacji wąskiego gardła przy użyciu wszystkich metod zawartych w opracowanej metodyce. W tabeli 4.9 przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy.

Przeprowadzona identyfikacja wąskiego gardła z wykorzystaniem różnych metod wykazała, że nie wszystkie z nich wskazały jednoznacznie na ten sam proces produkcyjny. Wizualna ocena beczynności procesów (#1) jako jedyna metoda nie dała podstaw do wnioskowania o wąskim gardle, gdyż każdy proces podczas trzykrotnie przeprowadzonej obserwacji był aktywny. Metoda pomiaru czasu aktywności procesów (#3) wskazała z kolei, że wąskim gardłem jest proces drukowania. Pozostałe metody ujęt w opracowanej metodyce identyfikacji ograniczeń wskazały na proces tłoczenia. Warto zauważyć, że w zależności od sposobu analizy procesów wąskie gardło może ujawnić się w innym miejscu. Jeżeli procesy są analizowane według kryterium aktywności, to wąskie gardło wyłania się w procesie drukowania, natomiast jeżeli analiza opiera się na coraz szerszym spojrzeniu na procesy, z uwzględnieniem takich czynników, jak straty produkcyjne czy stopień zaangażowania, wówczas wąskie gardło ujawnia się w innym miejscu. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że to proces tłoczenia jest wąskim gardłem badanego systemu produkcyjnego.

TABELA 4.9. Wyniki przeprowadzonej analizy badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa A

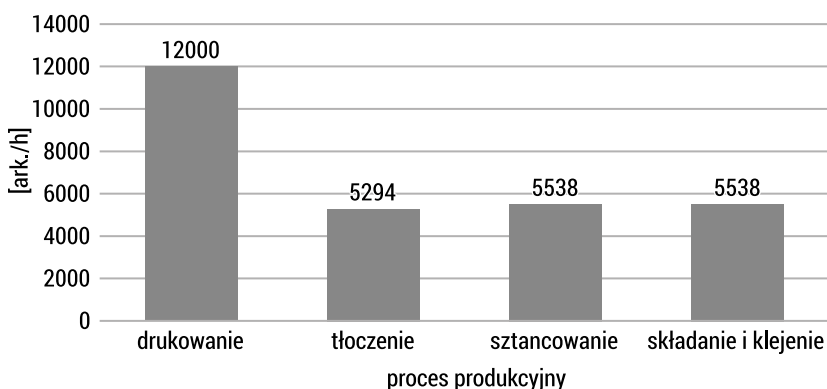
Metoda	Rozpoznane wąskie gardło
#1. Wizualna ocena beczynności procesów	—
#2. Wizualna ocena stanu zapasów przed procesem	tłoczenie
#3. Pomiar czasu aktywności procesów	drukowanie
#4. Pomiar C/T procesów	tłoczenie
#5. Pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych	tłoczenie
#6. Skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów	tłoczenie

ŹRÓDŁO: opracowanie własne.

Następnym etapem jest ustalenie dystansu do kolejnego wąskiego gardła, które prawdopodobnie wystąpi jako następne. Rozumiane jest to jako skala braku wydajności w stosunku do kolejnego procesu. Ze względu na specyfikę branży poligraficznej, a dokładnie na dużą różnorodność wyrobów oraz różne obciążenie procesów, dystans do kolejnego wąskiego gardła obliczono za pomocą metody skorygowanego C/T

na podstawie zaangażowania procesów. Analiza danych zawartych w tabeli 4.8 wykazała, że kolejnym wąskim gardłem będą dwa procesy, a mianowicie sztancowanie oraz składanie i klejenie, ponieważ mają taką samą wartość C/T (0,65 s/ark.). W celu określenia skali tego dystansu na rysunku 5.2 przedstawiono wydajność procesów w ujęciu godzinowym, wykorzystując skorygowane wartości C/T procesów.

Wydajność godzinowa aktualnego wąskiego gardła – tłoczenia – wynosi 5 294 arkusze, natomiast wydajność kolejnych wąskich gardeł – sztancowania oraz składania i klejenia – 5 538 arkuszy. Dystans do kolejnego ograniczenia, czyli różnica godzinowej wydajności pomiędzy procesami, wynosi 244 arkusze. Pozyskanie takich danych (skali dystansu) jest szczególnie istotne z punktu widzenia planowania działań mających na celu zwiększenie przepływu wąskiego gardła. Warto jednak zauważyć, że uzyskanie takiej samej wydajności w przypadku procesu tłoczenia jaka aktualnie charakteryzuje procesy sztancowania oraz składania i klejenia doprowadzi do równomiernego przepływu pomiędzy tymi trzema procesami.



RYSUNEK 4.2. Wydajność godzinowa procesów produkcyjnych wyznaczona na podstawie skorygowanych wartości C/T (ark./h) w przedsiębiorstwie A

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

W celu potwierdzenia, czy zidentyfikowano rzeczywiste wąskie gardło, odpowiada się na pytania, które przedstawiono w tabeli 4.10.

TABELA 4.10. Lista pytań mająca na celu potwierdzenie poprawnej identyfikacji wąskiego gardła – przedsiębiorstwo A

Pytania	TAK	NIE
1. Czy dobrze poznano przepływ i proces oraz ich wzajemne relacje?	☒	☐
2. Czy dany proces jest w systemie produkcyjnym najslabszym punktem, który ogranicza zwiększenie przepływu?	☒	☐
3. Czy dokładnie określono, jakie czynniki przyczyniają się do powstawania wąskiego gardła w tym procesie?	☒	☐

Pytania	TAK	NIE
4. Czy znana jest skala niedoboru wydajności wąskiego gardła w stosunku do kolejnego ograniczenia?	☒	
5. Czy wprowadzenie proponowanych działań usprawniających będzie prowadzić do zwiększenia przepływu (zwiększenia wolumenu realizowanej produkcji)?	☒	

ŹRÓDŁO: opracowanie własne.

W pierwszym kroku opracowanej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym branży poligraficznej dokładnie poznano przepływ i proces oraz ich wzajemne relacje. Analiza godzinowej wydajności procesów wykazała, że proces tłoczenia jest najsłabszym punktem w systemie produkcyjnym, który w konsekwencji ogranicza zwiększanie przepływu, a więc posiada najmniejszą wydajność, wynoszącą 5294 ark./h. Określono również czynniki przyczyniające się do powstawania wąskiego gardła w tym procesie, takie jak wysoka wartość czasu trwania cyklu oraz bardzo duże starty produkcyjne. Dzięki obliczeniu wydajności godzinowej każdego procesu ustalono, że skala niedoboru do kolejnego ograniczenia, czyli sztancowania oraz składania i klejenia, wynosi 244 arkusze. Zgodnie z TO, aby poprawić przepływ systemu produkcyjnego, należy skoncentrować się na eksploatacji jego ograniczeń poprzez zwiększenie ich wykorzystania do maksimum możliwości. W przypadku wąskiego gardła, jakim jest proces tłoczenia, możliwe działania usprawniające mogą obejmować zmniejszenie strat produkcyjnych na przykład poprzez skrócenie czasu przezbrajania. W ten sposób możliwe jest zwiększenie wydajności tego procesu oraz całego systemu produkcyjnego, co powinno prowadzić do wzrostu przerobu. Biorąc pod uwagę, że wszystkie odpowiedzi udzielone na zadane wcześniej pytania są pozytywne (tabela 4.10), można stwierdzić, że opracowana metodyka wskazała rzeczywiste wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

4.3. Studium przypadku przedsiębiorstwa B

Ogólna charakterystyka przedsiębiorstwa

Przedsiębiorstwo B to producent opakowań jednostkowych przeznaczonych dla różnych branż, między innymi spożywczej, farmaceutycznej, kosmetycznej i produkcji chemii gospodarczej. Produkty te są zróżnicowane pod względem typów wyrobów, ich wymiarów, rodzajów druku itp. Aby sprostać wymaganiom klientów, jednostka skupia się na produkcji na zamówienie i rocznie realizuje około trzech tys. zleceń. Przedsiębiorstwo zatrudnia blisko 200 wykwalifikowanych pracowników.

W kolejnym kroku przystąpiono do zastosowania metodyki identyfikacji ograniczeń w badanym systemie produkcyjnym.

Identyfikacja procesów tworzących przepływ wyrobów

W przedsiębiorstwie B pierwszym etapem procesu produkcyjnego jest naświetlanie form drukowych. Proces ten odbywa się w specjalistycznych naświetlarkach po uprzednim przygotowaniu plików przez dział graficzny. Czas naświetlania jednej formy drukowej wynosi 2–3 minuty. Liczba naświetlanych form zależy od rodzaju produkowanego wyrobu, na przykład liczby kolorów użytych dla jednej partii wyrobów czy rodzaju wykorzystanego lakieru. Drugi etap to drukowanie wyrobu. Naświetlone formy mocowane są w maszynie drukującej. Standardowe formaty papieru wykorzystywane do druku to A1 (594 × 841 mm) i B1 (707 × 1000 mm). Ostateczny format użytego papieru zależy od rodzaju zamówienia. Proces drukowania obsługuje dwóch pracowników, a przedsiębiorstwo posiada jedną maszynę drukującą. Następny zidentyfikowany proces to złożenie, czyli uszlachetnianie wyrobów. Polega na rozgrzaniu matrycy i zetknięciu jej z folią do *hot-stampingu*, a następnie przyciśnięciu do zadrukowanej powierzchni. Proces ten nie jest stosowany do wszystkich wyrobów produkowanych przez badane przedsiębiorstwo. Wykorzystanie procesu złożenia zależy od konkretnego zamówienia lub wymagań danego klienta. Proces złożenia wykonuje jeden pracownik, a przedsiębiorstwo posiada do tego celu jedną maszynę. Bezpośrednio po procesie drukowania (lub złożenia) następuje sztancowanie. Polega ono na wykrawaniu z arkusza papieru pożądanego kształtu wyrobu. Proces sztancowania obsługuje jeden pracownik, a przedsiębiorstwo posiada dwie maszyny wykrawające. Następnym zidentyfikowanym procesem jest wrywanie, czyli oczyszczanie arkusza z wewnętrznych ścinków i bocznych krawędzi w celu otrzymania właściwego kształtu wyrobu. Proces wrywania odbywa się ręcznie i wykonuje go sześciu pracowników. Ostatnim zidentyfikowanym procesem jest składanie i klejenie wyrobów. Badane przedsiębiorstwo posiada dwie składarko-sklejarki. Proces ten wykonuje dwóch pracowników na każdej maszynie. Zadaniem jednego pracownika jest włożenie płaskich wyrobów kartonowych do maszyny, natomiast drugi pracownik układa gotowe (złożone i sklezione) wyroby w kartonach. Po zakończeniu produkcji gotowy produkt jest przenoszony do magazynu wyrobów gotowych. Przedsiębiorstwo B posiada również magazyn surowców, w którym przechowywane są palety z materiałami wejściowymi do procesu (arkusze drukarskie).

Rozpoznanie wąskiego gardła

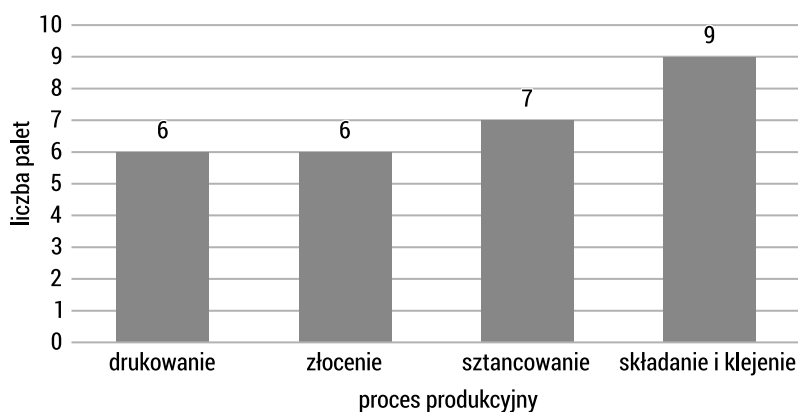
#1. Wizualna ocena bezczynności procesów

W celu identyfikacji wąskiego gardła przeprowadzono trzy obserwacje procesu produkcyjnego w różne dni oraz w trakcie różnych zmian produkcyjnych. Podczas obserwacji w badanym przedsiębiorstwie każdy proces był aktywny. Jednak z wywiadu przeprowadzonego z dyrektorem produkcji wynika, że często bezczynnym procesem jest proces złożenia wyrobu. Wynika to z faktu, że nie każdy wyrób przechodzi przez ten etap. Po analizie danych przedsiębiorstwa pochodzących z dwóch miesięcy można stwierdzić, że około 20% nakładu procesu drukowania przechodzi

przez proces złożenia. Wykorzystanie metody wizualnej oceny beczynności procesów nie dało podstaw do wnioskowania o wąskim gardle w badanym systemie produkcyjnym.

#2. Wizualna ocena stanu zapasów przed procesem

Kolejną metodą identyfikacji wąskiego gardła w badanym systemie produkcyjnym jest obserwacja zapasów międzyprocesowych. Rysunek 4.3 przedstawia liczbę palet, które znajdują się przed każdym procesem w badanym systemie produkcyjnym. Zaprezentowane dane zebrano w wyniku bezpośredniego zliczenia palet w hali produkcyjnej. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że przeciętnie każda paleta składa się z około 2500 arkuszy. Obliczenia wykonano w ciągu jednego dnia.



RYSUNEK 4.3. Liczba palet oczekujących przed procesem w przedsiębiorstwie B

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie obserwacji procesu produkcyjnego.

Z dostarczonych danych wynika, że przed każdym procesem drukowania i złożenia znajduje się po sześć palet oczekujących. Na etapie sztancowania liczba oczekujących palet wynosi siedem. Jednak najwyższy poziom zapasów zanotowano przed procesem składania i klejenia, kiedy to oczekuje aż dziewięć palet. Zgodnie z założeniami zastosowanej metody wąskim gardłem badanego systemu produkcyjnego jest proces składania i klejenia. Warto jednak zauważyć, że ustalenia te nie dostarczają żadnych wskazówek dotyczących względnej skali wąskiego gardła, czyli skali niedoboru wydajności w stosunku do kolejnego procesu.

#3. Pomiar czasu aktywności procesów

Następną proponowaną metodą identyfikacji wąskiego gardła w badanym systemie produkcyjnym jest pomiar czasu aktywności każdego procesu. Analizie poddano dwa miesiące, w których przetworzono dużą liczbę zleceń produkcyjnych. Przedsiębiorstwo wykorzystuje inną liczbę maszyn w przypadku poszczególnych procesów. W przypadku procesu drukowania jest to jedna maszyna, złożenia – jedna

maszyna, sztancowania – dwie maszyny, składania i klejenia – dwie maszyny. Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono w tabeli 4.11.

TABELA 4.11. Czas aktywności procesów badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa B

Operacje	Proces produkcyjny			
	Drukowanie	Złocenie	Sztancowanie	Składanie i klejenie
	[h]			
Praca maszyn/maszyny	328	238	590	1131,2
Inne aktywności	377,6	209,9	177,9	147
Suma czasu aktywności na proces	705,6	447,9	767,9	1278,2
Suma czasu aktywności na maszynę	705,6	447,9	383,95	639,1

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane zawarte w tabeli 4.11, można zauważyć, że najwyższa suma czasów aktywności występuje w przypadku procesu drukowania (705,6 h). Pomimo uwzględnienia liczby maszyn jest to nadal najwyższa wartość wśród zidentyfikowanych procesów. W oparciu o metodę pomiaru aktywności proces drukowania okazuje się być wąskim gardłem badanego systemu produkcyjnego.

