

Monografia pod redakcją Doroty Stadnickiej

# LEAN MANUFACTURING



## KOMPENDIUM WIEDZY



POLITECHNIKA  
RZESZOWSKA  
Im. IGNACEGO LUKASIEWICZA



Rzeszów 2021

**Monografia pod redakcją Doroty Stadnickiej**

# **LEAN MANUFACTURING**

KOMPENDIUM WIEDZY



**OFICyna  
WYDAWNICZA**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Wydano za zgodą Rektora

R e c e n z e n t

dr hab. inż. Michał SĄSIADK, prof. UZ

R e d a k t o r n a c z e l n y

Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej

dr hab. inż. Lesław GNIEWEK, prof. PRz

R e d a k t o r n a u k o w y

dr hab. inż. Dorota STADNICKA, prof. PRz

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Politechniki Rzeszowskiej

R e d a k t o r

Marzena TARAŁA

S k ł a d i ł a m a n i e

Mariusz TENDERA

P r o j e k t o k ł a d k i

Aleksandra AUGUSTYN

*Lean Manufacturing, straty w przedsiębiorstwach produkcyjnych, narzędzia Lean  
Manufacturing, organizacja pracy, zarządzanie łańcuchem dostaw  
ciągłe doskonalenie, systemy informatyczne, cyfryzacja przedsiębiorstw*

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej  
Rzeszów 2021



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Praca na licencji Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).  
Licencja daje prawo do dzielenia się, wykorzystywania w kolejnych utworach, pod warunkiem oznaczenia  
autorstwa i dokonywanych zmian w utworze oraz dodatkowo pod warunkiem, że nowy utwór, stworzony przez  
zmianę utworu czy na podstawie utworu udostępnionego na zasadzie tej licencji będzie dalej podlegał ochronie,  
która nie jest bardziej restrykcyjna niż licencja CC BY-SA 4.0.

ISBN 978-83-7934-496-3

e-ISBN 978-83-7934-517-5

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Ark. wyd. 17,58. Ark. druk. 17,75.

Złożono do redakcji w lutym 2021 r. Wydrukowano we wrześniu 2021 r.  
Drukarnia Oficyny Wydawniczej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów  
Zam. nr 52/21

## Spis treści

<b>Wprowadzenie</b> ( <i>Dorota Stadnicka</i> ) .....	7
<b>Rozdział 1. Historia Lean Manufacturing</b> .....	9
1.1. Początki Lean Manufacturing ( <i>Magdalena Kwiatek</i> ) .....	9
1.2. Rola firmy Toyota w powstaniu koncepcji Lean Manufacturing ( <i>Karolina Kolano</i> ).....	12
1.3. Prekursorzy Lean Manufacturing ( <i>Anita Długosz</i> ) .....	15
1.4. Zasady Lean Manufacturing ( <i>Aleksandra Wityk</i> ).....	17
1.5. Rodzaje marnotrawstwa według Lean Manufacturing ( <i>Natalia Krzyżek</i> ) .....	21
1.6. Korzyści płynące z wdrożenia Lean Manufacturing ( <i>Kinga Szewczyk</i> ) .....	24
<b>Rozdział 2. Organizacja stanowiska pracy</b> .....	29
2.1. Metoda 5S ( <i>Agnieszka Cienka</i> ) .....	29
2.2. TPM na stanowisku pracy ( <i>Bartosz Rzeszutek</i> ).....	34
2.3. Poka-Yoke ( <i>Paulina Chmura</i> ) .....	38
2.4. Kontrola Pierwszej Sztuki ( <i>Beata Pieniązek</i> ) .....	42
2.5. Standaryzacja pracy ( <i>Piotr Poznański</i> ) .....	45
2.6. Zarządzanie wizualne ( <i>Szymon Fitał</i> ) .....	47
2.7. Waste Walk ( <i>Kinga Chajec</i> ) .....	50
2.8. Jidoka ( <i>Patrycja Potrawska</i> ).....	52
<b>Rozdział 3. Organizacja pracy na linii produkcyjnej</b> .....	57
3.1. Rozmieszczenie stanowisk pracy na linii produkcyjnej ( <i>Ewelina Zygmunt</i> ) .....	57
3.2. Rozmieszczenie stanowisk roboczych metodą CORELAP ( <i>Paulina Trzeciak</i> ).....	61
3.3. Rozmieszczenie stanowisk na linii produkcyjnej metodą programowania sieciowego ( <i>Kamila Olech</i> ).....	63
3.4. Rozmieszczenie stanowisk roboczych metodą Blocha-Schmigalli ( <i>Ewa Welcz</i> ) .....	65
3.5. Mapowanie strumienia wartości ( <i>Karolina Antonik</i> ) .....	67
3.6. Przepływ jednej sztuki ( <i>Katarzyna Pawlarczyk</i> ).....	71
3.7. Heijunka ( <i>Aneta Greszta</i> ).....	73
3.8. Andon – jako główne narzędzie umożliwiające realizację zasady Jidoka ( <i>Robert Rębisz</i> ) .....	77



3.9. Automatyzacja linii produkcyjnych ( <i>Ilona Utzig</i> ).....	80
3.10. TPM w zarządzaniu parkiem maszyn technologicznych ( <i>Nikita Kłeczek</i> ) .....	85
3.11. Statystyczna kontrola procesu – SPC ( <i>Mateusz Zajac</i> ) .....	88
<b>Rozdział 4. Zarządzanie łańcuchem dostaw.....</b>	<b>91</b>
4.1. Definicja łańcucha dostaw ( <i>Paulina Warzocha</i> ).....	91
4.2. Podstawowe zasady zarządzania łańcuchem dostaw ( <i>Sonia Mieszkowska</i> ).....	95
4.3. Metody stosowane w zarządzaniu łańcuchem dostaw ( <i>Elżbieta Wigłusz</i> ) .....	98
4.4. Kanban ( <i>Aleksandra Farion</i> ) .....	103
4.5. <i>Just in Time</i> ( <i>Aneta Pęziół</i> ) .....	107
4.6. <i>Vendor Managed Inventory</i> (VMI) – Zarządzanie zapasami przez dostawcę ( <i>Sławomir Miłek</i> ).....	111
4.7. Zastosowanie technologii informacyjnych w konfigurowaniu łańcucha dostaw ( <i>Aleksandra Brzozowska</i> ) .....	114
4.8. Wykorzystanie systemów informatycznych ERP w zarządzaniu łańcuchem dostaw ( <i>Małgorzata Syrek</i> ) .....	117
<b>Rozdział 5. Systemy wspierające Lean Manufacturing .....</b>	<b>123</b>
5.1. Elementy systemu produkcyjnego Forda zaczerpnięte do systemów Lean Manufacturing ( <i>Aleksandra Augustyn</i> ) .....	123
5.2. System produkcyjny Toyoty ( <i>Aleksandra Chmiel</i> ).....	126
5.3. System operacyjny ACE ( <i>Marta Wójtowicz</i> ).....	129
5.4. <i>World Class Manufacturing</i> – WCM ( <i>Dominika Zaforemska</i> ).....	132
5.5. System Lean Manufacturing w firmie produkcyjnej Borg Warner Cooling Systems ( <i>Marta Rejman</i> ).....	138
5.6. <i>Compliance Management System</i> – CMS ( <i>Gabriela Ziomek</i> ) .....	141
<b>Rozdział 6. Doskonalenie w systemach Lean Manufacturing .....</b>	<b>145</b>
6.1. PDCA ( <i>Małgorzata Czachor</i> ).....	145
6.2. Kaizen ( <i>Pietrzyk Damian</i> ).....	148
6.3. <i>First Time Quality</i> – FTQ ( <i>Joanna Waga</i> ).....	151
6.4. Metoda 8D ( <i>Justyna Radomska</i> ) .....	155
6.5. Raport A3 ( <i>Natalia Ślęczka</i> ) .....	159
6.6. Six Sigma ( <i>Alicja Paskart</i> ).....	163
6.7. Diagram Ishikawy ( <i>Patrycja Bożek</i> ) .....	168
6.8. 5xWhy ( <i>Roksana Żurawska</i> ).....	171
6.9. Analiza FMEA ( <i>Natalia Stec</i> ).....	174
6.10. SMED ( <i>Michał Adamczuk</i> ).....	177
6.11. Koncepcja Gemba ( <i>Mateusz Gorzynik</i> ) .....	179
6.12. <i>Business Process Reengineering</i> – BPR ( <i>Agata Zielonka</i> ).....	183

<b>Rozdział 7. Nowoczesne, cyfrowe metody wsparcia</b>	
<b>Lean Manufacturing .....</b>	<b>187</b>
7.1. Charakterystyka Przemysłu 4.0 ( <i>Kamil Bober</i> ).....	187
7.2. Systemy MRP ( <i>Krzysztof Ziętek</i> ) .....	190
7.3. Systemy ERP ( <i>Justyna Misiora</i> ) .....	194
7.4. Systemy klasy ERP II ( <i>Paulina Murjas</i> ).....	198
7.5. Systemy CRM ( <i>Piotr Rajchel</i> ) .....	202
7.6. Optymalizacja Przemysłu 4.0 ( <i>Konrad Bąk</i> ).....	205
7.7. Przemysłowy Internet Rzeczy ( <i>Przemysław Misztal</i> ) .....	207
7.8. Symulacje pracy linii produkcyjnej ( <i>Damian Morawiec</i> ) .....	210
7.9. Automatyzacja i robotyzacja przemysłu ( <i>Sara Wyskiel</i> ).....	212
7.10. Rzeczywistość rozszerzona ( <i>Rafał Węgrzyn</i> ) .....	214
7.11. Rzeczywistość wirtualna ( <i>Dagmara Bawor</i> ).....	217
7.12. Cyfrowe bliźniaki ( <i>Rafał Jędruch</i> ) .....	219
7.13. Sztuczna inteligencja w analizie danych ( <i>Julia Furtak</i> ) .....	224
7.14. RFID ( <i>Jakub Żytniak</i> ).....	228
7.15. Pozioma i pionowa integracja systemowa ( <i>Marcelina Zarzycka</i> ) .....	231
7.16. Przykład zastosowania robotyzacji w praktyce przemysłowej ( <i>Adam Pazdro</i> ).....	233
<b>Słownik pojęć .....</b>	<b>239</b>
<b>Załączniki .....</b>	<b>251</b>
Załącznik 1. Zastosowanie metody CORELAP do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk roboczych na hali produkcyjnej ( <i>Paulina Trzeciak</i> ).....	251
Załącznik 2. Zastosowanie metody programowania sieciowego do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk linii produkcyjnej ( <i>Kamila Olech</i> ) .....	264
Załącznik 3. Zastosowanie metody Blocha-Schmigalli do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk linii produkcyjnej ( <i>Ewa Welcz</i> ).....	269
<b>Streszczenie .....</b>	<b>279</b>
<b>Summary .....</b>	<b>281</b>





## Wprowadzenie (Dorota Stadnicka)

Koncepcja Lean Manufacturing jest znana i stosowana od wielu lat. Ma swoje korzenie w systemie produkcyjnym Toyoty (Womack i in., 2008). System ten opiera się na zasadach dotyczących zarówno postaw pracowników, jak i realizacji procesów (Antosz i in., 2015).

W systemie jest wykorzystywany zestaw metod i narzędzi, które zastosowane w odpowiedni sposób dają znaczące korzyści przedsiębiorstwu (Liker, 2004). Wspomniane metody i narzędzia mogą być wdrażane w różnych obszarach i procesach realizowanych w przedsiębiorstwie, na przykład w zarządzaniu jakością (Hamrol, 2018), zarządzaniu parkiem maszyn technologicznych (Antosz, 2019), czy też zarządzaniu przepływem materiałów i informacji (Rother i Shook, 1998). Doskonalenie przedsiębiorstw wspiera również coraz bardziej obecna cyfryzacja (Gudanowska i Kononiuk, 2020).

Niniejsze kompendium wiedzy przybliży tematykę związaną z Lean Manufacturing. W siedmiu rozdziałach prezentuje zagadnienia istotne z punktu widzenia eliminacji marnotrawstwa w przedsiębiorstwach. Zawiera słownik pojęć. Ostatnią część stanowią załączniki prezentujące przykłady zastosowania praktycznego prostych metod do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk na linii produkcyjnej.

Pierwszy rozdział pracy opisuje historię powstania i rozwoju koncepcji, podając nazwiska najważniejszych osób związanych z tworzeniem koncepcji i narzędzi Lean Manufacturing.

Kolejne rozdziały prezentują metody i narzędzia wykorzystywane w systemach Lean Manufacturing. Rozdział drugi opisuje metody i narzędzia stosowane przy organizacji stanowisk pracy.

Rozdział trzeci zajmuje się organizacją linii produkcyjnych. Prezentuje metody wsparcia procesu zarządzania pracą na linii produkcyjnej w celu zapewnienia nie tylko jakości, ale i jak najmniejszych strat związanych z pracą linii.

Rozdział czwarty dotyczy organizacji łańcucha dostaw. Właściwe zarządzanie przepływem informacji pozwoli między innymi na zapewnienie ciągłości produkcji, terminowe dostawy do klienta oraz minimalizację zapasów.

Rozdział piąty prezentuje systemy zarządzania oparte na koncepcji Lean Manufacturing, w tym m.in. System Produkcyjny Toyoty (ang. *Toyota Production System* – TPS) oraz system operacyjny ACE (ang. *Achieving Competitive Excellence*) stosowany w korporacji UTC.

W rozdziale szóstym zaprezentowano różne metody i narzędzia, które mogą być wykorzystywane w procesach ciągłego doskonalenia, począwszy od prostych metod, takich jak 5xWhy czy diagram Ishikawy, a skończywszy na metodzie Six Sigma.

Szybko postępująca cyfryzacja przedsiębiorstw prowadzi do wdrażania wielu nowoczesnych rozwiązań, wspierających informatycznie przedsiębiorstwa w różnych obszarach. Rozdział siódmy prezentuje przykłady metod i narzędzi ułatwiających przedsiębiorstwom bieżącą pracę oraz podejmowanie decyzji. Zwrócono uwagę na systemy informatyczne wspierające zarządzanie przedsiębiorstwem, jak również zagadnienia z obszaru Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT), symulacji komputerowych czy rzeczywistości wirtualnej.

Niniejsza praca może być źródłem informacji prezentującej tematykę Lean Manufacturing, pozwalając na zrozumienie jej kontekstu i możliwości praktycznego zastosowania.

## Bibliografia

- [1] Womack J.P., Jones D.T., Roos D. (2008), Maszyna, która zmieniła świat. ProdPress. Com.
- [2] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2015), Lean Manufacturing. Doskonałość produkcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [3] Liker J. (2004), The Toyota way. Esensi.
- [4] Antosz K. (2019), Metodyka modelowania, oceny i doskonalenia koncepcji Lean Maintenance. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [5] Rother M., Shook J. (1998), Learning to see. Value stream mapping to create value and eliminate muda. The Lean Enterprise Institute, Inc.
- [6] Gudanowska A., Kononiuk A. (2020), Uwarunkowania ucyfrowienia procesów produkcji i wzrostu kompetencji cyfrowych społeczeństwa.
- [7] Hamrol A. (2018), Strategie i praktyki sprawnego działania. Lean, Six Sigma i inne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.



# Rozdział 1.

## Historia Lean Manufacturing

### 1.1. Początki Lean Manufacturing *(Magdalena Kwiatek)*

Obecnie koncepcja Lean Manufacturing, czyli szczupłej produkcji opanowała prawie cały przemysł światowy oraz wszystkie jego branże. Wynika to przede wszystkim z efektywności koncepcji. Można zauważyć, że przy jej zastosowaniu wraz ze wzrostem produktywności – rośnie jakość, produkowanych jest więcej wyrobów przy wykorzystaniu takiej samej ilości zasobów i coraz niższych kosztach.

Lean Manufacturing jest koncepcją, która była tworzona przez wiele lat. Pierwsze kroki, które przyczyniły się w późniejszych latach do stworzenia koncepcji, sięgają przełomu XIX i XX w. i kojarzą się z postacią Eli Whitneya. Był on amerykańskim wynalazcą i przedsiębiorcą, bardziej znanym jako wynalazca odziarniarki bawełny (maszyny do automatycznego separowania nasion od włókien). Jednak największym i najistotniejszym pomysłem Whitneya było wykorzystanie linii montażowej do produkcji masowej. W 1794 roku wynalazca uzyskał patent na swój wynalazek (odziarniarkę), jednak opuścił on południe i przez resztę swojego życia projektował fabryki, tak aby jak najbardziej dostosować je do produkcji masowej (Sobkowiak, 2015).

Przez następne 100 lat producenci skupiali się przede wszystkim na rozwoju technologii oraz nowoczesnego oprzyrządowania do maszyn. Przykładem rozwijanych wówczas procesów wielkoskalowych był opracowany w 1856 r. bessemerowski proces konwertorowy. Proces ten polegał na eliminowaniu domieszek (Si, Mn, C, P, S) z surówki. Przeprowadzano go w konwertorze (tzw. gruszka Bessemera) o krzemionkowym wyłożeniu, przy wykorzystaniu surówki, która zawiera śladowe ilości fosforu i siarki, a także przynajmniej 2% krzemu. Jednak mało osób myślało o szczegółach produkcji, czyli co się dzieje między procesami produkcyjnymi, w jakiej kolejności są te procesy ustawione w hali produkcyjnej, jak dokładnie przemieszcza się pracownik po hali produkcyjnej oraz jak wykonuje wyznaczone dla niego zadania, a także jak funkcjonuje w jednym procesie produkcyjnym łańcuch procesów. Przełom w zauważaniu tych wszystkich spraw można zauważyć podczas prac jednych z początkowych inżynierów przemysłowych w późnych latach dziewięćdziesiątych XIX w. (Sobkowiak, 2015; Encyklopedia PWN, encyklopedia.pwn.pl).

Czym w ogóle jest inżynieria przemysłowa? Jest to jedna z dziedzin techniki łącząca przemysł oraz teorię zarządzania, zajmująca się organizacją procesów produkcyjnych i usługowych w różnorodnych dziedzinach gospodarki. Rozwój tej dziedziny można odnotować na przełomie XIX i XX w. i powiązać z pracami

Fredericka W. Taylora (amerykańskiego inżyniera oraz wynalazcy). Podczas pracy w Midvale Steel Company analizował czas pracy, a wyniki jego prac stanowiły fundament stworzonej przez niego teorii naukowego zarządzania. Skupiał się on przede wszystkim na problemach związanych z wydajnością oraz standaryzacją pracy. Najbardziej popularnym eksperymentem Taylora były badania dotyczące organizacji pracy przy sortowaniu kulek do łożysk, a także analiza pracy osób zatrudnionych do załadunku i wyładunku koksu oraz rudy węgla na boczniczy kolejowej. Amerykański inżynier był twórcą taylorizmu, a także autorem prac naukowych, takich jak *Principles of Scientific Management* oraz *Shop Management* (Sobkowiak, 2015).

Frank B. Gilbreth był kolejnym inżynierem przemysłowym, który miał wpływ oraz ważny wkład w ewolucję organizacji pracy. Razem z żoną Lilian opracowali tzw. metodę chronocyklograficzną, czyli badania przebiegu i czasu trwania ruchów roboczych. Na podstawie swoich badań sklasyfikowali ruchy elementarne. Klasyfikacja ta obejmowała 17 mikroruchów (therbligów). W związku z wykształceniem żony inżyniera (była psychologiem) potrafiła ona wprowadzić do analizy przemysłowej elementy psychologii. Było to coś nowego w porównaniu z wynalazcą Taylorem, który nie zwracał w ogóle uwagi na behawioralne zagadnienia, lecz posiadał tylko naukowe podejście do organizacji. Małżeństwo Gilbrethów było autorami książki pt. „Psychologia zarządzania”, poruszającej przede wszystkim zagadnienia dotyczące motywacji i szkoleń dla pracowników (Sobkowiak, 2015).

Następną i prawdopodobnie najistotniejszą postacią wpływającą na rozwój Lean Manufacturing był Henry Ford. W 1910 roku razem ze współpracownikiem Charlsem E. Sorensenem stworzyli pierwszą całościową strategię produkcyjną, w której wzięli pod uwagę wszystkie elementy – maszyny, urządzenia, pracowników, produkt, które zorganizowali w ciągły system produkcji Forda Modelu T. Trzy lata później w 1913 r. Ford zaprojektował swoją pierwszą ruchomą linię montażową. Na samym początku swojej produkcji Ford konstruował samochody dokładnie jak wszyscy, czyli pojedynczo. Wówczas samochód przez cały czas produkcji był umieszczany na podłodze, a za zaopatrzenie w części oraz montaż całości pojazdu była odpowiedzialna grupa pracowników. Później pojazd montowano w całość na specjalnych platformach, dzięki którym można było przemieszczać samochód pomiędzy stanowiskami monterów. Spowodowało to przyspieszenie procesu produkcyjnego. Ponieważ jednak w dalszym ciągu przy procesie był wykorzystany niski poziom produktywności, a także potrzebni byli do montażu wysoce wykwalifikowani pracownicy, koszty produkcji w dalszym ciągu były wysokie (Henry Ford..., 2017).

Fordowi zależało na obniżeniu kosztów produkcyjnych, dążył więc do automatyzacji produkcji komponentów wyrobu, a także stworzenia metody jak najsprawniejszego, wystandaryzowanego montowania ich w produkowanym samochodzie. Kolejno rozmieścił on pracowników na stanowiskach montażowych, a podwozie samochodu było przeciągane na grubej linii wzdłuż linii produkcyjnej i zatrzymywało się przy poszczególnych stanowiskach, aby pracownicy mogli

wykonać kolejne etapy produkcji. Aby obniżyć jeszcze bardziej koszty produkcji i zlikwidować konieczność zatrudniania wysoce wykwalifikowanych i drogich pracowników, Ford wykorzystał standardowe części montażowe, które był w stanie zamontować pracownik niewykwalifikowany. Dodatkowo, aby linia mogła pracować w jak najwydajniejszy sposób, Henry Ford dokładnie obliczył rozmieszczenie narzędzi i ludzi, a proces produkcji był rozdzielany na części składowe w każdym dziale. Końcowym krokiem było uruchomienie ostatecznej linii montażowej. W jej przypadku na początku było nadwozie, które przemieszczało się wzdłuż linii i zatrzymywało na kolejnych stanowiskach montażowych, aż na samym końcu samochód był całkowicie zmontowany i zjeżdżał z taśmy za pomocą własnego silnika. Dodatkowo istniały boczne taśmy produkcyjne, które były zsynchronizowane z główną taśmą produkcyjną i dostarczały odpowiednie elementy składowe w odpowiednim czasie (A brief history of lean, [www.lean.org](http://www.lean.org)).

H. Ford jako pierwszy zauważył, że wdrożenie zasady *Just in Time* oraz Lean Manufacturing w organizację produkcji może prowadzić do wielu korzyści (Koncepcja Just in Time (JIT), [lean-management.pl](http://lean-management.pl)). Jednak z biegiem czasu i w związku ze zmianą sytuacji rynkowej system Forda zaczął wykazywać pewne niedociągnięcia. Problemami okazały się coraz większa różnorodność produktów czy częstsze zmiany modeli samochodów. Ponadto Ford, podobnie do Taylora, ignorował zagadnienia behawioralne, skupiając się tylko i wyłącznie na rozwiązaniach naukowych i efektywności systemu.

Kolejnym bardzo ważnym wydarzeniem mającym wpływ na rozwój metody Lean Manufacturing było opracowanie systemu produkcyjnego Toyoty. Rozpoczęło się to od zwycięstwa aliantów w II wojnie światowej, po której japońscy przemysłowcy przeanalizowali amerykańskie metody produkcji, zwracając szczególną uwagę m.in. na praktyki Forda. W Toyota Motor Company Taiichi Ohno oraz Shigeo Shingo zaczęto wykorzystywać system produkcyjny Forda, co doprowadziło do opracowania całościowego podejścia do organizacji produkcji (nazwane *Toyota Production System* – TPS, czy *Just in Time*) (Socconini, 2019).

TPS daje możliwość wyprodukowania wyrobów najwyższej jakości przy jak najniższych kosztach. Wynika to z minimalizacji zapasów, dzięki czemu ograniczono liczbę magazynowanych niepotrzebnie części i produktów (*Muda*), a także wytwarzania tych części w odpowiednim czasie (*Just in Time*). Fundamentem systemu jest praca standaryzowana, polegająca na organizacji i jasnym określeniu czynności pracownika tak, aby wyroby były jak najlepszej jakości, wytwarzane w sposób bezpieczny oraz efektywny (A Brief History of (Just-In-) Time, [www.strategosinc.com](http://www.strategosinc.com)).

Drugą zasadą TPS jest idea Kaizen, polegająca na zaangażowaniu pracowników w proces nieustannego usprawniania procesu produkcyjnego. Było to coś nowego, czego Ford nie chciał zmienić w swoim systemie i co było jego słabością. Kolejnym ważnym osiągnięciem Toyoty było odmienne podejście do zmienności produkcji. System Forda został opracowany na podstawie jednego produktu i nie był przygotowany na jego częste zmiany.





Podejście Toyoty do produkcji samochodów oraz nieustanne kontrole jakości spowodowały rewolucje w całym przemyśle. *Just in Time* był wykorzystywany na całym świecie dla wielu produktów, nie tylko w przemyśle samochodowym. Można więc stwierdzić, że metoda ta jest bardzo uniwersalna, a także pomaga w poprawieniu produktywności oraz jakości produktu, co powoduje ulepszenie całego przedsiębiorstwa. W kolejnych latach (lata osiemdziesiąte) niektórym z amerykańskich producentów (Omark Industries czy General Electric) udało się osiągnąć zadowalające efekty. Stosowane wówczas systemy produkcyjne były nazywane *World Class Manufacturing* (WCM), produkcja bez zapasów (*Stockless Production*) czy *Continuous Flow Manufacturing* (CFM). Jednak w większości były to systemy oparte na systemie Toyoty (Sobkowiak, 2015).

Sformułowanie *Lean Manufacturing* zostało po raz pierwszy użyte w 1990 r. w książce *The Machine that Changed the World* autorstwa Jamesa Womacka. Główne części metody Lean Manufacturing są bardzo zbliżone do metod opracowanych przez Ohno i Shingo w Toyocie (Hill, 2011).

## Bibliografia

- [1] A brief history of lean. Dostępne na: <https://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm> (dostęp: 02.01.2021).
- [2] A Brief History of (Just-In-) Time. Dostępne na: [http://www.strategosinc.com/just\\_in\\_time.htm](http://www.strategosinc.com/just_in_time.htm) (dostęp: 02.01.2021).
- [3] Encyklopedia PWN. Dostępne na: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/konwertorowy-proces;3925463.html> (dostęp: 24.01.2021).
- [4] Henry Ford and the Roots of Lean Manufacturing (2017). Dostępne na: <https://www.sixsigmadaily.com/henry-ford-lean-manufacturing/> (dostęp: 02.01.2021).
- [5] Hill A.V. (2011), *The Encyclopedia of Operations Management*. FT Press.
- [6] Koncepcja Just in Time (JIT). Dostępne na: <https://lean-management.pl/just-in-time/> (dostęp: 24.01.2021).
- [7] Sobkowiak J. (2015), *Krótką historia Lean Manufacturing*. Dostępne na: <https://portalprzemyslowy.pl/utrzymanie-ruchu-produkcja/it-dla-przemyslu-erp-cmms-cad-druk-3d/krotka-historia-lean-manufacturing/> (dostęp: 02.01.2021).
- [8] Socconini L. (2019), *Lean Manufacturing. Paso a Paso*, Marge books.

## 1.2. Rola firmy Toyota w powstaniu koncepcji *Lean Manufacturing* (Karolina Kolano)

Koncepcja Lean Manufacturing w dużej mierze opiera się na Systemie Produkcyjnym Toyoty (ang. *Toyota Production System*).

Początki *Toyota Production System* sięgają początku XX w. W powojennej Japonii przedsiębiorstwa zmagaly się z niedoborem zasobów finansowych oraz surowców. Brakowało miejsca na budowę wystarczająco wielu fabryk oraz nie było możliwe zatrudnienie pracownika na całe życie (taka była kultura w Japonii). Zniszczenia wywołane wojną oraz okupacją amerykańską spowodowały konieczność poszukiwania nowych rozwiązań w celu przetrwania na rynku (Przybyła, 2010).

Twórcami koncepcji *Toyota Production System* byli Sakichi Toyoda, jego syn Kichiro Toyoda oraz inżynier produkcyjny – Taiichi Ohno. Sakichi Toyoda stworzył krosien z napędem silnikowym, gdzie wprowadził usprawnienie, które w przypadku zerwania nitki automatycznie przerywało pracę. Na podstawie tego usprawnienia w późniejszych czasach powstał jeden z dwóch filarów produkcji Toyoty, zwany Jidoka, który oznacza wprowadzenie automatyzacji oraz jakości produkcji. Umożliwia to redukcję błędów ludzkich oraz poprawę wydajności. Kichiro Toyoda – syn Sakichiego – był założycielem Toyota Motor Company. Podjął decyzję o zmianie automatycznego wytwarzania krosien na produkcję samochodów. Podróżował do Stanów Zjednoczonych, w tym do fabryki Forda, skąd zaczerpnął inspirację do stworzenia Systemu Produkcyjnego Toyoty (Durakovic i in., 2018).

Niewątpliwie najbardziej zasłużoną postacią w opracowaniu podstaw produkcji odchudzonej jest Taiichi Ohno. Dzięki logicznemu rozumowaniu oraz wnikliwym obserwacjom otoczenia odniósł wielki sukces. Po wielogodzinnych obserwacjach pracy robotników oraz operatorów maszyn utwierdził się w przekonaniu, że w procesie produkcyjnym istnieje zbyt dużo marnotrawstwa oraz jest niższa wydajność pracy, mimo takiego samego wymiaru godzin.