#4. Pomiar C/T procesów

Ze względu na dużą prędkość działania maszyn bezpośredni pomiar czasu cyklu (C/T) jest niemożliwy. W związku z tym, aby uzyskać miarodajne wartości, przeprowadzono analizę nakładów produkcyjnych (liczby arkuszy wyprodukowanych w każdym procesie) oraz czasu produkcji tych nakładów. Badania wykonano przy wykorzystaniu tych samych danych, obejmujących dwa miesiące. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.12.

TABELA 4.12. Czas trwania cyklu procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie B

Proces produkcyjny	Nakład [arkusz]	Czas produkcji [h]	Czas cyklu (C/T) [s/ark.]
Drukowanie	2 588 557	328	0,46
Złocenie	552 083	238	1,55
Sztancowanie	2 557 570	590	0,83

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Z tabeli 4.12 wynika, że nakład procesu drukowania wyniósł 2 588 557 arkuszy, natomiast czas produkcji nakładu to 328 h (1 180 800 s). Poniżej przedstawiono obliczenia C/T procesu drukowania.

$$1\,180\,800\text{ s} / 2\,588\,557\text{ ark.} = 0,46\text{ s/ark.}$$

C/T procesu drukowania wynosi 0,46 s/ark. W analogiczny sposób obliczono czas trwania cyklu procesu złożenia (C/T = 1,55 s/ark.) i procesu sztancowania (C/T = 0,83 s/ark.).

W przypadku badanego systemu produkcyjnego występuje taki sam problem jak w poprzednim analizowanym przypadku, a dokładnie problem jednostki miary kolejnego procesu – składanie i klejenie wyrażane jest w innej jednostce, tak zwanych użytkach. Aby móc zastosować metodę identyfikacji wąskiego gardła opierającą się na pomiarze C/T procesów, należy przyjąć taką samą jednostkę we wszystkich procesach, czyli w tym przypadku arkusz drukarski. W dalszej części badania przedstawiono obliczenia umożliwiające ustalenie wspólnej jednostki.

W pierwszej kolejności wyznaczono C/T procesu składania i klejenia wyrażony na użytek. W tym celu przeanalizowano dane dotyczące nakładu i czasu produkcji, biorąc pod uwagę ten sam okres (dwa miesiące). Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 4.13.

TABELA 4.13. Czas trwania cyklu procesu składania i klejenia w przedsiębiorstwie B

Proces produkcyjny	Nakład [użytek]	Czas produkcji [h]	Czas cyklu (C/T) [s/użytek]
Składanie i klejenie	16 579 573	1131,2	0,25

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane zawarte w tabeli 4.13, można zauważyć, że C/T procesu składania i klejenia wyrażony na użytek wynosi 0,25 sekundy. Przed podjęciem próby ujednolicenia jednostki, w jakiej wyrażane są wytwarzane wyroby w procesach, założono, że 95% nakładu procesu sztancowania przechodzi do kolejnego procesu, jakim jest składanie i klejenie, a pozostałe 5% produktów trafia do klienta. Pozyskane informacje posłużą do obliczenia średniej liczby użytkowników, które przypadają na jeden arkusz drukarski.

95% nakładu procesu sztancowania: 2 429 691 arkuszy

nakład procesu składania i klejenia: 16 579 573 użytki

$$2\,429\,691\text{ arkuszy} = 16\,579\,573\text{ użytki}$$

$$1\text{ arkusz} = x\text{ użytkowników}$$

$$x = 6,8\text{ użytku}$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że na jeden arkusz przypada średnio 6,8 użytku, zatem C/T procesu składania i klejenia jednego arkusza wynosi:

$$6,8 \text{ użytków} \times 0,25 \text{ s} = 1,7 \text{ s}$$

Po przeanalizowaniu C/T wszystkich procesów produkcyjnych należy stwierdzić, że wartości te różnią się od siebie, co oznacza, że wydajność każdego procesu jest inna. Proces składania i klejenia ma najwyższą wartość C/T (1,7 s), dlatego według założeń tej metody jest to wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

#5. Pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych

Kolejną metodą wykorzystaną do identyfikacji wąskiego gardła był pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych. Analiza danych przedsiębiorstwa pozwoliła wyznaczyć dziewięć rodzajów strat produkcyjnych, do których należą: (1) wyroby niespełniające norm jakościowych, (2) czas przeobrażania, (3) naprawa maszyny, (4) czyszczenie maszyny, (5) oczekiwanie na narzędzia/materiał, (6) oczekiwanie na akceptację, (7) magazyn, (8) dział graficzny i (9) dział handlowy.

W pierwszej kolejności zbadano udział procentowy wadliwych wyrobów w nakładzie każdego procesu. Przeanalizowano dane z dwóch miesięcy, a wyniki przedstawiono w tabeli 4.14.

TABELA 4.14. Wyroby niespełniające norm jakościowych w przedsiębiorstwie B

Proces produkcyjny	Nakład	Wyroby wadliwe	Wyroby wadliwe wykryte w następnych procesach produkcyjnych		Suma wyrobów wadliwych	% nakładu
Drukowanie	2 588 557 arkuszy	124 600 arkuszy	złocenie	1956 arkuszy	134 604 arkusze	5,2%
			sztancowanie	3048 arkuszy		
			składanie i klejenie	5000 arkuszy		
Złocenie	552 083 arkusze	19 213 arkuszy	sztancowanie	662 arkusze	19 875 arkuszy	3,6%
Sztancowanie	2 557 570 arkuszy	122 903 arkusze	składanie i klejenie	7533 arkusze	130 436 arkuszy	5,1%
Składanie i klejenie	16 579 573 użytki	111 191 użytkowników	—		111 191 użytkowników	6,7%

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Analizując dane przedsiębiorstwa z dwóch miesięcy wynika, że średnio 5,2% wyrobów miesięcznie jest niezgodnych w procesie drukowania, 3,6% w procesie złocenia, 5,1% w procesie sztancowania oraz 6,7% w procesie składania i klejenia. Znając

udział procentowy wyrobów wadliwych, nakład oraz C/T każdego procesu, obliczono, ile czasu zajęła produkcja wyrobów niezgodnych. Poniżej przedstawiono przykład obliczeń dla procesu drukowania.

$$134\,604 \text{ ark.} \times 0,46 \text{ s} = 17,2 \text{ h}$$

Kiedy wykorzystamy wcześniej obliczone dane, a mianowicie wartość wyrobów niezgodnych (5,2%, co daje 134 604 arkusze) oraz C/T procesu drukowania (0,46 s/ark.), otrzymamy czas produkcji wyrobów niezgodnych wytworzonych w procesie drukowania w ciągu dwóch miesięcy wynoszący 17,2 h. Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych procesów produkcyjnych. Otrzymano następujące wyniki: złożenie – 8,55 h, sztancowanie – 30,7 h, składanie i klejenie – 52,5 h.

W kolejnym etapie na podstawie danych przedsiębiorstwa przeprowadzono badanie czasu pozostałych rodzajów strat produkcyjnych. Ostateczne wyniki analizy zostały przedstawione w tabeli 4.15.

TABELA 4.15. Czas strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie B

Straty produkcyjne	Proces produkcyjny			
	Drukowanie	Złożenie	Sztancowanie	Składanie i klejenie
	[h]			
Wyroby niespełniające norm jakościowych	17,2	8,55	30,7	52,5
Czas przezbrajania	312,3	189	171,2	130
Naprawa maszyny	28,5	0	0	0
Czyszczenie maszyny	19	2	4,5	15
Oczekiwanie na narzędzia/materiał	0	2,3	1,4	0,5
Oczekiwanie na akceptację	0	16,6	0,75	1,5
Oczekiwanie na informację zwrotną z magazynu	30	–	–	–
Oczekiwanie na informację zwrotną z działu graficznego	2,3	–	–	–
Oczekiwanie na informację zwrotną z działu handlowego	14	–	–	–
Suma	423,3	218,45	208,55	199,5

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Tabela 4.15 pokazuje, że nie wszystkie rodzaje strat produkcyjnych są obecne we wszystkich procesach. Oczekiwanie na magazyn, dział graficzny i dział handlowy występują tylko w procesie drukowania. Pozostałe rodzaje strat są obecne we wszystkich procesach, jednak w niektórych przypadkach nie wystąpiły w badanym okresie. Czas upływający w związku ze stratami produkcyjnymi także różni się w zależności od procesu. Najdłuższy dotyczy procesu drukowania (423,3 h), a najkrótszy procesu składania i klejenia (199,5 h).

Dane dotyczące czasu strat produkcyjnych, nakładu i czasu produkcji poszczególnych procesów zostały wykorzystane do obliczenia czasu trwania cyklu procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych. Poniżej przedstawiono przykład obliczeń dotyczący procesu drukowania.

$$(328 \text{ h} + 423,3 \text{ h}) / 2\,588\,557 \text{ ark.} = 1,04 \text{ s/ark.}$$

Przyjmując, że czas procesu drukowania wynosi 328 h, czas strat produkcyjnych 423,3 h, a wielkość dwumiesięcznego nakładu 2 588 557 arkuszy, czas trwania cyklu procesu drukowania z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych wyniesie 1,04 s/ark. Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych procesów produkcyjnych. Wyniki tych obliczeń, wraz z danymi wykorzystanymi do ich przeprowadzenia, zostały przedstawione w tabeli 4.16.

TABELA 4.16. Czas trwania cyklu procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie B

Proces produkcyjny	Czas produkcji [h]	Czas strat [h]	Nakład [ark.]	C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych [s/ark.]
Drukowanie	328	423,3	2 588 557	1,04
Złocenie	238	218,45	552 083	2,98
Sztancowanie	590	208,55	2 557 570	1,12
Składanie i klejenie	1131,2	199,5	2 438 172	1,96

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Dane przedstawione w tabeli 4.16 wskazują, że największy C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych występuje w procesie złocenia, co sugerowałoby, że jest to wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego. Jednak w tym przypadku konieczne jest dalsze zbadanie tego procesu i przeprowadzenie analizy danych w celu potwierdzenia powyższej hipotezy. Należy zauważyć, że proces złocenia jest rzadko wykorzystywany, ponieważ tylko 20% nakładu procesu drukowania przechodzi do tego procesu. Złocenie należy zatem traktować jako dodatkowy etap produkcji mający na celu wizualne wzbogacenie opakowania, wykorzystywany do produktów z serii premium, na zamówienie klienta. Pomimo najdłuższego C/T z uwzględnieniem

czasu strat produkcyjnych można uznać, że proces ten nie wpływa na przepływ całego procesu produkcyjnego przedsiębiorstwa. Kolejnym procesem produkcyjnym o najdłuższym C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych jest składanie i klejenie. Według założeń zastosowanej metody jest to wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

#6. Skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów

Ostatnią metodą zastosowaną w celu identyfikacji wąskiego gardła jest skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów. Metoda ta, jak sama nazwa wskazuje, analizuje zaangażowanie każdego procesu w produkcję całego asortymentu, a więc w przypadku badanego przedsiębiorstwa rozwiązuje problem 20-procentowego zaangażowania procesu złączenia (wykazane w kroku #5). Stopień zaangażowania każdego procesu został obliczony na podstawie wielkości jego nakładu i porównany z całkowitym nakładem wynikającym ze zleceń produkcyjnych. W kroku #4 wykonano obliczenia wartości C/T procesów, które teraz będą podlegały korekcie na podstawie ich stopnia zaangażowania. Poniżej przedstawiono przykład obliczeń dla procesu drukowania.

$$93\% \times 0,46 \text{ s/ark.} = 0,43 \text{ s/ark.}$$

Jeśli przyjmiemy, że C/T procesu drukowania wynosi 0,46 s/ark., a jego zaangażowanie w produkcję asortymentu wynosi 93%, obliczony skorygowany C/T procesu drukowania wyniesie 0,43 s/ark. Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych procesów produkcyjnych. Otrzymane wyniki skorygowanego C/T na podstawie zaangażowania procesów prezentuje tabela 4.17.

TABELA 4.17. Zaangażowanie procesów i skorygowany C/T w przedsiębiorstwie B

Proces	Zaangażowanie procesu w produkcję asortymentu [%]	C/T [s/ark.]	Skorygowany C/T [s/ark.]
Drukowanie	93	0,46	0,43
Złączenie	21	1,55	0,33
Sztancowanie	99	0,83	0,82
Składanie i klejenie	94	1,70	1,60

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Z danych przedstawionych w tabeli 4.17 wynika, że badane procesy produkcyjne miały różne obciążenia. Żaden z nich nie był w pełni zaangażowany w produkcję wyrobów. Największy stopień zaangażowania odnotowano dla procesu sztancowania (99%), a najmniejszy dla procesu złączenia (21%). Na podstawie tych informacji można obliczyć skorygowaną wartość C/T dla każdego procesu, mnożąc zaangażowanie

procesu przez podstawową wartość C/T obliczoną w kroku #4. Dla procesu składania i klejenia uzyskano najwyższą wartość skorygowaną, co wskazuje, że według zastosowanej metody jest to wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

Ustalone wąskie gardło oraz dystans do kolejnego ograniczenia

System produkcyjny badanego przedsiębiorstwa został poddany wszystkim proponowanym krokom metodyki identyfikacji ograniczeń. Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono w tabeli 4.18.

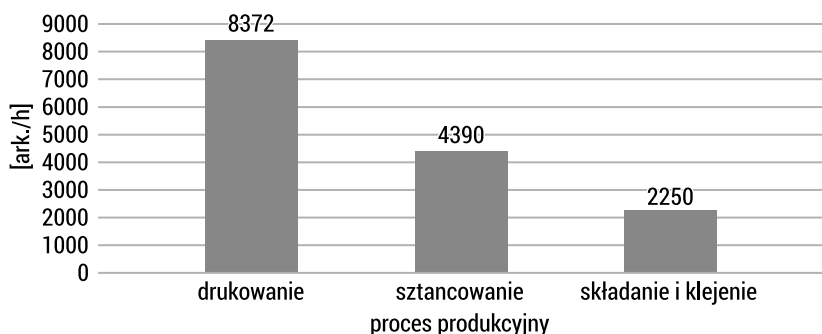
TABELA 4.18. Wyniki przeprowadzonej analizy badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa B

Metoda	Rozpoznane wąskie gardło
#1. Wizualna ocena beczynności procesów	—
#2. Wizualna ocena stanu zapasów przed procesem	składanie i klejenie
#3. Pomiar czasu aktywności procesów	drukowanie
#4. Pomiar C/T procesów	składanie i klejenie
#5. Pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych	składanie i klejenie
#6. Skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów	składanie i klejenie

ŹRÓDŁO: opracowanie własne.

Analizując informacje zawarte w tabeli 4.18, należy zauważyć, że wykorzystane metody wykrywania wąskiego gardła wskazywały na różne procesy jako te, które najbardziej ograniczają wydajność całego systemu produkcyjnego. Metoda wizualnej oceny beczynności procesów w badanym przypadku również nie wskazała wąskiego gardła. Z kolei metoda pomiaru czasu aktywności procesów wykazała, że proces drukowania jest wąskim gardłem w badanym systemie produkcyjnym. Pozostałe metody zawarte w opracowanej metodyce identyfikacji ograniczeń wskazały na proces składania i klejenia, zatem należy stwierdzić, że proces ten jest wąskim gardłem badanego systemu produkcyjnego.

Ostatni etap metodyki identyfikacji ograniczeń to ustalenie dystansu do kolejnego wąskiego gardła. Branża poligraficzna charakteryzuje się dużą różnorodnością produktów oraz zróżnicowanym obciążeniem procesów, dlatego dystans do potencjalnego kolejnego wąskiego gardła został obliczony przy wykorzystaniu metody skorygowanego C/T uwzględniającego stopień zaangażowania procesów. Analiza danych zawartych w tabeli 4.17 wykazała, że kolejnym wąskim gardłem będzie proces sztanowania. W celu określenia wielkości dystansu obliczono wydajność godzinową procesów (z wyłączeniem procesu zlocenia) na podstawie skorygowanych wartości C/T procesów (rysunek 4.4).