Taiichi Ohno wyróżnił następujące rodzaje marnotrawstwa (Szatkowski, 2014):

- zapasy produkcji w toku,
- wady powstające w procesie produkcji,
- ogólną nadprodukcję,
- oczekiwanie na obróbkę,
- zbędne lub zbyt skomplikowane procesy produkcyjne,
- czas przeznaczony na transport,
- wykonywanie zbędnych i niepotrzebnych czynności przez pracowników.

Znalazł on nowe rozwiązanie, którym było wprowadzenie systemu opartego na: eliminacji marnotrawstwa w produkcji, minimalizacji procesów związanych z niepotrzebnym magazynowaniem surowców i części oraz wytwarzaniu na potrzeby klienta (system ssący) tyle, ile on potrzebuje oraz na określony czas (*Just in Time*). Podstawą systemu jest standaryzowana praca, określająca czynności pracownika w taki sposób, aby móc wytwarzać produkty wysokiej jakości efektywnie oraz bezpiecznie, dzięki wyznaczeniu kolejności czynności (Przybyła, 2010).

Taiichi Ohno często powtarzał, że „wdrażaniu tego typu przedsięwzięć towarzyszy posuwanie się do przodu w rytmie dwa kroki w przód i jeden w tył, dlatego chwilowe niepowodzenia napotymane po próbach wprowadzania usprawnień są poważną przeszkodą. Jednoczą one oponentów takich zmian i mogą zniweczyć całe przedsięwzięcie, jeśli zarząd firmy nie wykaże zdecydowanej postawy wspierającej działania naprawcze (Szatkowski, 2014).

Bardzo duże znaczenie dla systemu ma idea Kaizen, czyli zaangażowanie pracowników w proces ciągłego usprawniania procesu produkcyjnego. Podczas okupacji Japonii generał Douglas MacArthur promował związki zawodowe. Wpłynęło



to na brak możliwości bezkrytycznego zastosowania metod Forda. Odkryto, że nie tylko praca mięśni pracowników ma wpływ na efektywność produkcji. Pozwoliło to na organizację pracy grupowej oraz produkcji gniazdowej (Sobkowiak, 2015).

Dzięki Toyota Production System rozwinął się system zwany Jishuken. Jest to technika rozwiązywania problemów wykorzystująca Kaizen. Jishuken polega na zidentyfikowaniu miejsca, w którym konieczne są zmiany. Następnie organizowany jest zespół składający się z pracowników z różnych działów, kontrolerów jakości oraz lidera. Członkowie zespołu zadają pytania dotyczące różnych obszarów związanych z danym stanowiskiem. Faza ta służy zebraniu jak największej ilości danych. Następnie analizowane są informacje oraz proponuje się zmiany i osoby odpowiedzialne za ich wdrożenie. Lider ma za zadanie porozmawiać z operatorami na stanowiskach i przedstawić zmiany do wdrożenia. Wprowadzone zmiany pozwalają na wyeliminowanie bezczynności, redukcję potrzebnych stanowisk operacyjnych czy eliminację niepotrzebnych ruchów pracownika (Kumar, 2020).

Istotnym osiągnięciem Toyoty było odmienne podejście do zmienności produkcji. W odróżnieniu od systemu Forda, który był oparty na produkcji jednego, niezmiennego produktu, TPS obejmował prace związane z nastawami i przebrojeniami urządzeń oraz sposobem skracania czasu tych czynności. Pozwoliło to na wprowadzenie małych partii produkcyjnych oraz przepływu ciągłego (Goldratt, 2008)

Istotny wpływ na *Toyota Production System* miał również Shigeo Shingo, który od 1969 r. angażował się w pewne działania *Toyota Motor Corporation*. Pomógł on w skróceniu czasów przebrojenia maszyn. Początkowo udało mu się dokonać skrócenia czasu przebrojenia z 4 do 1,5 godziny. Był on zadowolony z osiągniętego efektu, jednak kierownictwo firmy wydało dalsze instrukcje, dotyczące skrócenia czasu do 3 minut. Po ustąpieniu pierwszego szoku związanego z otrzymanymi informacjami przysłała mu do głowy nagła myśl. Polegała ona na przesunięciu prac wewnętrznych na zewnętrzne. Wraz z tym wydarzeniem narodziła się metoda SMED (*ang. Single Minute Exchange of Die*). Umożliwiło to stosowanie prawie ciągłego strumienia wartości oraz małych partii produkcyjnych (Smalley, 2011).

Podejście Toyoty dotyczące kontroli jakości oraz produkcji zrewolucjonizowały cały przemysł. Łańcuch dostaw w systemie *Just in Time* był zwrotem dla producentów na świecie w różnych dziedzinach. Zainteresowanie systemem wzrosło, kiedy się okazało, że dzięki wdrożeniu nowoczesnych rozwiązań rośnie zarówno jakość, jak i produktywność. Jednak stosowanie tylko wybranych elementów systemu nie dawało oczekiwanych wyników. Było to spowodowane nieumiejętnym wprowadzeniem systemu Toyoty oraz niezrozumieniem podstawowych zasad prowadzących do sukcesu w firmie *Toyota* (Sobkowiak, 2015).

## Bibliografia

- [1] Durakovic B., Demir R., Abat K., Emek C. (2018), Lean manufacturing: Trends and implementation issues. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 6(1), 130-143.
- [2] Goldratt E.M. (2008), *Standing on the Shoulders of Giants*. Goldratt Consulting White Paper. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [3] Kumar S.R., Nathan V.N., Ashique S.M., Rajkumar V., Karthick P.A. (2020), Productivity enhancement and cycle time reduction in toyota production system through jishuken activity – Case study. *Materials Today: Proceedings*.
- [4] Przybyła M. (2010), *Nauki o Zarządzaniu 4. Zarządzanie w teorii*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- [5] Smalley A. (2011), *A Brief History of Set-Up Reduction*. *Art of Lean*.
- [6] Sobkowiak J. (2015), *Krótką historia Lean Manufacturing*. Dostępne na: <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Krotka-historia-Lean-Manufacturing-3277075.html> (dostęp: 29.12.2020).
- [7] Szatkowski K. (2014), *Nowoczesne zarządzanie produkcją*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

### 1.3. Prekursorzy Lean Manufacturing (*Anita Długosz*)

Wraz z rewolucją przemysłową zrodziła się potrzeba rozwiązywania problemów organizacji i zarządzania przedsiębiorstwami. Problemy i konflikty procesów wymagały zarządzania naukowego, które opierało się na obserwacji, doświadczeniach oraz eksperymentach. Zarządzanie naukowe miało na celu zwiększenie wydajności i efektywności pracy (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016a).

Jedną z nauk organizacji pracy stworzył **Frederick Winslow Taylor** (ur. 1856 – zm. 1915). Był to amerykański inżynier, wynalazca stali szybkoobrotowej i młota parowego. Wprowadził wiele innowacji w organizacji stanowisk pracy oraz szkoleniach pracowników. Taylor analizował czasy każdego elementu procesu produkcyjnego wraz z pracą robotników. Dzielił proces na proste czynności. Ustalał normy czasu oraz projektował stanowiska pracy. Wprowadził akordowy system wynagrodzeń pracowników – płaca zależała od efektu i ilości wykonanej pracy. Eliminując znużenie robotników i monotonię pracy, zarządził również przerwy zależne od wykonywanej pracy. Wdrażając zmiany, zwiększył jakość i liczbę produkowanych wyrobów, a także poprawił samopoczucie ludzi. W 1911 roku wydał jedną z najbardziej wpływowych książek w kategorii zarządzania, a mianowicie *Zasady naukowego zarządzania* (Taylor, 1911). Frederick Winslow Taylor ma wkład w naukę o zarządzaniu w takich obszarach, jak (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016b):

- optymalizacja – jak najlepsze wykorzystanie środków produkcji, bez zbędnych części,
- specjalizacja – wykonywanie przez pracownika przypisanego do niego zadania,
- standaryzacja – ustalenie norm, zasad wykonywania zadań oraz produktów,



- racjonalizacja – wykonywanie zadań nie na podstawie odczuć pracownika, lecz refleksji teoretycznej,
- jeden najlepszy sposób – przekonanie, że jest jeden najlepszy sposób na realizację danego zadania, który można oprzeć na analizie naukowej.

Jednym ze współpracowników Taylora był **Henry Laurence Gantt** (ur. 1861 – zm. 1919). Gantt również był prekursorem nauki o zarządzaniu. Amerykański inżynier i naukowiec opracował i wdrożył system płac czasowo-premiowy, zwany systemem Ganttowskim. Zaprojektował system, w którym wyznaczono metody oraz narzędzia do wykonywania poszczególnych zadań. W systemie rozłożono czynności na elementy, przeprowadzono badania i syntezę wyników. Pracownik, który stosował się do zaleceń, dostawał premię, w innym przypadku wypłacana mu była tylko dniówka. Wprowadzone zmiany poprawiły efektywność pracy, co miało wpływ na zmniejszenie marnotrawstwa czasu i zwiększenie aktywności pracowników. Henry Laurence Gantt zasłynął również z projektów wykresów, które z biegiem czasu zostały nazwane jego nazwiskiem. Wykresy Gantta są stosowane głównie w zarządzaniu projektami. Służą do planowania i koordynowania przebiegu czynności oraz czasu. Wykresy pozwalają na łatwe i skuteczne planowanie prac, minimalizację marnotrawstwa czasu i czasów przestoju oraz efektywniejsze zarządzanie czasem (Martyniak, 1987).

**Taiichi Ono** (ur. 1912 – zm. 1990) był japońskim inżynierem, twórcą Systemu Produkcyjnego Toyoty. Jako dyrektor wykonawczy i wiceprezes w firmie Toyota wdrożył system ssący i system Kanban, co umożliwiło wprowadzenie produkcji na zasadzie *Just in Time*. Obserwował i analizował procesy produkcyjne. Opracował krąg Ohno. Była to jedna z metod szkoleniowych, w której pracownik musiał stać w narysowanym kręgu na podłodze hali produkcyjnej i obserwować proces produkcyjny. Osoba uzyskiwała wtedy świadomość odnośnie do systemu i procesu produkcji (Szatkowski, 2014).

Założyciel Ford Motor Company, czyli **Henry Ford** (ur. 1863 – zm. 1947) zapoczątkował erę produkcji masowej oraz stworzył pierwszą autonomiczną linię montażową. Ford opracował strategię produkcyjną, w której uwzględnił wszystkie elementy – od ludzi po produkty. Zasłynął z uruchomienia linii montażowej Modelu T. Henry Ford wprowadził system, w którym umieszczano samochody na podłodze, a grupa osób była odpowiedzialna za części oraz montaż. Następnie auto było ustawiane na platformach, które można było przemieszczać do innej ekipy monterów. Dążąc do zmniejszenia kosztów produkcji, użyto standaryzowanych części produkcyjnych, które były proste w montażu. Rozmieszczono pracowników na linii w sposób najbardziej wydajny. Taśmy produkcyjne zsynchronizowano tak, aby zadania były wykonywane w odpowiednim czasie i materiał był dostarczany na każde stanowisko. Ford koncentrował się na wydajności i efektywności procesu produkcyjnego (Szatkowski, 2014).

**William Edwards Deming** (ur. 1900 – zm. 1993) był inżynierem, statystykiem, który przekazywał wiedzę na temat statystycznej kontroli jakości. Opracował metody kontroli jakości oraz wspierał ciągłe doskonalenie procesów produkcyjnych (Mazur, 2010).

**Kaoru Ishikawa** (ur. 1915 – zm. 1989) był ekspertem kontroli jakości. Przykładał wagę do wdrażania technik statystycznych do jakości i twierdził, że poprawa jakości jest procesem ciągłym. Autor diagramu Ishikawy kładł nacisk na dokładne gromadzenie danych oraz ich prezentację. Diagram przyczynowo-skutkowy identyfikuje przyczyny i analizuje skutki problemów. Diagram nazywany wykresem rybiej ości jest znany na całym świecie. Głównymi przyczynami problemu w przedsiębiorstwie produkcyjnym są (Urbaniak, 2004): ludzie, metody, maszyny, materiały i zarządzanie (tzw. metoda 5M).

**James P. Womack** (ur. 1948), prekursor Lean Manufacturing, był dyrektorem badawczym International Motor Vehicle Program (IMVP). Jest założycielem Lean Enterprise Institute (LEI), organizacji zajmującej się badaniami oraz edukacją z zakresu procesów produkcyjnych. LEI specjalizuje się w branży motoryzacyjnej. Womack jest autorem książek o tematyce Lean Management znanych na całym świecie. Jako pierwszy wprowadził pojęcie „lean production” czyli „szczupła produkcja” (Womack, lean.org.pl).

## Bibliografia

- [1] Martyniak Z. (1987), Organizatoryka. PWE, Warszawa.
- [2] Mazur A. (2010), Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [3] Szatkowski K. (2014), Nowoczesne zarządzanie produkcją. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [4] Taylor W.F. (1911), Zasady naukowego zarządzania. The Principles of Scientific Management. Harper Bros, New York.
- [5] Urbaniak M. (2004), Zarządzanie jakością – Teoria i praktyka. Difin, Warszawa.
- [6] Wasiak M., Jacyna-Gołda I. (2016a), Transport drogowy w łańcuchach dostaw. Wyznaczenie kosztów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [7] Wasiak M., Jacyna-Gołda I. (2016b), Zarządzanie łańcuchami dostaw. Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- [8] Womack J., <https://lean.org.pl/ksiazki-lean/james-womack/> (dostęp: 15.02.2021).

## 1.4. Zasady Lean Manufacturing (Aleksandra Wityk)

Według doktora Jamesa Womacka oraz profesora Daniela Jonesa, którzy są uznawani za dwóch najbardziej znakomitych analityków światowego przemysłu, organizacja posługująca się systemem Lean musi spełniać pięć zasad. Zasady te zostały sformułowane w książce *Lean thinking – szczupłe myślenie. Eliminowanie marnotrawstwa i tworzenie wartości w przedsiębiorstwie*. Wśród wspomnianych zasad wyróżnia się następujące (Mourtzis i in., 2016):

### 1) Zasada określenia wartości dla klienta

Wartość to pojęcie, którego znaczenie jest strategiczne z punktu widzenia szczupłego podejścia. Jako wartość rozumie się wszystkie procesy, za które klient gotowy jest zapłacić. Działania, które nie przynoszą wartości dla klienta, w języku japońskim są określane jako *muda* (marnotrawstwo). W celu zdefiniowania wartości niezbędna jest wspólna analiza producenta oraz klienta, dotycząca tego,





czego klient oczekuje i potrzebuje. Istnieje wiele metod, dzięki którym można pozyskać te informacje, np. wywiady, ankiety, analizy internetowe czy informacje demograficzne, których zastosowanie może pomóc w określeniu potrzeb potencjalnych klientów. Może się okazać, że nastąpi radykalna zmiana w stosunku do wartości, którą dotychczas oferował producent, a za którą klient kupował produkt lub usługę. Wszystkie te działania prowadzą do zdefiniowania produktu. Kolejnym krokiem w określaniu wartości jest wyznaczenie kosztu produktu. Planowany koszt należy ustalić, uwzględniając cenę zużytych zasobów oraz nakład pracy potrzebny do wytworzenia produktu, mając na uwadze, że wyrób powinien być zgodny z wymaganiami technicznymi oraz posiadać określone właściwości użytkowe. Ustalony w ten sposób koszt docelowy wyrobu gotowego jest o wiele niższy niż konkurencji (Antosz i in., 2015).

## 2) Zasada określenia strumienia wartości

Strumień wartości jest zdefiniowany jako zestaw wszystkich działań, które są niezbędne do przeprowadzenia produktu przez trzy obszary zarządzania w firmie: rozwiązywanie problemów, zarządzanie informacją oraz ogół czynności od pozyskania surowca do wytworzenia konkretnego produktu (Sundar i in., 2014). Wśród tych czynności można wyróżnić trzy kategorie (Antosz i in., 2015):

- czynności dodające wartość – np. montaż elementów,
- czynności niedodające wartości, ale niezbędne (np. przebrojenie maszyny) – czynności, które są niemożliwe do całkowitego wyeliminowania,
- czynności niedodające wartości, zbędne (np. oczekiwanie na materiał) – czynności, które nie powinny występować.

Zasada ta polega na zidentyfikowaniu wszystkich czynności, które są niezbędne do wytworzenia produktu. W tym celu należy poznać proces i stworzyć plan, w jaki sposób można go udoskonalić.

## 3) Zasada ciągłego przepływu

Zasada ta nakazuje, by dążyć do uzyskania przepływu strumienia wartości bez zatrzymania, bez produktów wadliwych i oczekiwania na kolejne czynności (Pawłowski i inni, 2010). W tym celu należy wyeliminować bariery organizacyjne, które zatrzymują przepływ lub go zakłócają, dostosować plan rozmieszczenia parku maszyn, przystosować zdolność produkcyjną maszyn oraz wdrożyć różnorodne narzędzia i techniki z zakresu odchudzonej produkcji. Wśród nich można wyróżnić: pracę zespołową, QFD, sterowanie przepływem produkcji według taktu (zsynchronizowanie wielkości produkcji z wielkością sprzedaży), skrócenie czasu przebrojeń z wykorzystaniem metody SMED, zrównoważony plan produkcji, który obejmuje powtarzające się sekwencyjnie wielkości zamówień na różne produkty (Heijunka), przepływ jednej sztuki (one-piece flow), TPM, czyli kompleksowe utrzymanie ruchu, 5S (Selekcja, Systematyka, Sprzątanie, Standaryzacja, Samodyscyplina). Celem wdrożenia tej zasady są: wzrost wydajności organizacji, a także optymalizacja czasu wytwarzania wyrobów oraz realizacji zamówień.

#### 4) Zasada systemu ssącego

Zasada ta zaleca produkcję wyrobów w takiej ilości, na którą jest zapotrzebowanie oraz tylko wtedy, gdy są one potrzebne. W związku z tym przepływ strumienia wartości rozpoczyna się od zamówienia złożonego przez klienta zewnętrznego. Kierunek przepływu zamówień na produkty z określonych operacji jest przeciwny do przepływu strumienia wartości. Produkcja w systemie ssania odbywa się w małych partiach lub jako przepływ jednej sztuki, zgodnie z metodą *Just in Time*. Z kolei przepływ jest sterowany z wykorzystaniem technik Kanban. Celem systemu opartego na „ciągnięciu” jest przede wszystkim redukcja zapasów oraz minimalizacja partii produkcyjnych.

#### 5) Zasada ciągłego doskonalenia

Osiągnięcie poprawy realizowanych procesów może być uzyskane na dwa sposoby: przez ciągłe doskonalenie lub przez wprowadzenie radykalnych zmian (*Kaikaku*). Ciągłe doskonalenie skupia się na poszczególnych czynnościach w łańcuchu wartości. Z kolei drugi sposób opiera się na doskonaleniu całego łańcucha wartości. Wybór sposobu wymaga określenia dystansu, który istnieje pomiędzy stanem obecnym a doskonałością, następnie wyznaczenia, które z form marnotrawstwa występujące w strumieniu wartości powinny zostać wyeliminowane w pierwszej kolejności. Na rysunku 1.1 został przedstawiony schemat kolejności wdrażania zasad Lean Manufacturing.



Rys. 1.1. Pięć kluczowych zasad wprowadzania Lean Manufacturing

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Womack, 2003).

Do wymienionych zasad, na podstawie doświadczeń firm, które rozpoczęły wdrażanie Lean Manufacturing, zostały dopisane dwie zasady (Kołodziejczak, 2020):



#### 6) Szanuj i inspiruj ludzi

Na początku wdrażania Lean Manufacturing podejmowane działania były oparte jedynie na wdrażaniu narzędzi. Było to jednak postępowanie krótkoterminowe. Okazało się, że kluczowe jest miękkie podejście do transformacji Lean Manufacturing oraz budowanie zaangażowania wśród pracowników. Należy pamiętać, że pracownicy to siła napędowa przedsiębiorstwa. Aby przedsiębiorstwo lepiej funkcjonowało, należy ich w pełni zaangażować. Najwyższy zarząd oraz kierownictwo powinny być przykładem myślenia Lean Manufacturing oraz stale wspierać swoich pracowników.

#### 7) Patrz na całość

Pierwsze pięć zasad Lean Manufacturing dotyczy głównie obszaru produkcyjnego. Z biegiem czasu okazało się, że podejście to może być wykorzystywane do całego obszaru przedsiębiorstwa. Wprowadzane zmiany muszą być analizowane pod kątem oddziaływania na wszystkie obszary w przedsiębiorstwie. Należy pamiętać, że wszystko jest ze sobą powiązane i należy zachować szeroką perspektywę podczas wdrażania nowych rozwiązań.

Wdrożenie przedstawionych zasad Lean Manufacturing rozpoczyna się z reguły od audytu, który pozwala określić, na jakim poziomie jest organizacja oraz jakie działania umożliwią osiągnięcie największych korzyści w możliwie najkrótszym czasie.

Zasady Lean Manufacturing zapewniają możliwość tworzenia wydajnej oraz skutecznej organizacji. Zastosowanie Lean Manufacturing pozwala na odkrycie nieefektywności organizacji oraz dostarczenie klientom lepszej wartości. Zasady Lean Manufacturing zachęcają do rozwijania ciągłego doskonalenia oraz do lepszego przepływu procesów pracy. Dzięki zastosowaniu wymienionych zasad organizacja zwiększa swoją konkurencyjność, obniża koszty prowadzenia działalności, zwiększa wartość dostarczaną klientom oraz zwiększa swoją rentowność. Zasady Lean Manufacturing to drogowskazy, które pokazują prawidłowy kierunek myślenia.

### **Bibliografia**

- [1] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2015), Lean Manufacturing. Doskonalenie produkcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [2] Kołodziejczak M. (2020), Zasady Lean. Dostępne na: <https://leanactionplan.pl/zasady-lean/> (dostęp: 05.01.2021).
- [3] Mourtzis D., Papathanasiou P., Fotia S. (2016), Lean rules identification and classification for manufacturing industry. *Procedia CIRP*, 50, 198-203.
- [4] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzcieliński S. (2010), *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [5] Sundar R., Balaji A.N., Kumar R.S. (2014), A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875-1885.
- [6] Womack J.P., Jones D.T. (2003), *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*. Productivity Press.

## 1.5. Rodzaje marnotrawstwa według Lean Manufacturing

(Natalia Krzyżek)

Koncepcja Lean Manufacturing zakłada dostarczenie do klienta produktów o najwyższej jakości. Dodatkowo, realizując ten cel, należy dążyć do ograniczenia marnotrawstwa i wykluczenia zbędnych operacji wykonywanych podczas procesu produkcyjnego.

Jednym z niekorzystnych zjawisk występujących w przedsiębiorstwach jest marnotrawstwo. W koncepcji Lean określane jest za pomocą japońskiego słowa *muda*. Termin ten odnosi się do czynności i procesów, które wymagają zaangażowania zasobów do ich wykonania, a nieprzynoszących żadnych korzyści dla przedsiębiorstwa.

Marnotrawstwo można podzielić na dwa typy (Albin, 2018):

- muda I typu – wszelkie straty, które wynikają z procesu lub technologii, a ich wyeliminowanie jest trudne. Mogą to być także takie rodzaje marnotrawstwa, które są konieczne, np. ze względu na BHP,
- muda II typu – marnotrawstwo, które jest łatwe do wykluczenia za pomocą udoskonalenia organizacji pracy.

Główny inżynier koncernu Toyoty – Taiichi Ohno dokonał podziału strat, które występują w procesach produkcyjnych, tzw. 7 Wielkich Strat. Na tej podstawie wyróżnia się siedem podstawowych rodzajów marnotrawstwa. Są to (Brajter-Marczak, 2015):

- nadprodukcja,
- oczekiwanie,
- nadmierne zapasy,
- nieprawidłowe przetwarzanie,
- braki,
- zbędne ruchy pracowników,
- zbędny transport.

**Nadprodukcja** (ang. *waste of overproduction*) polega na wytworzeniu nadmiernej ilości dóbr, usług czy też produktów. Jest to taki rodzaj marnotrawstwa, który w znacznym stopniu przyczynia się do powstania jego kolejnych rodzajów. Nadmierna produkcja może powstać wtedy, gdy np. jedno stanowisko wytwarza nadmierną liczbę półproduktów, których kolejne stanowiska biorące udział w procesie produkcyjnym nie są w stanie wykorzystać. Do głównych przyczyn występowania nadprodukcji można zaliczyć (Lisiecka i in., 2015):

- złe rozplanowanie pracy na stanowiskach produkcyjnych, czyli wymaganie różnego nakładu pracy na poszczególnych stanowiskach, przez co liczba półproduktów wykorzystywanych w kolejnych operacjach nie pokrywa się,
- brak informacji określających, jaka ilość danego wyrobu jest wymagana podczas obróbki w późniejszych etapach procesu,
- długi czas przezbrajania maszyn,



- różna wydajność maszyn,
- błędne myślenie zakładające maksymalną produkcję bez uwzględniania potrzeb rynku zbytu.

Efektom nadprodukcji są problemy ze sprzedażą wyprodukowanych wyrobów. Do zapobiegania powstawaniu tego rodzaju marnotrawstwa można wprowadzić poziomowanie produkcji (Heijunka) (Leksic i in., 2020).

**Oczekiwanie** (ang. *waste of waiting*) oznacza czas, w którym następuje bezczynność. Powoduje to zatrzymanie lub też spowolnienie procesu produkcyjnego. Bezczynność może być wynikiem oczekiwania, m.in. na: materiał, dokumenty, przebrojenie maszyn, decyzje. Ten rodzaj marnotrawstwa może wynikać (Brajer-Marczak, 2015):

- ze złego rozplanowania pracy na stanowiskach,
- z procesu, który został niepoprawnie zaprojektowany,
- ze złej dokumentacji,
- z braku standaryzacji pracy.

Do eliminacji strat związanych z oczekiwaniem mogą być wykorzystywane TPM i system Kanban.

**Nadmierne zapasy** (ang. *waste of inventory*) dotyczą strat wynikających z gromadzenia zapasów, czyli zamrożenia pieniędzy, zajmowania powierzchni magazynowej, którą można wykorzystać np. do powiększenia produkcji itp. Mogą to być zapasy materiałów, komponentów, półproduktów, wyrobów gotowych. Aby zapobiegać powstawaniu nadmiernych zapasów, można zastosować np. system Kanban.

**Nieprawidłowe przetwarzanie** (ang. *waste of overprocessing*) jest to rodzaj marnotrawstwa, który wynika z ponownego wytwarzania. Mogą to być zbędne czynności w danym procesie, takie jak wielokrotna obróbka czy kontrola tego samego elementu procesu. Przyczyny powstawania tego rodzaju marnotrawstwa to m.in. (Lisiecka i in., 2015):

- zła jakość narzędzi,
- zły projekt,
- stosowanie niewłaściwych procedur,
- nieprzestrzeganie wymagań klientów.

Do eliminacji mudy nieprawidłowego przetwarzania mogą być wykorzystane metoda 3P i system Kaizen.

**Braki** (ang. *defects*) oznaczają różnego rodzaju błędy, które wynikły podczas realizacji zadań, a także błędy w obróbce, ustawieniach maszyn czy transporcie. Przyczynami powstawania braków mogą być np. (Lisiecka i in., 2015):

- niezrozumienie wymagań klientów,
- nieprawidłowe przeszkolenie pracowników,
- brak określonych procedur postępowania w przypadku powstania defektu.

Marnotrawstwo w postaci braków naraża przedsiębiorstwo na straty finansowe. Powstają dodatkowe koszty wynikające z dodatkowej pracy i materiałów, a także złej jakości w sprzedaży. Oprócz tego mogą wystąpić zaburzenia na linii

produkcyjnej. Zadaniem kadry zarządzającej jest określenie przyczyn, które powodują powstawanie braków i wdrożenie rozwiązań, pozwalających je wyeliminować. Narzędzia wykorzystywane do eliminacji tego rodzaju marnotrawstwa to Poka-Yoke, Six Sigma i Jidoka.

**Zbędne ruchy** pracowników (ang. *waste of motion*) to marnotrawstwo, definiujące wszelkie straty wynikające ze zbędnych czynności/zbędного ruchu, które nie są konieczne do wykonania danej operacji. Mogą to być np. (Brajer-Marczak, 2015):

- sięganie po trudno dostępne części,
- nadmierne przemieszczanie się pracowników pomiędzy operacjami,
- przemieszczanie się w celu przyniesienia narzędzi,
- szukanie dokumentacji.

Powstawanie tego rodzaju marnotrawstwa wynika najczęściej ze złej organizacji procesów produkcyjnych i metod pracy. Rozwiązaniem w tym przypadku jest analiza procesu wytwarzania przy wykorzystaniu np. metod 5S, 3P, SMED (Bicheno i in., 2000).

**Zbędny transport** (ang. *waste of transportation*) jest to niepotrzebne przemieszczanie, czy też przekazywanie surowców, półfabrykatów lub wyrobów gotowych pomiędzy stanowiskami pracy, wydziałami. Zbędny transport powstaje wtedy, gdy stosowana jest produkcja w partiach lub produkcja pchana, a także w przypadku nadprodukcji i magazynowania. Całkowite wyeliminowanie tego rodzaju marnotrawstwa jest możliwe przez odpowiednie rozplanowanie stanowisk. W tym celu jest wykorzystywany system Kanban, stosuje się także metodę VSM (Albin, 2018).

W walce ze stratami w przedsiębiorstwach pomocne są narzędzia Lean. Ich odpowiedni dobór i zastosowanie przyczyniają się do eliminacji przyczyn powstawania marnotrawstwa. Pracownicy zajmujący się wdrażaniem narzędzi powinni najpierw określić, jakie są ich priorytety i jaki rezultat chcą osiągnąć, a następnie muszą dokonać odpowiedniego wyboru. Każde z narzędzi ma inny wpływ na redukcję strat, niektóre lepiej sprawdzają się przy zapobieganiu powstawaniu wyrobów niezgodnych (np. Poka-Yoke), a inne w redukcji zapasów (np. Kanban) (Leksic i in., 2020).

## Bibliografia

- [1] Albin J. (2018), Marnotrawstwo według lean. Dostępne na: <http://www.botakchce.pl/marnotrawstwo-wedlug-lean/> (dostęp: 16.12.2020).
- [2] Bicheno J., Holweg M. (2000), The lean toolbox (vol. 4). Buckingham: PICSIE books.
- [3] Brajer-Marczak R. (2015), Doskonalenie zarządzania jakością procesów i produktów w organizacjach. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- [4] Leksic I., Stefanic N., Veza I. (2020), The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1).
- [5] Lisiecka K., Burka I. (2015), Źródła powstawania marnotrawstwa w organizacjach na przykładzie usługowych przedsiębiorstw ciepłowniczych. *Studia Ekonomiczne*, 233, 75-92.



## 1.6. Korzyści płynące z wdrożenia Lean Manufacturing

(Kinga Szewczyk)

Koncepcja Lean Manufacturing jest doskonałym podejściem używanym w wielu przedsiębiorstwach podczas zarządzania procesem produkcji. Wykorzystanie Lean Manufacturing wiąże się z wieloma korzyściami dla przedsiębiorstwa, jeśli założenia Lean Manufacturing są dobrze rozumiane przez organizację oraz są wdrażane przez odpowiednią osobę, która posiada adekwatną wiedzę i doświadczenie z tego zakresu (Bartos, 2010).

Założeniem Lean Manufacturing powinno być doprowadzenie przedsiębiorstwa do takiego stanu, aby wszystkie realizowane w nim procesy czy czynności miały określony cel, a zbędne procesy i czynności zostały wyeliminowane lub zredukowane, dając pozytywne rezultaty dla firmy. Działania te mają spowodować wzrost efektywności i produktywności procesu. Jedną z korzyści, która niewątpliwie jest obecnie bardzo aktualna, stanowi fakt eliminowania odpadów zajmujących powierzchnię, a nieprzynoszących zysków przedsiębiorstwu. Oprócz oczywistej redukcji kosztów oraz miejsca, wprowadzenie takich działań wywiera pozytywny wpływ na środowisko. Eliminacja powstawania niektórych odpadów oraz zastosowanie prawidłowego gospodarowania powstającymi odpadami w taki sposób, aby zmniejszyć ich szkodliwe oddziaływanie na środowisko, wpływa pozytywnie na wizerunek przedsiębiorstwa. Aspekt ekologiczny pozwala przedsiębiorstwu wzmocnić swoją pozycję na rynku branżowym, co wpływa na jego rozwój i wyróżnia przedsiębiorstwo na tle konkurentów.

Zwrócenie uwagi na wyposażenie w kontekście Lean Manufacturing wiąże się z założeniem użytkowania maszyn w procesie produkcyjnym wówczas, gdy występuje taka potrzeba. Takie podejście łączy się z przywiązywaniem dużej uwagi do stanu parku maszynowego przedsiębiorstwa oraz kwalifikacji pracowników obsługujących maszyny. Dzięki takiemu podejściu łatwiej jest zauważyć mniej znaczące usterki maszyn, które mogą być naprawiane na bieżąco, generując zdecydowanie mniejsze koszty napraw dla przedsiębiorstwa oraz skracając czas ewentualnych przestojów w procesie produkcyjnym. Całościowe podejście do wyposażenia łączy się z dążeniem do tego, aby żadna produkowana sztuka nie posiadała defektów. W praktyce jest to dążenie do eliminacji w przedsiębiorstwie generowania kosztów wynikających z występowania wadliwych partii towaru, miejsca na przechowywanie wadliwych sztuk towarów, kosztów utylizacji wyrobów niezgodnych czy kosztów utrzymania komórki odpowiedzialnej za wdrażanie udoskonalień w produktach niezgodnych (Wolniak, 2013).

Lean Manufacturing zakłada również redukcję zapasów. Prowadzenie przez przedsiębiorstwo magazynu wiąże się z generowaniem kosztów. Koszty generuje nie tylko fakt posiadania odpowiedniej przestrzeni na magazyn, ale również opracowanie systemu magazynowania, oznakowanie towaru, odpowiednie rozmieszczenie towaru w magazynie czy opłacenie pracowników magazynu. Jeżeli na magazyn jest przeznaczona duża powierzchnia, generowane koszty będą wysokie,

natomiast efektywne zarządzanie taką powierzchnią utrudnione. Dlatego, aby zapobiec marnotrawstwu miejsca i kosztów, należy ograniczać powierzchnię magazynową oraz stan zapasów w magazynie do niezbędnego minimum, co przynosi ekonomiczne korzyści dla przedsiębiorstwa, a także usprawnia zarządzanie obszarem magazynowania. Sprawne zarządzanie magazynem przynosi kolejne korzyści wypływające z Lean Manufacturing, związane z redukcją braków, ponieważ ograniczenie obciążenia magazynu prowadzi do szybkiego i łatwiejszego wychwycenia niezgodności stanów magazynowych.

Wdrożenie produkcji odchudzonej znalazło swoje zastosowanie również w działaniach przyjętych przez przedsiębiorstwa, które poszukują ulepszeń wydajności operacyjnej przez wdrażanie cyfrowych technologii związanych z Przemysłem 4.0. Sprawdzone, że jednocześnie zastosowanie szeroko rozumianych technologii cyfrowych oraz praktyki szczupłego wytwarzania ma znaczący wpływ na poprawę wydajności operacyjnej przedsiębiorstwa. Dodatkową korzyścią związaną z zastosowaniem cyfryzacji oraz Lean Manufacturing jest fakt, że zastosowane jednocześnie pozwalają uzyskać znacznie lepsze efekty niż stosowane oddzielnie. Zastosowanie filozofii Lean Manufacturing w rewolucji przemysłowej 4.0 pokazuje, że jest ona bardzo aktualna i pozwala czerpać korzyści wynikające z wdrażania nowych technologii w przedsiębiorstwach. Wprowadzane zmiany kształtują zupełnie nowe spojrzenie na procesy produkcyjne, generując przewagę nad konkurencją (Buer i in., 2020).

Zastosowanie systemu Kanban, opisanego bardziej szczegółowo w dalszej części pracy, przynosi przedsiębiorstwu korzyści finansowe, ponieważ zakłada produkcję w przedsiębiorstwie eliminującą gromadzenie zapasów. Przyjęcie tej strategii przy produkcji pozwala na produkowanie takiej liczby produktów, jakiej rynek obecnie potrzebuje. Dodatkową zaletą wprowadzenia tego systemu jest elastyczne dopasowywanie się do danej sytuacji rynkowej.

Wprowadzenie standaryzacji pracy pomimo początkowego pochłaniania czasu i nakładu pracy lidera zespołu jest bardzo korzystne dla pracy przedsiębiorstwa. Jednym z elementów standaryzacji pracy jest przygotowanie dla poszczególnych stanowisk instrukcji pracy standaryzowanej. Takie dokumenty ułatwiają pracę na stanowiskach roboczych, znacznie skracając czas realizacji poszczególnych zadań. Dodatkowym atutem wprowadzenia takiego rozwiązania jest to, że w razie niedyspozycji pracownika dokumenty te ułatwiają jego przeszkolenie i przygotowanie do pracy na stanowisku, znacznie skracając czas jego przygotowania do podjęcia pracy oraz ułatwiają wdrożenie się w następujące po sobie etapy pracy na nowym stanowisku.

Kolejną korzyścią wynikającą z wdrożenia koncepcji Lean Manufacturing jest wprowadzenie kontroli na stanowiskach pracy. Takie działania pozwalają na wychwytywanie niezgodności od razu po zakończeniu określonej operacji przez osobę wykonującą operację na stanowisku pracy, co skraca czas eliminowania błędów. Dodatkowo często eliminuje to konieczność ingerencji pracowników działu kontroli jakości, co pozwala zaoszczędzić czas i finanse.



Wdrożenie metody SMED, zakładającej osiągnięcie krótkiego czasu przebrojeń, pozwala na organizację linii produkcyjnej tak, aby ograniczyć czas potrzebny na zmiany oprzyrządowania maszyn. To z kolei redukuje koszty oraz pozwala na ograniczenie przestojów czasowych w produkcji. W celu zastosowania SMED można podzielić etapy produkcji tak, aby realizowane operacje były zbliżone do siebie, co pozwoli na nieznaczne zmiany oprzyrządowania maszyn czy parametrów i skróci czas potrzebny na przebrojenia.

Minimalizacja zbędnego transportu pozwala na lepszą organizację miejsca pracy, która redukuje potrzebę przemieszczania produktów pomiędzy stanowiskami, wpływając na zwiększenie efektywności procesu produkcji (Wolniak, 2013).

Rozmieszczenie elementów stanowiska pracy na podstawie metody 5S pozwala na łatwą organizację pracy na stanowisku. Dzięki temu, że każdy przedmiot znajdujący się na takim stanowisku ma określone miejsce, istnieje możliwość zauważenia braku danego elementu czy narzędzia lub jego awarii. Dodatkową korzyścią dla przedsiębiorstwa jest fakt łatwiejszego wprowadzenia do pracy na takim stanowisku nowego pracownika. Rozwiązanie to skraca czas, który trzeba poświęcić na zapoznanie ze stanowiskiem pracy nowo zatrudnionej osoby. Zastosowanie metody 5S kształtuje również w pracownikach samodyscyplinę, która ma wpływ na zwiększenie efektów pracy zespołu (Wiśniewski, 2010).

Zastosowanie metody Kaizen, zakładającej ciągłe doskonalenie, prowadzi do szczegółowej obserwacji poszczególnych działań pracowników. Dzięki metodzie małych kroków filozofia ta generuje niewielkie koszty dla przedsiębiorstwa, a w dłuższej perspektywie przynosi korzyści finansowe, wpływając na wydajność pracowników oraz jakość wykonywanej pracy (Wolniak, 2013).

Eliminacja marnotrawstwa występującego w przedsiębiorstwie skutkuje znacznymi oszczędnościami, które wpływają na poprawę kondycji budżetu przedsiębiorstwa i są korzystne dla osób zarządzających firmą. Wdrożenie Lean Manufacturing wiąże się ze zdefiniowaniem wartości, która jest istotna dla klienta. Jest to ważna kwestia w procesie produkcji, ponieważ świadomość tego, za co klient jest w stanie zapłacić daną cenę, wpływa na organizację całego procesu wytwarzania.

Zastosowanie Lean Manufacturing w przedsiębiorstwie przynosi korzyści w wielu aspektach, wpływa też na zaangażowanie i nieustanną pracę całego przedsiębiorstwa. W związku z tym, aby zastosowanie Lean Manufacturing przyniosło zakładane korzyści, powinno się zapoznać z tą koncepcją wszystkich pracowników, których wdrożone zmiany dotyczą. Oprócz zaangażowania pracowników kadra kierownicza i zarządcza powinna dołożyć wszelkich starań oraz zapewnić środki pozwalające na wdrożenie zmian zgodnych z Lean Manufacturing. Bez zaangażowania i zrozumienia założeń Lean Manufacturing poniesione koszty i nakład pracy nie przyniosą korzyści dla przedsiębiorstwa.

## Bibliografia

- [1] Bartos K. (2010), Teoretyczne podstawy koncepcji lean manufacturing i jej wybrane narzędzia. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Nauki o Zarządzaniu, 4 (137), 43-45. Uniwersytet Ekonomiczny, Wrocław. Dostępne na: <http://bazekon.icm.edu.pl/bazekon/element/bwmeta1.element.ekon-element-000171369527> (dostęp: 29.01.2021).
- [2] Buer S.V., Semini M., Strandhagen J.O., Sgarbossa F. (2020), The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, 1-17. Dostępne na: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2020.1790684> (dostęp: 30.01.2021).
- [3] Wiśniewski C. (2010), Problemy eksploatacji. Wpływ wdrożenia zasad lean manufacturing na efektywność i jakość produkcji. Politechnika Warszawska, WBMiP, Płock. Dostępne na: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR0-0051-0058> (dostęp: 29.01.2021).
- [4] Wolniak R. (2013), Metody i narzędzia lean production i ich rola w kształtowaniu innowacji w przemyśle. Politechnika Śląska, Śląsk. Dostępne na: [http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2013/p049.pdf](http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2013/p049.pdf) (dostęp: 29.01.2021).







## Rozdział 2.

### Organizacja stanowiska pracy

#### 2.1. Metoda 5S (Agnieszka Cienka)

Metoda 5S stanowi podstawę wdrożenia filozofii szczupłej produkcji w organizacji, jest także fundamentem dla stosowania następnych narzędzi tej koncepcji. Przestrzegana praktyka 5S, bez ponoszenia wysokich nakładów finansowych, daje możliwość zorganizowania i utrzymania wydajnych i czystych miejsc pracy, a co za tym idzie – także wysokiej jakości wyrobów, wyeliminowania strat wynikających z braków czy awarii i podwyższenia produktywności. Pozwala także uzyskać poprawę warunków bezpieczeństwa w środowisku pracy (Krawczuk i Kocira, 2016). Metoda ta stanowi zbiór praktycznych regulacji umożliwiających osiągnięcie efektywnej organizacji miejsca pracy, co można skutecznie wdrożyć w każdym przedsiębiorstwie (Antosz i in., 2015).

Metoda 5S wywodzi się z Japonii, a jej nazwa stanowi akronim pięciu japońskich słów (rys. 2.1) (Łopatowska, 2002):

1. *Seiri* – selekcja (ang. *sort*),
2. *Seiton* – systematyka (ang. *systematise*),
3. *Seiso* – sprzątanie (ang. *sweep*),
4. *Seiketsu* – standaryzacja (ang. *standarize*),
5. *Shitsuke* – samodyscyplina (ang. *self-discipline*).



Rys. 2.1. Pięć zasad metody 5S

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Pacana i in., 2014).

**Selekcja**, inaczej sortowanie, stanowi pierwszy etap metody 5S. Polega on na usuwaniu ze stanowiska pracy tych elementów, które nie są używane lub są niepotrzebne dla właściwego wykonywania operacji na tym stanowisku (Antosz i in.,

2015). W tym etapie ważne jest zidentyfikowanie i oddzielenie rzeczy niepotrzebnych od potrzebnych. Przedmioty zbędne, np. elementy niezwiązane bezpośrednio ze stanowiskiem, wadliwe materiały, nieważne dokumenty, przestarzałe przyrządy czy zepsute lub nieużywane narzędzia powinny zostać wyrzucone lub oznaczone czerwoną etykietą (rys. 2.2). Rzeczy oznaczone czerwoną kartką należy przenieść do miejsca tymczasowego magazynowania, by po określonym czasie podjąć wobec nich określone działania. Dodatkowo można zastosować karty zielone, którymi oznacza się rzeczy potrzebne. Na miejscu pracy należy pozostawić wyłącznie niezbędne przedmioty, w odpowiedniej ilości i jedynie wówczas, gdy jest to konieczne (Brajer-Marczak, 2015).

CZERWONA ETYKIETA 5S		CZERWONA ETYKIETA 5S	
Numer etykiety: _____		Numer etykiety: _____	
Nazwa: _____		Powód oznaczenia	
Ilość: _____	Lokalizacja: _____	<input type="checkbox"/> niepotrzebne/nieużywane <input type="checkbox"/> nadmiarowe <input type="checkbox"/> przeterminowane <input type="checkbox"/> uszkodzone <input type="checkbox"/> przestarzałe <input type="checkbox"/> inne (jakie?)	
Kategoria (zaznaczyć właściwe)	<input type="checkbox"/> surowce <input type="checkbox"/> wyroby gotowe <input type="checkbox"/> maszyny <input type="checkbox"/> narzędzia <input type="checkbox"/> uchwyty <input type="checkbox"/> dokumentacja <input type="checkbox"/> części do maszyn <input type="checkbox"/> inne (jakie?)	Wytyczne postępowania	
	Data: _____ Wystawił: _____	Data: _____ Zatwierdził: _____	<input type="checkbox"/> wyrzucić (procedura złomowania) <input type="checkbox"/> wyrzucić (bez procedury złomowania) <input type="checkbox"/> przenieść do wskazanej lokalizacji <input type="checkbox"/> sprzedać <input type="checkbox"/> przenieść do "Strefy czerwonych kartek" <input type="checkbox"/> inne (jakie?)

Rys. 2.2. Przykład czerwonej etykiety 5S

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Antosz i in., 2015; Pacana i in., 2014).

**Systematyka** ma na celu uporządkowanie miejsca i udoskonalenie sposobu pracy, tak aby wszelkie niezbędne przedmioty były łatwo i szybko dostępne do wykorzystania, co pozwoli zminimalizować stratę w postaci nadmiernego ruchu oraz czas poświęcony na szukanie narzędzi. Rzeczom określonym podczas selekcji jako potrzebne wyznacza się ściśle określone stałe miejsce, biorąc pod uwagę częstotliwość ich używania oraz bezpieczeństwo i ergonomię pracy (Brajer-Marczak, 2015). Ustaloną lokalizację dla danego przedmiotu należy odpowiednio oznaczyć, aby wszyscy pracownicy wiedzieli, gdzie oraz w jakiej liczbie je przechowywać. W tym celu wykorzystuje się najczęściej różne sposoby wizualizacji. Przykładowe metody oznaczania ustalonych lokalizacji to (Kornicki i Kubik, 2008):

- metoda malowania – jest wykorzystywana w celu oznaczenia lokalizacji na podłodze i w przejściach. Używa się przy tym najczęściej farb bądź taśmy samoprzylepnej. Metodę tę można też zastosować do oznakowania linii, które oddzielają drogi i przejścia od powierzchni, na których są wykonywane różnego rodzaju operacje,
- metoda oznaczania kolorami – może być zastosowana w celu pokazania, które z przyrządów czy narzędzi wykorzystać w określonym celu. Przykładowo, jeżeli w procesie smarowania stosuje się różne typy olejów dla

różnych elementów danej maszyny, to można zarówno puszkę z olejem, narzędzie do smarowania, jak i element oznaczyć takim samym kolorem,

- metoda etykiet – wykorzystuje się w niej etykiety, za pomocą których oznacza się co, gdzie i w jakiej ilości się znajduje. Etykiety są wykorzystywane również do wskazywania miejsc magazynowania zapasów czy sprzętu, nazw pomieszczeń, ustawienia maszyn,
- metoda obrysów – polega na obrysowaniu kształtu narzędzi oraz przyrządów w miejscu, w którym powinny być one przechowywane. Umożliwia to łatwiejsze odkładanie narzędzi na wyznaczone miejsce oraz pozwala na szybką identyfikację braków w wyposażeniu (wkładki profilowane, tablice cieni) (Kornicki i Kubik, 2008).

**Sprzątanie** stanowi trzeci filar metody 5S. Etap ten polega na czyszczeniu – usunięciu brudu, kurzu, odpadów, wprowadzaniu porządku, konserwacji oraz odrestaurowaniu miejsc pracy. Sprzątnie ma na celu stworzenie i utrzymanie czystych stanowisk pracy, zidentyfikowanie oraz usunięcie przyczyn powstawania nieczystości, a także sporządzenie harmonogramów sprzątania i instrukcji, określających dokładne zadania (Antosz i in., 2015). Wyeliminowanie przyczyn zanieczyszczeń daje możliwość szybszego ujawnienia wszelkich nieprawidłowości, powodujących np. awarie i różne niebezpieczeństwa. Systematyczne sprzątanie pozwala zaś na zminimalizowanie marnotrawstwa wynikającego np. z poszukiwania narzędzi, awarii, przestojów (Krawczuk i Kocira, 2016). Podczas wdrażania etapu sprzątania praktycznym jego krokiem jest odrestaurowanie stanowiska roboczego, rozgraniczenie w nim stref i przydzielenie odpowiedzialności wyznaczonym pracownikom za utrzymywanie tych stref w czystości (Antosz i in., 2015).

**Standaryzacja** polega na ustaleniu zasad wykonywania pierwszych trzech S. Etap ten powinien zapewnić naturalną potrzebę utrzymywania wprowadzonych zmian. W przeciwnym razie istnieje możliwość powrotu do poprzednich, niewłaściwych przyzwyczajeń i nawyków. Niezbędne staje się zatem stworzenie standardów oraz procedur, których przestrzeganie umożliwi zachowanie porządku i utrzymanie systematyki na stanowiskach pracy. Ponieważ standardy i procedury powinny być przejrzyste i łatwe do zrozumienia, dlatego też w ich opracowywaniu biorą udział pracownicy poszczególnych stanowisk. Ponadto opracowywanie przez osoby zatrudnione standardów daje im możliwość lepszego zrozumienia istoty wprowadzanych w organizacji nowych zasad oraz pomaga w stałym doskonaleniu. Wprowadzone procedury powinny zostać ulokowane w widocznym miejscu, aby zapewnić łatwy dostęp do nich wszystkim pracownikom (Łopatowska, 2002).

**Samodyscyplina** stanowi etap sumujący wszystkie poprzednie zasady stosowane we wdrażaniu metody 5S. Ma ona na celu rozwijanie u pracowników przyzwyczajeń do przestrzegania wprowadzonych zasad oraz umiejętności pracy opierającej się na ustalonych standardach. Wypracowanie takich przyzwyczajeń stanowi długotrwały i trudny proces, gdyż wymaga on zmiany sposobu myślenia i porzucenia dotychczasowych nawyków oraz zmusza najwyższe kierownictwo do pełnego zaangażowania. Bardzo ważnym krokiem, który wspomaga etap samodyscypliny, jest przeprowadzanie regularnych auditów z przestrzegania 5S, zgodnie



z przyjętym wcześniej sposobem i harmonogramem. Pozwalają one zidentyfikować wszelkie odchylenia do przyjętych standardów na stanowisku pracy, a w przypadku odnotowania niezgodności umożliwiają opracowanie działań korygujących (Antosz i in., 2015).

Spotykane jest niekiedy rozwinięcie omawianej metody o kolejne – szóste S, jakim jest **bezpieczeństwo** (ang. *safety*). Ten dodatkowy punkt stanowi położenie jeszcze większego nacisku w zakresie bezpieczeństwa i higieny na stanowiskach pracy. W etapie tym należy zidentyfikować potencjalne zagrożenia, a następnie je oznaczyć. Ideą 6S jest poprawa warunków pracy, podnoszenie świadomości na temat bezpieczeństwa oraz ograniczanie liczby wypadków i urazów w środowisku pracy (Jiménez i in., 2019).

Proces wprowadzania zasad 5S w organizacji rozpoczyna się od podjęcia decyzji o implementacji 5S, a także od wyboru miejsc, w których będzie realizowane wdrożenie metody. Z podjęciem decyzji wiąże się również zaangażowanie najwyższego kierownictwa, okazywane przez nie poparcie dla podejmowanych decyzji, a także opracowanie planu działań i harmonogramu, które będą realizowane wraz z ustaloną polityką wdrażania systemu 5S przez wybraną grupę osób odpowiedzialnych za wdrożenie. Następnie należy przeprowadzić szkolenie w celu ukazania słuszności, jak i konieczności wdrożenia praktyk 5S w organizacji. W pierwszej kolejności powinno ono objąć pracowników najwyższego i średniego szczebla. W następnym kroku należy zapoznać z zasadami 5S pracowników produkcyjnych i biurowych. Wynikiem tego etapu powinien być też opracowany harmonogram szkoleń.

Dalszym krokiem jest wyznaczenie zespołów, których zadaniem będzie nadzór nad realizowanymi pracami oraz ich koordynacja, a także ustalenie warunków, na podstawie których zostanie przeprowadzona wymiana informacji między zespołami. W kolejnym kroku należy dokonać wyboru obszaru pilotażowego. Wdrożenie programu 5S w tym obszarze należy rozpocząć od jego charakterystyki, a następnie utworzenia w nim zespołu. Jego zadaniem jest poddanie analizie stanu aktualnego obszaru i zidentyfikowanie w nim problemów. Problemy te należy wyeliminować, przeprowadzając dwa pierwsze S (selekcja i systematyka), a następnie utrzymując wypracowany stan przez regularne sprzątanie (3S). Następnie należy stworzyć standardy (4S) dla tego obszaru oraz wdrożyć piąte S dotyczące samodyscypliny. Po przeprowadzeniu wdrożenia w obszarze pilotażowym należy opracować harmonogram wprowadzania zasad 5S dla pozostałych obszarów. Ostatni krok powinna stanowić ocena efektywności zaimplementowanych działań przez przeprowadzane regularnie i opierające się na ustalonym harmonogramie audyty (Antosz i in., 2015).

Wdrożenie metody 5S w sposób istotny wpływa na funkcjonowanie przedsiębiorstw z różnych branż (Bharambe i in., 2020; Randhawa i Ahuja, 2017). Przestrzeganie zasad 5S w przedsiębiorstwach przyczynia się przede wszystkim do (Antosz i in., 2015; Mehta i Dave, 2020):

- postępu w zakresie jakości produkowanych wyrobów przez zmniejszenie liczby błędów wynikających z nieuwagi oraz przestrzeganie ustanowionych

w przedsiębiorstwie procedur, instrukcji i standardów wykonywania pracy, zgodnych z metodyką 5S,

- redukcji kosztów produkcji związanych ze wzrostem produktywności i wydajności, dzięki wyeliminowaniu czynności zbędnych, niedodających wartości, dotyczących np. poszukiwania narzędzi czy dokumentacji,
- efektywnego wykorzystania przestrzeni, dzięki spełnieniu drugiego S – systematyki, podczas której wszystkim narzędziom i sprzętom wyznacza się ściśle określone miejsce,
- zwiększenia zadowolenia klientów, przede wszystkim dzięki poprawie jakości produktów i skróceniu czasu realizacji procesów,
- zwiększenia bezpieczeństwa w miejscu pracy przez utrzymanie czystych stanowisk i lepszą organizację uwzględniającą zasady BHP i ergonomii,
- utrzymania sprawności maszyn, przede wszystkim przez ich konserwację i czyszczenie, ale także przez wypracowanie u pracowników pewnych określonych standardów i dobrych praktyk,
- podniesienia zadowolenia pracowników i wprowadzenia dobrej atmosfery w miejscu pracy.

Wymienione korzyści można uzyskać przede wszystkim dzięki zaangażowaniu zarówno ze strony pracowników produkcyjnych, jak również całej kadry zarządzającej. To do zadań kierownictwa należy stworzenie harmonogramu działań, wspieranie wdrożenia i dalszych działań związanych z 5S, mobilizowanie pracowników do składania pomysłów w ramach rozwijania metody, a następnie realizowanie ich. Rolą kierowników i menedżerów jest też nagradzanie pracowników za ich aktywne działania w ramach metody 5S oraz promowanie pojętych już przedsięwzięć (Antosz i in., 2015).

## Bibliografia

- [1] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2015), Lean Manufacturing. Doskonalenie produkcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [2] Bharambe V., Patel S., Moradiya P., Acharya V. (2020), Implementation of 5s in Industry: A Review. Multidisciplinary International Research Journal of Gujarat Technological University, 2(1), 12-27.
- [3] Brajer-Marczak R. (2015), Doskonalenie zarządzania jakością procesów i produktów w organizacjach. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- [4] Jiménez M., Romero L., Fernández J., del Mar Espinosa M., Domínguez M. (2019), Extension of the Lean 5S methodology to 6S with an additional layer to ensure occupational safety and health levels. Sustainability, 11(14), 3827. Dostępne na: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/14/3827> (dostęp: 21.01.2021).
- [5] Kornicki L., Kubik S. (2008), 5S dla Operatorów. 5 filarów wizualizacji miejsca pracy. ProdPress.com, Wrocław.
- [6] Krawczuk A., Kocira S. (2016), Ocena wdrażania metody 5S w przedsiębiorstwie: studium przypadku. Towaroznawcze Problemy Jakości, 3(48), 31-40. Dostępne na: [https://www.researchgate.net/publication/309351796\\_Ocena\\_wdrażania\\_metody\\_5S\\_w\\_przedsiębiorstwie\\_studium\\_przypadku\\_EVALUATION\\_OF\\_THE\\_IMPLEMENTATION\\_OF\\_5S\\_METHOD\\_IN\\_ENTERPRISE\\_A\\_CASE\\_STUDY](https://www.researchgate.net/publication/309351796_Ocena_wdrażania_metody_5S_w_przedsiębiorstwie_studium_przypadku_EVALUATION_OF_THE_IMPLEMENTATION_OF_5S_METHOD_IN_ENTERPRISE_A_CASE_STUDY) (dostęp: 05.01.2021).



- [7] Łopatowska J. (2002), Metoda 5S jako narzędzie modelowania procesów na stanowisku pracy. [W:] Inżynieria systemów zarządzania, red. L. Zawadzka, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- [8] Mehta V.B., Dave P.Y. (2020), Impact of 5S and lean manufacturing techniques in various organisations to enhance the productivity. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 2, 4, 421-436.
- [9] Pacana A., Gazda A., Wołoszyn P. (2014), Wykorzystanie metody 5S do doskonalenia procesów logistycznych. *Modern Management Review*, 21(2), 73-80. Dostępne na: <http://doi.prz.edu.pl/publ/zim/115> (dostęp: 05.01.2021).
- [10] Randhawa J.S., Ahuja I.S. (2017), 5S implementation methodologies: literature review and directions. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 20(1), 48-74.

## 2.2. TPM na stanowisku pracy (Bartosz Rzeszutek)

TPM (ang. *Total Productive Maintenance*), czyli kompleksowe utrzymanie maszyn, to kolejne narzędzie wykorzystywane w koncepcji zarządzania produkcją odchudzoną – *Lean Manufacturing*. Narzędzie to jest wykorzystywane do eliminacji strat, które dotyczą maszyn technologicznych. Pomaga ono wykręcić i zredukować muda, dzięki realizacji celu trzech zer: zero wypadków, zero braków oraz zero awarii (Wielgoszewski, 2007).

Podstawą TPM są prewencja oraz proaktywne podejście do konserwacji w całym przedsiębiorstwie. Aby osiągnąć cel, jakim jest maksymalna produktywność, należy spojrzeć na przedsiębiorstwo produkcyjne jako całość, a nie tylko jako część. W przedsiębiorstwie filozofia kompleksowego utrzymania maszyn staje się nie tylko filozofią konserwacji, ale stanowi część strategii i filozofii firmy. TPM jest uważane za jedno z trudniejszych narzędzi filozofii *Lean Manufacturing*. Wdrożenie może zająć długi czas, ale efekt jest bardzo opłacalny zarówno w produkcji, jak i motywacji oraz podnoszeniu morale pracowników (Schindlerova i in., 2020).