RYSUNEK 4.4. Wydajność godzinowa procesów produkcyjnych wyznaczona na podstawie skorygowanych wartości C/T (ark./h) w przedsiębiorstwie B

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie danych przedsiębiorstwa.

Wydajność godzinowa wąskiego gardła, czyli procesu składania i klejenia, wynosi 2 250 arkuszy, natomiast kolejnego wąskiego gardła, sztancowania, 4 390 arkuszy. Różnica między godzinową wydajnością tych procesów wynosi 2 140 arkuszy. Wartość ta wskazuje na skalę braku wydajności do kolejnego wąskiego gardła. W celu potwierdzenia, czy zidentyfikowano rzeczywiste wąskie gardło, odpowiedziano na pytania, które zostały przedstawione w tabeli 4.19.

TABELA 4.19. Lista pytań mająca na celu potwierdzenie zidentyfikowanego wąskiego gardła – przedsiębiorstwo B

Pytania	TAK	NIE
1. Czy dobrze poznano przepływ i proces oraz ich wzajemne relacje?	☒	☐
2. Czy dany proces jest najsłabszym punktem w systemie produkcyjnym, który ogranicza zwiększenie przepływu?	☒	☐
3. Czy dokładnie określono, jakie czynniki przyczyniają się do powstawania wąskiego gardła w tym procesie?	☒	☐
4. Czy znana jest skala niedoboru wydajności wąskiego gardła w stosunku do kolejnego ograniczenia?	☒	☐
5. Czy wprowadzenie proponowanych działań usprawniających będzie prowadzić do zwiększenia przepływu (zwiększenia wolumenu realizowanej produkcji)?	☒	☐

ŹRÓDŁO: opracowanie własne.

W pierwszym kroku metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym branży poligraficznej dokładnie zbadano przepływ i proces, a także relacje między nimi. Analiza wydajności godzinowej procesów wykazała, że proces składania i klejenia jest najsłabszym punktem w systemie produkcyjnym. Proces ten charakteryzuje się niską wydajnością godzinową wynoszącą 2 250 arkuszy oraz występowaniem czynników powodujących niedobór produkcji, takich jak długi czas przezbrajania

i wysoki udział procentowy wadliwych wyrobów. Dzięki obliczeniu wydajności godzinowej każdego procesu ustalono, że skala niedoboru przetwarzania do kolejnego wąskiego gardła, jakim jest sztancowanie, wynosi 2 140 arkuszy.

Działania usprawniające, które można podjąć w przypadku wąskiego gardła, jakim jest proces składania i klejenia, w pierwszej kolejności powinny obejmować zmniejszenie czasu strat produkcyjnych, co przyczyni się do zwiększenia wydajności tego procesu oraz całego systemu produkcyjnego, prowadząc tym samym do wzrostu prze-robu. Odpowiedzi na wszystkie pytania (tabela 4.19) są pozytywne. Podsumowując, należy stwierdzić, że opracowana metodyka wskazała rzeczywiste wąskie gardło badanego systemu produkcyjnego.

4.4. Wnioski z badań jakościowych

W TOC identyfikacja wąskiego gardła jest uważana za jeden z podstawowych kroków w procesie doskonalenia systemu produkcyjnego. Polega ona na zidentyfikowaniu procesu lub punktu, który ma najniższą wydajność w porównaniu do innych procesów i stanowi ograniczenie całego systemu. Metoda studiów przypadków wykorzystana w badaniach jakościowych pozwoliła na praktyczne zastosowanie opracowanej autorskiej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym w dwóch wybranych przedsiębiorstwach poligraficznych o różnej wielkości. Dzięki temu można było prześledzić rzeczywiste sytuacje realizowane w podobnych warunkach i potwierdzić skuteczność opracowanej metodyki. W badaniu zrealizowano wszystkie etapy wchodzące w skład metodyki w celu sprawdzenia możliwości zastosowania każdego z zaproponowanych kroków w funkcjonującym przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Przeprowadzone studia przypadków pozwoliły wyciągnąć kilka istotnych wniosków z punktu widzenia praktycznego wykorzystania metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym branży poligraficznej.

Każda z metod, z których składa się opracowana metodyka identyfikacji ograniczeń, jest praktyczna i możliwa do zastosowania w systemie produkcyjnym branży poligraficznej. Metody te można podzielić na dwa rodzaje. Pierwszy opiera się na bezpośredniej obserwacji pracy systemu produkcyjnego, natomiast drugi wykorzystuje dane zgromadzone przez przedsiębiorstwo.

Jednym z elementów opracowanej metodyki jest określenie dystansu do kolejnego ograniczenia. Warto zauważyć, że metody rozpoznania wąskiego gardła oparte na wizualnej ocenie bezczynności procesów oraz stanu zapasów przed procesem nie dostarczają informacji o względnej wielkości wąskiego gardła, czyli o skali niedoboru wydajności w porównaniu do kolejnego procesu. Mimo że tego typu metody są często wspominane w literaturze^{222, 223}, nie pozwalają one na dokładne określenie

²²² C.E. Betterton, S.J. Silver, *Detecting bottlenecks...*, s. 3.

²²³ Z. Dongping, T. Xitian, G. Junha, *A bottleneck detection algorithm...*, s. 2.

rozmiaru i znaczenia wąskiego gardła w kontekście kolejnych procesów. W związku z tym, gdy któraś z tych metod identyfikacji zostanie wykorzystana, zaleca się uzupełnienie analiz o dodatkową metodę, pozwalającą określić skalę wspomnianego niedoboru. W ten sposób menedżer będzie miał bardziej kompleksowy obraz funkcjonowania systemu produkcyjnego, co pozwoli mu na lepsze podejmowanie decyzji dotyczących jego optymalizacji i doskonalenia.

W procesie identyfikacji wąskiego gardła w systemie produkcyjnym warto sięgać do podstawowej metody analizy procesów produkcyjnych, a konkretnie do metody pomiaru C/T, czyli czasu potrzebnego na wykonanie jednej jednostki produktu. Każda kolejna metoda identyfikacji opiera się na coraz szerszym spojrzeniu na procesy, ale i tak ostatecznie odwołuje się do wartości podstawowego C/T. Warto więc wziąć ją pod uwagę, ponieważ informacje potrzebne do zastosowania każdej kolejnej metody będą stanowiły tylko uzupełnienie.

W przeprowadzonych badaniach systemów produkcyjnych zastosowano wszystkie kroki zaproponowane w metodyce identyfikacji ograniczeń. Otrzymane wyniki różnią się w zależności od metody, co może być skutkiem różnych sposobów oceny procesów przez każdą z nich. Implementowanie kolejnych proponowanych metod może przyczynić się do uzyskania bardziej precyzyjnych wyników i dokładniejszej identyfikacji wąskiego gardła.

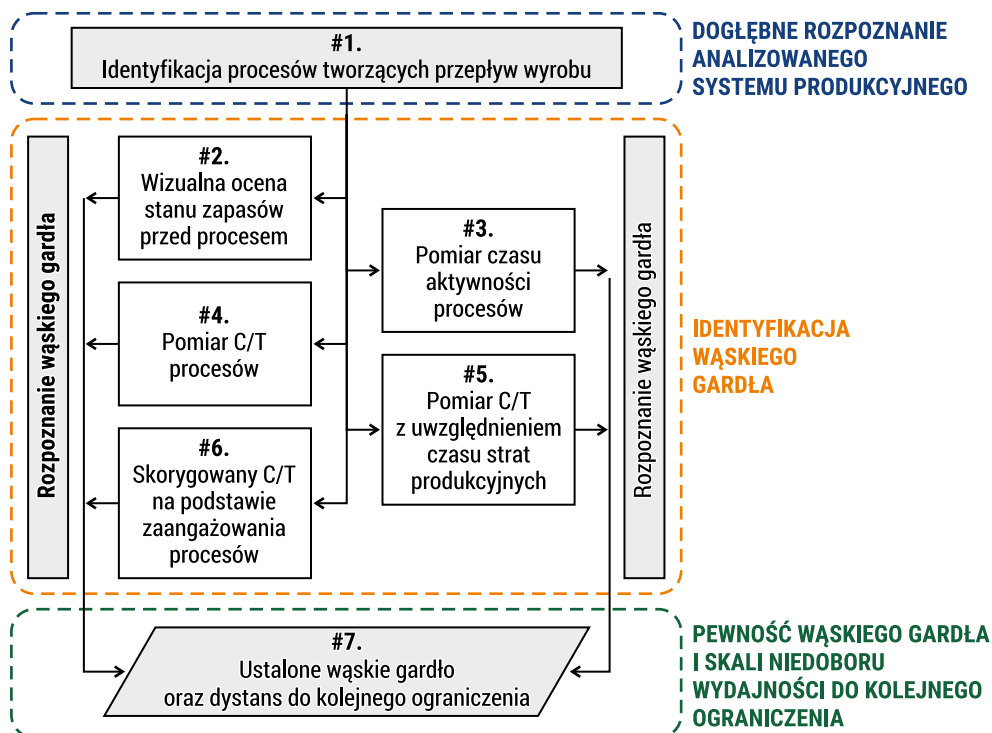
Ostateczna forma metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej została opracowana na podstawie przeprowadzonych studiów przypadków i przedstawiona na rysunku 4.5.

Metodykę identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej można podzielić na trzy etapy, w których należy podjąć działania: (1) dogłębne rozpoznanie analizowanego systemu produkcyjnego, (2) identyfikacja wąskiego gardła oraz (3) określenie pewności wąskiego gardła i skali niedoboru wydajności do ograniczenia następnego poziomu. Łącznie metodyka obejmuje siedem kroków, a mianowicie:

- #1. Identyfikacja procesów tworzących przepływ wyrobów.
- #2. Wizualna ocena stanu zapasów przed procesem.
- #3. Pomiar czasu aktywności procesów.
- #4. Pomiar C/T procesów.
- #5. Pomiar C/T z uwzględnieniem czasu strat produkcyjnych.
- #6. Skorygowany C/T na podstawie zaangażowania procesów.
- #7. Ustalone wąskie gardło oraz dystans do kolejnego ograniczenia.

Szczegółowy opis każdego z kroków jest przedstawiony w podrozdziale 4.1. Na podstawie studiów przypadków przeprowadzonych w ramach badań nad identyfikacją ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej stwierdzono, że jedną z proponowanych metod, jaką była wizualna ocena bezczynności procesów, należy wyeliminować. Metoda ta opiera się na tym samym sposobie oceny zebranych

danych co metoda pomiaru czasu aktywności procesów. Oba podejścia wykorzystują identyczny sposób oceny zebranych informacji, co skłoniło do odrzucenia jednej z nich na rzecz metody, jaką jest pomiar czasu aktywności procesów.



RYSUNEK 4.5. Metodyka identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej

ŹRÓDŁO: opracowanie własne.

W obu badanych przypadkach nie wszystkie wykorzystane metody wskazywały ten sam proces jako wąskie gardło. To oznacza, że zastosowanie pojedynczej metody może prowadzić do nieprawidłowego wyznaczenia wąskiego gardła. Należy więc stwierdzić, że identyfikacja wąskiego gardła jest pewnego rodzaju wyzwaniem praktycznym. Proponowana metodyka identyfikacji ograniczeń w branży poligraficznej rozwiązuje problem wykrywania wąskich gardeł w systemie.

Studia przypadków przeprowadzone w ramach niniejszej pracy miały na celu zbadanie możliwości zastosowania metodyki identyfikacji wąskiego gardła w praktycznie funkcjonujących przedsiębiorstwach poligraficznych, a także zebranie wielu dodatkowych informacji pozwalających na uzupełnienie i uszczegółowienie proponowanego podejścia.

W wyniku przeprowadzonych analiz zidentyfikowano wąskie gardło w każdym zbadanym systemie produkcyjnym. Jednak, aby dokładnie zweryfikować wyniki

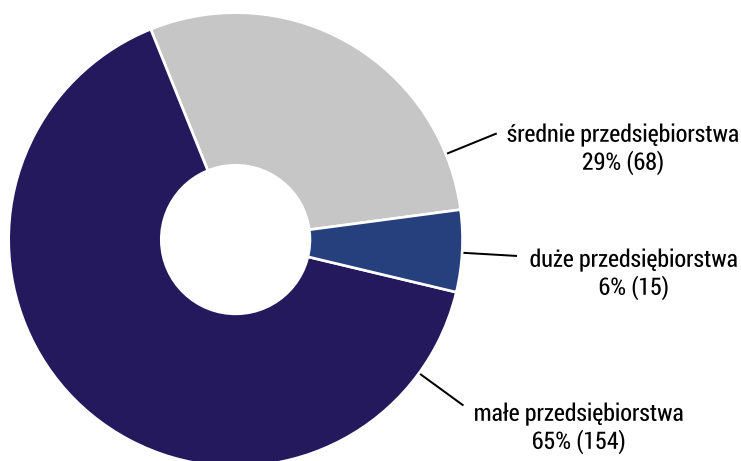
uzyskane z wykorzystaniem jednej metody, konieczne było zastosowanie dodatkowych metod wykorzystujących inne sposoby oceny procesów, a następnie ich zestawienie. Dzięki takiemu podejściu udało się potwierdzić skuteczność zastosowanych metod i dokładnie zidentyfikować miejsca wymagające poprawy, tak aby zwiększyć przepływ w systemie produkcyjnym przedsiębiorstwa. W ten sposób przeprowadzone studia przypadków stanowią potwierdzenie hipotezy, że **identyfikacja wąskiego gardła systemu produkcyjnego w branży poligraficznej wymaga wielokrotnego potwierdzenia z wykorzystaniem metod opartych na różnych parametrach tego systemu.**

Wyniki przeprowadzonych studiów przypadków w branży poligraficznej jednoznacznie potwierdzają, że metodyka identyfikacji ograniczeń jest skutecznym narzędziem, które może być z powodzeniem stosowane w praktycznie funkcjonujących systemach produkcyjnych. W obu przypadkach metodyka ta pozwoliła na trafną identyfikację wąskiego gardła w procesie produkcyjnym, co w kolejnych krokach umożliwi podjęcie działań na rzecz poprawy wydajności systemu. Zastosowanie opracowanej metodyki może przyczynić się również do poprawy konkurencyjności przedsiębiorstw poprzez zwiększenie wydajności ich procesów produkcyjnych. Przeprowadzone studia przypadków pozwoliły na praktyczne zastosowanie metodyki identyfikacji wąskiego gardła w realnych warunkach i potwierdziły jej skuteczność w branży poligraficznej.

5. Gotowość przedsiębiorstw poligraficznych do identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych – wyniki badań ilościowych

5.1. Charakterystyka badanej próby

Jak już wcześniej wspomniano, badania zostały przeprowadzone wśród przedsiębiorstw zarejestrowanych w sekcji C Polskiej Klasyfikacji Działalności – Przetwórstwo przemysłowe, w dziale 18 – Poligrafia i reprodukcja zapisanych nośników informacji, w klasach 18.12 – Pozostałe drukowanie, 18.13 – Działalność usługowa związana z przygotowywaniem do druku, oraz 18.14 – Introligatorstwo i podobne usługi. Kwestionariusz ankiety został wypełniony przez 237 przedsiębiorstw różnej wielkości. Strukturę badanych przedsiębiorstw przedstawiono na rysunku 5.1.

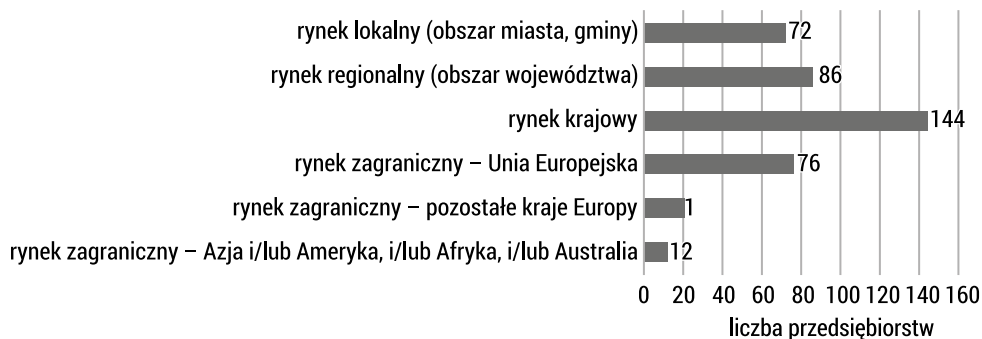


RYSUNEK 5.1. Struktura zbadanych przedsiębiorstw ze względu na ich wielkość

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Zdecydowana większość respondentów biorących udział w badaniu pochodziła z sektora małych przedsiębiorstw, zatrudniających od 10 do 50 pracowników (154 podmioty). Najmniej liczną grupę stanowiły duże przedsiębiorstwa, zatrudniające ponad 250 pracowników (15 podmiotów), jednak ze względu na obecność na rynku branży poligraficznej w 2020 roku zaledwie 18²²⁴ przedstawicieli tej grupy należy uznać, iż jest to najlepiej rozpoznana grupa zbadanych podmiotów. Ostatnia z analizowanych grup liczyła 68 respondentów, a byli to przedstawiciele średnich przedsiębiorstw, zatrudniających od 50 do 249 pracowników. Przedstawiona struktura zbadanych przedsiębiorstw odzwierciedla udział wielkości podmiotów w branży poligraficznej, w której zdecydowanie dominuje sektor małych przedsiębiorstw. Zależność ta została potwierdzona również w raporcie *Rynek poligraficzny i opakowań z nadrukiem w Polsce*²²⁵ opracowanym przez Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga. W zrealizowanym badaniu ankietowym nie uwzględniono sektora mikroprzedsiębiorstw, zatrudniających poniżej 10 pracowników, ze względu na niskie zaawansowanie technologiczne tychże podmiotów. Ponadto należy zauważyć, że znaczną część przedstawicieli tej grupy stanowią punkty ksero, w przypadku których różnorodność i stopień zaawansowania realizowanych procesów są znacznie ograniczone.

W badaniu zwrócono uwagę na obszar prowadzonej przez przedsiębiorstwa działalności. Uwzględniono zarówno zasięg krajowy, jak i zagraniczny. Zróżnicowanie badanej próby pod względem zasięgu terytorialnego prowadzonej działalności przedstawiono na rysunku 5.2.



RYSUNEK 5.2. Zasięg terytorialny działalności zbadanych przedsiębiorstw

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Dominującym rynkiem dla 144 przedsiębiorstw poligraficznych był rynek krajowy. Spośród zbadanych przedsiębiorstw 72 respondentów prowadziło działalność na terenie gminy lub miasta, a 86 w obszarze swojego województwa. jeśli chodzi o współpracę zagraniczną, 76 przedsiębiorstw wykazywało aktywność na rynkach

²²⁴ Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl> [dostęp: 10.01.2023].

²²⁵ Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny...*, s. 25.

państw UE, a 21 współpracowało z krajami europejskimi, które nie są państwami członkowskimi UE. Dodatkowo 12 podmiotów zadeklarowało współpracę z rynkami azjatyckim i/lub amerykańskim, i/lub afrykańskim, i/lub australijskim.

5.2. Ocena potencjału przedsiębiorstw do identyfikacji ograniczeń

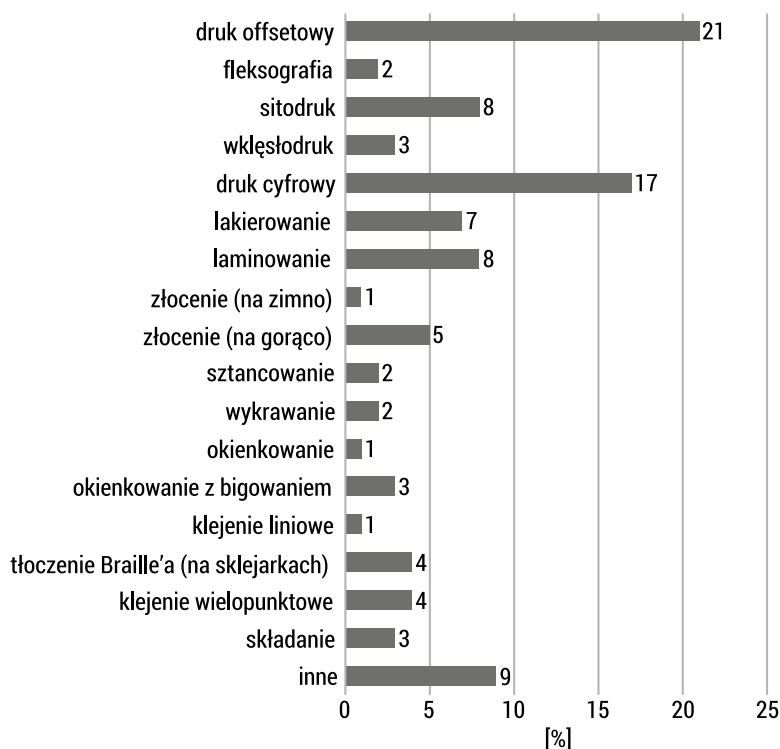
Analizowana część ankiety miała na celu pozyskanie informacji na temat wąskiego gardła oraz poziomu trudności jego wyznaczania w przedsiębiorstwie. Poniżej zaprezentowano odpowiedzi uzyskane od respondentów.

Proces produkcyjny jako obecne wąskie gardło w przedsiębiorstwach

W badaniu ankietowym poproszono respondentów o wskazanie procesu produkcyjnego, który ich zdaniem stanowi aktualnie wąskie gardło w przepływie produkcyjnym. Lista potencjalnych wąskich gardeł została opracowana na podstawie szczegółowego przeglądu literatury branżowej oraz raportów analizujących rynek poligraficzny w Polsce. W ramach tego pytania wyszczególniono 17 procesów produkcyjnych oraz uwzględniono możliwość podania własnej odpowiedzi. Otrzymane wyniki zaprezentowano na rysunku 5.3.

Analiza uzyskanych wyników pokazuje, że proces druku offsetowego jest najczęściej wskazywanym wąskim gardłem w przepływie produkcyjnym badanych przedsiębiorstw. Wskazało na niego 21% podmiotów biorących udział w badaniu. Ponadto 17% respondentów zadeklarowało jako wąskie gardło druk cyfrowy. Wskazane przez ankietowanych procesy produkcyjne można uznać za jedno z głównych technik druku. Są to również procesy, które odbywają się w początkowej fazie produkcji. Mimo że charakteryzują się wysoką wydajnością, według respondentów stanowią obecnie wąskie gardła. Wysoki procent wskazań respondentów może świadczyć o tym, że są to działania wymagające długiego czasu przezbrajania. Procesy sitodruku, lakierowania czy laminowania wskazało po 7–8% ankietowanych, natomiast pozostałe zostały wybrane przez pojedyncze podmioty, a ich udział procentowy zawiera się w przedziale 1–5%. Z możliwości podania własnego wariantu odpowiedzi skorzystało 21 podmiotów, co stanowi 9% całej populacji. Sformułowane przez nich odpowiedzi dotyczyły następujących procesów: falcowanie (złożenie większego arkusza papieru w mały), oprawa druku, konfekcja, rozpakowywanie i zapakowywanie, wykonywanie okładek do oprawy twardej, a także oprawa i szycie. Dodatkowo jeden podmiot swoją odpowiedź sformułował jako: „Nie mam zdania”. Interesujący jest jednak fakt, że spośród wspomnianych 21 podmiotów aż 15 wskazało, że w ich przedsiębiorstwie nie występuje *żadne* wąskie gardło w przepływie produkcji. Może to świadczyć o tym, że menedżerowie mają ograniczoną wiedzę na temat wąskiego gardła. Przeprowadzone badania pogłębione wykazały, że różne metody identyfikacji wąskiego gardła mogą prowadzić do odmiennych wyników i odpowiedzi. Dodatkowo uzyskane wyniki

mogą wskazywać, że w badanych podmiotach występują ograniczenia znajdujące się poza przepływem produkcji.



RYSUNEK 5.3. Obecne wąskie gardło w przepływie produkcji badanych przedsiębiorstw

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Aby lepiej zrozumieć, który proces jest wąskim gardłem w przedsiębiorstwach o różnej wielkości, dokonano analizy zgromadzonych wyników w poszczególnych grupach podmiotów. Pozwoliło to zauważyć różnice pomiędzy badanymi jednostkami i wyciągnąć wnioski. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 5.1.

Uczestniczący w badaniu przedstawiciele małych przedsiębiorstw najczęściej jako wąskie gardło wskazywali druk offsetowy (25%) i druk cyfrowy (17%). Te same procesy produkcyjne były również najczęściej zaznaczane przez przedstawicieli średnich podmiotów i uzyskały odpowiednio 15% i 19% wskazań. Biorąc pod uwagę doniesienia z najnowszego raportu poligraficznego²²⁶, można stwierdzić, są to dwie najpopularniejsze technologie wykorzystywane przez przedsiębiorstwa poligraficzne. Z kolei respondenci reprezentujący duże przedsiębiorstwa zwrócili uwagę na zupełnie inne działania, uznając je za wąskie gardło w przepływie produkcji. Najwięcej ankietowanych wskazało wkłęsłodruk (27%) i tłoczenie Braille'a (na sklejkach) (20%). Warto

²²⁶ Ibidem, s. 58.

zwrócić uwagę, że niektóre procesy produkcyjne, które mogłyby być potencjalnymi wąskimi gardłami, nie uzyskały żadnych wskazań. Taka sytuacja miała miejsce przede wszystkim w dużych podmiotach (ponad 50% wariantów odpowiedzi). Różnice obserwowane pomiędzy poszczególnymi grupami przedsiębiorstw mogą mieć związek ze skalą produkcji, wykorzystywanymi technologiami i stopniem ich zaawansowania, a także specjalizacją zakładów produkcyjnych.

TABELA 5.1. Wielkość przedsiębiorstwa a proces produkcyjny stanowiący obecnie wąskie gardło w przepływie produkcji

Proces produkcyjny, który jest obecnie wąskim gardłem	Udział procentowy wskazań z przebadanej liczby przedsiębiorstw		
	małe (154)	średnie (68)	duże (15)
Druk offsetowy	25%	15%	7%
Fleksografia	3%	—	7%
Sitodruk	6%	12%	7%
Wklęsłodruk	3%	—	27%
Druk cyfrowy	17%	19%	7%
Lakierowanie	8%	6%	—
Laminowanie	8%	10%	—
Złocenie (na zimno)	1%	3%	—
Złocenie (na gorąco)	3%	6%	13%
Sztancowanie	3%	—	—
Wykrawanie	1%	3%	—
Okienkowanie	1%	1%	—
Okienkowanie z bigowaniem	3%	4%	—
Klejenie liniowe	—	4%	—
Tłoczenie Braille'a (na sklejkach)	3%	1%	20%
Klejenie wielopunktowe	4%	3%	7%
Składanie	4%	—	—
Inne	8%	12%	—

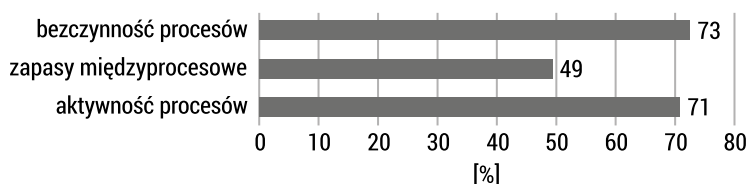
ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Na wskazanie innego procesu produkcyjnego, który jest wąskim gardłem w przepływie produkcji zdecydowało się 8% małych i 12% średnich przedsiębiorstw. Duże podmioty nie wyraziły własnego zdania na ten temat. Sformułowane indywidualnie odpowiedzi respondentów małych przedsiębiorstw to: falcowanie (złożenie większego arkusza papieru w mały), konfekcja, rozpakowywanie i zapakowywanie oraz oprawa

i szycie. Dodatkowo 12 podmiotów wskazało, że nie występuje w ich przypadku żadne wąskie gardło. Z kolei odpowiedzi średnich przedsiębiorstw to: oprawa druku, wykonywanie okładek do oprawy twardej i „nie mam zdania”. Trzy podmioty wskazały natomiast, że nie występuje u nich wąskie gardło.

Obserwacja procesu produkcyjnego

W kolejnym kroku badania ankietowego respondenci zostali zapytani o systematyczność i celowość obserwacji procesu produkcyjnego pod kątem trzech wskaźników. Dla każdego z nich oczekiwano odpowiedzi „tak” lub „nie”. W pytaniu nie przewidziano możliwości uzupełnienia listy o własne odpowiedzi. Działanie to było zamierzone, ponieważ to i następne pytanie miało na celu sprawdzenie uniwersalności opracowanej autorskiej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemie produkcyjnym (opisanej w rozdziale 4). Uniwersalność jest rozumiana jako możliwość przeprowadzenia analiz na podstawie danych historycznych przedsiębiorstw z branży poligraficznej. Dlatego też w tym przypadku proponowane warianty odpowiedzi odnosiły się tylko do elementów uwzględnionych w opracowanej metodyce. Uzyskane wyniki związane z obserwacją procesu produkcyjnego zaprezentowano na rysunku 5.4.



RYSUNEK 5.4. Systematyczność i celowość obserwacji procesu produkcyjnego

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Odpowiedzi respondentów wskazują na systematyczne i celowe obserwowanie procesu produkcyjnego. Ponad 70% przedsiębiorstw monitoruje procesy pod kątem ich beczynności, rozumianej jako najkrótszy czas przebywania procesu w stanie nieaktywnym, oraz pod kątem aktywności procesów, czyli najdłuższego czasu przebywania procesu w stanie aktywnym. Dodatkowo około 50% podmiotów monitoruje wielkość zapasów międzyprocesowych.

Głębsze analizy zebranych wyników pozwoliły na wyciągnięcie bardzo interesujących wniosków na temat systematyczności i celowości obserwacji procesu produkcyjnego w poszczególnych grupach respondentów. Okazuje się, że im większe przedsiębiorstwo, tym częściej prowadzona jest obserwacja procesu pod kątem analizowanych w pytaniu wskaźników. Podsumowanie zebranych danych przedstawiono w tabeli 5.2.