Wdrożenie narzędzia produkcji odchudzonej, jakim jest TPM, wiąże się z wieloma aspektami poprawy funkcjonowania przedsiębiorstw. Prawidłowa konserwacja maszyn jest jednym z czynników warunkujących uzyskanie wysokiej jakości wyrobów oraz obniżenie kosztów produkcji związanych z działaniami naprawczymi, czy też kosztów materiałów, pracy, mediów potrzebnych do przetworzenia wyrobów niezgodnych bądź ich ponownej kontroli. Prawidłowo działająca maszyna to też zwiększenie poczucia bezpieczeństwa pracownika na stanowisku pracy, a tym samym wzrost jego zaufania i zwiększenie poczucia lojalności oraz oddania w wykonywaniu swoich obowiązków. Wdrożenie TPM to zatem narzędzie przyczyniające się do zdobywania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw na rynku. Składa się z prawidłowej konserwacji maszyny, powodującej zwiększenie wydajności pracy i jakości wyrobów oraz obniżenie kosztów produkcji (Mukhedkar, 2020).

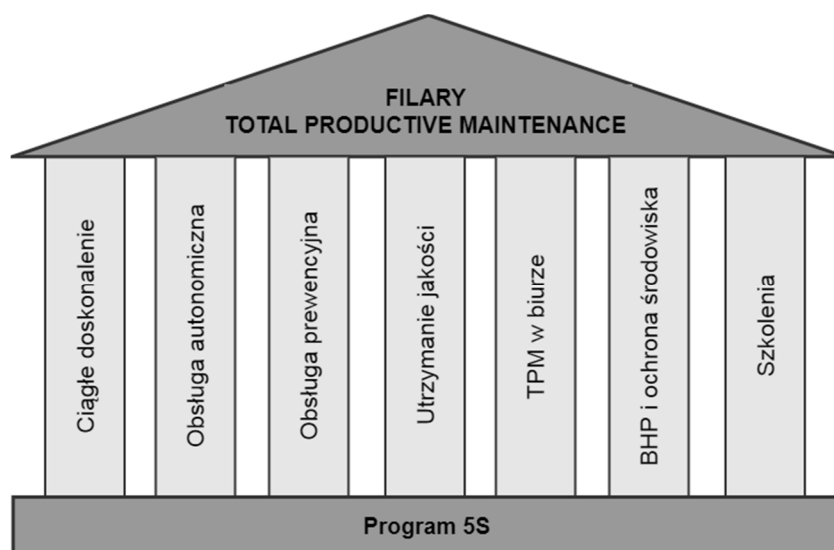
Kompleksowe utrzymanie maszyn to ciągły proces obsługi maszyn i urządzeń, który jest realizowany w przedsiębiorstwie przez wszystkich operatorów



oraz pracowników utrzymania ruchu. Dzięki jego wdrożeniu każda maszyna w realizowanych procesach produkcyjnych jest w pełni zdolna do wykonywania na niej zadań z tego względu, że nie powoduje żadnych zakłóceń produkcji. Metoda TPM, poza celem nadrzędnym w postaci trzech zer, jest ukierunkowana na realizację następujących celów podrzędnych (Furman, 2014):

- maksymalizacja efektywności i wydajności wyposażenia produkcyjnego,
- rozwój systemu dotyczącego utrzymania ruchu – stałej obsługi konserwacyjno-naprawczej,
- zaangażowanie wszystkich działów w przedsiębiorstwie w zadania planowania, projektowania oraz procesy obsługi konserwacyjnej maszyn i urządzeń,
- mobilizacja wszystkich pracowników do włączenia się w proces identyfikacji przyczyn występujących strat, a także monitorowanie i stały nadzór nad wyposażeniem,
- promowanie metody TPM.

Koncepcję TPM można przedstawić w sposób graficzny (rys. 2.3) jako budowlę, której sklepienie, czyli system TPM, utrzymuje się na 7 filarach określających pewne założenia, które muszą być wdrożone, aby system TPM funkcjonował w przedsiębiorstwie w sposób efektywny i przynoszący wymierne korzyści. Filary te opierają się na fundamencie, który w tej budowlu pełni metoda 5S. Brak wdrożonego i stabilnie działającego 5S nie daje solidnej podstawy do osiągania postawionych celów, związanych z wdrożeniem kompleksowego utrzymania maszyn (Wielgoszewski, 2007).



Rys. 2.3. Filary TPM

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Wielgoszewski, 2007).







Pierwszy filar stanowi doskonalenie z wykorzystaniem metody Kaizen, które zakłada wzrost efektywności dzięki stosowaniu mało kosztownych, niewielkich udoskonalień organizacji miejsca (stanowiska) pracy oraz prowadzonego procesu. Jest ono ukierunkowane na minimalizację lub całkowitą redukcję strat występujących na stanowisku pracy, wpływających na wydajność. Jednak, żeby udoskonalać pracę na stanowisku, należy przede wszystkim w pierwszej kolejności zacząć od identyfikacji przyczyny źródłowej problemu, wykorzystując do tego narzędzia wspomagające metodę TPM, takie jak: 5xWhy, analiza FMEA, diagram Ishikawy czy diagram Pareto-Lorenza (Antosz i in., 2015).

Drugi filar dotyczy obsługi autonomicznej, opartej na znajomości maszyn i urządzeń przez operatorów, którzy wykonując ciągłą pracę, zaznajamiają się z działaniem środków produkcji, co pozwala im wcześniej wykryć wszelkie nieprawidłowości, objawiające się takimi symptomami, jak m.in. hałas, wycieki oleju, nagrzewanie się elementów, stukanie. Obsługa autonomiczna na stanowisku pracy wiąże się z czyszczeniem i uporządkowaniem stanowiska oraz maszyn i urządzeń, przeglądem ogólnym stanowiska, przygotowaniem maszyny do pracy (smarowanie, uzupełnianie i wymiana płynów), a także eliminacją stwierdzonych niezgodności. W celu sprawnego funkcjonowania obsługi autonomicznej należy opracować właściwe metody oraz wyposażyć stanowisko pracy w systemy pomocnicze, mające na celu ułatwienie identyfikacji nieprawidłowości pracownikowi. Kolejnym ważnym aspektem dotyczącym obsługi autonomicznej jest to, aby sami pracownicy pracowali nad przygotowaniem udoskonalień obsługi na stanowisku. Dzięki takiemu działaniu zwiększa się odpowiedzialność operatorów związana z działaniami prowadzonymi na ich stanowiskach pracy, co może prowadzić do poprawienia jakości pracy na danym stanowisku oraz zwiększenia umiejętności pracowników. Z obsługą autonomiczną wiąże się również opracowywanie specjalnych kart obsługi autonomicznej, których zadaniem jest zwrócenie uwagi operatorów na wykonywanie podstawowych czynności przygotowawczych, niezbędnych do rozpoczęcia danych procesów, a także na wykonanie czynności konserwujących i czyszczących po zakończeniu pracy na stanowisku (Furman, 2014). W tabeli 2.1 przedstawiono przykładową kartę obsługi autonomicznej dla obrabiarki.

Trzeci filar stanowi obsługa prewencyjna na stanowisku pracy. Jest to wprowadzenie systemu utrzymania produkcji, którego zadaniem jest zapobieganie niezgodnościom i przewidywanie ich, wynikające z przeprowadzanych według harmonogramu i zgodnych z obowiązującymi w przedsiębiorstwie procedurami kontroli. Obsługa prewencyjna charakteryzuje się trzema głównymi zasadami, które dotyczą wykonywania działań na maszynach, związanych ze smarowaniem i monitorowaniem pracy, wczesnym wykrywaniem nieprawidłowości przez operatorów oraz szybkim reagowaniem na pojawiające się oznaki nieprawidłowej pracy (Antosz i in., 2015).

Tabela 2.1. Karta obsługi autonomicznej dla obrabiarki na stanowisku tokarskim (Rzeszutek, 2020)

Lp.	Oznaczenie	Wykonywane czynności	Metoda wykonania	Częstotliwość
1		Czyszczenie filtra olejowego	Oczyścić odstojnik Przemyć siatkę filtra naftą	Raz w tygodniu Raz w miesiącu
2		Sprawdzanie poziomu oleju	Sprawdzić wzrokowo stan oleju	Przed przystąpieniem do pracy
3		Sprawdzanie stanu prowadnic	Obrócić dźwignię 5 razy w lewo oraz 5 razy w prawo	Przed przystąpieniem do pracy
4		Sprawdzanie działania wyłącznika STOP	Włączyć i wyłączyć obrabiarkę	Przed przystąpieniem do pracy

Czwarty filar polega na sterowaniu parametrami maszyn i urządzeń w taki sposób, aby zagwarantować wysoką jakość wyrobów wraz z eliminacją wyrobów niezgodnych. Utrzymanie jakości wymaga ciągłego monitorowania, zbierania danych z maszyn i urządzeń czy przeprowadzania kontroli (Furman, 2014).

Piąty filar dotyczy stosowania TPM w biurze. Oznacza to, że metoda ta nie tylko sprawdza się na hali produkcyjnej i maszynach tam występujących. Tak jak na hali, tak też i w biurze mogą występować straty, a różne działy administracyjne mogą być traktowane jak warsztaty, dla których głównymi zadaniami są zbieranie i przetwarzanie informacji. Straty mogą być związane z kosztami i występować

w takich działach, jak m.in. księgowość, zaopatrzenie, sprzedaż, czy też z takimi nieprawidłowościami, jak awarie urządzeń komunikacyjnych, bezczynność pracowników (Antosz i in., 2015).

Szósty filar odnosi się do bezpieczeństwa i środowiska, mianowicie zakłada, że działania realizowane na stanowisku pracy powinny być wykonywane w taki sposób, aby wyeliminować zagrożenie bezpośrednio dla pracowników, maszyn i urządzeń, a także środowiska naturalnego. W tym celu tworzone są wszelkie procedury, instrukcje stanowiskowe i BHP, polityka środowiskowa, monitorowana jest praca na stanowiskach, prowadzone są klasyfikacje wypadków czy pomiary emisji do środowiska itp. (Antosz i in., 2015).

Siódmy filar dotyczy szkoleń pracowników, które mają na celu zwiększenie umiejętności pracowników, ich świadomości wdrożonej metody TPM, a także świadomości na temat korzyści płynących z zaimplementowanej metody. Ważnym elementem powinno być również opracowanie polityki dotyczącej szkoleń. Pracownicy na przeprowadzanych szkoleniach powinni nauczyć się również współpracować w zespole oraz odpowiednio się w nim komunikować (Furman, 2014).

## Bibliografia

- [1] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2018), Lean Manufacturing doskonalenie produkcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [2] Furman J. (2014), Wdrażanie wybranych narzędzi koncepcji Lean Manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole.
- [3] Mukhedkar D.K. (2020), A Study of TPM Implementation Impact on Production Cost.
- [4] Rzeszutek B. (2020), Analiza i doskonalenie procesu wytwórczego wybranymi metodami LM. Praca dyplomowa pod opieką Barbary Ciecickiej, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów.
- [5] Schindlerová V., Šajdlerová I., Michalčík V., Nevima J., Krejčí L. (2020), Potential of Using TPM to Increase the Efficiency of Production Processes. Tehnicki vjesnik, 27(3), 737-743.
- [6] Wielgoszewski P. (2007), TPM – Total Productive Maintenance – czyli jak zredukować do zera liczbę wypadków, awarii i braków, Zarządzanie Jakością, 1.

## 2.3. Poka-Yoke (Paulina Chmura)

Podczas realizacji procesów często świadomie lub mniej świadomie dochodzi do popełnienia różnego rodzaju błędów. W celu zapobiegania błędom coraz częściej stosowane są rozwiązania Poka-Yoke. Są to rozwiązania techniczne i organizacyjne, których głównym zadaniem jest niedopuszczenie do popełnienia błędu (Stadnicka, 2016). Dzięki zastosowaniu Poka-Yoke możliwe jest wykrycie błędu na wczesnym etapie realizacji określonego procesu (Hamrol, 2017).

Metoda Poka-Yoke została opracowana przez Shigeo Shingo w drugiej połowie XX w. W ten sposób zapoczątkował on rozwój systemów zarządzania jakością skoncentrowany na maksymalizowaniu odporności systemu na wszelkie błędy (Myszewski, 2009). Shigeo Shingo uważał, że nie jest możliwe osiągnięcie 100%

skupienia pracownika podczas wykonywanej pracy, dlatego zaproponował on zastosowanie takich urządzeń i ulepszeń, które będą ułatwiać pracę oraz będą zapobiegać występowaniu błędów (Shingo, 1985).

Pierwsze urządzenie Poka-Yoke zostało zastosowane przy montażu silnika elektrycznego. Problemem był fakt, że pracownicy bardzo często zapominali o zamontowaniu określonej liczby sprężyn. Shingo zaproponował użycie podajnika, który wyliczał i przekazywał pracownikowi taką liczbę sprężyn, jaka powinna być zamontowana. Operator otrzymywał konkretną liczbę elementów potrzebnych do zamontowania w jednym wyrobie. Jeśli nie zużył wszystkich części, oznaczało to, że musiał gdzieś popełnić błąd (Shingo, 1985).

Dzięki systematycznemu monitorowaniu źródeł potencjalnych błędów podczas realizacji procesu wszelkie wady mogą być usuwane już u samych źródeł. Metoda Poka-Yoke skupia się przede wszystkim na identyfikowaniu wszystkich potencjalnych przyczyn niezgodności, a następnie na wprowadzeniu prostych rozwiązań technicznych, które uniemożliwiają wystąpienie błędu (np. niedopuszczenie do nieprawidłowego montażu części bądź sygnalizowanie, gdy operator zapomni o danym elemencie). W przypadku wystąpienia niezgodności następuje zatrzymanie procesu i są podejmowane działania polegające na identyfikacji przyczyn. Proponowane są działania mające na celu uniknięcie podobnej sytuacji w przyszłości (Myszewski, 2009).

Stwierdzenie wystąpienia błędu następuje wskutek realizacji funkcji ustawiających, np. (Szatkowski, 2014):

- metody kontaktu, polegającej na wykryciu nieprawidłowości (np. zmian w zakresie temperatury, kształtu, wagi),
- metody ustalonej wartości, polegającej na zliczaniu wykonanych operacji (jeśli liczba wykonanych operacji jest inna niż liczba zaprogramowana, generowany jest określony sygnał alarmowy),
- metody koniecznego kroku, polegającej na wykrywaniu nieprawidłowości wtedy, gdy dana czynność ma być wykonana w określonym czasie lub w ściśle określonej kolejności względem innych czynności.

Wyróżnia się trzy rodzaje rozwiązań Poka-Yoke (Stadnicka, 2016):

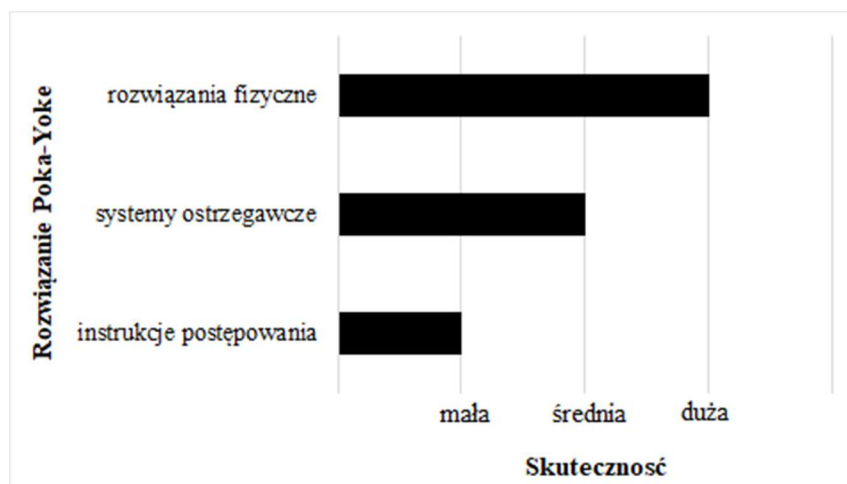
- rozwiązania fizyczne,
- systemy ostrzegawcze,
- instrukcje postępowania.

Każdy rodzaj rozwiązania Poka-Yoke cechuje się inną skutecznością. Najmniej skuteczne są instrukcje postępowania, natomiast największą skutecznością wyróżniają się rozwiązania fizyczne. Szacunkową skuteczność każdego z rozwiązań przedstawiono na rys. 2.4.

„Najbardziej skuteczne są rozwiązania fizyczne ze względu na to, że przy ich zastosowaniu popełnienie błędu jest niemożliwe. Wykonanie zamierzonej czynności możliwe jest tylko w jeden jedyny sposób, nie ma szans na jakiegokolwiek odstępstwa. Przykładem rozwiązania fizycznego może być brak możliwości obróbki bez zamknięcia osłony bezpieczeństwa. Dzięki temu obce przedmioty nie dostaną się do strefy roboczej maszyny. Wspomniane rozwiązanie pozwoli na uniknięcie



wielu wypadków przy pracy oraz będzie zapobiegać uszkodzeniu przedmiotu obrabianego i maszyny. Fizycznym rozwiązaniem Poka-Yoke jest również jedyny możliwy sposób umieszczenia karty SIM w telefonie komórkowym czy też uniemożliwienie podłączenia innego, nieodpowiedniego urządzenia zewnętrznego do telefonu komórkowego, komputera itp.” (Chmura, 2020).



Rys. 2.4. Skuteczność rozwiązań Poka-Yoke

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Stadnicka, 2016).

Przykładem rozwiązania typu Poka-Yoke jest zabawka dziecięca przedstawiona na rys. 2.5. Wymagane elementy można umieścić w niej tylko w jeden możliwy sposób. W życiu codziennym rozwiązaniem fizycznym w odniesieniu do metody Poka-Yoke jest otwór przelewowy, który odpowiada za odprowadzenie wody w przypadku zbyt dużej ilości cieczy w umywalce. Dzięki temu możliwe jest uniknięcie zalania podłogi wodą.

Zadaniem rozwiązań informacyjnych i ostrzegawczych jest poinformowanie pracownika o wystąpieniu błędu i ostrzeżenie przed jego możliwymi konsekwencjami. Taki rodzaj rozwiązań Poka-Yoke jest nieco mniej skuteczny niż rozwiązania fizyczne, ponieważ w tym przypadku to pracownik jest zobowiązany do decydowania o dalszym postępowaniu. Zdarza się, że operatorzy lekceważą przekazywane komunikaty. Może to być spowodowane brakiem świadomości konsekwencji zaniechania przekazania konkretnej informacji lub brakiem wiedzy, jak zachować się w określonej sytuacji. Niekiedy zdarza się też, że pracownik wyłącza określone ostrzeżenie, ponieważ jest ono dla niego zbyt uciążliwe, np. emituje drażniący go dźwięk o wysokich częstotliwościach.

Przykładem rozwiązania informacyjnego jest system picking up, stosowany często w procesach montażu. Jego zadaniem jest wskazanie pracownikowi, jakie elementy musi pobrać do procesu. Niekiedy także podpowiada liczbę tych elementów (Chmura, 2020).



Rys. 2.5. Zasada działania rozwiązań fizycznych Poka-Yoke na przykładzie zabawki

Za najmniej skutecznie rozwiązania Poka-Yoke uznaje się rozwiązania organizacyjne, które zależą przede wszystkim od świadomości pracowników. Przykładem takiego rodzaju rozwiązania jest opakowanie z pilnikami, w którym każdy kształt pilnika ma swoje graficznie oznaczone miejsce. Rozwiązanie to pozwala uniknąć pobrania narzędzia o niewłaściwym kształcie, jednak jego skuteczność wiąże się głównie z zachowaniem porządku i dyscypliny przez pracownika. Niestety, problemem jest to, że pracownicy nie zawsze odkładają narzędzia na swoje miejsca, co skutkuje pobraniem niewłaściwego narzędzia w kolejnej operacji. Do rozwiązań organizacyjnych zalicza się również instrukcje pracy umieszczone na stanowiskach pracy. Podpowiadają one pracownikowi, jak ma przygotować do pracy swoje stanowisko, określają, jak wykonać kolejne operacje, opisują sposób obsługi maszyny, wskazują sposób prowadzenia obsługi autonomicznej maszyny itp. Często w instrukcjach tych występują schematy blokowe (Chmura, 2020).

Przedsiębiorstwa stosują różnego rodzaju rozwiązania Poka-Yoke ze względu na dostępność środków finansowych, czas wdrożenia rozwiązania, rodzaj występujących problemów, przewidywane do osiągnięcia korzyści, a także ze względu na liczbę klientów, których wymagania dzięki temu rozwiązaniu można będzie spełnić (Stadnicka, 2016).

W obecnym czasie coraz bardziej popularna staje się koncepcja Przemysłu 4.0 (I4.0). Wdrażanie koncepcji I4.0 jako nowego narzędzia Poka-Yoke jest zalecaną częścią szczupłej strategii (Widjajanto i in., 2020). Nowatorskie Poka-Yoke z podejściem I4.0 jest możliwe do zastosowania w takich obszarach, jak: cyfrowa pamięć obiektów, integracja człowiek–komputer, automatyczna identyfikacja, wirtualna reprezentacja (ang. *Virtual Reality* – VR), rzeczywistość rozszerzona (ang. *Augmented Reality* – AR), chmura, *big data* oraz sztuczna inteligencja (Mayr, 2018).



Zastosowanie Poka-Yoke umożliwia znaczne poprawienie jakości procesów produkcyjnych przez wyeliminowanie błędów występujących na etapie produkcji. Metoda ta jest o wiele bardziej efektywna niż zastosowanie metod kontroli wyrobu. Zalecane jest stosowanie Poka-Yoke wszędzie tam, gdzie tylko jest to możliwe (Huber, 2006).

## Bibliografia

- [1] Chmura P. (2020), FMEA wybranego procesu wytwórczego i jego doskonalenie. Praca dyplomowa pod opieką Barbary Ciecickiej, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów.
- [2] Górka E., Lewandowski J. (2016), Zarządzanie i organizacja środowiska pracy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [3] Hamrol A. (2017), Zarządzanie i inżynieria jakości. PWN, Warszawa.
- [4] Huber Z. (2006), Poka-Yoke. Wyd. 1. Dostępne na: <http://www.huber.pl/files/art-4.pdf> (dostęp: 29.12.2020).
- [5] Mayr A., Weigelt M., Kühl A., Grimm S., Erll A., Potzel M., Franke J. (2018), Lean 4.0- A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 72, 622-628 (dostęp: 29.01.2021).
- [6] Myszewski J. (2009), Po prostu jakość. Podręcznik zarządzania jakością. Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa.
- [7] Ramakers B. (2017), Poka-Yoke – Saving Projects with Hyper-Defensive Programming. Dostępne na: <https://www.sitepoint.com/poka-yoke-saving-projects-with-hyper-defensive-programming/> (dostęp: 27.12.2020).
- [8] Shingo S. (1985), Zero quality control: source inspection and the Poka-Yoke system. Trans. A.P. Dillion. Portland, Oregon.
- [9] Stadnicka D. (2016), Wybrane metody i narzędzia doskonalenia procesów w praktyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [10] Szatkowski K. (2014), Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe. PWN, Warszawa.
- [11] Widjajanto S., Purba H.H., Jaqin S.C. (2020), Novel Poka-Yoke approaching toward industry-4.0: A literature review. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(3), 65-83 (dostęp: 29.01.2021).

## 2.4. Kontrola Pierwszej Sztuki (*Beata Pieniążek*)

Kontrola Pierwszej Sztuki (ang. *First Article Inspection* – FAI) wykorzystuje formularz służący do kontroli przebiegu procesu na określonym stanowisku. FAI zapewnia niezawodność procesu produkcyjnego oraz kontroluje jego powtarzalność i zgodność (Incas Bulletin, 2019). Proces wytwarzania wyrobów jest to proces ciągły i powtarzalny. Nie dotyczy tylko jednej rodziny typów wyrobu, ale wszystkich wytwarzanych, w celu zaspokojenia wymagań klienta, które mogą się nieustannie zmieniać (Dwiliński, 2002). Karta FAI odpowiada za (Incas Bulletin, 2019):

- zapewnienie, że procesy produkcyjne spełniają wymagania klienta,
- wykazanie, że dostawców oraz produkcję wyrobów zapoznano z wymaganiami procesowymi oraz z wymaganiami klienta,
- zapewnienie dowodów na zdolność produkcyjną wyrobów,

- zmniejszenie ryzyka potencjalnego wyrobów niezgodnych, które może się wiązać z nowym uruchomieniem produkcji lub zmianami w planie kontroli, czyli ze zmianami procesu produkcyjnego,
- zapewnienie zgodności produktu przy rozpoczęciu każdej zmiany oraz przy działaniach naprawczych czy po przebrojeniach maszyn.

Kartę Kontroli Pierwszej Sztuki zazwyczaj wypełnia pracownik produkcyjny bądź technik operacyjny na przydzielonym stanowisku pracy podczas rozpoczęcia nowej zmiany produkcyjnej lub z innych względów wynikających podczas pracy, takich jak m.in. działania utrzymania ruchu, przeszkolenie pracowników na danej linii produkcyjnej, po ukończeniu ćwiczeń przeciwpożarowych lub po przebrojeniu maszyn na inny typ produkcji. Ten formularz można również stosować podczas weryfikowania komponentów lub wyrobów od konkretnego dostawcy, podczas dostarczenia elementów na magazyn lub do przedsiębiorstwa. Dokument ten należy również potwierdzić i skontrolować. Podczas sterowania jakością wyrobów można zastosować trzy rodzaje kontroli (Antosz i in., 2013):

- kontrolę oceniającą – służącą do wykrywania wyrobów niezgodnych,
- kontrolę informującą – działania eliminujące powstawanie wyrobów niezgodnych,
- kontrolę źródłową – działania prewencyjne przed powstaniem wad procesowych (Antosz i in., 2013).

Do wykonywania kontroli oraz wprowadzania wartości parametrów na kartę powinna zostać przydzielona odpowiednia osoba. Najczęściej jest to osoba nadzorująca linię produkcyjną na stanowisku lidera lub brygadzysty. Do zatwierdzenia karty oraz do weryfikacji wszystkich pomiarów oraz specyfikacji należy powołać następną osobę z Działu Jakości. Weryfikacja powinna być prowadzona przez inną osobę, aby móc w sposób sumienny sprawdzać wiarygodność zapisu dokumentu (Morris, 2007).

Lista kontrolna karty pierwszej sztuki powinna zawierać takie niezbędne informacje, jak (Skrzypek, 2020):

- nazwę i logo przedsiębiorstwa,
- określoną nazwę formularza w nagłówku,
- numer linii montażowej,
- numer stanowiska pracy,
- numer zlecenia dla danej linii,
- typy komponentów używanych podczas realizacji zlecenia,
- datę, np. dzień/miesiąc/rok,
- numer identyfikacyjny pracownika,
- czytelny podpis osoby kontrolującej oraz osoby zatwierdzającej zwolnienie procesu (Skrzypek, 2020).

Dodatkowo do Karty Pierwszej Sztuki można dodać informacje o okolicznościach wypełniania karty, np. przyczynę pomiaru. Takimi przyczynami może być rozpoczęcie nowej zmiany, zmiana zlecenia produkcyjnego, awaria maszyny, przebrojenie maszyn oraz wiele innych.





Podczas weryfikacji procesu na konkretnej linii produkcyjnej należy ustalić odpowiednie parametry, które powinny zostać skontrolowane podczas wypełniania Karty Pierwszej Sztuki. Do takich parametrów mogą się zaliczać (Morris, 2007):

- kontrola wizualna komponentów/półproduktów/produktów itp.,
- wartości nominalne z odchyłkami dla momentów dokręceń śrub/nakrętek itp.,
- kontrola momentów dokręceń śrub/nakrętek przez osobę nadzorującą proces, np. przez lidera linii,
- weryfikacja kątów ustawczych wyrobów gotowych,
- zgodność z wymaganiami od klienta,
- zgodność z rysunkiem technicznym,
- zgodność oznaczeń na komponentach/półproduktach/produktach.

W przypadku powstania problemów na linii produkcyjnej związanych z procesem wytwarzania wyrobów można w łatwy sposób określić moment zaistnienia konfliktu lub wady w procesie oraz można w sposób szybki i rzetelny odseparować sztuki dobre od niezgodnych, posiłkując się Kartą Pierwszej Sztuki. Sztuki niezgodne można zablokować systemowo oraz przeprowadzić na nich całkowity demontaż z powrotem komponentów, które mogą jeszcze raz zostać użyte lub przeprowadzić niekompletny demontaż tylko tych elementów, które są niezgodne z wymaganiami klienta. Przyczynia się to do eliminacji wad oraz do sprawnej i sprawdzonej wysyłki wyrobów gotowych do klienta bez opóźnień lub zastoju.

Podsumowując, Karta Pierwszej Sztuki służy do redukcji kosztów produkcji oraz zmniejszenia ryzyka wystąpienia niezgodności powstałych podczas procesów wytwórczych. Pozwala także na zapewnienie jakości wyrobów gotowych i na poprawę relacji z klientem przez zminimalizowanie opóźnień zleceń produkcyjnych. Jest też skutecznym sposobem na identyfikowanie niezgodności oraz na szybkie wdrożenie działań naprawczych (Aerospace Special System, 2007). Taka kontrola pozwala na dostarczenie wyrobów gotowych, które przyczynią się do rozwoju całego przedsiębiorstwa i zapewni większą przewagę na tle innych konkurentów przez wprowadzenie kilku udoskonalających zmian w każdej fazie produkcji (Kołakowska, Poznań 2016).

## Bibliografia

- [1] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2013), Narzędzia Lean Manufacturing. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [2] Dwiliński L. (2002), Zarządzanie produkcją. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [3] Incas Bulletin (2019), 11, 3, 209-222.
- [4] Kołakowska J. (2016), Proces rozwoju wyrobu jako kluczowy czynnik produkcji w przedsiębiorstwie budowy maszyn transportowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, wyd. 71, Poznań.