TABELA 5.2. Wielkość przedsiębiorstwa a systematyczność i celowość obserwacji procesu produkcyjnego

Obserwacja procesu produkcyjnego pod kątem:	Udział procentowy wskazań z przebadanej liczby przedsiębiorstw		
	małe (154)	średnie (68)	duże (15)
Bezczynności procesów	64%	81%	87%
Zapasów międzyprocesowych	45%	54%	73%
Aktywności procesów	66%	85%	93%
Wszystkie trzy odpowiedzi	32%	49%	73%

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

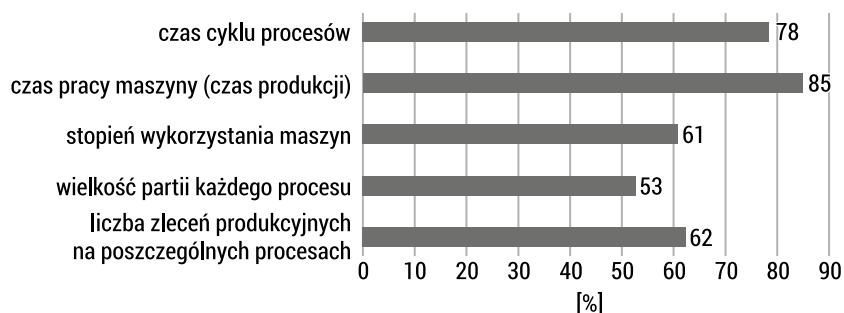
Bez względu na wielkość podmiotu, systematyczna i celowa obserwacja aktywności procesów produkcyjnych jest najczęściej monitorowanym wskaźnikiem, wybranym przez 66% małych, 85% średnich i 93% dużych przedsiębiorstw. Małe podmioty równie często (64% wskazań) obserwują proces pod kątem jego beczynności. Jeśli chodzi o pozostałe grupy, wskaźnik ten monitoruje 81% średnich i 87% dużych przedsiębiorstw. Podmioty poddane badaniu w najmniejszym stopniu obserwują proces pod kątem zapasów międzyprocesowych – 45% wskazań w przypadku małych, 54% w przypadku średnich i 73% wskazań w przypadku dużych przedsiębiorstw. Obserwacja wszystkich trzech analizowanych wskaźników jest prowadzona przez 32% małych, 49% średnich i 73% dużych podmiotów. Na podstawie otrzymanych wyników badań można wnioskować, że obserwacja procesu produkcyjnego pod kątem jego beczynności, aktywności, a także zapasów produkcji w toku jest prowadzona przez przedsiębiorstwa niezależnie od ich wielkości. Wyraźnie widać jednak, że procentowy udział wskazań jest zdecydowanie największy w dużych podmiotach, co może być związane z powszechniejszym wykorzystywaniem przez nie różnego rodzaju systemów zarządzania produkcją, których skuteczność zależy od odpowiedniego doboru i analizy wskaźników pozwalających określić efektywność pracy zakładów produkcyjnych.

Parametry procesu produkcyjnego

Kolejną kwestią, z którą zwrócono się do respondentów w badaniu kwestionariuszowym, była systematyczność gromadzenia i analizy różnych parametrów procesu. Poproszono o zaznaczenie odpowiedzi „tak” lub „nie” przy pięciu zaproponowanych parametrach. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 5.5.

Analiza uzyskanych wyników pokazuje, że najwięcej wskazań respondentów (85%) dotyczyło zbierania i analizy danych na temat czasu pracy maszyny (czasu produkcji). Niewiele mniej, bo 78% wskazań, zanotowano dla odpowiedzi „czas cyklu procesów”. Ponad 60% przedsiębiorstw zbiera i analizuje dane dotyczące stopnia wykorzystania maszyn oraz liczby zleceń produkcyjnych w odniesieniu do poszczególnych procesów.

Najmniejszy procent wskazań (mimo to bardzo wysoki, bo wynoszący 53%) uzyskano dla parametru związanego z wielkością partii każdego procesu.



RYSUNEK 5.5. Parametry procesu produkcyjnego analizowane przez badane przedsiębiorstwa

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Odpowiedzi respondentów zdecydowanie wskazują, że badane przedsiębiorstwa gromadzą, a następnie poddają szczegółowym analizom wszystkie wymienione w rozpatrywanym pytaniu parametry procesu produkcyjnego. Uzyskany procent wskazań w przypadku każdego z parametrów utrzymuje się na wysokim poziomie i wynosi ponad 50%.

Pogłębiona analiza wyników, uwzględniająca wielkość badanych przedsiębiorstw, pozwoliła na zaobserwowanie zależności pokazującej, że im większe przedsiębiorstwo, tym systematyczność zbierania i analizy parametrów procesu jest częściej praktykowana. Rozkład procentowy uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 5.3.

TABELA 5.3. Wielkość przedsiębiorstwa a systematyczność zbierania i analizy parametrów procesu

Zbierane i analizowane parametry procesu	Udział procentowy wskazań z przebadanej liczby przedsiębiorstw		
	małe (154)	średnie (68)	duże (15)
Czas trwania cyklu procesów	73%	88%	87%
Czas pracy maszyny (czas produkcji)	82%	90%	93%
Stopień wykorzystania maszyn	53%	78%	73%
Wielkość partii każdego procesu	46%	62%	80%
Liczba zleceń produkcyjnych na poszczególnych procesach	51%	82%	87%
Wszystkie pięć odpowiedzi	24%	46%	67%

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Zdecydowanie najczęściej zbieranym i analizowanym parametrem procesu jest czas pracy maszyny (czas produkcji). Udział procentowy wskazań w małych przedsiębiorstwach wynosi w tym przypadku 82%, w średnich 90%, a w dużych 93%. Kolejny często zbierany i analizowany parametr to czas trwania cyklu procesów, który uzyskał odpowiednio 73% wskazań w małych, 88% w średnich i 87% w dużych przedsiębiorstwach. Należy podkreślić, że kolejność stosowania wymienionych w pytaniu parametrów procesu, ustalona na podstawie udziału procentowego wskazań respondentów, jest podobna w każdej zbadanej grupie przedsiębiorstw. Najrzadziej rejestrowanym spośród branych pod uwagę parametrów w grupie małych i średnich podmiotów jest wielkość partii każdego procesu (udział wskazań wynosi odpowiednio 46% i 62%), natomiast w grupie dużych jednostek jest to stopień wykorzystania maszyn (73%). Około 51% małych podmiotów systematycznie zbiera i analizuje informacje związane z liczbą zleceń produkcyjnych na poszczególnych procesach, pozostałe grupy przedsiębiorstw monitorują zaś ten parametr z dużo wyższym nasileniem, wynoszącym 82% w średnich oraz 87% w dużych podmiotach. Zbieranie i poddawanie analizie informacji na temat wszystkich pięciu badanych parametrów zostało zadeklarowane przez 24% małych, 46% średnich i 67% dużych podmiotów.

Wyniki badań jednoznacznie wskazują na przewagę liczby odpowiedzi potwierdzających gromadzenie informacji na temat parametrów procesu, zwłaszcza w przypadku dużych przedsiębiorstw. Warto zauważyć, że wymienione możliwości odpowiedzi, takie jak czas trwania cyklu procesów, czas pracy maszyn, wielkości partii itd., stanowią podstawowe parametry procesu obrazujące aktualny stan przedsiębiorstwa. Istotne jest jednak także podkreślenie, że nie wszystkie podmioty monitorują i analizują te parametry lub skupiają się jedynie na niektórych z nich. Bez tych podstawowych, ale zarazem bardzo ważnych informacji, przedsiębiorstwo nie jest w stanie skutecznie ocenić przepływu produkcyjnego ani zidentyfikować wąskich gardeł. Aby doskonalić i rozwijać przepływ produkcyjny, niezbędne jest nieustanne monitorowanie i analizowanie podstawowych parametrów procesów. To kluczowe działanie, które umożliwia przedsiębiorstwu uzyskanie pełniejszego obrazu swojej działalności, identyfikację obszarów do usprawnienia oraz podejmowanie celowanych działań mających na celu eliminację wąskich gardeł i poprawę efektywności całego systemu produkcyjnego.

Straty procesu produkcyjnego

Ostatnim badanym zagadnieniem były straty procesu produkcyjnego, o których przedsiębiorstwa zbierają pełną informację. Poproszono respondentów o zaznaczenie odpowiedzi „tak” lub „nie” przy siedmiu propozycjach strat, a także o podanie innych, które nie zostały wymienione na liście odpowiedzi, a są monitorowane w przedsiębiorstwie. Otrzymane wyniki zaprezentowano na rysunku 5.6.

Zdecydowanie najczęściej wskazywaną przez respondentów stratę procesu produkcyjnego, o której zbierane są pełne informacje, stanowią awarie. Monitoruje je 91% wszystkich zbadanych przedsiębiorstw. Niewiele mniej, bo 82% podmiotów, wskazało na odpowiedź „naprawy”. Kolejną istotną stratą procesu, odnośnie do której

informacje są zbierane przez 66% zbadanych przedsiębiorstw, to wyroby niespełniające wymagań jakościowych, natomiast 59% respondentów wskazało na odpowiedź „czas oczekiwania”. Strata ta występuje na różnych etapach procesu. Na podstawie przeprowadzonych studiów przypadków, opisanych w rozdziale 5, można wyróżnić między innymi czas oczekiwania związany z akceptacją klienta lub czas oczekiwania na informację zwrotną, na przykład z działu graficznego. Pozostałe warianty odpowiedzi uzyskały porównywalną liczbę wskazań, kształtującą jej udział procentowy na poziomie około 49–51%.



RYSUNEK 5.6. Straty procesu produkcyjnego monitorowane przez badane przedsiębiorstwa

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

W przeprowadzonym badaniu tylko cztery podmioty z 237 uczestniczących w ankiecie zdecydowały się na wskazanie innej niż wymienione w pytaniu straty procesu produkcyjnego. Sformułowane odpowiedzi to: druk niespełniający wymagań klientów występujący na początku i końcu pracy maszyny offsetowej (makulatura), czas trwania czasu nieprodukcyjnego na maszynie (zatrzymanie maszyny), reklamacje, wady przy dostawie.

Należy zauważyć, że straty produkcyjne są powszechnym, często występującym zjawiskiem w przedsiębiorstwach. Co więcej, respondenci wskazali też straty spoza listy zaproponowanych. Przeprowadzone studia przypadków jednoznacznie wskazują, że obecność tych strat znacząco utrudnia identyfikację wąskich gardeł.

W celu przeprowadzenia głębszej analizy uzyskanych wyników określono udział wskazań w poszczególnych grupach zbadanych przedsiębiorstw. Tak jak i w poprzednich pytaniach, w tym przypadku również zauważono różnice pomiędzy podmiotami o różnej wielkości. Udział procentowy uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 5.4.

Bez względu na wielkość podmiotu, najczęściej wskazywaną stratą były awarie, przy czym w przypadku dużych przedsiębiorstw odsetek odpowiedzi wyniósł aż 100%. Grupa ta również wysoki wynik uzyskała jeszcze w odniesieniu do monitorowania strat dotyczących czasu oczekiwania oraz czasu przezbierania maszyn. Pozostałe zawarte w pytaniu odpowiedzi również osiągnęły bardzo wysoki procentowy udział wskazań, bo aż na poziomie 93% – 14 z 15 dużych przedsiębiorstw zaznaczyło odpowiedź „tak”.

W przypadku małych i średnich przedsiębiorstw można zauważyć podobną tendencję odnoszącą się do kolejności odpowiedzi według udziału procentowego. Oprócz awarii kolejnymi najczęściej rejestrowanymi stratami w tych grupach podmiotów były naprawy i wyroby niespełniające standardów jakościowych, które uzyskały odpowiednio następujące wartości procentowe: grupa małych przedsiębiorstw – 79% i 61%, a grupa średnich przedsiębiorstw – 85% i 74%. Pozostałe możliwe do wyboru straty procesu produkcyjnego w małych przedsiębiorstwach uplasowały się w przedziale 42–48%, natomiast w średnich 51–60%. Biorąc pod uwagę przedsiębiorstwa, które podczas badania kwestionariuszowego zaznaczyły, że zbierają pełne informacje na temat wszystkich wymienionych w pytaniu strat, należy stwierdzić, że takie działania prowadzi 23% małych, 34% średnich i 80% dużych podmiotów.

TABELA 5.4. Wielkość przedsiębiorstwa a zbieranie pełnych informacji o stratach procesu produkcyjnego

Monitorowane straty procesu produkcyjnego	Udział procentowy wskazań z przebadanej liczby przedsiębiorstw		
	małe (154)	średnie (68)	duże (15)
Awarie	88%	96%	100%
Naprawy	79%	85%	93%
Czyszczenie maszyny	42%	60%	93%
Czas oczekiwania	48%	74%	100%
Ustawienie maszyn	42%	54%	93%
Czas przezbierania maszyn	45%	51%	100%
Wyroby niespełniające wymagań jakościowych	61%	74%	93%
Inne	1%	1%	13%
Wszystkie siedem odpowiedzi	23%	34%	80%

ŹRÓDŁO: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Analizując wskazane przez respondentów dodatkowe straty procesu produkcyjnego, można zaobserwować, że są one monitorowane przede wszystkim w dużych przedsiębiorstwach. Dwa podmioty z tej grupy (13%) zdecydowały się na uzupełnienie zawartej w pytaniu listy strat, a wśród ich odpowiedzi znalazły się: druk niespełniający wymagań klientów występujący na początku i końcu pracy maszyny offsetowej (makulatura) oraz czas trwania czasu nieprodukcyjnego na maszynie (zatrzymanie maszyny). Pozostałe odpowiedzi zostały podane przez jedno małe (wady przy dostawie) i jedno średnie (reklamacje) przedsiębiorstwo.

W przedsiębiorstwach uczestniczących w badaniu, niezależnie od ich wielkości, są zbierane wszystkie zaproponowane straty procesu produkcyjnego, jednak ma to miejsce z różnym nasileniem – wyraźnie więcej wskazań pojawiało się w dużych podmiotach. Może to wynikać między innymi z posiadania większej ilości zasobów (finansowych, ludzkich i technologicznych) do zbierania i analizowania danych.

Podsumowując uzyskane wyniki z badania ankietowego, należy stwierdzić, że przedsiębiorstwa produkcyjne zmagają się z różnymi wąskimi gardłami w swoich procesach. Odpowiedzi respondentów zdecydowanie wskazują na prowadzenie przez nich działań związanych z obserwacją procesu produkcyjnego, zbieraniem i analizą różnych parametrów procesu oraz strat produkcyjnych. Jak już wcześniej opisano w rozdziale 4, opracowana metodyka identyfikacji ograniczeń nie wymaga zastosowania wszystkich zawartych w niej metod identyfikacji wąskiego gardła, dlatego też można założyć, że jest to narzędzie uniwersalne, które może być stosowane zarówno przez małe, średnie, jak i duże przedsiębiorstwa poligraficzne.

Podsumowanie

Identyfikacja ograniczeń jest niezwykle ważnym krokiem w teorii ograniczeń (TOC), która skupia się na rozpoznawaniu kluczowych czynników ograniczających system. Poprzez dokładne określenie tych ograniczeń przedsiębiorstwa są w stanie skierować swoje wysiłki na ich eliminację lub złagodzenie, co prowadzi do znaczącej poprawy całego systemu. Identyfikacja ograniczeń jest kluczowa dla doskonalenia procesów i osiągania doskonałości operacyjnej, ponieważ umożliwia organizacjom skuteczne działanie i podejmowanie trafnych decyzji w celu zwiększenia efektywności oraz realizacji strategicznych celów.

Sformułowany w monografii problem badawczy dotyczył **prawidłowej identyfikacji ograniczenia w systemie produkcyjnym charakteryzującym się dużą różnorodnością wyrobów i zróżnicowanym przepływem produkcji**. Aby rozwiązać problem badawczy wyznaczono cel główny, którym było **opracowanie metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych typowych dla branży poligraficznej**. Dodatkowo w monografii wskazano pięć szczegółowych celów badawczych, które zostały zrealizowane w kolejnych rozdziałach niniejszej pracy.

Pierwszy cel szczegółowy monografii, polegający na **syntezie obecnej wiedzy na temat teorii ograniczeń, metod identyfikacji wąskich gardeł oraz systemów produkcyjnych**, zrealizowano poprzez szerokie studia literaturowe, których wyniki przedstawiono w pierwszych dwóch rozdziałach monografii. Usystematyzowano wiedzę dotyczącą organizacji i zarządzania produkcją, a także TOC. Uporządkowano terminologię związaną z pojęciami wąskiego gardła oraz ograniczenia. Na potrzeby monografii opracowano również autorskie interpretacje tych terminów. Dodatkowo przeprowadzono systematyzację dostępnej w literaturze wiedzy dotyczącej metod identyfikacji wąskich gardeł, co miało wpływ na osiągnięcie trzeciego celu szczegółowego, jakim było **opracowanie koncepcyjne metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej**. Szczegółowy schemat metodyki został przedstawiony w rozdziale czwartym niniejszej monografii. Opracowane założenia stanowiły podstawę do przeprowadzenia badań empirycznych. Przeanalizowanie literatury naukowej w rozdziale pierwszym i drugim pozwoliło na przeprowadzenie wnioskowania, które następnie zostało wykorzystane do zaplanowania procesu badawczego oraz opracowania narzędzi badawczych.

W trzecim rozdziale przeprowadzono charakterystykę branży poligraficznej. Omówiono strukturę przedsiębiorstw w zależności od ich wielkości, dokonano analizy generowanych obrotów, omówiono różne technologie produkcji oraz wpływ branży

poligraficznej na środowisko w kontekście ekologii. Stwierdzono, że przedsiębiorstwa stawiają sobie ambitne cele na nadchodzące lata, motywowane potrzebą konkurencyjności i rosnącymi oczekiwaniami klientów. W odpowiedzi na te wyzwania podejmują kolejne inicjatywy mające na celu poprawę ich pozycji na rynku. Istotnym priorytetem inwestycyjnym przedsiębiorstw jest zwiększenie ogólnej efektywności prowadzonej przez nich działalności. Wykonane w pracy działania umożliwiły realizację drugiego celu badawczego, który polegał na **analizie branży poligraficznej w Polsce**.

Do realizacji czwartego celu badawczego, związanego z **empiryczną weryfikacją i rozwinięciem metodyki identyfikacji ograniczeń systemu produkcyjnego poprzez pogłębione studia w wybranych przedsiębiorstwach**, wykorzystano założenia z rozdziałów czwartego i piątego. W rozdziale czwartym opisano studia przypadków, w których praktycznie zastosowano koncepcję metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych dwóch wybranych przedsiębiorstw z branży poligraficznej. Studia przypadków dały potwierdzenie, ale też i uszczegółowienie opracowanej koncepcji metodyki, co nie byłoby możliwe do ustalenia bez przeprowadzenia badań pogłębionych. Przeprowadzone badania wykazały, że każdy z kroków metodyki jest możliwy do zastosowania w systemie produkcyjnym, przy czym nie jest wymagane stosowanie wszystkich kroków jeden po drugim. Kontynuowanie poszukiwań wąskiego gardła powinno trwać do momentu, gdy menedżer osiągnie pewność co do tego, że dany proces jest rzeczywiście wąskim gardłem systemu oraz uzyska istotne parametry, które pozwolą określić dystans do kolejnego ograniczenia. W celu zapewnienia prawidłowego przebiegu wdrożenia TOC i spełnienia powyższych warunków zaproponowano listę składającą się z pięciu pytań. Uzyskanie na nie samych pozytywnych odpowiedzi daje podstawę do zakończenia działań. W celu zaproponowania skutecznych działań eliminujących ograniczenie kluczowe jest określenie dystansu do kolejnego ograniczenia, dlatego przy wyborze metody ich identyfikacji należy koniecznie uwzględnić ten warunek.

Wyniki przeprowadzonych studiów przypadków jednoznacznie wskazują, że zastosowanie metody pomiaru czasu cyklu procesów stanowi fundament do podjęcia dalszych działań. Każda kolejna metoda wykorzystywana po tym kroku jest rozszerzeniem opartym na wynikach uzyskanych z omawianej metody. W wyniku empirycznej weryfikacji metodyki ustalono podobieństwo dwóch metod identyfikacji ograniczenia, które opierają się na tym samym sposobie oceny zebranych danych. W rezultacie jedna z tych metod została wyeliminowana. Rozdział czwarty zakończono opracowaniem ostatecznej postaci metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej. Tym samym zrealizowano piąty cel szczegółowy, jakim było **sformułowanie rekomendacji dotyczących zastosowania metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej**. Przeprowadzone studia przypadków stanowią potwierdzenie hipotezy, że **identyfikacja wąskiego gardła systemu produkcyjnego w branży poligraficznej wymaga wielokrotnego potwierdzenia z wykorzystaniem metod opartych na różnych parametrach systemu produkcyjnego**.

Empiryczna weryfikacja metodyki (cel czwarty) została wykonana również w rozdziale piątym niniejszej pracy, w którym przeprowadzono badania ilościowe. Część kwestionariusza ankiety zatytułowana *Ograniczenie przedsiębiorstwa* skupiła się między innymi na zbadaniu, czy przedsiębiorstwa podejmują działania związane z obserwacją systemu produkcyjnego, gromadzą i analizują różne parametry procesu oraz czy identyfikują czynniki, które mogą być określane jako straty produkcyjne. Elementy te stanowią integralną część metodyki identyfikacji ograniczeń. Na podstawie odpowiedzi respondentów można jednoznacznie stwierdzić, że badane przedsiębiorstwa rzeczywiście prowadzą takie działania. Można zatem przypuszczać, że narzędzie to może być wykorzystywane zarówno przez małe, średnie, jak i duże przedsiębiorstwa poligraficzne. Podsumowując, przeprowadzone studia przypadków, a także wyniki badania ilościowego jednoznacznie dowodzą o gotowości przedsiębiorstw do stosowania opracowanej metodyki, a także o jej skuteczności. Narzędzie to może być pomyślnie stosowane w realnie działających systemach produkcyjnych.

Ukazane w niniejszej pracy wyniki badań stanowią podstawę do dalszych rozważań i kolejnych eksploracji. Zgodnie z założeniami monografii opracowana metodyka została zweryfikowana wyłącznie w branży poligraficznej. Kolejnym kierunkiem badań może być weryfikacja skuteczności metodyki w innym sektorze przemysłowym. Podjęcie się takiego działania pozwoli ocenić potencjał adaptacji opracowanej metodyki identyfikacji ograniczeń do różnorodnych branż i systemów produkcyjnych. Rezultatem będzie natomiast rozszerzenie możliwości zastosowania metodyki identyfikacji ograniczeń, co pozwoli menedżerom na jej wykorzystanie w różnych sektorach przemysłowych.

Załącznik – autorski kwestionariusz badawczy

Szanowni Państwo,

zwracam się z uprzejmą prośbą o wypełnienie poniższej ankiety. Badanie ma na celu rozpoznanie stanu i możliwości wykorzystania teorii ograniczeń w branży poligraficznej.

Udział w badaniu jest anonimowy, a wskazane przez Państwa odpowiedzi zostaną wykorzystane wyłącznie do celów naukowych i przedstawione w postaci opracowań zbiorczych.

Dziękuję za udział w badaniu i udzielenie rzetelnych odpowiedzi na poniższe pytania. W przypadku pojawienia się jakichkolwiek pytań związanych z kwestionariuszem, teorią ograniczeń lub wynikami badań bardzo proszę o kontakt pod adresem: p.rogowska@pb.edu.pl.

Z wyrazami szacunku
mgr inż. Patrycja Rogowska

Ograniczenie przedsiębiorstwa

Poniższe odpowiedzi posłużą do ustalenia aktualnego wąskiego gardła systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa oraz poziomu trudności wyznaczania wąskiego gardła. **Wąskie gardło to ograniczenie, które ma miejsce w przepływie procesu produkcyjnego.**

1. Proszę wskazać proces produkcyjny, który według Państwa jest obecnie wąskim gardłem (dotyczy tylko przepływu produkcyjnego). (Proszę zaznaczyć tylko jedną odpowiedź. Dodatkowo można wpisać własny wariant odpowiedzi)	
Druk offsetowy	☐
Fleksografia	☐
Sitodruk	☐
Wklęsłodruk	☐
Druk cyfrowy	☐
Lakierowanie	☐
Laminowanie	☐
Złocenie (na zimno)	☐
Złocenie (na gorąco)	☐

Sztancowanie	☐
Wykrawanie	☐
Okienkowanie	☐
Okienkowanie z bigowaniem	☐
Klejenie liniowe	☐
Tłoczenie Braille'a (na sklejkach)	☐
Klejenie wielopunktowe	☐
Składanie	☐
Inny – jaki? (Proszę wymienić.)	☐

	TAK	NIE
2. Czy w sposób systematyczny i celowy prowadzą Państwo obserwację procesu produkcyjnego pod kątem: <i>(Proszę zaznaczyć odpowiedzi dla każdego wariantu)</i>		
Bezczynności procesów?	☐	☐
Zapasów międzyprocesowych?	☐	☐
Aktywności procesów?	☐	☐
3. Które parametry procesu są systematycznie zbierane oraz poddawane analizom? <i>(Proszę zaznaczyć odpowiedzi dla każdego wariantu)</i>		
Czas cyklu procesów	☐	☐
Czas pracy maszyny (czas produkcji)	☐	☐
Stopień wykorzystania maszyn	☐	☐
Wielkość partii każdego procesu	☐	☐
Liczba zleceń produkcyjnych na poszczególnych procesach	☐	☐
4. O których stratach procesu produkcyjnego zbierają Państwo pełną informację w przedsiębiorstwie? <i>(Proszę zaznaczyć odpowiedzi dla każdego wariantu. Dodatkowo można wpisać własne warianty odpowiedzi)</i>		
Awarie	☐	☐
Naprawy	☐	☐
Czyszczenie maszyny	☐	☐
Czas oczekiwania	☐	☐
Ustawienie maszyn	☐	☐
Czas przezbierania maszyn	☐	☐
Wyroby niespełniające wymagań jakościowych	☐	☐
Inne – jakie? (Proszę wymienić.)		

Dane o przedsiębiorstwie

1. Wielkość przedsiębiorstwa:

(Proszę zaznaczyć właściwy wariant)

- | |
|---|
| ☐ małe (<i>średnioroczny poziom zatrudnienia <50 osób; roczny obrót netto <10 mln EUR</i>) |
| ☐ średnie (<i>średnioroczny poziom zatrudnienia <250 osób; roczny obrót netto <50 mln EUR</i>) |
| ☐ duże (<i>średnioroczny poziom zatrudnienia >250 osób; roczny obrót netto >50 mln EUR</i>) |

2. Proszę wskazać zasięg działalności przedsiębiorstwa.

(Można zaznaczyć więcej niż jedną odpowiedź)

- | |
|--|
| ☐ rynek lokalny (obszar miasta, gminy) |
| ☐ rynek regionalny (obszar województwa) |
| ☐ rynek krajowy |
| ☐ rynek zagraniczny – Unia Europejska |
| ☐ rynek zagraniczny – pozostałe kraje Europy |
| ☐ rynek zagraniczny – Azja i/lub Ameryka, i/lub Afryka, i/lub Australia |

Bibliografia

1. Aczel A.D., *Statystyka w zarządzaniu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
2. AGI-Goldratt Institute, *Combining lean, Six Sigma and theory of constraints to achieve breakthrough performance* [w:] J.F. Cox III, J.G. Schleier, Jr. (red.), *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010.
3. Antosz K., Stadnicka D., *Evaluation measures of machine operation effectiveness in large enterprises: Study results*, „Maintenance and Reliability” 2015, t. 17, nr 1, s. 107–117.
4. Benavides M.B., Van Landeghem H., *Implementation of S-DBR in four manufacturing SMEs: A research case study*, „Production Planning and Control” 2015, t. 26, nr 13, s. 1110–1127.
5. Betterton C.E., Cox J.F., *Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models*, „International Journal of Production Economics” 2009, t. 117, nr 1, s. 66–79.
6. Betterton C.E., Silver S.J., *Detecting bottlenecks in serial production lines – A focus on interdeparture time variance*, „International Journal of Production Research” 2012, t. 50, nr 15, s. 4158–4174.
7. Biller S., Li J., Marin S.P., Meerkov S.M., Zhang L., *Bottlenecks in Bernoulli serial lines with rework*, „IEEE Transactions on Automation Science & Engineering” 2010, t. 7, nr 2, s. 208–217.
8. Blackstone J.H., *A review of literature on drum-buffer-rope, buffer management and distribution* [w:] J.F. Cox III, J.G. Schleier, Jr. (red.), *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010.
9. Brzeziński M., *Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie*, Difin, Warszawa 2013.
10. Burduk A., *Modelowanie systemów narzędziem oceny stabilności procesów produkcyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
11. Cetera W., *Poligrafia w czasie pandemii*, „Zarządzanie Mediami” 2021, t. 9(1), s. 173–189.
12. Chowdhary M., *Constraint management: Throughput, operating expense and inventory*, Global India Publications, New Delhi 2009.

13. Cieślak R., Pająk E., *Projektowanie procesów konwencjonalnych*, Wydawnictwo PWSZ w Koninie, Konin 2013.
14. Coman A., Ronen B., *IS management by constraints: Coupling IS effort to changes in business bottlenecks*, „Human System Management” 1994, t. 13, nr 1, s. 65–70.
15. Corbett T., *Finanse do góry nogami: zdroworozsądkowa rewolucja w rachunkowości*, wyd. 2, MintBooks, Warszawa 2009.
16. Cox J.F. III, Schleier J.G., Jr. (red.), *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010.
17. Cox J.F. III, Spencer M.S., *The constraints management handbook*, St. Lucie Press, Boca Raton 1998.
18. Csíki O., Demeter K., Losonci D., *How to improve firm performance? – The role of production capabilities and routines*, „International Journal of Operations & Production Management” 2023, t. 43, nr 12, s. 1–26.
19. Cyplik P., Adamczak M., Hadaś L., *Critical chain project management and drum-buffer-rope tools integration in construction industry – case study*, „Log-Forum” 2012, t. 8, nr 1, s. 29–37.
20. Czakon W., *Zastosowanie studiów przypadków w badaniach nauk o zarządzaniu* [w:] W. Czakon (red.), *Podstawy metodologii badań w naukach o zarządzaniu*, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2016.
21. Czerska J., *Podstawowe narzędzia lean manufacturing*, LeanQ Team, Gdańsk 2014.
22. Czerska J., *Pozwól płynąć swojemu produktowi: Tworzenie ciągłego przepływu*, Wydawnictwo Placet, Gdańsk 2011.
23. Czerska J., *Zarządzanie zapasami dla praktyków: Jak mądrze redukować zapasy w systemie KANBAN i MRP*, LeanQ Team, Gdańsk 2015.
24. Ćwiklicki M., *Wprowadzenie do współczesnych narzędzi harmonizacji*, „Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie” 2001, nr 564, s. 101–112.
25. Ćwikła G., Grabowik C., Gwiazda A., Kalinowski K., Gmur R., *Ocena działania systemu ciągłego doskonalenia Kaizen w przykładowej firmie* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017.
26. Delp D., Si J.Y., Wang H., *A dynamic system regulation measure for increasing effective capacity: The X-factor theory*, „Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop” 2002, s. 81–88.
27. Dettmer W.H., *Beyond lean manufacturing: Combining lean and the theory of constraints for higher performance*, System International, Port Angeles 2001.
28. Dettmer W.H., *Breaking the constraints to world-class performance: A senior manager's/executive's guide to business improvement through constraint management*, ASQC Quality Press, Milwaukee 1998.