[5] Skrzypek E. (2020), Jakość i efektywność. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Skłodowskiej-Curie, Lublin.

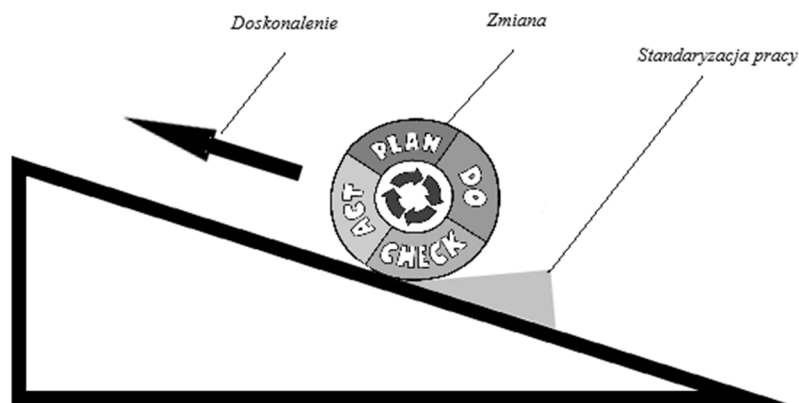
[6] Morris R. (2007), Enhance First Article Inspection. Wyd. 7, 4.

## 2.5. Standaryzacja pracy (Piotr Poznański)

Standaryzacja pracy należy do jednego z podstawowych narzędzi Lean Manufacturing. Dzięki zastosowaniu standaryzacji pracy można zapewnić jak najlepsze wykorzystanie czasu oraz środków podczas wykonywania pracy, co może przynieść takie korzyści, jak podniesienie jakości wykonywanego procesu. Standaryzacja pracy według Imai (2006) to *stosowanie najbezpieczniejszych i najłatwiejszych procesów dla pracowników, które są najbardziej efektywne z punktu widzenia kosztów i produktywności oraz pozwalają firmie zapewnić najlepszą jakość dla klienta*. Oznacza to, że standaryzacja pracy odnosi się do jak najlepszego zarządzania najważniejszymi zasobami przedsiębiorstwa, do których zalicza się m.in.:

- ludzi,
- kapitał,
- umiejętności,
- zasoby materiałowe.

Można zatem stwierdzić, że głównym i najważniejszym celem standaryzacji pracy jest jak najlepsze wykorzystanie dostępnych zasobów, tak aby maksymalnie podnieść jakość wykonywanego procesu. Dzieje się to przez kontrolę procesów produkcyjnych i zapisywanie ich przebiegu na odpowiednich kartach. Takie zastosowanie będzie się przekładać na znaczne zwiększenie wydajności pracowników. Wszystkie odchyłki od norm są monitorowane i odpowiednio zwalczane. Kontrola pracy jest znacznie łatwiejsza do wykonania, a dzięki stałemu monitorowaniu szybciej wykrywa się nieprawidłowości, które po wprowadzeniu niewielkich zmian łatwo naprawić, co wpływa na zwiększenie efektywności.



Rys. 2.6. Standaryzacja pracy jako klin

Źródło: Opracowanie własne.

Standaryzacja pracy nie tylko służy do podnoszenia jakości procesu, lecz może być również klinem, dzięki któremu jest możliwe utrwalenie wprowadzonej zmiany do czasu następnego usprawnienia (rys. 2.6) (Rother, 2011).

Aby wdrożyć standaryzację w przedsiębiorstwie, należy najpierw określić, gdzie powinno się ją zastosować. Najważniejszymi cechami standaryzacji są:

- jasność,
- czytelność.

Standardy powinny być łatwe do zrozumienia, tak aby każdy pracownik jasno je odebrał. Należy pamiętać, że standaryzacja pracy nie ma na celu wyręczenia pracownika z myślenia i wykonywanej pracy, ale ma sprawić, aby zadania, które są ściśle związane z realizowaną pracą, były wykonywane szybciej i bezpieczniej. Aby poprawnie przeprowadzić standaryzację, muszą zostać spełnione trzy podstawowe warunki, a mianowicie musi być ustalony:

- czas wykonania jednego produktu,
- dokładny opis operacji,
- spis narzędzi, które są niezbędne do wykonania danej operacji.

Korzyści ze standaryzacji z pewnością zapewnią przedsiębiorstwu podniesienie jakości. Do podstawowych korzyści można zaliczyć m.in. (Koliński i Kolińska, 2013):

- wyznaczenie standardów czynności,
- stabilizację warunków pracy,
- łatwiejsze rozwiązywanie problemów i niezgodności,
- udoskonalenie metody pracy.

Skutki wdrożenia standaryzacji pracy są bardzo opłacalne dla firmy i dzięki ciągłemu doskonaleniu będą przynosić korzyści ciągle, w stałym, rosnącym tempie.

Wprowadzenie standaryzacji pracy w przedsiębiorstwie z pewnością poprawi jego osiągi oraz jakość produkowanych wyrobów. W przypadku braku zastosowania standaryzacji pracy każdego dnia będzie wykonywana inna ilość pracy, a wykonane wyroby będą się różnić jakością. Ważne jest więc, aby każdy pracownik pracował z taką samą wydajnością, wytwarzając przy tym produkty o jednakowej jakości.

## Bibliografia

- [1] Cecconello I., Fin J.C., Vidor G. (2017), Improvement based on standardized work: an implementation case study.
- [2] Imai M. (2006), Gemba Kaizen. Zdroworozsądkowe, nisko kosztowe podejście do zarządzania, MT Biznes.
- [3] Koliński A., Kolińska K. (2013), Zastosowanie standaryzacji pracy w celu poprawy efektywności produkcji. Poznań.
- [4] Rother M. (2011), Toyota Kata. Wydawnictwo Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław.

## 2.6. Zarządzanie wizualne (Szymon Fitał)

Zarządzanie wizualne (ang. *Visual Management*) jest definiowane przez Masaaki Imai jako metoda zarządzania mająca na celu przedstawienie informacji w sposób widoczny zarówno dla pracowników, jak i kierownictwa. Jest to sposób prezentacji oraz narzędzie poprawiające szybkość reakcji, kiedy pojawiają się niezgodności. W Toyota Production System (TPS) zarządzanie wizualne było elementem widocznym od samego początku (Koskela i in., 2018). Zarządzanie wizualne w ostatnim czasie stało się istotnym narzędziem w Lean Manufacturing, przyczyniającym się do ciągłego doskonalenia (Kurpjuweit i in., 2018).

Według Masaaki Imai występują trzy zasady zarządzania wizualnego (Zychowicz, 2019):

### 1. Zasada wskazania problemów

Każdy problem pojawiający się w procesie wytwarzania powinien być uwiadczniany wizualnie. Jeśli problem występuje na linii produkcyjnej i nie zostanie zauważony po określonym czasie, zostanie wytworzonych wiele wadliwych produktów. Skutecznym rozwiązaniem jest użycie urządzeń Jidoka. Są to autonomiczne systemy, które mogą zatrzymać maszynę w momencie, gdy produkt jest wadliwy.

### 2. Zasada informowania o stanie rzeczywistym

Doskonałym rozwiązaniem, aby poinformować wszystkich pracowników o stanie aktualnym, jest wykorzystanie zarządzania wizualnego. Informowanie o zaplanowanej realizacji, zasobach materiałowych, czy też poziomie jakości pozwolą pracownikowi zauważyć odchylenia od normy oraz wystarczająco wcześniej zareagować, aby straty były jak najmniejsze.

### 3. Zasada wyznaczania celów

Zarządzanie wizualne jest potężnym narzędziem. Dzięki niemu pracownik ma określone cele. Kiedy zostaje wyznaczony cel, o wiele bardziej będzie widoczny, gdy się go zobrazuje. Jednym z przykładów jest monitorowanie czasu przeobrażania maszyny i zapisywanie go na tablicy. Następnie można zauważyć, gdzie jest tracony czas i przeprowadzić szkolenia, czy zmienić technikę przeobrażania (Zychowicz, 2019).

Wizualizacja może mieć różnorodną postać, np. (Hamrol, 2017):

- wyświetlanie na monitorach informacji o pracy wykonanej i pracy do wykonania,
- tablice informujące o osiągnięciach i błędach,
- karty obsługi maszyny,
- instrukcje robocze z czytelnie naniesionymi schematami, wzorcami itp.

Korzyści wynikające ze stosowania Visual Management to (Pedó i in., 2020):

- poprawa komunikacji,
- usprawnienie procesów,
- szybka reakcja na nieprawidłowości procesu,
- zmniejszenie kosztów produkcji,
- zwiększona produktywność pracowników dzięki prostym informacjom.



## Tablice informacyjne

Ważnym elementem w zarządzaniu wizualnym jest zwrócenie uwagi na bezpieczeństwo. Dzięki zastosowaniu **tablic informacyjnych** przypominających o założeniu okularów ochronnych, odzieży czy kasku można zapobiec zagrożeniom. Istotna jest również sygnalizacja świetlna przy wykorzystywanych maszynach, gdy praca maszyn jest niekorzystna bądź odbywa się w niestandardowych warunkach. Przykładową tablicę informacyjną przedstawiono na rys. 2.7.



Rys. 2.7. Tablica informacyjna

Źródło: Opracowanie własne.

## System Andon

W celu wizualizacji są również wprowadzane takie metody, jak system **Andon**, który może pomóc w szybkim zlokalizowaniu błędu oraz jego przyczyny. Ten wizualny sposób informowania o wystąpieniu błędu (zazwyczaj przez sygnał świetlny lub dźwiękowy) jest łatwo zauważalny przez operatorów bądź personel nadzorujący prace, np. na linii produkcyjnej. Warunkiem funkcjonowania systemu Andon jest odpowiednie przygotowanie operatorów procesu lub oprzyrządowania stanowiska (Hamrol, 2017).

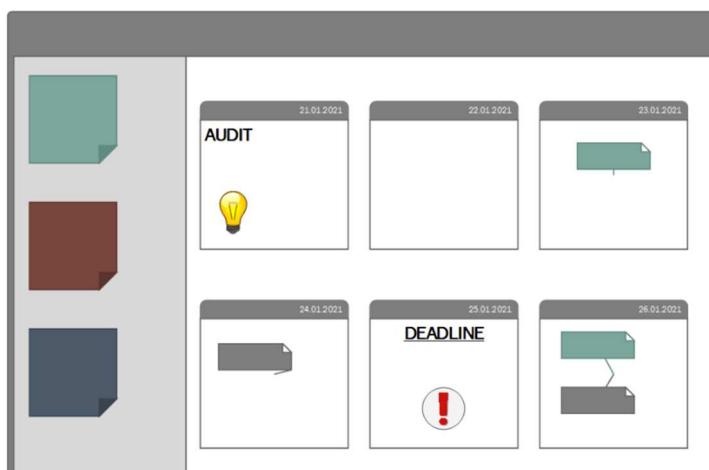
## Tablice planistyczne

**Tablice planistyczne**, najczęściej zawieszane na ścianie, służą chociażby do segregacji zamówień i organizacji pracy. Przykładową tablicę planistyczną przedstawiono na rys. 2.8.

## Granica i ograniczenia powierzchni

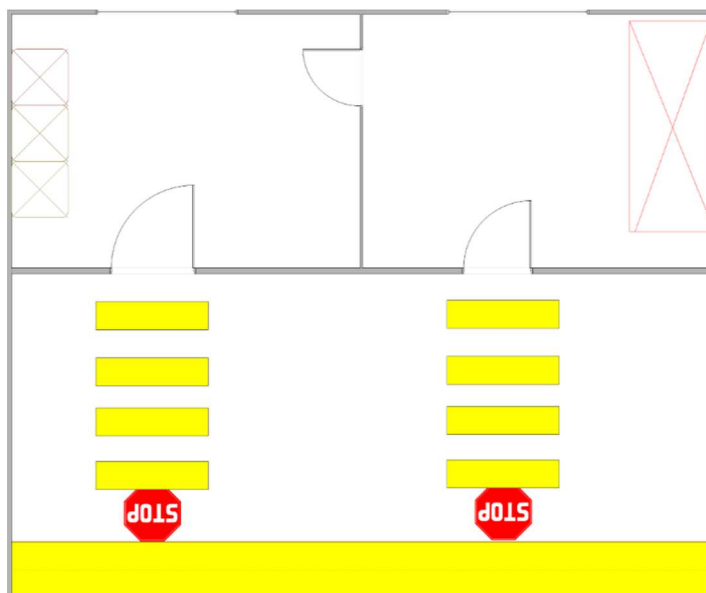
Każda maszyna powinna się znajdować na swoim wyznaczonym miejscu, wokół którego znajdzie się przestrzeń na inne elementy, ułatwiające pracę lub niezbędne do jej wykonywania. Miejsce na maszyny najczęściej wyznacza się liniami koloru żółtego. Wokół maszyn warto wyznaczyć pola na komponenty czy

kontener z odpadami – można do tego użyć innych kolorów linii. Przykładowe zastosowanie granic na powierzchni znajduje się na rys. 2.9.



Rys. 2.8. Tablica planistyczna

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2.9. Granica i ograniczenia powierzchni

Źródło: Opracowanie własne.

## Tablica cieni

Tablica cieni to przykład zastosowania metody 5S w porządkowaniu narzędzi. Każde z nich ma swoje miejsce. Jeżeli po zakończeniu pracy nie ma narzędzia w jego właściwym miejscu, pracownik jest zobowiązany je tam umieścić. Możliwe jest tutaj natychmiastowe wykrycie niezgodności.

## Bibliografia

- [1] Hamrol A. (2017), Zarządzanie i inżynieria jakości. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [2] Koskela L., Tezel A., Tzortzopoulos P. (2018), Why visual management? [In:] V.A. Gonzalez (ed.), 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers (vol. 1, pp. 250-260). Dostępne na: <https://doi.org/10.24928/2018/0527> (dostęp: 15.01.2021).
- [3] Kurpjuweit S., Reinerth D., Schmidt C., Wagner S. (2018), Implementing visual management for continuous improvement: barriers, success factors and best practices. Dostępne na: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1553315> (dostęp: 20.01.2021).
- [4] Pedo B., Brandalise F.M.P., Viana D.D., Tzortzopoulos P., Formoso C.T., Whitelock-Wainwright (2020), Digital Visual Management Tools in Design Management. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020 (pp. 901-912). The International Group for Lean Construction. Dostępne na: <https://doi.org/10.24928/2020/0071> (dostęp: 15.01.2021).
- [5] Zychowicz P. (2019), Zarządzanie wizualne w przedsiębiorstwie. Dostępne na: <https://www.menedzer-produkcji.pl/artukul/zarzadzanie-wizualne-w-przedsiębiorstwie> (dostęp: 28.01.2021).

## 2.7. Waste Walk (Kinga Chajec)

Lean Management jest koncepcją, której założenia odwołują się do „walki” z marnotrawstwem. Przedstawia wizję zarządzania nieustannie dążącego do doskonalenia działań występujących w firmie. Opiera się na doskonaleniu funkcjonowania przedsiębiorstwa, przez ciągłą eliminację marnotrawstwa optymalizuje przepływ wartości w całym procesie produkcyjnym w przedsiębiorstwie. Jeśli w procesie produkcyjnym ma się do czynienia z czynnością, która nie dodaje wartości do produktu, oznacza ona marnotrawstwo. F. Damrath przedstawił marnotrawstwo jako tzw. „trzy MU” (Lisiecka, 2015):

- muda – marnotrawstwo,
- mura – nieregularność (wykonywanie pracy wolniej niż pozostali pracownicy, co powoduje konieczność dostosowania się do najwolniej pracującej osoby),
- muri – nadmierne obciążenie (dotyczy pracowników, maszyn oraz procesów).

Wdrażanie Lean Management w przedsiębiorstwie wiąże się ze stosowaniem narzędzi mających na celu zmniejszenie marnotrawstwa. Jednym z takich narzędzi jest Waste Walk, wspierające organizację w ciągłym wzroście efektywności jej



pracy. Główny cel Waste Walk obejmuje zweryfikowanie problemów wskazanych w trakcie tworzenia mapy stanu aktualnego. Podczas „spaceru” bierze się pod uwagę 8 rodzajów marnotrawstwa opisanych we wcześniejszej części pracy. Waste walk ma na celu wykrycie możliwości udoskonalenia pracy, zgodnie z jedną z zasad Lean Management – Kaizen. Narzędzie to pozwala wykryć niepotrzebne czynności lub straty. Podczas trwania Waste Walk szybciej można zauważyć niż zza biurka niewłaściwe rozplanowanie, biurokrację, nieskuteczne działania, nadmiernie długie raporty i inne nieprawidłowości. Czynniki te wpływają negatywnie na wyniki i rentowność firmy (Waste Walk, belean.com.pl; Worth i in., 2013).

Wszelkie czynności, które nie uczestniczą bezpośrednio w transformacji produktu w jego gotowy stan, nazywa się marnotrawstwem. Podczas Waste Walk poszukuje się marnotrawstwa, którego rodzaje zostały zaprezentowane we wcześniejszym rozdziale. Podczas poszukiwania marnotrawstwa nadprodukcji należy zwrócić uwagę na liczbę produkowanych wyrobów w porównaniu z liczbą zamówień. W przypadku straty związanej z zapasem materiału należy sprawdzić, czy na linii produkcyjnej występuje nadmierne gromadzenie się materiału. W trakcie „spaceru” powinno się zwrócić szczególną uwagę, czy na danym obszarze występuje nadmierny transport materiałów, informacji, narzędzi oraz zbędny ruch maszyn lub pracowników. Kluczową stratą, która może się wyłonić w trakcie „spaceru”, może być strata związana z dużą ilością wadliwych wyrobów, których nie można sprzedać klientowi. Kolejna strata jest związana z opóźnieniami. Powinno się zwrócić uwagę, czy w trakcie trwania procesu produkcyjnego występują wąskie gardła, czy występują opóźnienia z powodu braku materiałów, informacji. Ostatnia z 7 głównych strat jest związana z nadmiernym przetwarzaniem i wiąże się z wykonywaniem niepotrzebnych czynności (Lisiecka, 2015; Prasał, 2016).

Przed przystąpieniem do przeprowadzania Waste Walk należy przede wszystkim wyznaczyć grupy osób, które będą odpowiedzialne za wykonanie zadania. Następnie wyznacza się obszary, które będą podlegać analizie. Najlepszym sposobem jest przygotowanie listy pytań, na które będzie się szukać odpowiedzi w trakcie Waste Walk, np.:

- 1) Czy w firmie istnieją procesy, w których wykorzystuje się nadmierną ilość materiałów?
- 2) Czy w firmie są procesy, które trwają zbyt długo?
- 3) Czy w firmie zachodzą czynności wykonywane niekonsekwentnie?
- 4) Czy w procesach powtarzają się te same błędy?
- 5) Jakie są opinie klientów na temat produktów, które są w ofercie firmy?
- 6) Czy pracownicy mają jakieś uwagi, spostrzeżenia, sugestie?

W kolejnych etapach grupa powinna prześledzić typy marnotrawstwa, pobrać arkusze i przeprowadzić Waste Walk. Ważną częścią „spaceru” jest rozmowa z pracownikiem, który odpowiada za dany obszar, ponieważ to od pracownika można się dowiedzieć o stratach występujących na danym obszarze. W następnej kolejności należy przygotować spotkanie, na którym podsumowuje się zaobserwowane marnotrawstwa i ustala rozwiązania w celu eliminacji zauważonych nieprawidłowości (Lisa, 2012; Prasał, 2016).





Arkusz Waste Walk powinien zawierać takie informacje, jak (Zychowicz, 2019):

- kategorie marnotrawstwa,
- obserwacje,
- opis wpływu danego marnotrawstwa na przepływ strumienia wartości,
- informację, kogo lub czego dotyczy dane marnotrawstwo,
- rozwiązanie proponowane przez pracowników.

Dzięki wdrożeniu i stosowaniu Waste Walk można uzyskać zbiór danych potrzebnych do optymalizacji, doskonalenia procesów, redukcji marnotrawstwa i zwiększenia wartości dodanej. Waste Walk może się również przyczynić do zwiększenia zaangażowania pracowników w kreowanie swojej pracy. Działania te przekładają się na aspekty finansowe przez poprawę bezpieczeństwa, wzrost efektywności oraz zadowolenia pracownika z wykonywanej pracy.

## Bibliografia

- [1] Lisiecka K., Burka I. (2015), Źródła powstawania marnotrawstwa w organizacji. Studia ekonomiczne, Katowice.
- [2] Waste Walk. Dostępne na: <https://belean.com.pl/waste-walk/> (dostęp: 29.12.2020).
- [3] Zychowicz P. (2019), Lean nie tylko dla dużych. Dostępne na: <https://www.menedzer-produkcji.pl/artukul/lean-nie-tylko-dla-duzych-wdrazanie-lean-w-malym-przedsiębiorstwie> (dostęp: 31.01.2021).
- [4] Lisa M., Yerian M.D. i in. (2012), A Collaborative Approach to Lean Laboratory Workstation Design Reduces Wasted Technologist Travel. *Am. J. Clin. Pathol.*, Aug., 138(2), 273-280.
- [5] Worth J. i in. (2013), Perfecting Patient Journeys. Lean Enterprise Institute, Inc., Cambridge, MA, USA.
- [6] Prasał M. (2016), Przepis na warsztat. Dostępne na: <https://logistyczny.com/biblioteka/kaizen-lean/item/2337-przepis-na-warsztat> (dostęp: 31.01.2021).

## 2.8. Jidoka (*Patrycja Potrawska*)

Każda organizacja powinna dążyć do eliminacji czynników, które obniżają jakość gotowego produktu. Jest to podstawa założeń systemu produkcyjnego Toyoty, którego jednym z filarów jest Jidoka – technika, która według prekursorów miała być wdrożona na każdym etapie produkcji, w celu zabezpieczenia procesów przed wystąpieniem nieprawidłowości (Ohno, 2008).

Jidoka, inaczej nazywana autonomizacją, oznacza połączenie automatyzacji i cech należących do człowieka. Toyoda Sakichi wpadł na pomysł stworzenia maszyny, która po wykryciu nieprawidłowości zatrzymywała swoją pracę, unikając w ten sposób wyprodukowania wyrobu z defektem. Dodając maszynom cechy ludzkiej inteligencji, zmniejszono ingerencję człowieka w pracę maszyn. Dzięki maszynie, która posiada systemy zatrzymywania i zabezpieczania, ograniczono liczbę pracowników nadzorujących sprawnie działające maszyny. Jidoka pozwala na produkcję takiej liczby wyrobów, jaka jest obecnie potrzebna oraz zauważa błędy produkcji. Głównymi funkcjami Jidoka są (Ohno, 2008):

- 1) rozdzielenie czynnika ludzkiego od pracy maszyny,
- 2) wprowadzenie urządzeń zabezpieczających proces przed wystąpieniem błędów.

Do pracy zgodnie z koncepcją Jidoka potrzebne są zarówno zasoby ludzkie (operatorzy), jak i rzeczowe (maszyny). Czynniki rzeczowe w postaci maszyn mają za zadanie wykryć nieprawidłowości oraz zasygnalizować wystąpienie błędu, bez konieczności stałej kontroli urządzenia przez pracownika. Zgodnie z koncepcją maszyna zatrzymuje swoją pracę, a odpowiedzialność za dalsze działania przejmuje człowiek. Jego zadaniem jest określenie i zbadanie problemu oraz zastosowanie usprawnień i wdrożenie środków zapobiegawczych (Ohno, 2008).

System pracy Jidoka ma przebiegać według odpowiedniej kolejności (Pawłowski i in., 2010):

- 1) wykrycie działania odbiegającego od normy,
- 2) zatrzymanie procesu, linii produkcyjnej,
- 3) określenie i naprawienie błędu,
- 4) zbadanie przyczyny odstępstwa,
- 5) wdrożenie działań naprawczych i środków zapobiegawczych.

Bez zastosowania praktyk Jidoka maszyna kończyłaby swoją pracę po sfinalizowaniu całego cyklu, nie zwracając uwagi na wystąpienie nieprawidłowości. Doprowadziłoby to do przemieszczania się wadliwych wyrobów w strumieniu wartości. Wyposażenie maszyny w rozwiązania techniczne pozwala wykryć zachowania odbiegające od ustalonych norm znacznie szybciej niż człowiek, który miałby obserwować pracę maszyny. Ingerencja człowieka jest wartościowa po zasygnalizowaniu przez maszynę ostrzeżenia.

Istotą koncepcji Jidoka jest fakt, że maszyna, wykrywając nieprawidłowość i zatrzymując pracę, w pewnym sensie kontroluje sama siebie. Nie jest jednak w stanie sama rozwiązać problemu. Potrzebna jest tutaj interwencja człowieka, który po wykryciu odstępstwa ma podjąć odpowiednie działania (Pawłowski i in., 2010). Podstawą koncepcji Jidoka jest ustosunkowanie się pracowników do działania całego procesu. Wszyscy członkowie organizacji powinni wziąć odpowiedzialność za finalny efekt procesu i być zaangażowani w rozwiązywanie pojawiających się problemów. Pracownicy mają znać wszystkie aspekty pracy – zarówno techniczne, jak i związane z komunikacją. Wysoki poziom kwalifikacji pracowników daje możliwość łatwiejszego wzięcia odpowiedzialności za dany proces. Odpowiedni pracownik nie będzie się obawiał opóźnienia w realizacji produkcji, zatrzymując linię produkcyjną. Zgodnie z koncepcją Jidoka operator powinien kierować się zasadą, że w przypadku wystąpienia błędu konieczne jest zatrzymanie produkcji w celu zaprzestania kumulowania się defektów. Specyficzne dla tej koncepcji jest to, że nie tylko kierownictwo może podjąć się całkowitego zatrzymania linii produkcyjnej, ale ta odpowiedzialność spoczywa również na pracownikach liniowych (Ohno, 2008).

Istotną kwestią jest zarządzanie załogą oraz zaangażowanie kierownictwa, menedżerów i liderów w odpowiednie wykorzystywanie koncepcji Jidoka. Najlepszym rozwiązaniem jest, aby pracownicy wyższego szczebla odpowiednio zazna-

jomili się z praktycznym działaniem na linii produkcyjnej oraz na występujących tam problemach. Bliski kontakt menedżerów z rzeczywistą sytuacją na produkcji pozwala zrozumieć całość procesu, dać odpowiednie wsparcie pracownikom oraz wziąć odpowiedzialność za rozwój podwładnych (Karaszewski, 2009).

Utrzymywanie jak najlepszej jakości produkcji wiąże się z wdrażaniem narzędzi ułatwiających działanie maszyn i urządzeń. Koncepcja Jidoka nie jest w stanie sama funkcjonować i przynosić oczekiwanych efektów. W celu usprawnienia procesów według tej koncepcji stosuje się narzędzia wspomagające system. Podstawowe narzędzia wykorzystywane w ramach koncepcji Jidoka to Andon i Poka-Yoke.

W ramach działań, które mają nie dopuścić do powstania pomyłki, stosuje się rozwiązania, które posiadają funkcje regulacyjne. Funkcja regulacyjna obejmuje metody kontroli i ostrzegania. W przypadku kontroli, podczas wystąpienia błędu następuje zatrzymanie procesu, a dzięki metodom ostrzegania operator zostaje poinformowany o nieprawidłowości. Zatrzymanie procesu ma doprowadzić do usunięcia wadliwego wyrobu z procesu lub jego naprawy, natomiast metoda ostrzegania nie gwarantuje podjęcia działań naprawczych przez operatora. Funkcje kontrolne są zwykle najbardziej efektywnymi rozwiązaniami Poka-Yoke, jednak wybór metody zależy od częstotliwości występowania defektów i ich wpływu na proces (Huuskonen, 2020).

W celu wczesnego ostrzeżenia o wystąpieniu błędu na produkcji stosuje się na przykład czujniki, które mają za zadanie określać temperaturę, zmiany kształtu, wagi. Czujniki te mają odpowiednio zwracać uwagę na odchylenie jeszcze przed wystąpieniem nieprawidłowości wynikającej z nieuwagi czynnika ludzkiego (Marchwiński i in., 2015). Tablica Andon zawiera zarówno sygnały dźwiękowe, jak i wizualne (lampa sygnalizacyjna). Narzędzie to jak najszybciej wskazuje na wystąpienie problemu oraz pozwala na natychmiastową reakcję operatora, która prowadzi na przykład do zatrzymania linii. W przypadku zatrzymania jednej maszyny automatycznie wstrzymywane są działania na innych stanowiskach, tak aby nie produkować kolejnych wadliwych wyrobów. Tablica Andon zawiera informacje o określonych stanowiskach oraz przypisane im sygnały świetlne w kolorach żółtym i czerwonym. Odpowiednio, kolor żółty ma ostrzegać o potencjalnym błędzie, natomiast czerwony oznacza wystąpienie istotnego problemu (Marchwiński i in., 2015).

Jidoka jest systemem stosowanym w momencie, gdy wystąpił błąd. Z kolei system Andon oraz koncepcja Poka-Yoke są metodami stosowanymi do eliminowania błędów. Wymienione metody działają jak łącznik komunikacyjny między operatorem a maszyną. Wykorzystanie Andon i Poka-Yoke w połączeniu z koncepcją Jidoka prowadzi do stworzenia wspólnie uzupełniającego się systemu (Ohno, 2008).

Systemy Jidoka pierwszej generacji charakteryzowało stosowanie urządzeń znanych jako rozwiązania Poka-Yoke, które były zdolne do wykrywania nieprawidłowości w procesie produkcyjnym. Później systemy Jidoka zostały zmodernizowane przez dodanie urządzeń zawierających funkcje alarmowe (Andon) w celu

powiadomienia operatorów o problemie procesowym. Wraz z postępem technologicznym w systemach Jidoka zaczęły się pojawiać nowe funkcje sprzętowe i programowe, które nie tylko wykrywają usterki, ale są w stanie wspomagać operatorów w znalezieniu przyczyny problemu. W systemie Jidoka 4.0 pojawiły się nowe oprogramowania i urządzenia, które potrafią jednocześnie wykryć i zdiagnozować problem. W zakładach produkcyjnych zaczęto stosować urządzenia, które wykrywają odchylenia za pomocą przetwarzania sygnałów z czujników cyfrowych oraz odczytania kodów błędów. Zaawansowane programy mogą także naprawić błąd zanim faktycznie on wystąpi. Przechowywanie i analiza danych za pomocą czujników i oprogramowania są czynnikami umożliwiającymi szybszą reakcję na odchylenia w procesie produkcyjnym (Romero i in., 2019).

Koncepcja Jidoka odpowiednio zastosowana w organizacji jest w stanie doprowadzić do efektywnego wykorzystywania zasobów oraz tworzenia finalnych wyrobów dobrej jakości. W sprawnie działającym systemie końcowe wyroby powinny zostać wytworzone w odpowiedniej ilości, o oczekiwanej jakości oraz we właściwym czasie i we właściwych kosztach.

Wdrożenie koncepcji Jidoka ma takie zalety, jak (Ohno, 2008):

- 1) redukcja produkowania wyrobów odstających od wymaganych norm,
- 2) maksymalizacja wykorzystania zasobów ludzkich i rzeczowych,
- 3) zmniejszenie kosztów przeznaczanych na naprawę przez zapobieganie występowaniu błędów,
- 4) poprawa jakości produktów finalnych,
- 5) eliminacja zapasów.

Efektywny proces to taki, w którym nie mają miejsca zakłócenia, praca przebiega płynnie oraz nie występują odchylenia od normy. Odpowiednio stosowana koncepcja Jidoka zapewnia niezwłoczność reakcji na odstępstwa. Jakość produktu jest budowana od samego początku strumienia wartości i kontrolowana na każdym etapie procesu. Takie zachowanie prowadzi do zapobiegania wytworzeniu produktu niedodającego wartości.

Jidoka skupia uwagę na zrozumieniu występujących problemów, by błąd się więcej nie powtórzył. Większe korzyści można uzyskać dzięki zautomatyzowaniu maszyn i dodaniu im odpowiednich urządzeń ostrzegających. Wraz z postępem Przemysłu 4.0 odpowiednio stosowany system Jidoka może doprowadzić do lepszej współpracy między człowiekiem a maszyną. Automatyzacja minimalizuje w dużym stopniu udział pracownika poświęcony na kontrolowanie procesu. Należy jednak pamiętać, że głównym podmiotem w koncepcji Jidoka nie jest maszyna, lecz człowiek, który powinien rozwijać swoją świadomość jakościową.

## Bibliografia

- [1] Huuskonen J. (2020), Poka-Yoke methods in make-to-order production. Tampere University.
- [2] Karaszewski R. (2009), Nowoczesne koncepcje zarządzania jakością. TNOiK, Toruń.
- [3] Marchwiński C., Shroeder A., Shook J. (2015), Leksykon Lean. Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław.



- [4] Ohno T. (2008), System produkcyjny Toyoty: więcej niż produkcja na dużą skalę. Prod-Press, Wrocław.
- [5] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzcieliński S. (2010), Metody i narzędzia Lean Manufacturing. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [6] Romero D., Gaiardelli P., Powell D., Wuest T., Thürer M. (2019), Rethinking Jidoka Systems under Automation and Learning Perspectives in the Digital Lean Manufacturing World. IFAC Conference on Manufacturing Modelling.



## Rozdział 3.

# Organizacja pracy na linii produkcyjnej

### 3.1. Rozmieszczenie stanowisk pracy na linii produkcyjnej

(Ewelina Zygmunt)

Produkcja odchudzona (ang. *Lean Manufacturing*) to koncepcja zarządzania procesem produkcji, która w oszczędny sposób gospodaruje zasobami, tym samym zwiększając efektywność procesów wytwórczych. Decydujące znaczenie ma tu właściwe ustawienie maszyn produkcyjnych oraz wyposażenia na hali produkcyjnej, powszechnie zwane layoutem.

Taka definicja pojęcia layoutu nie jest jednak do końca prawdziwa. To coś znacznie więcej niż samo ustawienie urządzeń i maszyn. Ponadto, mimo że najczęściej przedstawiany jest on jako widok 2D, nie jest to regułą i firmy coraz powszechniej decydują się na przedstawienie trójwymiarowych wizualizacji zakładu. Uściślając, podane opinie są niekompletne oraz szkodliwe z punktu widzenia organizacji. Traktują layout jako aspekt wyłącznie technologiczny, zapominając przy tym, że musi on współistnieć i funkcjonować także z innymi działami, nie tylko produkcyjnym. Definicja layoutu, który jest mocną stroną zakładu, powinna więc brzmieć następująco (Sosnowski, 2019a):

- 1) layout jest planem oraz układem przestrzennym odnoszącym się zarówno do rozmieszczenia maszyn, jak i przepływu materiałów,
- 2) layout jest strategią, która musi być rewidowana oraz sprawdzana. Wymaga podjęcia sprecyzowanych, konkretnych decyzji zorientowanych zarówno na teraźniejszość, jak i przyszłość,
- 3) layout jest wizją, za którą należy podążać w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań, inwestycji i decyzji – korzystnych zarówno pod względem jakościowym, kosztowym, jak i kompetencyjnym.

Zaprezentowane definicje obrazują, jak wiele zagadnień porusza layout zakładu. Traktuje się go jako układ przestrzenny, ponieważ jest rezultatem stworzonego w firmie procesu planistycznego (Sosnowski, 2019a).

#### Rodzaje layoutów

W Lean Manufacturing zasoby, tj. maszyny i pracownicy, najczęściej zostają zgrupowani w komórki bądź gniazda, które skracają czas produkcji, zwiększając przy tym jej efektywność oraz wydajność. Ustawienia linii produkcyjnych zależą jednak głównie od specjalizacji i typu produkcji stosowanej w danym zakładzie. Zwykle, jeżeli tylko jest to możliwe, są stosowane ustawienia maszyn wykorzystujące tzw. przepływ jednej sztuki. Zawierają one pojedynczy strumień przepływu

materiałów czy surowca. Taki przepływ zwykle funkcjonuje zgodnie z zasadą FIFO – pierwsze weszło, pierwsze wyszło.

Tradycyjną linią produkcyjną jest linia w kształcie litery „I”, w której produkty są wytwarzane sztuka po sztuce. Taka konfiguracja ustawienia jest przeznaczona głównie dla podłużnych i wąskich hal, gdzie odbywa się produkcja wielkogabarytowych wyrobów, np. aut. Niewątpliwie jednak minusem takiego ustawienia jest wykorzystanie dużej liczby operatorów. Dlatego też warto dążyć do zbalansowania pracy na takiej linii, by była obsługiwana przez mniejszą liczbę pracowników, co przyczyniałoby się do zwiększenia produktywności w przedsiębiorstwie.

W zakładach produkcyjnych zbudowanych na planie kwadratu najlepiej sprawdza się linia w kształcie „L”, ponieważ stanowiska są zlokalizowane bardzo blisko siebie. Przy realizacji skomplikowanych i bardziej złożonych procesów wytwórczych stosuje się ustawienia w kształcie linii „M” oraz „S”.

Jednostrumieniową linią produkcyjną najłatwiejszą we wdrożeniu jest linia w kształcie litery „U”. Zajmuje ona niewielką przestrzeń, a ten układ daje wiele nowych możliwości. W porównaniu z liniami w kształcie liter „I” oraz „L” jest o wiele bardziej elastyczny. Można zastosować tutaj rozwiązanie chaku-chaku, wdrażające obsługę kilku maszyn przez jednego pracownika (Lewandowski i in., 2014).

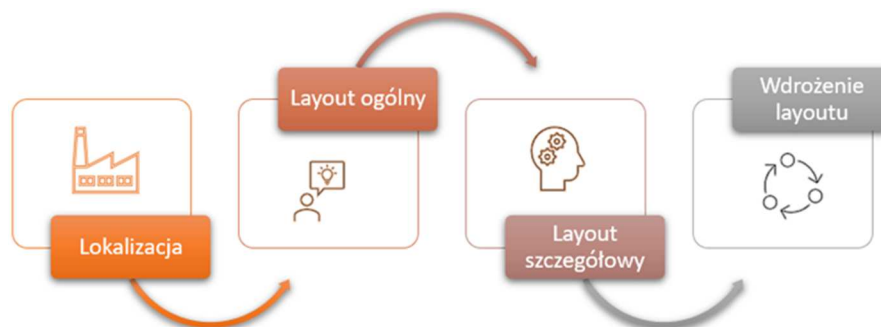
Nie istnieje jednak wzorowy sposób stworzenia lean layoutu. Każde przedsiębiorstwo musi znaleźć swoją koncepcję na usprawnienie przepływu, dostosowaną do posiadanych warunków. Ważnym aspektem przy opracowywaniu layoutu jest skupienie się na MUDA, MURA, MURI oraz poczucie, że doskonalenie oraz usprawnianie nigdy nie dobiega końca w rozwijającym się przedsiębiorstwie, skoncentrowanym na koncepcji lean (Piotrowski, 2018).

### **Planowanie layoutu z wykorzystaniem SLP**

SLP (ang. *Systematic Layout Planning*) to systematyczne i zorganizowane podejście do planowania layoutu, zaliczane do konwencjonalnych technik analitycznych. Ukazuje krok po kroku projekt planowania rozmieszczenia zakładu na podstawie ilościowych (odległość, częstotliwość przepływu) oraz jakościowych (stopień powiązania czynności w poszczególnych etapach analizy) informacji wejściowych. Dzięki tym danym analiza jest dogłębna, a rezultatem layoutu z wykorzystaniem metody SLP jest nowy układ hali, pozwalający zminimalizować przepływ materiałów, z uwzględnieniem relacji pomiędzy posiadaną oraz dostępną przestrzenią (Gozali i in., 2020).

Plan layoutu jest realizowany w formie 4 etapów, które zostały przedstawione na rys. 3.1. Pomimo logicznego następstwa po sobie w teorii, w praktyce etapy te mogą być wykonywane w tym samym czasie. To celowy zabieg wykorzystywany w celu maksymalizacji rezultatów projektu. Dlatego rozpoczęcie prac związanych z layoutem szczegółowym nie będzie oznaczało 100% zakończenia działań nad layoutem ogólnym.





Rys. 3.1. Etapy planowania layoutu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Sosnowski, 2019b).

Można wyróżnić następujące etapy tworzenia layoutu (Sosnowski, 2019b):

- Etap I – Lokalizacja. Na tym etapie należy sprecyzować konkretne miejsce, dla którego będzie opracowywany plan zagospodarowania przestrzeni. Niekoniecznie musi być to miejsce nowe, co wiązałoby się z zakupem/dzierżawą pomieszczeń. Znacznie częściej jest to potrzeba reorganizacji obecnego układu przestrzennego. Przykładem może być zamiana lokalizacji magazynu z innym obszarem produkcyjnym.
- Etap II – Layout ogólny. Dotyczy ustaleń powierzchniowych oraz koncepcyjnych. Jest to etap, na którym są już wykorzystywane wzajemne relacje oraz przepływ między stanowiskami. Na ich podstawie określa się obszary wymagające wzajemnej bliskości. Często etap ten bywa nazywany alokacją obszarów w podejściu ogólnym, co zapobiega utknięciu w szczegółach, pozwala na pracę wyłącznie koncepcyjną. Potocznie mówiąc, etap ten analizuje las, kolejne skupiają się na drzewach.
- Etap III – Layout szczegółowy. Na tym etapie layoutu ważne jest wyszczególnienie potrzebnych maszyn, urządzeń, instalacji, technologii oraz wyposażenia i drobiazgowo umieszczenie ich na planie przestrzennym. Zawarte zostaną na nim także pomieszczenia wspólne oraz usługowe. Ten typ layoutu przybiera formę rysunków, głównie wykonywanych za pomocą różnego rodzaju oprogramowania. Popularne na etapie prac przygotowawczych, a także niezwykle przydatne jest układanie makiet.
- Etap IV – Wdrożenie layoutu. Ta ostatnia faza projektowania layoutu zawiera przygotowanie planu instalacji layoutu, ubieganie się o akceptację i potrzebne zgody, a także wykonanie wszelkich fizycznych, zaplanowanych przemieszczeń.

SLP jako wzorzec, czy też zestaw powtarzalnych procedur, ma zastosowanie głównie w fazie layoutu ogólnego oraz szczegółowego. Opiera się na 5 krokach, w którym każdy wymaga określonych danych wejściowych. Daje to obraz, jakie dane będą potrzebne do wykonania procedury. Wyróżnia się następujące kroki (Sosnowski, 2019b):

- Krok 1. Obszary aktywności (rodzaje layoutów, dane wsadowe PQRST – *product, quantity, route, service, time*),
- Krok 2. Diagram relacji procesu (przepływ produkcji, relacje),
- Krok 3. Diagram relacji przestrzeni (przestrzeń potrzebna, przestrzeń obecna),
- Krok 4. Alternatywne propozycje (istniejące ograniczenia, potrzebne modyfikacje),
- Krok 5. Plan layoutu (ocena możliwości alternatywnych, wybór planu przestrzennego).

Aby zacząć z SLP, należy w skrócie wdrożyć zaprezentowaną procedurę, powołać zespół projektowy, przeszkolić go i zaznajomić z metodyką oraz działać przede wszystkim konsekwentnie, wspierając zmiany (Sosnowski, 2019b).

Przedstawiona metoda posiada jednak wyraźną wadę. Stosunkowo łatwo ulega ona subiektywnemu wpływowi projektanta przy opracowywaniu układu obiektu. Plan przestrzenny różni się w zależności od osoby, która go sporządza. Aby spełnić rzeczywiste wymagania i sprostać oczekiwaniom, wprowadza się korekty, najczęściej przy projektowaniu hal produkcyjnych mających powiązanie z wieloma działami. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie modelu optymalizacji wieloprzedmiotowej MOOM (ang. *Multi-Objective Optimization Model*). Łączy on logistyczne i nielogistyczne relacje w przedsiębiorstwie za pomocą algorytmu matematycznego, bez utraty jakichkolwiek ważnych z punktu widzenia projektu danych (Zhang i Wang, 2020).

Funkcje dobrego layoutu (Sosnowski, 2019b):

- 1) minimalna liczba ruchów materiałowych – dobry layout to taki, który wymaga pokonywania jak najmniejszych dystansów z materiałem. Odległość wpływa na czas, a im dłuższy jest czas dostawy, tym większy zapas,
- 2) minimalny dystans i czas międzyoperacyjny – im krócej materiał czy półfabrykat pozostają w strumieniu wartości podczas operacji technologicznych dodających wartości, tym szybszy jest termin dostępności wyrobu gotowego dla klientów. Czas zawsze odgrywa dużą rolę w konkurencyjności pomiędzy firmami,
- 3) promocja rotacji zapasów produkcji w toku – inaczej funkcjonuje przedsiębiorstwo, w którym widzi się na co dzień stosy zapasów znajdujących się lub wręcz wypadających na drogę transportową, a inaczej, gdy zapasy są gromadzone w przeznaczonym do tego celu miejscu na dużej przestrzeni,
- 4) promocja produktywności i wydajności – szczególnie należy mieć to na uwadze, kierując się zasadami szczupłej produkcji oraz liniowej organizacji produkcji. Dobrze zaplanowany i przeprowadzony layout umożliwi dokonanie w bardzo krótkim czasie oceny tego, czy procesy wytwórcze realizowane w firmie są efektywne, a materiał wykorzystywany do wytworzenia produktu minimalizuje przy tym nadprodukcję,

- 5) wstrzymanie niepotrzebnych inwestycji – to podejście taktyczne oraz perspektywiczne zorientowane na przyszłość umożliwia unikanie niepotrzebnych, niejednokrotnie kosztownych inwestycji, a także uzyskanie większego zwrotu z tych, które są obecnie realizowane,
- 6) ekonomiczne wykorzystanie dostępnej przestrzeni – w firmach bardzo często nie ma wystarczająco dużo miejsca, co może skutkować koniecznością zakupu lub leasingiem nieruchomości, wynajmowaniem powierzchni – są to dodatkowe, zbędne koszty,
- 7) bezpieczeństwo, komfort pracy pracowników – dobrze przeprowadzony layout zakładu to odpowiednio zorganizowane środowisko pracy dla wszystkich pracowników – zgodne z wymaganiami formalnymi, a także umożliwiające komfortowe warunki pracy.

Podsumowując, poprawnie wykonany layout to podstawa dobrej organizacji pracy w zakładzie produkcyjnym. Sporządzenie go wymaga dużych kompetencji i wiedzy, co często wpływa na czas jego wykonania. Dobrze zaprojektowany układ ma ogromny wpływ na koszty produkcji, czas realizacji procesów i ilość pracy w toku. Może zmniejszyć koszty operacyjne nawet o 50%, zwiększyć wydajność stanowisk o 30% oraz zmniejszyć potrzebną powierzchnię (Pawłowski, 2020).

## Bibliografia

- [1] Gozali L., Widodo L., Nasution S.R., Lim N. (2020), Planning the New Factory Layout of PT Hartekprima Listrindo using Systematic Layout Planning (SLP) Method., IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 847, 1, 012001. IOP Publishing.
- [2] Lewandowski J., Skołod B., Plinta D. (2014), Organizacja systemów produkcyjnych. PWE, Warszawa.
- [3] Pawłowski K. (2020), Layout ustawienie maszyn na hali produkcyjnej. Dostępne na: <https://leanactionplan.pl/layout-ustawienie-maszyn/> (dostęp: 21.01.2021).
- [4] Piotrowski K. (2018), Lean Layout. Dostępne na: [www.kanban.pl/nl49/](http://www.kanban.pl/nl49/) (dostęp: 19.12.2020).
- [5] Sosnowski A. (2019a), Jak zrobić beznadziejny layout zakładu. Dostępne na: [www.linkedin.com/pulse/jak-zrobi%C4%87-beznadziejny-layoutzak%C5%82adu-aleksander-sosnowski](http://www.linkedin.com/pulse/jak-zrobi%C4%87-beznadziejny-layoutzak%C5%82adu-aleksander-sosnowski) (dostęp: 19.12.2020).
- [6] Sosnowski A. (2019b), Jak zrobić wartościowy layout zakładu. Dostępne na: [www.linkedin.com/pulse/jak-zrobi%C4%87-warto%C5%9Bciowy-layout-zak%C5%82adu-aleksander-sosnowski](http://www.linkedin.com/pulse/jak-zrobi%C4%87-warto%C5%9Bciowy-layout-zak%C5%82adu-aleksander-sosnowski) (dostęp: 19.12.2020).
- [7] Zhang B., Wang X. (2020), Modelling and Simulation of Facility Planning Problem Based on Improved SLP Method, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 806, 1, 012034. IOP Publishing.

## 3.2. Rozmieszczenie stanowisk roboczych metodą CORELAP (Paulina Trzeciak)

Efektywność pracy komórek produkcyjnych można zwiększyć przez odpowiednie rozmieszczenie stanowisk roboczych. W tym celu są stosowane metody optymalizacyjne pozwalające na opracowanie schematu rozmieszczenia stano-



wisk, uwzględniając przy tym normatywne odległości pomiędzy maszynami, odległość maszyn od dróg transportowych oraz elementów konstrukcyjnych budynku. Jedną z metod pozwalających na optymalizację rozmieszczenia stanowisk roboczych jest metoda CORELAP. Optymalne rozmieszczenie stanowisk roboczych zostaje opracowane na podstawie układu opartego na sąsiedztwie maszyn oraz macierzy zależności między nimi.

Danymi wejściowymi potrzebnymi do zastosowania metody CORELAP jest macierz powiązań funkcjonalnych pomiędzy stanowiskami roboczymi. Wartości w macierzy określają wymagane zbliżenie lub oddalenie stanowisk roboczych. W procesach produkcyjnych maszyny i urządzenia znajdujące się na stanowiskach roboczych mają określone cechy, które wymagają odseparowania bądź oddalenia ich od pozostałych stanowisk. Niektóre maszyny w linii produkcyjnej generują wysoki poziom hałasu, drgania, szkodliwe opary itp. W takim przypadku należy zadbać o odpowiednie oddalenie takiego stanowiska od pozostałych. W innych przypadkach może wystąpić przeciwna sytuacja i bliskie usytuowanie maszyn względem siebie będzie optymalne. Taka sytuacja może nastąpić, np. jeśli pomiędzy dwoma stanowiskami transportowany jest wielkogabarytowy wyrób i bliskie sąsiedztwo maszyn ułatwi transport części. Kolejność rozmieszczania poszczególnych stanowisk opiera się na tzw. ocenie całkowitej bliskości TCR, która jest sumą wartości przypisanych powiązaniom funkcjonalnym pomiędzy stanowiskami. Metoda CORELAP jest wykorzystywana głównie przy użyciu specjalnych programów komputerowych (Stryhunivska, 2019; Sembiring i in., 2018).

W metodzie są realizowane następujące kroki (Tarigan i in., 2019):

- Krok 1. Wyznaczenie skali określającej stopień powiązań funkcjonalnych.
- Krok 2. Określenie macierzy powiązań funkcjonalnych.
- Krok 3. Wyznaczenie sum poszczególnych wierszy macierzy  $\sum TCR_i$ .
- Krok 4. Określenie zbiorów wartości: zbiór  $c$  – obiekty do rozmieszczenia, zbiór  $v$  – obiekty pierwsze w kolejności do rozmieszczenia, zbiór  $w$  – obiekty już rozmieszczone.
- Krok 5. Przypisanie do zbioru  $w$  stanowiska, dla którego została wyliczona największa wartość  $\sum TCR_i$ .
- Krok 6. Opracowanie tabeli na podstawie macierzy powiązań funkcjonalnych pomiędzy stanowiskami w celu ustalenia, jaka wartość zostanie przypisana do zbioru  $v$ . Do pierwszego wiersza tabeli przepisany zostaje wiersz z macierzy odpowiadający wybranemu w poprzednim kroku stanowisku. Kolumna o numerze przepisywanego wiersza zostaje wykreślona. Stanowiska, dla których odczytano najwyższą wartość w wierszu są traktowane jako kolejne do rozmieszczenia.
- Krok 7. Dokonanie ostatecznego wyboru stanowiska, które zostanie przypisane do zbioru  $w$ .
- Krok 8. Powtórzenie czynności z kroku 6. dla kolejnych wartości, aż do momentu ustalenia kolejności rozmieszczania wszystkich stanowisk.
- Krok 9. Rozmieszczenie stanowisk roboczych w węzłach siatki. Odległość pomiędzy węzłami siatki to odległość jednostkowa równa bokom kwadra-

tów tworzących siatkę. Pierwsze stanowisko ze zbioru w zostaje umieszczone w dowolnym węźle siatki. Kolejne są umieszczane na podstawie wyznaczonej wcześniej kolejności, przy zachowaniu powiązań pomiędzy danymi stanowiskami.

- Krok 10. Ocena wyznaczonego rozmieszczenia stanowisk.
- Krok 11. Określenie ostatecznego rozmieszczenia stanowisk roboczych na hali produkcyjnej.

Wykorzystanie metody CORELAP pozwala na wyznaczenie optymalnego rozmieszczenia stanowisk roboczych w linii produkcyjnej w ramach Lean Manufacturing. Przykład zastosowania metody CORELAP przedstawiono w Załączniku 1.

## Bibliografia

- [1] Sembiring A.C., Budiman I., Mardhatillah A., Tarigan O.P., Jawira A. (2018), An application of corelap algorithm to improve the utilization space of the classroom. Dostępne na: <https://iopscience.iop.org> (dostęp: 15.01.2021).
- [2] Stryhuniwska O. (2019), Rozprawa doktorska. Integracja wizualizacji 3D z metodami projektowania procesów wytwarzania. AGH, Kraków.
- [3] Tarigan U., Cahyo F.D., Tarigan U.P.P., Ginting E. (2019), Facility Layout Design Through Integration of Lean Manufacturing Method and CORELAP Algorithm in Concrete Factory. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 505, 1, 012015.

### 3.3. Rozmieszczenie stanowisk na linii produkcyjnej metodą programowania sieciowego (Kamila Olech)

Twórcy systemów zarządzania zauważyli, że sposób, w jaki są umiejscowione poszczególne stanowiska pracy ma znaczący wpływ na realizację transportu wewnętrznego. Niewłaściwa organizacja stanowisk może powodować znaczne wydłużenie tras przewozowych oraz czasu wykonywania operacji transportowych. Konsekwencją tego może być konieczność składowania na miejscach odkładczych, co generuje dodatkowe koszty. Aby zapobiec takiemu marnotrawstwu, można zaprojektować na nowo linię produkcyjną z wykorzystaniem metod optymalizacyjnych (Sęp i Zielecki, 2014).

W koncepcji Lean przepływ jednej sztuki jest realizowany m.in. przez zmianę liniowego rozmieszczenia stanowisk roboczych w U-kształtne lub S-kształtne gniazda produkcyjne. Jest to coraz częściej stosowane rozwiązanie w przedsiębiorstwach. Stanowiska są wówczas usytuowane blisko siebie. Usprawnia to komunikację pomiędzy pracownikami. Dodatkowo możliwe jest przekazywanie części bezpośrednio z jednego stanowiska do drugiego. Aby przekształcić linię jednorzędową w linię U-kształtną, można zastosować metodę programowania sieciowego (Matusek, 2012).

W metodzie są realizowane następujące kroki (Matusek, 2012):

- Krok 1. Ukierunkowaną macierz powiązań transportowych między stanowiskami roboczymi należy przekształcić w macierz nieukierunkowaną.



Wykonuje się to przez zsumowanie wartości w odpowiadających sobie komórkach macierzy. Nowo utworzona macierz będzie posiadała informację o łącznej wartości przepływów między stanowiskami. Będzie to macierz symetryczna, liczby w niej zamieszczone można zapisać w uproszczonej formie, tylko po jednej stronie – powyżej przekątnej.

- Krok 2. Wyznaczenie macierzy odległości dla wariantu linii jednorzędowej należy rozpocząć od rozmieszczenia stanowisk w jednej linii, po kolei oraz w jednakowych odstępach ( $L = 1$ ). Odległości należy zsumować i wpisać w odpowiednie miejsca na macierzy.
- Krok 3. Funkcję celu dla wariantu linii jednorzędowej należy obliczyć przez zsumowanie iloczynów wartości z wyznaczonych we wcześniejszych krokach nieukierunkowanej macierzy powiązań transportowych oraz macierzy odległości. Należy pomnożyć wartości znajdujące się na odpowiadających sobie miejscach w macierzach. Uzyskana funkcja celu posłuży do porównania i oceny dwóch wariantów rozmieszczenia stanowisk produkcyjnych.
- Krok 4. Ponownie należy rozrysować stanowiska dla linii jednorzędowej. W tym kroku między poszczególnymi stanowiskami znaczy się w formie strzałek wszystkie powiązania transportowe. Przy każdej strzałce należy zapisać odpowiednią wartość pochodzącą z nieukierunkowanej macierzy powiązań transportowych.
- Krok 5. Wykorzystując metodę Forda, należy wyznaczyć na wykonanym w kroku 4. grafie linii jednorzędowej ścieżkę krytyczną, która określa linię o najwyższych wartościach przepływów. Metoda Forda polega na opisanie każdego stanowiska za pomocą wektorów. Opis należy rozpocząć od pierwszego stanowiska. Dla niego wektor będzie miał zawsze postać  $[0, 0]$ . Wektory opisujące kolejne stanowiska będą się składać z dwóch cyfr, które określają odpowiednio wartość przepływu oraz źródło, czyli stanowisko, z którego wartość pochodzi.
- Krok 6. Na podstawie w pełni opisanego grafu należy przystąpić do wyznaczenia ścieżki krytycznej. Zaczynając od ostatniego stanowiska, należy odnaleźć wektor, którego wartość przepływu jest najwyższa, a pozostałe wektory wykreślić. Następnie należy się udać do stanowiska, które było źródłem odnalezionego największej wartości i postąpić analogicznie. Takim sposobem można uzyskać ścieżkę o najwyższych wartościach.
- Krok 7. Do tworzenia kolejnego wariantu, tzn. linii U-kształtnej, służy podział stanowisk ze względu na te leżące na ścieżce krytycznej i te poza nią. Stanowiska, które wchodzi w skład ścieżki krytycznej, należy ustawić w odległościach  $L = 1$  w kształcie litery U. Pozostałe stanowiska robocze należy umieścić na dole litery U. Następnie, tak jak w przypadku wariantu linii jednorzędowej, trzeba zaznaczyć w formie strzałek wszystkie powiązania transportowe. Przy każdej strzałce zapisuje się odpowiednią wartość pochodzącą z nieukierunkowanej macierzy powiązań transportowych.



- Krok 8. Na podstawie grafu linii U-kształtnej należy wyznaczyć macierz odległości pomiędzy stanowiskami roboczymi.
- Krok 9. Następnie, analogicznie do wariantu pierwszego, należy obliczyć wartość funkcji celu.
- Krok 10. Na końcu należy porównać wartości funkcji celu linii jednorzędowej z linią U-kształtną.

Zgodnie z zasadami optymalizacji wartość funkcji celu dla linii U-kształtnej będzie mniejsza niż dla linii jednorzędowej. Oznacza to zmniejszenie pracochłonności operacji związanych z transportem wewnętrznym.

Przykład zastosowania metody programowania sieciowego przedstawiono w Załączniku 2.

## Bibliografia

- [1] Belic D., Kunica Z., Opetuk T., Dukic G. (2018), Optimization of the Plant Layout in the Production of the Special Transformers – Case Study, 2018th Plant.
- [2] Coletta A.R. (2012), The Lean 3p Advantage: A Practitioner's Guide to the Production Preparation Process. Productivity Press.
- [3] Matuszek M. (2012), Doskonalenie przepływu materiałów w U-kształtnej linii montażowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1871, seria: Organizacja i Zarządzanie, z. 60, s. 189-201.
- [4] Sęp J., Zielecki W. (2014), Wspomaganie projektowania linii produkcyjnych U-kształtnych metodą programowania sieciowego.