29. Dettmer W.H., *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*, ASQC Quality Press, Milwaukee 1997.
30. Dettmer W.H., *The logical thinking process: A systems approach to complex problem solving*, ASQ Quality Press, Milwaukee 2007.
31. DeVellis R.F., *Scale development: Theory and applications*, wyd. 2, SAGE Publications, London–New Delhi 2003.
32. Dohn K., *Studium oceny procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie przemysłowym*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
33. Dongping Z., Xitian T., Junha G., *A bottleneck detection algorithm for complex product assembly line based on maximum operation capacity*, „Mathematical Problems in Engineering” 2014, nr 3, s. 1–9.
34. Estellés-Miguel S., Ribera T.B., Albarracín-Guillem J.M., Dema Pérez C.M., *Revision to theory of constraints*, „IFIP Advances in Information and Communication Technology” 2010, nr 322, s. 193–201.
35. Faget P., Eriksson U., Herrmann F., *Applying discrete event simulation and an automated bottleneck analysis as an aid to detect running production constraints* [w:] M.E. Kuhl, N.M. Steiger, F.B. Armstrong, J.A. Joines (red.), *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 4–7 December 2005, Orlando, FL, Piscataway, NJ, Institute of Electrical and Electronics Engineers, s. 1401–1407.
36. Gawlik J., Plichta J., Świć A., *Procesy produkcyjne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013, 2021.
37. Gdakowicz A., Hozer-Koćmiel M., Markowicz I., *Zastosowanie metod opisu statystycznego do badania zjawisk społeczno-ekonomicznych*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2022.
38. Gilbert C., Tito M.D., Doniger C., *Quantifying bottlenecks in manufacturing*, „FEDS Notes” 2021, nr 3022, s. 11–19.
39. Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl> [dostęp: 04.04.2023].
40. Gogtay N.J., Thatte U.M., *Principles of correlation analysis*, „Journal of The Association of Physicians of India” 2017, t. 65, s. 78–81.
41. Gola A., *Analiza długości cyklu produkcyjnego partii wyrobów w kontekście bilansowania zdolności produkcyjnej systemu wytwórczego* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2018.
42. Gola A., *Analiza konfiguracji systemów wytwórczych w aspekcie bilansowania zdolności produkcyjnej*, „Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy” 2018, nr 29(4), s. 239–258.
43. Gola A., Kosicka E., Daniewski K., Mazurkiewicz D., *Analiza błędów przy ocenie wskaźnika OEE na przykładzie linii rozlewu butelkowego* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Zarządzania Produkcją, Opole 2016.

44. Goldratt E.M., Cox J., *The goal: A process of ongoing improvement*, North River Press, Croton-on-Hudson 1984.
45. Goldratt E.M., Cox J., *The goal: A process of ongoing improvement*, wyd. 3, The North River Press, Great Barrington 2004.
46. Goldratt E.M., Cox J., *The goal: Excellence in manufacturing*, North River Press, Croton-on-Hudson 1984.
47. Goldratt E.M., *Critical chain*, North River Press, Great Barrington 1997.
48. Goldratt E.M., Eshkoli I., Brownleer J., *Isn't it obvious?*, North River Press, Great Barrington 2009.
49. Goldratt E.M., *It's not luck*, North River Press, Great Barrington 1994.
50. Goldratt E.M., *Late night discussions on the theory of constraints*, North River Press, United Kingdom 1998.
51. Goldratt E.M., Schragenheim E., Ptak C.A., *Necessary but not sufficient*, North River Press, Great Barrington 2000.
52. Goldratt E.M., *The haystack syndrome: Sifting information out of the data ocean?*, North River Press, Croton-on-Hudson 1990.
53. Goldratt E.M., *What is this thing called the theory of constraints and how should it be implemented?*, North River Press, Croton-on-Hudson 1990.
54. Greaver M.F., *Strategic outsourcing. A structural approach to outsourcing decisions and initiatives*, Amacom, New York 1999.
55. Grudzewski W.M., Hejduk I.K., *Metody projektowania systemów zarządzania*, Difin, Warszawa 2004.
56. Hamrol A., *Strategie i praktyki sprawnego działania. Lean, Six Sigma i inne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
57. Hamrol A., *Zarządzanie i inżynieria jakości*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
58. Harland C.M., Knight L.A., Lamming R.C., Walker H., *Outsourcing: Assessing the risks and benefits*, „International Journal of Operations & Production Management” 2005, t. 25, nr 9, s. 831–850.
59. Hopp W.J., Spearman M.L., *Factory physics*, wyd. 2, McGraw-Hill, New York 2000.
60. Horzela-Miś A., Semrau J., *Analiza wybranych zagadnień związanych z procesami logistycznymi i produkcyjnymi [w:] Forum inżynierów przyszłości. I Konferencja Naukowa, Wrocław, 23–24.10.2020*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020.
61. Hyla A., *Outsourcing w firmie produkcyjnej – zalety i wady*, „Inżynieria & Utrzymanie Ruchu” 2016, nr 2(113), s. 94–96.
62. ISO 9001:2015: *Quality management systems – Requirements*, <https://www.iso.org/standard/62085.html> [dostęp: 04.04.2023].

63. Jamróz A., Pleskacz A., *Zastosowanie metody 5S do poprawy organizacji miejsca pracy w wybranej firmie produkcyjnej*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomii i Informatyki” 2018, nr 14, s. 135–160.
64. Kaczmarczyk S., *Badania marketingowe. Podstawy metodologiczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2011.
65. Kamiński P., Drobina R., *Wyznaczenie wąskiego gardła w przedsiębiorstwie branży metalurgicznej z wykorzystaniem pakietu symulacyjnego programu ARENA*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2021, nr 84, s. 95–110.
66. Karpiński T., *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2013.
67. Kendall G., *Theory of constraint strategy* [w:] J.F. Cox III, J.G. Schleier, *Theory of constraints handbook*, McGraw-Hill, New York 2010.
68. Kisiel P., *Koncepcja wdrożenia wybranych metod lean production w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, „Logistyka” 2016, r. 18, nr 6, s. 1410–1414.
69. Klimecka-Tatar D., *Projektowanie i planowanie kierunków rozwoju innowacji procesowych i produktowych w procesie wytwarzania wybranej grupy kompozytów magnetycznych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2019.
70. Knosala R. (red.), *Inżynieria produkcji: kompendium wiedzy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2017.
71. Kolińska K., Koliński A., *Zastosowanie standaryzacji pracy w celu poprawy efektywności produkcji*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2013, nr 61, s. 61–72.
72. Konieczka K., Konieczna M., *Bariery i ograniczenia przy wdrożeniu metody 6S: studium przypadku*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2019, nr 79, s. 119–131.
73. Kopczyński T., *Outsourcing w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
74. Kost G., *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2018.
75. Kot S.M., Jakubowski J., Sokołowski A., *Statystyka*, wyd. 2, Difin, Warszawa 2011.
76. Kowal S., Knop K., *Wykorzystanie metody SMED do poprawy efektywności pracy stanowiska wytłaczania rurek gładkich*, „Zeszyty Naukowe. Quality. Production. Improvement” 2017, nr 2(7), s. 94–105.
77. Kozłowski R., Liwowski B., *Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją*, Wolters Kluwer Polska SA, Warszawa 2011.
78. Kruczek M., Żebrucki Z., *Wykorzystanie techniki SMED w usprawnieniu procesu produkcyjnego*, „Logistyka” 2012, nr 2, s. 9–19.

79. Krystek J., Trznadel T., *Zastosowanie algorytmu DBR teorii ograniczeń do planowania produkcji*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2012, nr 88(10b), s. 163–169.
80. Krystek J., *Zapasy magazynowe w sterowaniu produkcją powtarzalną*, „Logistyka” 2012, nr 2, s. 821–830.
81. Kubiński W., *Inżynieria i technologie produkcji* (wyd. zmienione, poszerzone), Wydawnictwo AGH, Kraków 2017.
82. Kuczyńska-Chałada M., *Proces wdrożenia metody 5S w przedsiębiorstwie produkcyjnym* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017.
83. Kulińska E., Dendera-Gruszka M., Masłowski D., *Analiza ryzyka systemu produkcyjnego na podstawie wybranego przedsiębiorstwa* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Zarządzania Produkcją, Opole 2018.
84. Kuo C.-T., Lim J.-T., Meerkov S.M., *Bottlenecks in serial production lines: a system-theoretic approach*, „Mathematical Problems in Engineering” 1996, t. 2, s. 233–276.
85. Law A.M., Kelton D.W., *Simulation modeling and analysis*, wyd. 3, McGraw Hill, NY 2000.
86. Lawrence S.R., Buss A.H., *Shifting production bottlenecks: Causes, cures, and conundrums*, „Production and Operations Management” 1994, nr 3(1), s. 21–37.
87. Lewandowski J., Skołud B., Plinta D., *Organizacja systemów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2018.
88. Li L., *A systematic-theoretic analysis of data-driven throughput bottleneck detection of production systems*, „Journal of Manufacturing Systems” 2018, t. 47, s. 43–52.
89. Li L., Chang Q., Ni J., *Data driven bottleneck detection of manufacturing systems*, „International Journal of Production Research” 2009, t. 47, nr 18, s. 5019–5036.
90. Lipiak J., Ejsmont K., *Standaryzacja procesu druku fleksograficznego a zmiana wskaźnika OEE – studium przypadku* [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017.
91. Lisiecka K., *TOC, Six Sigma i lean management – kompozycja metod na rzecz doskonalenia systemu zarządzania organizacją*, „Problemy Jakości” 2013, s. 48–53.
92. Lizarralde A., Apaolaza U., Mediavilla M., *Practical perspectives from the industry for the identification of the bottleneck in “make-to-order” manufacturers: A strategic or an operational decision? – Practical perspectives from industry*, „Dyna Engineering and Industry” 2019, nr 94, s. 507–511.

93. Łopatowska J., *Metoda 5S jako narzędzie modelowania procesów na stanowisku pracy* [w:] L. Zawadzka, *Inżynieria systemów zarządzania*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002.
94. Mabin V.J., Balderstone S.J., *The performance of the theory of constraints methodology – Analysis and discussion of successful TOC applications*, „International Journal of Operations & Production Management” 2003, t. 23, nr 6, s. 568–595.
95. *Mann-Whitney U-Test*, <https://datatab.net/tutorial/mann-whitney-u-test> [dostęp: 29.03.2023].
96. Mazurczak J., Gania I., *Badanie możliwości pogłębienia specjalizacji przedmiotowej systemów produkcyjnych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2015, nr 65, s. 1–15.
97. McMullen T.B., *Introduction to the theory of constraints (TOC) management system*, St Lucie Press, Boca Raton 1998.
98. Midor K., Lenart M., *Wdrożenie systemu Kaizen w firmie branży motoryzacyjnej – studium przypadku*, „Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji: Jakość i Bezpieczeństwo” 2015, z. 3(12), s. 119–131.
99. Moerth-Teo O., Schlögl G., Abdul-Hadi M., Brillinger M., Weinzerl M., Ramsauer C., *Production resource flexibility assessment: Case studies in the automotive industry*, „Management and Production Engineering Review” 2022, t. 13, nr 3, s. 20–29.
100. Mohammad Ali A.M., Jabir S.M., *Using attribute-based costing and theory of constraints for product-mix decisions*, „Journal of Management Information and Decision Sciences” 2022, t. 25, nr S2, s. 1–10.
101. Niemczyk J., *Metodologia nauk o zarządzaniu* [w:] W. Czakon, *Podstawy metodologii badań w naukach o zarządzaniu*, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2016.
102. Nowak D. (red.), *Production-operation management. The chosen aspects*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań 2021.
103. Pacana A., Gazda A., Wołoszyn P., *Wykorzystanie metody 5S do doskonalenia procesów logistycznych*, „Modern Management Review” 2014, t. 19, nr 21(2), s. 73–80.
104. Pająk E., *Zarządzanie produkcją*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2021.
105. Piątek R., *World Class Manufacturing a Toyota production system: porównanie systemów produkcyjnych w kontekście zrównoważonego rozwoju*, „Nowoczesne Systemy Zarządzania” 2022, z. 17, nr 4, s. 91–110.
106. Plinta D., Radwan K., *Improving material flow in a modified production system*, „Applied Computer Science” 2023, t. 19, nr 1, s. 95–106.
107. Polskie Bractwo Kawalerów Gutenberga, *Rynek poligraficzny i opakowań z nadrukiem w Polsce, raport – edycja ósma i dziewiąta*, Warszawa 2022.

108. Possik J., Zouggar-Amrani A., Vallespir B., Zacharewicz G., *Lean techniques impact evaluation methodology based on a co-simulation framework for manufacturing systems*, „International Journal of Computer Integrated Manufacturing” 2022, t. 35, nr 1, s. 91–111.
109. Pretorius P., *Introducing in-between decision points to TOC’s five focusing steps*, „International Journal of Production Research” 2014, t. 52, nr 2, s. 496–506.
110. Reid R.A., *Applying the TOC five-step focusing process in the service sector: A banking subsystem*, „Managing Service Quality” 2007, t. 17, nr 2, s. 209–234.
111. Ronen B., Pass S., *Focused operations management: Achieving more with existing resources*, John Wiley & Sons, Hoboken 2007.
112. Roser C., Lorentzen K., Deuse J., *Reliable shop floor bottleneck detection for flow lines through process and inventory observations*, „Procedia CIRP” 2014, t. 19, s. 63–68.
113. Roser C., Nakano M., Tanaka M., *A practical bottleneck detection method* [w:] B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, M.W. Rohrer, *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001, s. 949–953.
114. Roser C., Nakano M., Tanaka M., *Shifting bottleneck detection* [w:] *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, t. 2, San Diego 2002.
115. Roser C., Subramaniyan M., Skoogh A., Johansson B., *An enhanced data-driven algorithm for shifting bottleneck detection*, „Advances in Production Management Systems” 2021, nr 630, s. 683–689.
116. Salman M., Bhagat M., Kumar N., Wattal R., *Role of inventory management and control in a manufacturing company*, „International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)” 2023, t. 11, nr IV, s. 3836–3841.
117. Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J., *Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing*, „Journal of Industrial Engineering and Management” 2016, t. 9, nr 3, s. 811–833.
118. Scheinkopf L., *Thinking for a change: Putting the TOC thinking processes to use, apics series on constraints management*, St. Lucie Press, Boca Raton 1999.
119. Schultheiss J., Kreutzfeldt J., *Performance improvement in production systems through practice-oriented bottleneck management* [w:] *Proceedings of the 4th European Conference*, 2009, s. 1–20.
120. Sengupta S., Das K., VanTil R.P., *A new method for bottleneck detection* [w:] *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Miami 2008, s. 1741–1745.
121. Sims T., Wan H., *Constraint identification techniques for lean manufacturing systems*, „Robotics and Computer-Integrated Manufacturing” 2017, t. 43, s. 50–58.

122. Şimşit Z.T., Sebla Günay N.S., Vayvay Ö., *Theory of constraints: A literature review*, „Procedia – Social and Behavioral Sciences” 2014, t. 150, s. 930–936.
123. Skołod B., *Zarządzanie operacyjne. Produkcja w małych i średnich przedsiębiorstwach*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
124. Skołod B., Zientek A., *Programowanie w logice z ograniczeniami do zarządzania w środowisku wieloprojektowym*, „Zeszyty Naukowe. Mechanika” 2005, nr 152, s. 158–173.
125. Skotnicka-Zasadzień B., Masoń P., *Doskonalenie obiektów technicznych przy wykorzystaniu metody SMED*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie” 2016, z. 87, s. 327–343.
126. Souza F.B. de, Sobreiro V.A., Nagano M.S., Souza Manfrinato J.W. de, *When less is better: Insights from the product mix dilemma from the theory of constraints perspective*, „International Journal of Production Research” 2013, t. 51, nr 9, s. 5839–5852.
127. Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*, t. 3, *Analizy wielowymiarowe*, StatSoft, Kraków 2007.
128. Stanisław A., *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*, t. 1, *Statystyki podstawowe*, StatSoft, Kraków 2006.
129. *Systematyka* [w:] *Wielki słownik języka polskiego*, <https://wsjp.pl/haslo/podglad/26974/systematyka/5160479/rezultat> [dostęp: 17.02.2023].
130. Szatkowski K., *Nowoczesne zarządzanie produkcją*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.
131. *Teoria* [w:] *Słownik języka polskiego PWN*, <https://sjp.pwn.pl/slowniki/teoria.html> [dostęp: 25.06.2023].
132. Thürrer M., Ma L., Stevenson M., Roser C., *Bottleneck detection in high-variety make-to-order shops with complex routings: an assessment by simulation*, „Production Planning and Control” 2021, t. 33, s. 1481–1492.
133. Trocki M., *Outsourcing. Metoda restrukturyzacji działalności gospodarczej*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
134. Trojanowska J., Koliński A., *Wpływ zastosowania narzędzi TOC na wybrane wskaźniki efektywności procesu produkcji*, „Logistyka” 2015, nr 4, s. 7–11.
135. Trojanowska J., *Zarządzanie produkcją na zamówienie w oparciu o teorię ograniczeń. Wybrane problemy logistyki produkcji*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
136. Urban S., *System Kaizen w przedsiębiorstwie Toyota Motor Manufacturing Poland*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Nauki o Zarządzaniu” 2011, nr 164, s. 167–175.