### 3.4. Rozmieszczenie stanowisk roboczych metodą Blocha-Schmigalli (*Ewa Welcz*)

Metoda Blocha-Schmigalli, nazywana także metodą trójkątów Schmigalli, ma za zadanie optymalne rozmieszczenie stanowisk roboczych na hali produkcyjnej. Jest to metoda krokowa, przybliżona, z nieograniczoną liczbą miejsc do wyboru oraz punktowa.

Danymi do jej obliczeń są przede wszystkim:

- $N$  – liczba stanowisk roboczych do rozstawienia,
- $S = [S_{ij}]_{N \times N}$  – symetryczna macierz powiązań pomiędzy rozstawianymi stanowiskami roboczymi.

Metoda trójkątów Blocha-Schmigalli jest główną przedstawicielką licznej grupy metod. Rozmieszcza ona stanowiska robocze w węzłach siatki trójkątów. Jest to założenie, które wprowadza pewne uproszczenie, gdzie pomijane są wielkości rzeczywiste stanowisk roboczych, natomiast odległości pomiędzy wszystkimi sąsiednimi stanowiskami roboczymi są jednakowe oraz równe modułowi siatki. Wynika z tego założenie, że rozmieszczane stanowiska robocze będą mieć zbliżoną do siebie lub nawet taką samą wielkość. Wśród innych metod ta daje najlepsze wyniki oraz jest najbardziej sformalizowana (Lis i Santarek, 1980).





Metoda trójkątów Blocha-Schmigalli jest wdrażana w następujących krokach (Zupan i in., 2017):

- Krok 1. Rozmieścić stanowiska dwóch pierwszych maszyn, pomiędzy którymi występuje maksymalny przepływ.
- Krok 2. Wyznaczyć stanowisko robocze o największej sumie intensywności przepływu pomiędzy stanowiskami, które były wcześniej rozmieszczone. Jednocześnie ustawienie wybranego stanowiska jak najbliżej stanowisk, pomiędzy którymi występuje największy przepływ.
- Krok 3. Powtarzanie kroku 2. do momentu ustalenia ostatniego stanowiska roboczego w siatce.

Metodę trójkątów można zastosować w procesach:

- produkcyjnych,
- administracyjnych,
- biurowych.

Metoda Blocha-Schmigalli zakłada pewne uproszczenia, tj.:

- pomija się rzeczywiste rozmiary stanowisk roboczych,
- drogi pomiędzy sąsiadującymi stanowiskami są w sieci takie same i równe,
- rozmieszczane obiekty powinny być podobnej lub tej samej wielkości.

Prawidłowe rozmieszczenie stanowisk roboczych za pomocą metody trójkątów Schmigalli przynosi firmom następujące korzyści (Skotnicka-Zasadzień i Sowiński, 2020):

- łatwiejsze ustalanie zmian w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa,
- zmniejszenie kosztów oraz skrócenie cyklu produkcyjnego przez ograniczenie np. zbędnych ruchów pracownika,
- utrzymanie właściwego poziomu jakości produktów/usług,
- łatwiejszy nadzór i bardziej sprawna kontrola części (mniejsza możliwość zgubienia części),
- maksymalizacja usług/wielkości produkcji przez przedsiębiorstwo.

Przykład zastosowania metody trójkątów przedstawiono w Załączniku 3.

## Bibliografia

- [1] Lis S., Santarek K. (1980), Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [2] Skotnicka-Zasadzień i Sowiński (2020), Efficiency assessment of the use of bloch-schmigalla 2 triangular method to improve the functioning 3 of commercial industry enterprise. Dostępne na: <http://managementpapers.polsl.pl/wp-content/uploads/2020/04/142-18.-Skotnicka-Zasadzie%C5%84-Sowi%C5%84ski.pdf> (dostęp: 31.01.2021).
- [3] Zupan i in. (2017), Layout optimization of a production cell. Dostępne na: [http://www.ijssimm.com/Full\\_Papers/Fulltext2017/text16-4\\_603-616.pdf](http://www.ijssimm.com/Full_Papers/Fulltext2017/text16-4_603-616.pdf) (dostęp: 31.01.2021).

### 3.5. Mapowanie strumienia wartości (Karolina Antonik)

Mapowanie strumienia wartości (ang. *Value Stream Mapping*) jest narzędziem, które przy użyciu kartki papieru i ołówka umożliwia zobaczenie i zrozumienie przepływu wszelkich materiałów oraz informacji w drodze, która jest pokonywana w strumieniu wartości przez produkt. Strumieniem wartości są natomiast czynności, które dodają wartość, ale także te niedodające wartości, które w danej chwili są konieczne, aby móc przeprowadzić wyrób przez kluczowe przepływy wartości (produkcyjny oraz projektowy przepływ wartości) (Rother i Shook, 2009).

Mapowanie strumienia wartości stało się w ostatnich latach bardzo popularną metodą wykorzystywaną w procesie wdrażania Lean. Powstało bardzo wiele artykułów dotyczących mapowania strumienia wartości, chociaż ograniczają się one najczęściej do ściśle określonych sektorów. Można się jednak doszukać wielu wartościowych treści dotyczących wdrażania Lean w takich sektorach, jak produkcja, ochrona zdrowia, budownictwo, rozwój produktów oraz usługi. Prowadzone są badania w celu zrozumienia różnic wdrażania VSM w różnych sektorach. Przeprowadzanie takich badań ma na celu ułatwienie rozwoju oraz zwiększenie liczby udanych wdrożeń VSM. Wyniki sugerują, że zrozumienie wartości i marnotrawstwa w zróżnicowanym środowisku strumienia wartości oraz zapewnienie przydatności i użyteczności tradycyjnych wskaźników, a także technik Lean w różnych ustawieniach przepływu ma kluczowe znaczenie dla rozwoju VSM (Abdulmalek i Rajgopal, 2007).

Bardzo interesującą oraz ważną kwestią jest integracja LCA (środowiskowa ocena cyklu życia) oraz mapowanie strumienia wartości na potrzeby podejmowania decyzji. Ma to pomóc wielu branżom w doskonaleniu aspektów środowiskowo-ekonomicznych w kierunku stworzenia ekologicznego oraz sprawnego systemu produkcyjnego. Proponowana integracja LCA-VSM przyczynia się do znacznej poprawy aspektów środowiskowych oraz produkcyjnych w organizacjach. W celu utworzenia modelu LCA-VSM wskazano możliwe miejsca do integracji, pokrywanie się modelu LCA oraz VSM. Zidentyfikowano także potencjalne korzyści wynikające z utworzenia zintegrowanego modelu LCA-VSM. Model ten zapewnia łatwe narzędzie do ustalania priorytetów działań, które mają na celu poprawę wyników środowiskowo-ekonomicznych, a także zachęca do ciągłego doskonalenia. Wspomniany model LCA-VSM został przetestowany w firmie, która jest producentem narzędzi oraz materiałów malarskich dla sektora budownictwa lądowego. Zastosowanie modelu LCA-VSM pozwoliło na zmniejszenie szkodliwego wpływu na środowisko z 15 do 5%, dodatkowo czas cyklu został zredukowany z 35,7 do 33,75 s, a czas realizacji z 103,26 do 24,01 dnia. Na podstawie tych badań można zauważyć, że włączenie aspektów środowiskowych do kwestii produkcyjnych jest bardzo korzystne dla przedsiębiorstw, a praktyczne podejście do integracji LCA-VSM pozwala na ustalenie priorytetów działań z uwzględnieniem preferencji środowiskowych, łatwość wdrożenia, a także wykonalność ekonomiczną (Salvador i in., 2020).



Z reguły wykonuje się dwa rodzaje map, ale dotyczących tego samego strumienia. Jedna mapa pokazuje stan obecny, natomiast druga stan przyszły. Zasadniczą kwestią przy tworzeniu map strumienia wartości są przyjęte symbole oraz zasady. Podczas tworzenia mapy stanu aktualnego kluczową kwestią jest rzeczywiste odzwierciedlenie przepływu, obejmujące jednocześnie sposób przekazywania pracy pomiędzy poszczególnymi pracownikami. Sporządzając mapę stanu aktualnego, należy mieć na uwadze oraz wskazać miejsca, w których pojawiają się nieprawidłowości wpływające negatywnie na jakość procesu (Urban, 2000).

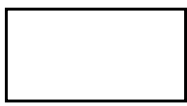
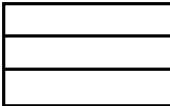


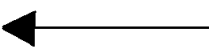
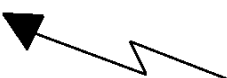

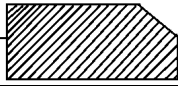
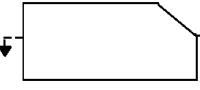
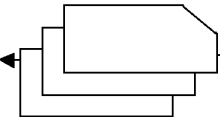
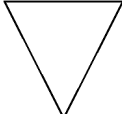
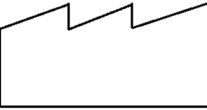

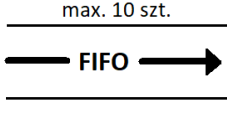
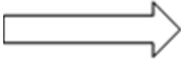
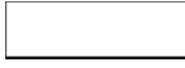
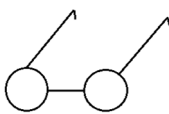

Zaczynając tworzyć mapę stanu obecnego, należy wskazać rodzinę produktów oraz zebrać odpowiednie dane. Krokiem pierwszym jest zidentyfikowanie wymagań klienta. W związku z tym trzeba określić liczbę, rodzaj wyrobów, a także czas, w jakim mają być one do wspomnianego klienta dostarczone. Ważne jest także określenie sposobu komunikacji z potencjalnym klientem, np. drogą elektroniczną (Cichorczyk, 2020). Aby prawidłowo wykonać mapę stanu obecnego, niezbędne jest zebranie danych dotyczących rodzaju operacji produkcyjnych, czasów trwania przebrojeń oraz operacji, zmienności pracy, wymagań dostawców i przedsiębiorstwa, sposobu planowania produkcji, dostępności stanowisk pracy, sposobu przydzielania zadań produkcyjnych, liczby operatorów maszyn i urządzeń, planowania wysyłek do klienta, zapasów oraz sposobu komunikacji. Następnie proces za pomocą odpowiednich symboli jest przedstawiany graficznie. Symbole te pozwalają na przedstawienie procesu w sposób klarowny i przejrzysty, dzięki czemu istnieje możliwość łatwego wychwycenia miejsc do doskonalenia. Każdy z etapów procesu należy poddać dogłębnej obserwacji i analizie, zmierzyć czas trwania operacji produkcyjnych, przeprowadzić analizę stanowisk oraz opracować koncepcję czynności, które usprawniłyby produkcję (Antosz i in., 2010).

Mapa stanu przyszłego z kolei pomaga przedsiębiorstwu wdrożyć zaproponowane działania, które usprawniają produkcję. Podczas tworzenia mapy stanu przyszłego należy zacząć od ustalenia czasu taktu. Czas taktu powinien zostać obliczony na podstawie popytu określanego dla danej rodziny wyrobów. Obliczony czas taktu daje informację o tym, co ile czasu produkt powinien schodzić z linii produkcyjnej, aby zostało zaspokojone zapotrzebowanie klienta. Ma to wiele zalet, między innymi to, że wiadomo, w jaki sposób organizować poszczególne procesy i pracę operatorów, aby wyrównać ich obciążenie. Następnym krokiem jest zaprojektowanie gniazd produkcyjnych tam, gdzie jest to możliwe z przepływem jednej sztuki. Fundamentalnym czynnikiem dla szczupłej produkcji jest system ssący wykorzystujący karty Kanban. System ten automatyzuje procesy przez harmonogramowanie. Zaprojektowanie mapy stanu przyszłego pozwoli na zminimalizowanie zapasów międzyoperacyjnych, co umożliwi dynamiczny rozwój, zwiększenie rentowności oraz konkurencyjności firmy (Cichorczyk, 2020).



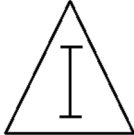
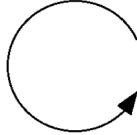
W wyniku tego otrzymuje się nową mapę, przy której budowie sporządza się listę wszelkich czynności niezbędnych do wprowadzenia zaproponowanych zmian. Mapę należy także przeanalizować w aspekcie realizacji oraz ewentualności wystąpienia kolejnych działań, które nie dodają wartości. Taką analizę należy realizować aż do momentu, w którym proces okaże się możliwy do realizacji oraz

wówczas, gdy składał się będzie tylko i wyłącznie z działań, które dodają wartość, a także tych, które wartości nie dodają, lecz są w procesie konieczne i proces nie może być bez nich realizowany (Wóźniak i Grzyb, 2020). Tablica 3.1 prezentuje symbole graficzne, które są wykorzystywane do budowania mapy przepływu strumienia wartości.

Tablica 3.1. Symbole graficzne, które są wykorzystywane do budowania mapy przepływu strumienia wartości

Lp.	Symbol	Znaczenie	Lp.	Symbol	Znaczenie
1		Element procesu wytwórczego	2		Dane
3		Transport	4		Pchanie
5		Przepływ informacji	6		Przyływ informacji drogą elektroniczną
7		Poziomowanie produkcji	8		Kanban transportowy
9		Kanban produkcyjny	10		Karty Kanban Przemieszczenie partiami
11		Kanban sygnalizacyjny	12		Przedsiębiorstwo zewnętrzne (dostawca, klient)
13		Kaizen	14		Kolejka FIFO
15		Wyroby gotowe przesłane do klienta	16		Zamówienie codzienne
17		Harmonogramowanie typu „idź i zobacz”	18		Operator

Tablica 3.1 (cd.). Symbole graficzne, które są wykorzystywane do budowania mapy przepływu strumienia wartości

Lp.	Symbol	Znaczenie	Lp.	Symbol	Znaczenie
19		Bufor lub zapas bezpieczeństwa	20		Supermarket
21		Zapasy	22		Ssanie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Antosz i in., 2010).

Podsumowując, można stwierdzić, że bardzo dużą oraz znaczącą zaletą mapowania strumienia wartości jest to, że dotyczy ono wszystkich czynności, które w procesie zachodzą – na jednej ilustracji graficznej (Urban, 2000). Ponadto pozwala na ograniczenie kosztów, ustalenie stanów zapasów, które są optymalne, zredukowanie czasu wykonania zamówień, usprawnienie oraz optymalizację całości kształtu procesów produkcyjnych, zlokalizowanie operacji, które nie stanowią wartości dodanej, przedstawienie relacji lub też ich braku zachodzących pomiędzy przepływem informacji a przepływem materiału, a także na zidentyfikowanie kompletnego procesu wykonania zlecenia (Wóźniak i Grzyb, 2020).

## Bibliografia

- [1] Abdulmalek F.A., Rajgopal J. (2007), Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107, 1, 223-236.
- [2] Antosz K., Stadnicka S.D. (2010), Doskonalenie procesu produkcji mieszadeł z wykorzystaniem mapowania strumienia wartości. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, 42-48.
- [3] Cichorczyk P. (2020), Mapowanie strumienia wartości w lean management. Dostępne na: <https://leanactionplan.pl/mapowanie-strumienia-wartosci/> (dostęp: 31.01.2021).
- [4] Rother M., Shook J. (2009), *Learning to See – Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, version 1.4, Cambridge, MA, USA.
- [5] Salvador R., Barros M.V., Tagliaferro dos Santos G.E., Godoi van Mierlo K., Piekarski C.M., de Francisco A.C. (2021), Towards a green and fast production system: Integrating life cycle assessment and value stream mapping for decision making. *Environmental Impact Assessment Review*, 87, 106519, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106519>.
- [6] Urban W. (2000), *Zarządzanie jakością usług*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [7] Woźniak K., Grzyb A. (2020), Mapowanie strumienia wartości. Dostępne na: [www.mfiles.pl/pl/index.php/Mapowanie\\_strumienia\\_wartosci](http://www.mfiles.pl/pl/index.php/Mapowanie_strumienia_wartosci) (dostęp: 31.01.2021).

### 3.6. Przepływ jednej sztuki (Katarzyna Pawlarczyk)

Przepływ ciągły to jedna z podstawowych zasad szczupłej produkcji. Jego zastosowanie w gniazdach oraz liniach produkcyjnych ma duży wpływ na efektywność w organizacji procesu produkcyjnego. W przypadkach, w których zastosowanie przepływu ciągłego jest niemożliwe, należy zastosować system Kanban typu supermarket. Pozwoli to zapewnić utrzymanie zapasów materiałów, aktualnej produkcji oraz gotowych wyrobów, a w efekcie ciągłość produkcji, a także dostaw do klienta (Antosz i in., 2013).

Przepływ jednej sztuki (ang. *One Piece Flow*) w procesie produkcyjnym oznacza, że dane części są przetwarzane po jednej sztuce, po czym bezpośrednio przekazywane na kolejne stanowisko. Maksymalny zapas pomiędzy kolejnymi operacjami może być równy jednej sztuce. Aby przepływ jednej sztuki mógł mieć miejsce, warunkiem koniecznym jest występowanie przepływu ciągłego. Wielkość partii transportowej przyjmuje wartość jeden. Na każdym stanowisku przetwarzany jest wyłącznie jeden wyrób, na który istnieje zapotrzebowanie na następnym stanowisku, krótko przed tym, kiedy to zapotrzebowanie wystąpi.

W przepływie jednej sztuki operacje są rozmieszczone obok siebie, a każdy obrabiany element przechodzi płynnie od jednego procesu do kolejnego. Dzięki takiemu rozwiązaniu wyrób nie musi być transportowany pomiędzy odległymi stanowiskami, które często znajdują się na różnych halach produkcyjnych, co ma wpływ na skrócenie czasu przejścia. *One piece flow* można osiągnąć przez odpowiednie rozmieszczenie maszyn, operatorów oraz materiału w danej komórce produkcyjnej (Soliman, 2020).

Głównym czynnikiem decydującym o wielkości produkcji jest zapotrzebowanie klienta na dany wyrób. Zmiana wielkości zapotrzebowania wymusza wprowadzenie zmian parametrów linii lub gniazda produkcyjnego. Na takie zmiany należy reagować w jak najkrótszym czasie przez doskonalenie ciągłego przepływu. W tabeli 3.1 przedstawiono główne etapy prac analitycznych oraz projektowych, które składają się na proces udoskonalania (Łopatowska i Jarosiński, 2016).

Pożądanym jest dążenie do przepływu jednej sztuki w procesie produkcyjnym. Pozwala to na doskonalenie przepływu strumienia wartości. *One piece flow* może być wdrożony zawsze, gdy proces produkcyjny jest realizowany wyłącznie dla jednego asortymentu wyrobów i niewymagane są przebrojenia. Generowane straty w postaci oczekiwania mogą być eliminowane przez porównywalne czasy realizacji następujących po sobie operacji. Ważnym aspektem jest czasowa opłacalność przekazywania wytwarzanego elementu po jednej sztuce. Suma czasów produkcji na zasadzie przepływu jednej sztuki nie powinna znacząco przekraczać czasu produkcji na zasadzie kolejki i partii (Antosz i in., 2013).

Równoważenie produkcji przez wdrożenie przepływu jednej sztuki opiera się na eliminacji marnotrawstwa, do którego można zaliczyć zapasy w toku produkcji, zbędny transport. *One piece flow* jest stosowany w celu zaspokojenia potrzeby zwiększania produktywności, lepszej ergonomii miejsca pracy, a także stworzenia optymalnego środowiska pracy dla operatora (Apafaian i in., 2019).



Tabela 3.1. Etapy doskonalenia przepływu ciągłego

Etap	Charakterystyka
Powołanie zespołu	- wyznaczenie zespołu, składającego się z pracowników badanego obszaru oraz osób z zewnątrz, - określenie podstawowych założeń projektu doskonalenia (koszty realizacji, czas realizacji).
Analiza stanu aktualnego	- identyfikacja realizowanych operacji na linii/gnieździe, - identyfikacja liczby operatorów, wyposażenia, wielkości zapotrzebowania klienta, - dokonanie oceny efektywności pracy linii/gniazda, - pomiar czasów cyklu każdej operacji, - identyfikacja czynności dodających wartość, - pomiar czasów czynności dodających wartość, - identyfikacja i określenie konkretnych celów procesu doskonalenia.
Doskonalenie operacji	- eliminacja czynności niedodających wartości oraz zbędnych, - zastosowanie dostępnych metod szczupłej produkcji, tj. 5S, SMED, TPM, Poka-Yoke, Kaizen, standaryzacji pracy.
Określenie parametrów linii/gniazda	- wyznaczenie wymaganego taktu klienta, czasów cykli poszczególnych operacji, liczby stanowisk oraz liczby operatorów.
Równoważenie linii/gniazda	- standaryzacja operacji, - równomierny przydział operacji operatorom, - przeprowadzenie koordynacji czasu funkcjonowania poszczególnych stanowisk.
Projekt struktury linii/gniazda	- projekt udoskonalenia organizacji stanowisk pracy na linii/w gnieździe produkcyjnym, - projekt rozmieszczenia stanowisk pracy i supermarketów.
Projekt przepływu materiałów	- skupienie się na wprowadzeniu przepływu jednej sztuki wewnątrz linii/gniazda, - stworzenie harmonogramu przepływu materiałów wewnątrz linii/gniazda, - stworzenie harmonogramu pracy operatorów, - projekt zasileń materiałowych, przekazywania oraz odbioru wykonanych wyrobów.
Wdrożenia zmian i ich ocena	- odpowiedni plan i realizacja wdrożenia, - dokonanie oceny stopnia realizacji przyjętych celów doskonalenia.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Łopatowska i Jarosiński, 2016).

Zastosowanie przepływu jednej sztuki na linii lub w gnieździe produkcyjnym niesie ze sobą następujące korzyści (Koch, 2011):

- minimalizacja czasu przejścia materiału przez proces,
- eliminacja zapasów produkcji w toku,
- szybsza identyfikacja problemów i wadliwie wykonanych wyrobów,
- poprawa komunikacji pomiędzy poszczególnymi stanowiskami.



## Bibliografia

- [1] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2013), Narzędzia Lean Manufacturing. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [2] Apafaian D.I., Egri D.M., Veres C. (2019), Case Study Regarding the Implementation of One-Piece Flow Line in Automotive Company. *Procedia Manufacturing*, 46, 244-248.
- [3] Dudek M. (2016), *Szczupłe systemy wytwarzania*. Warszawa.
- [4] Koch T. (2011), *Jak stosować metody Lean Manufacturing (oszczędnego wytwarzania) do wprowadzania innowacji*. Warszawa.
- [5] Łopatowska J., Jaroński J. (2016), Doskonalenie przepływu materiału w linii produkcyjnej. [W:] *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 1, R. Knosala (red.), Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, s. 632-643.
- [6] Soliman M.H.A. (2020), *Takt Time: A Guide to the Very Basic Lean Calculation*. Amazon.

### 3.7. Heijunka (Aneta Greszta)

Termin „poziomowanie produkcji” jest powszechnie kojarzony z Toyota Production System, gdzie jest także nazywany Heijunka. Jest to jedno z podstawowych narzędzi Lean Manufacturing, opracowane w latach 60. XX w., wykorzystywane przy realizacji zasady poziomicowania produkcji. Słowo „Heijunka” z japońskiego oznacza poziomicowanie oraz wygładzenie (Vass i in., 2020). Celem Heijunki jest dążenie do osiągnięcia przepływu ciągłego. Koncepcja ta dotyczy trzech powiązanych elementów, które wpływają na ciągłość przepływu: bilansowania obciążenia linii, poziomicowania obciążenia oraz poziomicowania zapotrzebowania (Pawłowski i in., 2010).

**Bilansowanie obciążenia linii** można osiągnąć przez zastosowanie uruchomienia zleceń jednorodnych oraz małych partii wyrobów. Dzięki temu można uniknąć następujących trudności (Pawłowski i in., 2010):

- dużych problemów wynikających ze zmian wymagań klientów,
- wyboru dowolnej kolejności realizacji zleceń przez osoby znajdujące się w strumieniu wartości, gdy do produkcji przekazywane są duże zlecenia,
- problemu z oceną stanu produkcji,
- utraty zjawiska ssania,
- zanikania poczucia taktu.

Aby zapewnić równomierne obciążenie linii, można zastosować kilka metod. Jedną z nich jest „ssanie rytmiczne”. Polega ono na systematycznym zleceniu niedużych jednorodnych zleceń produkcyjnych wraz z jednoczesnym przyjęciem wyprodukowanych wyrobów. Czas, który jest niezbędny, aby wykonać jedno zlecenie produkcyjne, jest określany rytmem partii lub podziałką. Wielkość podziałki można wyliczyć, korzystając z liczby gotowych elementów znajdujących się w pojemniku transportowym (wzór (3.1)) (Pawłowski i in., 2010).

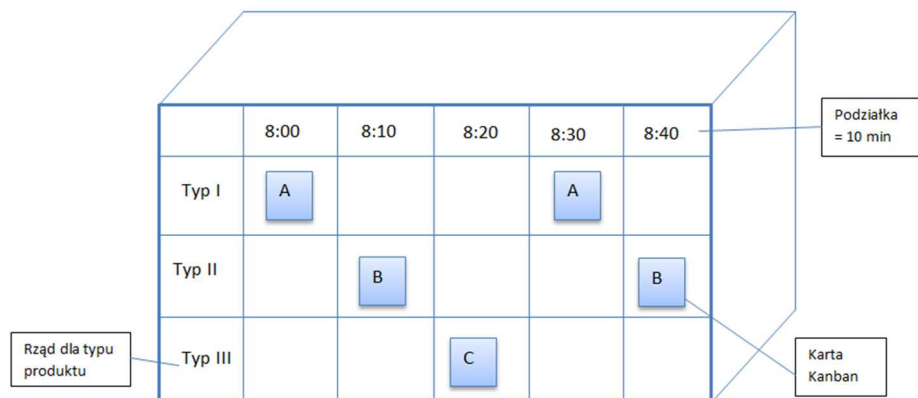
$$\text{Podziałka} = \text{czas taktu} \cdot \text{liczba elementów w pojemniku} \quad (3.1)$$

Przykładowo, jeżeli w pojemniku znajduje się 10 sztuk wyrobu, a takt linii jest równy 60 s, to podziałka wynosi 10 min. W związku z tym w czasie 10 min



zlecane jest wyprodukowanie jednego pojemnika wyrobów. Z takim samym rytmem są produkowane kolejne pojemniki wyrobów. W przypadku zmniejszenia się popytu wydłuża się takt produkcji, co wiąże się z tym, że aby ją wykonać, potrzebna jest mniejsza liczba stanowisk roboczych czy operatorów. Zastosowanie tradycyjnego modelu harmonogramowania produkcji spowoduje niedociążenie jednorodnej grupy stanowisk przy jednoczesnym przeciążeniu niektórych z nich. Powodem tego jest fakt, że takt nie powinien stanowić podstawy przeznaczania zadań na stanowiska robocze. W przedsiębiorstwach, które produkują zgodnie z zasadami Lean oraz *Just in Time* pewna część pracowników będzie wykonywała zadania, które w całości wypełnią czas taktu. Aby tego dokonać, zlecenia produkcyjne powinny być różnorodne i wydawane na małe liczby sztuk wyrobów. Pozostała część pracowników będzie wykonywała zadania, które w części wypełnią czas taktu. Przez pozostały czas będą oni przeznaczeni do wykonywania innych zadań, np. utrzymanie porządku na stanowiskach pracy. Dzięki temu przedsiębiorstwa takie w razie zmniejszenia się popytu nie muszą zwalniać pracowników, lecz przeznaczają ich do wykonywania innych zadań (Pawłowski i in., 2010).

Jednym z narzędzi do bilansowania obciążenia linii oraz jej poziomowania jest „skrzynka Heijunka” (rys. 3.2). Składa się ona z rzędu przegródek, w których są umieszczane karty Kanban. Poziome szeregi oznaczają poszczególne wyroby, pionowe zaś oznaczają podziałkę. Wraz z rytmem partii karty Kanban dostarcza się pojedynczo do jednostki produkcyjnej, równoległe przekładając je w skrzynce (Pawłowski i in., 2010). Skrzynkę Heijunka stosuje się także w celu wizualizacji produkcji. Dzięki niej wiadomo, kiedy są produkowane dane wyroby oraz kiedy będą produkowane ponownie (Midilli i in., 2020).



Rys. 3.2. Skrzynka Heijunka

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Rother i Shook, 1998).

**Poziomowanie obciążenia** opiera się na naprzemiennym produkowaniu wyrobów zgodnie z popytem. Przykładowo, jeśli dane przedsiębiorstwo produkuje dziennie po sto wyrobów A, B oraz C, to może wyprodukować najpierw wszystkie wyroby A, potem wszystkie wyroby B, a na końcu wszystkie wyroby C. Dzięki

takiej kolejności oraz produkcji większych partii oszczędza się czas potrzebny na przebrojenie maszyn, ich czyszczenie itp. Metoda ta wydaje się korzystna, jednak powoduje ona nieproporcjonalne obciążenie ludzi i maszyn, przez co część zasobów jest niedociążona, a część przeciążona. Ponadto sprawia ona, że produkcja może nie odpowiadać kolejności sprzedaży wyrobów oraz popytowi (Pawłowski i in., 2010).