137. Urban W., Rogowska P., *Methodology for bottleneck identification in a production system when implementing TOC*, „Engineering Management in Production and Services” 2020, t. 12, nr 2, s. 74–82.
138. Urban W., Rogowska P., *Systematic literature review of theory of constraints* [w:] A. Hamrol, A. Kujawińska, M. Barraza (red.), *Advances in manufacturing II*, t. 2, *Production engineering and management*, Springer, 2019, s. 129–138.
139. Urban W., Rogowska P., *The case study of bottlenecks identification for practical implementation to the theory of constraints* [w:] XV International Conference: *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering (MAPE)*, *Conference proceedings*, t. 1, nr 1, Wydawnictwo PANOVA, Zabrze 2018, s. 399–405.
140. Urban W., *TOC implementation in a medium-scale manufacturing system with diverse product rooting*, „Production & Manufacturing Research” 2019, t. 7, nr 1, s. 178–194.
141. Vidal G.H., *Deterministic and stochastic inventory models in production systems: A review of the literature*, „Process Integration and Optimization for Sustainability” 2023, t. 7(1–2), s. 29–50.
142. Widłok S., *Planowanie produkcji i dystrybucji*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016.
143. Woeppel M.J., *Jak wdrożyć teorię ograniczeń w firmie produkcyjnej: Poradnik praktyka*, MintBooks, Warszawa 2009.
144. Wzorzec [w:] Dobryslownik.pl, <https://dobryslownik.pl/slowo/standard/53228> [dostęp: 23.06.2023].
145. Yu C., Matta A., *A statistical framework of data-driven bottleneck identification in manufacturing systems*, „International Journal of Production Research” 2016, t. 54, nr 21, s. 6317–6332.
146. Zakrzewski B., Zakrzewska D., *Przedsiębiorstwo produkcyjne i procesy realizowane w sferze produkcji*, „Logistyka” 2014, nr 3, s. 6965–6976.
147. Źródło-Loda M., *Outsourcing w zarządzaniu organizacją*, „Prace Naukowo-Dydaktyczne PWSZ im. S. Pigoń w Krośnie” 2015, z. 68, s. 393–411.

Spis tabel

Tabela 1.1.	Czynniki ryzyka otoczenia zewnętrznego wpływające na funkcjonowanie systemu produkcyjnego	38
Tabela 1.2.	Czynniki ryzyka otoczenia wewnętrznego wpływające na funkcjonowanie systemu produkcyjnego	39
Tabela 2.1.	Rodzaje ograniczeń	50
Tabela 2.2.	Metody identyfikacji wąskich gardeł w przemyśle	53
Tabela 2.3.	Charakterystyka poszczególnych kroków wdrażania SMED	60
Tabela 2.4.	Charakterystyka metody 5S	62
Tabela 4.1.	Lista pytań mająca na celu potwierdzenie zidentyfikowanego wąskiego gardła	91
Tabela 4.2.	Czas trwania aktywności procesów badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa A	94
Tabela 4.3.	Czas trwania cyklu procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie A	95
Tabela 4.4.	Czas cyklu procesu składania i klejenia w przedsiębiorstwie A	96
Tabela 4.5.	Wyroby niespełniające norm jakościowych w przedsiębiorstwie A	97
Tabela 4.6.	Czas, który upłynął z powodu strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie A	98
Tabela 4.7.	Czas trwania cykli procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie A	99
Tabela 4.8.	Zaangażowanie procesów i skorygowany C/T w przedsiębiorstwie A	100
Tabela 4.9.	Wyniki przeprowadzonej analizy badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa A	101
Tabela 4.10.	Lista pytań mająca na celu potwierdzenie poprawnej identyfikacji wąskiego gardła – przedsiębiorstwo A	102
Tabela 4.11.	Czas aktywności procesów badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa B	106
Tabela 4.12.	Czas trwania cyklu procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie B	106
Tabela 4.13.	Czas trwania cyklu procesu składania i klejenia w przedsiębiorstwie B	107

Tabela 4.14. Wyroby niespełniające norm jakościowych w przedsiębiorstwie B.....	108
Tabela 4.15. Czas strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie B.....	109
Tabela 4.16. Czas trwania cyklu procesów z uwzględnieniem strat produkcyjnych w przedsiębiorstwie B.....	110
Tabela 4.17. Zaangażowanie procesów i skorygowany C/T w przedsiębiorstwie B	111
Tabela 4.18. Wyniki przeprowadzonej analizy badanego systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa B.....	112
Tabela 4.19. Lista pytań mająca na celu potwierdzenie zidentyfikowanego wąskiego gardła – przedsiębiorstwo B.....	113
Tabela 5.1. Wielkość przedsiębiorstwa a proces produkcyjny stanowiący obecnie wąskie gardło w przepływie produkcji	123
Tabela 5.2. Wielkość przedsiębiorstwa a systematyczność i celowość obserwacji procesu produkcyjnego	125
Tabela 5.3. Wielkość przedsiębiorstwa a systematyczność zbierania i analizy parametrów procesu	126
Tabela 5.4. Wielkość przedsiębiorstwa a zbieranie pełnych informacji o stratach procesu produkcyjnego	129

Spis rysunków

Rysunek 1.1. Struktura procesu produkcyjnego i wytwórczego	12
Rysunek 1.2. Strukturalny podział procesu technologicznego	16
Rysunek 1.3. Rozmieszczenie gniazda: a) technologicznego (T – tokarki, F – frezarki, S – szlifierki, I – inne maszyny), b) przedmiotowego.....	20
Rysunek 1.4. Schemat struktury cyklu produkcyjnego	21
Rysunek 1.5. Uogólniony model systemu produkcyjnego	25
Rysunek 1.6. Kształtowanie jakości produktu w procesie wytwarzania i eksploatacji	28
Rysunek 1.7. Dekompozycja systemu produkcyjnego	29
Rysunek 1.8. Dwupoziomowe otoczenie systemu produkcyjnego	34
Rysunek 1.9. Przedsiębiorstwo jako układ względnie odosobniony	37
Rysunek 2.1. Metoda pięciu kroków skupienia według teorii ograniczeń	45
Rysunek 2.2. Graficzna interpretacja metody werbel-bufor-lina	58
Rysunek 3.1. Struktura przedsiębiorstw poligraficznych w Polsce ze względu na ich wielkość w roku 2020	74
Rysunek 3.2. Liczba przedsiębiorstw poligraficznych w poszczególnych grupach w latach 2015–2020	75
Rysunek 3.3. Technologie wykorzystywane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku	76
Rysunek 3.4. Planowane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku nakłady inwestycyjne na najbliższe 2–3 lata	78
Rysunek 3.5. Przyjęte przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku cele inwestycyjne na najbliższe 2–3 lata	79
Rysunek 3.6. Planowane przez przedsiębiorstwa poligraficzne w Polsce w 2022 roku wdrożenia rozwiązań proekologicznych	80
Rysunek 4.1. Liczba palet przed każdym procesem w przedsiębiorstwie A	93
Rysunek 4.2. Wydajność godzinowa procesów produkcyjnych wyznaczona na podstawie skorygowanych wartości C/T (ark./h) w przedsiębiorstwie A.....	102
Rysunek 4.3. Liczba palet oczekujących przed procesem w przedsiębiorstwie B.....	105

Rysunek 4.4. Wydajność godzinowa procesów produkcyjnych wyznaczona na podstawie skorygowanych wartości C/T (ark./h) w przedsiębiorstwie B	113
Rysunek 4.5. Metodyka identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej.....	116
Rysunek 5.1. Struktura zbadanych przedsiębiorstw ze względu na ich wielkość.....	119
Rysunek 5.2. Zasięg terytorialny działalności zbadanych przedsiębiorstw.....	120
Rysunek 5.3. Obecne wąskie gardło w przepływie produkcji badanych przedsiębiorstw	122
Rysunek 5.4. Systematyczność i celowość obserwacji procesu produkcyjnego	124
Rysunek 5.5. Parametry procesu produkcyjnego analizowane przez badane przedsiębiorstwa.....	126
Rysunek 5.6. Straty procesu produkcyjnego monitorowane przez badane przedsiębiorstwa	128

Streszczenie

Teoria ograniczeń (TOC) to podejście do zarządzania i doskonalenia operacyjnego stworzone przez izraelskiego fizyka Eliyahu M. Goldratta. Jej głównym celem jest identyfikacja kluczowych ograniczeń, które utrudniają organizacjom osiągnięcie zamierzonych celów. Następnie, poprzez skoncentrowanie się na poprawie przepustowości tych ograniczeń, TOC dąży do zwiększenia wydajności i efektywności całego systemu. Odpowiednie zidentyfikowanie ograniczenia stanowi fundament tej koncepcji, ponieważ umożliwia skupienie zasobów i działań na obszarach mających największy wpływ na osiągnięcie pożądaných wyników.

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele metod służących do identyfikacji wąskiego gardła w przemyśle, jednak wybór odpowiedniej metody, która rzeczywiście zapewni precyzyjne wykrycie prawdziwego ograniczenia systemu produkcyjnego, może stanowić wyzwanie. Istnieje ryzyko, że wybrana metoda nie zapewni rzetelnego i prawdziwego wskazania wąskiego gardła w procesie. Przesłanki te stanowią główne motywy i podstawę do podjęcia tematyki niniejszej monografii. Próba ich wypełnienia znalazła wyraz w postawionym do rozwiązania problemie badawczym, który przedstawiono w postaci pytania: Jak prawidłowo zidentyfikować ograniczenie systemu produkcyjnego, który charakteryzuje się dużą różnorodnością wyrobów i zróżnicowanym przepływem produkcji?

Głównym celem monografii było opracowanie metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych typowych dla branży poligraficznej. Z głównym celem pracy związane były także następujące cele szczegółowe o charakterze poznawczym i metodologicznym, które obejmują:

- syntezę obecnej wiedzy na temat teorii ograniczeń, metod identyfikacji wąskich gardeł oraz systemów produkcyjnych;
- przeprowadzenie analizy branży poligraficznej w Polsce;
- opracowanie koncepcyjne metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej;
- empiryczną weryfikację i rozwinięcie metodyki identyfikacji ograniczeń systemu produkcyjnego poprzez studia przypadków w wybranych przedsiębiorstwach;
- sformułowanie rekomendacji dotyczących zastosowania metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej.

Przedstawiona monografia prezentuje obszernie badania wykorzystujące różnorodne metody badawcze, takie jak analiza literatury, studia koncepcyjne, studia przypadków i badania ankietowe (CAWI i CATI). Głównym celem przeprowadzonych badań było dogłębne zrozumienie tematu oraz specyfiki branży poligraficznej w kontekście opracowania kompleksowej metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych.

Obiektem prowadzonych badań były przedsiębiorstwa działające w sektorze poligraficznym, zajmujące się produkcją różnorodnych wyrobów. Firmy te stanowią ważny obszar badawczy ze względu na ich specyficzne wymagania i zróżnicowany przepływ produkcji, a także znaczenie ekonomiczne w gospodarce.

Rozważania prezentowane w monografii ujęto w pięciu rozdziałach. Trzy pierwsze mają charakter teoretyczny i przeglądowy. Pierwszy rozdział pracy prezentuje syntetyczny przegląd literatury dotyczący organizacji i zarządzania produkcją. Drugi rozdział stanowi szczegółowy opis koncepcji TOC, metod identyfikacji wąskich gardeł, a także omawia wybrane techniki usprawniające przepływ produkcji. W rozdziale trzecim scharakteryzowano branżę poligraficzną, a także metody studium przypadku i badania ankietowego. Rozdział czwarty poświęcono analizie studiów przypadków przeprowadzonych w dwóch wybranych przedsiębiorstwach poligraficznych, w których zastosowano koncepcję metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych. Ostatni rozdział, piąty, prezentuje wyniki badań ilościowych przeprowadzonych na 237 przedsiębiorstwach poligraficznych.

Przeprowadzone studia przypadków, a także wyniki badań ankietowych, pozwoliły na opracowanie ostatecznej postaci metodyki identyfikacji ograniczeń w systemach produkcyjnych branży poligraficznej. Zaproponowane etapy metodyki identyfikacji ograniczeń zostały starannie dobrane i pozwalają na spójne podejście do analizy systemu produkcyjnego. Takie działanie umożliwia lepsze zrozumienie systemu jako całości oraz dokładne poznanie jego wewnętrznych mechanizmów. Opracowana metodyka stanowi cenne narzędzie, które może być wykorzystane przez kierowników produkcji oraz ekspertów w procesie implementacji TOC.

Abstract

The theory of constraints (TOC) is an approach to management and operational improvement created by Israeli physicist Eliyahu M. Goldratt. Its main goal is to identify key constraints that hinder organizations from achieving their goals. Then, by focusing on improving the throughput of these constraints, the TOC seeks to increase the efficiency and effectiveness of the entire system. Properly identifying a constraint is the foundation of the concept, as it enables TOs to focus resources and activities on the areas that have the greatest impact on achieving the desired results.

In the subject literature, you can find numerous methods for identifying bottlenecks in the industry. However, selecting the appropriate method that truly ensures the precise detection of the actual limitation of a production system can be a challenge. There is a certain risk that the chosen method may not provide reliable and accurate indication of the bottleneck in the process. These premises constitute the main motives and basis for undertaking the subject of this monograph. The attempt to answer them is reflected in the research problem posed in the form of the question: *How to correctly identify the limitation of a production system characterized by a large variety of products and diverse production flow?*

The main objective of the thesis is to develop a methodology for identifying constraints in production systems typical for the printing industry. The main goal of the thesis is associated with the following specific cognitive and methodological objectives, which include:

- synthesizing the current knowledge on the theory of constraints, bottleneck identification methods, and production systems,
- conducting an analysis of the printing industry in Poland,
- developing a conceptual framework for the methodology of identifying constraints in the production systems of the printing industry,
- empirically verifying and expanding the methodology for identifying constraints in the production system through in-depth studies in selected companies,
- formulating recommendations regarding the application of the methodology for identifying constraints in the production systems of the printing industry.

The monograph presented here presents extensive research using a variety of research methods, such as literature analysis, conceptual studies, case studies, surveys (CAWI and CATI). The main objective of these studies is to gain in-depth

understanding of the subject matter and the specific characteristics of the printing industry in the context of developing a comprehensive methodology for identifying constraints in production systems.

The research focuses on companies operating in the printing industry, involved in the production of various products. These companies constitute a significant research area due to their specific requirements and diversified production flow, as well as their economic importance in the economy.

The considerations presented in the monograph are included in five chapters. The first three are theoretical and review in nature. The first chapter of the work presents a synthetic review of the literature on production organization and management. The second chapter provides a detailed description of the TOC concept, methods for identifying bottlenecks, and discusses selected techniques for improving production flow. The third chapter characterizes the printing industry, as well as the case study and survey method. The fourth chapter is devoted to the analysis of case studies conducted at two selected printing companies, in which the concept of the methodology for identifying constraints in production systems was applied. The final chapter, the fifth, presents the results of a quantitative study conducted on a population of 237 printing companies.

The conducted case studies and survey research have allowed for the development of the final version of the methodology for identifying constraints in the production systems of the printing industry. The proposed steps of the constraint identification methodology have been carefully selected and allow a consistent approach to the analysis of the production system. This approach enables a better understanding of the system as a whole and a thorough understanding of its internal mechanisms. The developed methodology serves as a valuable tool that can be utilized by production managers and experts during the implementation process of the TOC.

 Politechnika
Białostocka