Przykładowo, firma musi wyprodukować w ciągu miesiąca 300 sztuk produktu A przy obciążeniu zdolności produkcyjnych 50%, 600 sztuk produktu B przy obciążeniu zdolności produkcyjnej 100% oraz 900 sztuk produktu C przy obciążeniu 150%. Aby od razu realizować całe zlecenie produkcyjne, produkcja byłaby zaplanowana w następujący sposób: pierwsze 10 dni produkcja wyrobu A z niedociążeniem zasobów, następnie przez 10 dni produkcja wyrobu B z pełnym obciążeniem zasobów, a przez ostatnie 10 dni produkcja wyrobu C z zastosowaniem nadgodzin. Dodatkowo produkcja wyrobu A przez pierwszych 10 dni stanowi nadprodukcję, ponieważ w ciągu tego okresu przedsiębiorstwo sprzedaje tylko część z wyprodukowanych wyrobów. Przy zastosowaniu tradycyjnego modelu planowania zostałyby wyprodukowane: przez pierwszych 10 dni 50% wyrobu B, a przez następnych 10 dni 50% wyrobu C. Dzięki temu zdolności produkcyjne byłyby zbilansowane z obciążeniem (tab. 3.2). Nie rozwiązuje to jednak problemu nadprodukcji. W przypadku zastosowania metody naprzemiennego planowania produkcji przedsiębiorstwo uzyskuje jej wypoziomowanie. W takim przypadku jedna trzecia miesięcznego popytu na produkty A, B oraz C byłaby produkowana w ciągu 10 dni. W związku z tym przez każde 10 dni przedsiębiorstwo wyrabiałoby po 100 produktów typu A, 200 wyrobów typu B oraz 300 wyrobów typu C (tab. 3.3). Dzięki takiemu rozwiązaniu zminimalizowano by nadprodukcję. Taki model wiąże się jednak z większą liczbą przebrojeń oraz potrzebą utrzymywania zapasów komponentów wszystkich rodzajów. Korzyści wynikające z zastosowania tej metody to (Pawłowski i in., 2010):

- minimalizacja ryzyka wynikającego z niepewności sprzedania wyprodukowanych wyrobów oraz mniejsze koszty magazynowania wyrobów gotowych,
- zwiększenie elastyczności produkcji oraz większe dostosowanie jej do tego, czego potrzebuje klient w danym czasie,
- równomierne wykorzystywanie maszyn oraz pracowników – przez opracowanie standardowych zadań można wyrównać produkcję, jednocześnie biorąc pod uwagę fakt, że różne modele wymagają różnego nakładu pracy,
- zrównoważenie zapotrzebowania na produkty z poprzednich procesów, a także na te produkowane przez dostawców. Jeżeli przedsiębiorstwo w obciążaniu procesów produkcyjnych stosuje zasadę *Just in Time*, a dostawcy dostarczają materiał często i małymi partiami, to również mogą produkować swoje wyroby według wyrównanych i stabilnych zamówień. Dzięki temu można zmniejszyć stan zapasów w łańcuchu dostaw, a tym samym obniżyć koszty (Rudnicki, 2012),
- złagodzenie lub eliminacja wąskich gardeł (Yorke i in., 2020).

Tabela 3.2. Tradycyjny model planowania

Dni miesiąca	Produkowany wyrób
Od 1 do 10	300 szt. A 300 szt. B
Od 11 do 20	300 szt. B 450 szt. C
Od 21 do 30	450 szt. C

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3.3. Model naprzemiennego planowania produkcji

Dni miesiąca	Produkowany wyrób
Od 1 do 10	100 szt. A 200 szt. B 300 szt. C
Od 11 do 20	100 szt. A 200 szt. B 300 szt. C
Od 21 do 30	100 szt. A 200 szt. B 300 szt. C

Źródło: Opracowanie własne.

**Poziomowanie zapotrzebowania** wiąże się z tym, aby dostawcy dostarczali dokładnie te produkty, których producent potrzebuje (wymagana jakość), dokładnie tyle (małe ilości) oraz dokładnie w takim czasie. Aby to osiągnąć, stosuje się określone zasady (Pawłowski i in., 2010). Gdy popyt na dany produkt jest stały, to poziom wyrównania nie jest konieczny. W przeciwnym wypadku stosuje się dwie metody Heijunki: poziomowanie asortymentu produktu oraz poziomowanie wielkości produkcji (Heijunka, 2017).

Poziomowanie asortymentu produktu stosuje się w sytuacji, kiedy występuje popyt na różne wyroby w różnych ilościach. Polega ono na takim podzieleniu produkcji, aby codziennie produkować każdy zamawiany wyrób (Heijunka, 2017).

Poziomowanie wielkości produkcji opiera się na uśrednieniu dziennej produkcji tak, aby każdego dnia produkowano oraz dostarczano klientowi zbliżoną liczbę wyrobów. Dzięki takiemu wyrównaniu wielkości produkowanych wyrobów tego samego typu unika się wahań produkcyjnych, przestojów oraz przeciążenia maszyn i urządzeń (Heijunka, 2017).

Dzięki wprowadzeniu zasady poziomowania produkcji – Heijunka, kreuje się nowe środowisko, w którym pracownicy nie są przeciążeni, klienci dostają wyroby wymaganej jakości w ustalonym terminie, a przedsiębiorcy oszczędzają pieniądze przez eliminację marnotrawstwa (Rudnicki, 2012).

## Bibliografia

- [1] Heijunka – poziomowanie produkcji. Dostępne na: <https://www.system-kanban.pl/definicja/heijunka/> (dostęp: 30.01.2021).
- [2] Midilli Y.E., Elevli B. (2020), Value Stream Mapping with Simulation to Optimize Stock Levels: Case Study. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 14, 3, September, 295-302.
- [3] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzecieliński S. (2010), *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [4] Rother M., Shook J. (1998), Learning to see. Value stream mapping to create value and eliminate muda. The Lean Enterprise Institute.
- [5] Rudnicki J. (2012), Koncepcja poziomowania produkcji. Dostępne na: <https://log24.pl/news/koncepcja-poziomowania-produkcji/> (dostęp: 30.01.2021).
- [6] Vass J., Lackner M.-L., Musliu N. (2020), Exact and metaheuristic approaches for the production leveling problem. Christian Doppler Laboratory for Artificial Intelligence and Optimization for Planning and Scheduling Databases and Artificial Intelligence Group TU Wien, 1040 Wien, Austria June 17.
- [7] Yorke E., Chowdary B.V., Bansee J. (2020), A study on the improvement of a local bottle manufacturing operation: deployment of lean principles and discrete event simulation. The International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (IconE-Tech-2020) Faculty of Engineering, The UWI, St. Augustine, June 1st – 5th, 829-838.

### 3.8. Andon – jako główne narzędzie umożliwiające realizację zasady Jidoka (Robert Rębisz)

Zasada Jidoka jest jednym z dwóch, obok koncepcji *Just in Time*, fundamentów realizacji systemu produkcyjnego firmy Toyota. Opiera się na oddzieleniu ludzkiej pracy od pracy maszyn, identyfikacji urządzeń chroniących wyrób przed defektami, a co najważniejsze – na bardziej efektywnym przebiegu produkcji (Szmelter, 2013). Głównymi założeniami tej zasady są (Kornicki, 2006):

- osiągnięcie najwyższej jakości produkowanego wyrobu czy też produktu, aby nigdy uszkodzony wyrób nie trafił do odbiorcy oraz aby zminimalizować ryzyko sprzedaży wyrobu niezgodnego,
- minimalizacja kosztów produkcji związanych z produkcją braków przez wprowadzenie odpowiednich systemów oraz narzędzi, które w momencie wykrycia wyrobu niezgodnego przerywają produkcję,
- minimalizacja czasu działania przez oddzielenie ludzi od maszyn, wprowadzenie automatyzacji, dzięki czemu praca stanie się bardziej efektywna.

Głównymi narzędziami, które umożliwiają realizację podstawowych założeń zasady Jidoka i pozwalają rozwiązywać powstałe problemy odnoszące się do konkretnych obszarów w procesie produkcji są: Poka-Yoke oraz Andon. Bez zastosowania tych narzędzi sama koncepcja Jidoka nie miałaby szans na poprawę efektywności realizacji danych procesów.

W tym punkcie zostanie opisany system Andon, który jest głównym narzędziem realizującym opisaną zasadę Jidoka. System ten jest przedstawicielem zarządzania wizualnego (ang. *Visual Management*), które stanowi zasadniczą część



koncepcji Lean Management (Wojakowski, 2017). Zarządzanie wizualne pozwala na wzrokową ocenę realizowanych procesów, jak również kontrolę parametrów skuteczności i efektywności procesów realizowanych w danym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Zarządzanie wizualne jest wykorzystywane w obszarach, w których informacje w postaci tekstu czy innych dokumentów są zastępowane sygnałami wizualnymi. Jednym ze sposobów realizacji tego rodzaju zarządzania jest stosowanie narzędzi wizualnych, do których zalicza się system Andon (Knop, 2016). Celem wprowadzenia systemu Andon jest natychmiastowe zasygnalizowanie pojawiających się błędów przez danego operatora (przez odpowiedni sposób sygnalizacji), gdy jakiegokolwiek działania produkcyjne nie spełnia wyznaczonych mu standardów pracy.

W przeszłości, gdy wystąpił problem, operatorzy informowali o nim, używając linek lub sznurków, w które stanowisko pracy było wyposażone. Ruch ten powodował uruchomienie odpowiedniego sygnału świetlnego, który przekazywał informację przełożonemu o pojawieniu się problemu na linii produkcyjnej. Koncepcja systemu Andon silnie się rozwinęła, głównie za sprawą rozwoju technologii informatycznych. Zostały wprowadzone dodatkowe symbole świetlne czy dźwiękowe w celu łatwiejszej lokalizacji pojawienia się usterki. Nowoczesny system Andon sygnalizuje pojawienie się określonego problemu przy wykorzystaniu systemów świetlnych, które występują w postaci różnego rodzaju tekstów, elementów audio czy też grafiki, celem natychmiastowej lokalizacji obszaru na linii produkcyjnej, na której doszło do zatrzymania procesu (Szmelter, 2013).

Podstawowym elementem systemu Andon jest tak zwana tablica informacyjna, na której są zawarte wszystkie stanowiska robocze wraz z przypisanymi sygnałami świetlnymi. Kolor żółty oznacza z reguły ostrzeżenie o powstałym problemie, np. zbliżającej się wymianie elementów maszyny, co może stanowić sygnał zagrożenia dla procesu realizowanego na danym stanowisku roboczym w najbliższym czasie, ale w danym momencie nie przesądza o jakości wyrobu. Kolor czerwony informuje przełożonego o powstaniu poważnego problemu, który w danym czasie spowodował zatrzymanie linii produkcyjnej (Hirvonen, 2018).

Aby wdrożyć system Andon w przedsiębiorstwie, w celu poprawy efektywności jego funkcjonowania oraz osiągnięcia najwyższej jakości produkowanego wyrobu należy zrealizować następujące etapy (Wojakowski, 2017):

- 1) **ofertowanie** – określenie funkcjonalnych wymagań oraz złożoności wdrażanych urządzeń, określenie zakresu projektu wdrożeniowego,
- 2) **konfiguracja** – implementacja danych procesowych do tzw. tablicy świetlnej, a następnie weryfikacja jej poprawności i przygotowanie na okres testowy,
- 3) **instalacja pilotażowa** – podłączenie sygnałów pochodzących z czujników, czy też sterowników maszyn do tablicy,
- 4) **ocena przydatności systemu** – opracowanie raportu na podstawie okresu próbnego działania systemu, a następnie przedstawienie go na zebraniu przedsiębiorstwa w celu podjęcia decyzji, czy dany system będzie wykorzystywany w firmie, czy też nie,



- 5) **rozbudowa systemu** – w przypadku podjęcia decyzji o wdrożeniu – rozbudowa systemu przez instalację sygnalizacji świetlnych, tablic informacyjnych na pozostałych liniach produkcyjnych,
- 6) **rozszerzenie funkcjonalności systemu** – instalacja dodatkowych urządzeń czy oprogramowania rozszerzającego system (np. moduł integrujący system Andon z systemami zarządzania w przedsiębiorstwie).

Implementacja poszczególnych etapów daje możliwość poprawnego wdrożenia systemu Andon, który z pewnością będzie korzystnym systemem wspierającym funkcjonowanie przedsiębiorstwa (Szmelter, 2013).

Reasumując, system Andon znacznie poprawia funkcjonowanie przedsiębiorstwa przez efektywne informowanie odpowiednich osób o obszarach, w których wykryto nieprawidłowości. Korzyści płynące z wdrożenia oraz użytkowania takiego systemu to m.in. (Bradley, 2015):

- sygnalizacja problemu na linii produkcyjnej,
- rejestrowanie czasu reakcji na zgłaszane problemy,
- znacząca poprawa wydajności,
- obniżenie kosztów i nawarstwiania się problemów na produkcji,
- poprawa jakości przepływu kluczowych informacji,
- pozyskiwanie oraz przechowywanie informacji o zaistniałych problemach.

Andon daje możliwość sterowania oraz monitorowania procesem, gdyż pozwala na zatrzymanie linii produkcyjnej przez operatora czy maszynę, w wyniku pojawienia się niezgodności uwidaczniających się podczas wytwarzania danego wyrobu. W innym przypadku maszyny zatrzymywałyby się po zakończeniu cyklu produkcyjnego, co generowałoby dodatkowe, niepotrzebne koszty dla przedsiębiorstwa. Pozwala to na zapewnienie wysokiej jakości podczas realizacji poszczególnych procesów oraz uniknięcie błędów występujących na produkcji, co jest kluczowym elementem w funkcjonowaniu każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego.

## Bibliografia

- [1] Bradley J.R. (2015), *Improving Business Performance with Lean*. Business Expert Press, New York.
- [2] Hirvonen J. (2018), *Design and implementation of Andon system for Lean Manufacturing*. Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology, Aalto University.
- [3] Knop K. (2016), Zarządzanie wizualne jako istotny element w doskonaleniu firmy produkcyjnej. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie, Politechnika Śląska*, 87, 237-250.
- [4] Kornicki L. (2006), Jidoka – sposób na doskonalenie jakości i produktywności. *Zarządzanie Jakością*, 4, 62-63.
- [5] Szmelter A. (2013), Jidoka jako przykład kaizenowskich technik minimalizacji kosztów logistycznych przedsiębiorstw produkcji masowej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka*, 46. Modelowanie procesów i systemów logistycznych, 12, 149-158.





- [6] Wojakowski P. (2017), Realizacja projektów wdrożeniowych systemu Andon w zakładach produkcyjnych. *Przedsiębiorstwo we współczesnej gospodarce – teoria i praktyka*, 21(2), 179-188.

### 3.9. Automatyzacja linii produkcyjnych (*Ilona Utzig*)

W dzisiejszych czasach automatyzacja rozwiązań technicznych jest aspektem niezwykle ważnym z punktu widzenia przedsiębiorstw produkcyjnych. Stopień wdrożonej automatyzacji jest ściśle powiązany z jakością i kosztem wytworzenia wyrobów finalnych. Przez pojęcie automatyzacji rozumie się zastąpienie pracy fizycznej i umysłowej wykonywanej przez człowieka pracą wykonywaną za pomocą zaprogramowanych maszyn i urządzeń. W przypadku automatyzacji obrabiarek do obróbki skrawaniem wyeliminowana zostaje ingerencja operatora w czasie trwania procesu technologicznego, co umożliwia koncentrację czynności ludzkich na uzbrojeniu i ustawieniu obrabiarki, na nadzorze, konserwacji, a także naprawach (Kosmol, 2000). Pomimo przeniesienia pewnych czynności na maszyny automatyczne, człowiek jednak wciąż sprawuje kontrolę nad realizacją wykonywanych zadań.

Początki rozwoju automatyzacji linii produkcyjnych określa się na 1913 r., kiedy to została zaprojektowana przez Henryka Forda pierwsza ruchoma taśma wykorzystywana do produkcji samochodów. W ten sposób cały proces produkcyjny został skrócony z 12,5 h do 1,5 h. Znaczne skrócenie czasu realizacji procesu produkcyjnego przełożyło się przede wszystkim na wynik finansowy przedsiębiorstw i powtarzalność procesu.

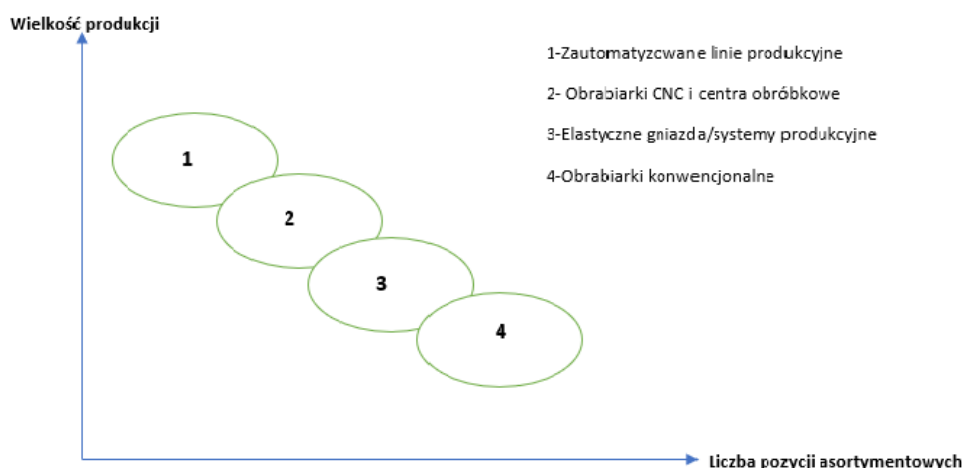
Proces produkcyjny realizowany na wspomnianej linii produkcyjnej, jak już wspomniano we wcześniejszym rozdziale niniejszej pracy, polegał na umieszczeniu na niej nadwozia, które było przemieszczane ruchem cyklicznym przez wszystkie stanowiska wzdłuż linii. Po wykonaniu operacji na ostatnim stanowisku, z linii zjeżdżał gotowy samochód. Czas, w jakim były realizowane czynności na danym stanowisku został określony jako takt roboczy. Automatyzacja linii w tym przypadku polegała nie tylko na przemieszczaniu nadwozia przez kolejne stanowiska na linii produkcyjnej, lecz także na zsynchronizowaniu głównej linii produkcyjnej z taśmami bocznymi, które dostarczały wszystkie niezbędne części do danej operacji w określonym czasie.

Pierwsze zastosowanie linii produkcyjnej stało się bodźcem do wykorzystania tego sposobu produkcji dla innych przedsiębiorstw produkcyjnych. Od czasu wdrożenia linii produkcyjnej nastąpił szybki wzrost zaawansowania i rozwoju procesów związanych z automatyzacją produkcji. Obszar ten jest ciągle rozwijany. Niezmiernie ważny jest fakt, że dzięki automatyzacji możliwa jest realizacja procesów wydajniej, precyzyjniej, także bardziej niezawodnie niż przy pracy ręcznej (Honczarenko, 2008).

Stopień automatyzacji linii zależy przede wszystkim od liczby zastosowanych obrabiarek automatycznych. Cechy, które wyróżniają współczesne obrabiarki, to automatyzacja cykli pracy, praca z ograniczonym udziałem operatora, łatwa

obsługa, automatyczny nadzór nad procesem obróbkowym oraz kontrola wymiarowa wytwarzanych przedmiotów. Tak wysoki poziom obrabiarek, a także wielomaszynowych systemów obrabiarkowych jest możliwy dzięki zastosowaniu współczesnej techniki komputerowej. Główny kierunek rozwoju budowy i wykorzystania maszyn zmierza do komputerowo zintegrowanej produkcji (CIM), dlatego też układy sterowania CNC pojedynczej obrabiarki powinny nie tylko działać samodzielnie, ale także mieć możliwość podłączenia do nadrzędnego komputera autonomicznej stacji lub też systemu obróbkowego, który jest powiązany z całą siecią informatyczną danego zakładu produkcyjnego (Szatkowski, 2014).

Zautomatyzowana produkcja przybiera różne formy, biorąc pod uwagę wielkość realizowanej produkcji i liczbę zróżnicowanego asortymentu. Rysunek 3.3 przedstawia zastosowanie wybranej formy realizacji produkcji z uwzględnieniem asortymentu.



Rys. 3.3. Forma realizacji produkcji z uwzględnieniem wielkości produkcji oraz liczby asortymentów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Marciniak, 2007).

Analiza rysunku 3.3 pozwala stwierdzić, że zautomatyzowane linie produkcyjne stosowane są przy dużej wielkości produkcji i przy małym zróżnicowaniu produkowanego asortymentu w przedsiębiorstwie. Natomiast wraz ze wzrostem liczby różnego rodzaju asortymentu zmienia się forma produkcji, kończąc na najmniej zaawansowanych obrabiarkach konwencjonalnych. Wybranie odpowiedniej formy jest ważne, gdyż istnieje ryzyko z tym związane. Możliwe jest uzyskanie niższej jakości i poniesienie wysokich kosztów produkcji, w przypadku gdy stopień automatyzacji jest zbyt niski. Gdy wielkość rynku zostanie źle oszacowana, nakłady na zbyt wysoki stopień automatyzacji mogą się nie zwrócić. Taka sytuacja może również wystąpić, gdy na rynku pojawią się niespodziewane zmiany. Wtedy

wyrób przestaje się sprzedawać, a przedsiębiorstwo ponosi wysokie straty finansowe (Marciniak, 2007). Automatyzacja produkcji ma wiele zalet, jakimi są między innymi (Hyla, 2018):

#### 1. Zwiększona wydajność pracy

Automatyzacja procesów produkcyjnych zwiększa szybkość ich realizacji, a także całkowitą wydajność pracy. Ważnym aspektem jest brak konieczności wykonywania czynności manualnych, które są zastąpione przez zaprogramowane maszyny.

#### 2. Obniżone koszty pracy

Koszty pracy są czynnikiem stale utrzymującym tendencję wzrostową. W związku z tym, wysokie nakłady finansowe poniesione w ramach rozwiązań na rzecz automatyzacji linii są uzasadnione. Inwestycja powoduje znaczne obniżenie jednostkowego kosztu produkcji wyrobu. Automatyzacja produkcji jest także ściśle związana z kosztami pracy robotów. W ciągu ostatnich trzydziestu lat średnia cena robota spadła o około połowę w stosunku do kosztów pracy. Ze względu na przenoszenie realizacji produkcji do regionów o niższych kosztach w przyszłości koszty związane z realizacją procesów produkcyjnych prawdopodobnie będą maleć (Kishore, 2019).

#### 3. Zmniejszona liczba monotony czynności

W trakcie procesu produkcyjnego występuje wiele powtarzanych manualnych czynności, które wykonuje dany pracownik. Praca tego typu jest nie tylko monotonna, lecz także męcząca. W ciągu dnia powtarza się setki czynności. Automatyzacja linii pozwala na wykonywanie przez maszynę tych czynności, a pracownik może zostać zaangażowany do bardziej twórczych zadań, które poprawią poziom jego satysfakcji.

#### 4. Złagodzone skutki niedoboru siły roboczej

W sytuacji gdy występuje niedobór siły roboczej, automatyzacja linii sprawia, że wymagani pracownicy są zastępowani maszynami. Jest to niezmiernie istotną kwestią dla krajów wysoko rozwiniętych, gdzie brak jest chętnych na określone stanowiska pracy.

#### 5. Zwiększony poziom bezpieczeństwa

Automatyzacja pozwala na ograniczenie bezpośrednio udziału w procesie na rzecz sprawowania nadzoru. Obniżone staje się więc prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku przy pracy.

#### 6. Wyższa jakość wyrobów

Proces jest powtarzalny, zaprogramowane parametry pracy mogą być znacznie dokładniejsze i zgodne z określonymi wymaganiami jakościowymi.

#### 7. Realizacja czynności niemożliwych do wykonania manualnie

Ze względu na złożoność lub dokładność niektórych operacji, są one niemożliwe do wykonania ręcznie. Operacje na częściach bardzo małych, złożonych geometrycznie lub precyzyjnych można wykonać w sposób automatyczny, bez czynnego zaangażowania człowieka.

## 8. Skrócony czas realizacji procesu produkcyjnego

Zaprogramowane operacje trwają zawsze tyle samo czasu. Brak jest przerw spowodowanych czynnikiem ludzkim. Czas realizacji jest przede wszystkim krótszy, gdyż zaprogramowana maszyna może wykonywać dane operacje w szybszym tempie.

Jedną z metod automatyzacji wytwarzania jest elastyczna automatyzacja wytwarzania, która umożliwia łatwe i szybkie przebrojenie oraz szybką wymianę programów pracy i środków wytwarzania w sposób dopasowany do zmieniających się zadań produkcyjnych. Elastyczny system wytwarzania wyróżnia wysoka wydajność zautomatyzowanych linii produkcyjnych, dlatego też możliwe jest wytwarzanie wyrobów z określonej grupy, gdy występuje na nie dane zapotrzebowanie, bez negatywnego wpływu na ekonomiczne wskaźniki produktywności nawet w małych partiach produkcyjnych. Najważniejszym aspektem dotyczącym działania elastycznych systemów wytwarzania jest rodzaj organizacji, który umożliwia sterowanie całym procesem produkcyjnym. Automatyzacja pozwala na skrócenie czasów pomocniczych procesów produkcyjnych związanych między innymi z ustawianiem, mocowaniem obrabianych przedmiotów, uchwytów i narzędzi (Honczarenko, 2008).

Reasumując, elastyczną automatyzację wykorzystuje się do zwiększania zakresu automatyzacji z zachowaniem jej elastyczności w przypadku produkcji małoseryjnej i średnioseryjnej oraz do zwiększenia elastyczności przy produkcji wielkoseryjnej i masowej wraz z zachowaniem osiągniętego wcześniej stopnia automatyzacji.

Przykładem środków wytwarzania w postaci linii produkcyjnych są elastyczne linie wytwarzania. Składają się one z zestawu zautomatyzowanych stanowisk technologicznych, a także stanowisk uzupełniających, ustawionych obok siebie z zachowaniem zasad przebiegu produkcji masowej. Elastyczność linii obróbkowej charakteryzuje się przede wszystkim łatwością dokonywania przebrojeń niezbędnych do produkcji różnych rodzajów produktów podobnych technologicznie. Elastyczne linie produkcyjne są obecnie stosowane głównie w przemyśle motoryzacyjnym, jako linie spawania i zgrzewania karoserii, linie montażowe zespołów, a także linie montażu wyrobu końcowego (Palchevskyi i in., 2015).

Biorąc pod uwagę względy ekonomiczne, można stwierdzić, że automatyzacja pozwala na znaczne oszczędności finansowe. Ma na to wpływ fakt, że efektywny czas obróbki na obrabiarkach konwencjonalnych oraz numerycznych z obsługą operatora stanowi jedynie około 6-7% dysponowanego rocznego funduszu czasu pracy. Pozostałą część zajmują czynności pomocnicze oraz przygotowawczo-zakończeniowe. Automatyzacja pozwala na skrócenie czasów nieproduktywnych nawet o 80% (Honczarenko, 2008).

Znaczna oszczędność czasu, wysoka jakość wyrobów, bezpieczeństwo, a także obniżone koszty pracy pozwalają stwierdzić, że automatyzacja linii produkcyjnych przynosi duże korzyści i początkowe duże nakłady finansowe poświęcone na zaprojektowanie i wytworzenie linii produkcyjnych są uzasadnione.

Automatyzacja procesów produkcyjnych niesie ze sobą wiele udowodnionych korzyści. Opierając się na wynikach badań (Frohm i in., 2006) przeprowadzonych w przedsiębiorstwach produkcyjnych, które posiadają podobny poziom automatyzacji procesów, jednoznacznie można stwierdzić, że wdrożona metoda realizacji produkcji przyczyniła się przede wszystkim do redukcji kosztów związanych z wynagrodzeniem pracowników produkcyjnych. Ponadto większość z badanych przedsiębiorstw uważa, że poprawiona została wydajność i produktywność, zwiększył się także poziom konkurencyjności. Ważny jest również fakt, że automatyzacja zapewnia możliwość usprawnienia środowiska pracy przez eliminację monotonnych i ciężkich fizycznie czynności.

Należy również wspomnieć, że sytuacja związana z pojawieniem się po raz pierwszy w grudniu 2019 r. wirusa COVID-19 przyczyniła się do zmiany sposobu organizacji funkcjonowania sektorów produkcyjnych i biznesowych. Wirus spowodował jeszcze większą potrzebę inteligentnych operacji, ponieważ producenci na całym świecie doświadczają zatrzymania produkcji. Wszelkie zmiany związane z niedoborem siły roboczej, zaburzeniami w łańcuchu dostaw prowadzą do innowacji. Najważniejszy aspekt – potrzeba ograniczenia kontaktu między ludźmi prowadzi do automatyzacji. Rozbudowano inteligentne fabryki, które umożliwiają zdalne monitorowanie i sterowanie funkcjami krytycznymi, które dotąd wymagały osobistego nadzoru, a co za tym idzie – zdecydowanie mniejsza liczba osób jest niezbędna do realizacji procesów produkcyjnych. Wykorzystując doświadczenia związane z COVID-19, w przypadku przyszłych kryzysów przedsiębiorstwa posiadające będą technologie zdolne do utrzymania solidnych procesów w warunkach krytycznych (Wilson, 2020).

Automatyzacja produkcji nie jest związana w sposób ścisły jedynie z branżą mechaniczną. Niezmiernie ważnym osiągnięciem ostatnich lat jest zastosowanie automatyzacji do nowoczesnych terapii komórkowych i genowych. Obecnie procesy produkcyjne stosowane do wspomnianych terapii są wykonywane głównie ręcznie. Procesy te są niezwykle trudne ze względu na możliwość występowania błędów ludzkich, skutkujących zwiększoną zmiennością między poszczególnymi partiami produkcji. Fakt ten wiąże się z dużym ryzykiem zanieczyszczenia i utraty produkowanej partii wyrobów. Przy wytwarzaniu tak złożonych produktów istotny jest fakt, że każda zmiana może skutkować znaczną zmianą jakości produktu końcowego, która w tej dziedzinie jest niedopuszczalna ze względu na bezpieczeństwo i skuteczność działania. Automatyzacja w tym przypadku minimalizuje zmienność procesów, a tym samym zmienność jakości komórek, zapewnia większą kontrolę nad bioprocem dzięki zastosowaniu czujników dokonujących pomiarów i umożliwiających dokładną i szybką optymalizację procesu. Osiągnięcie to jest niezwykle ważne dla ludzkości (Moutsatsou i in., 2019).

Wdrożenie w przedsiębiorstwie automatycznej linii produkcyjnej pozwala nie tylko na osiągnięcie wymienionych dogodności, ale także daje możliwość wdrożenia inteligentnych systemów do produkcji, co jest autentyczną wizją przyszłości. Istniejące już standardy automatyzacji zapewniają solidną podstawę do rozwoju inteligentnych rozwiązań produkcyjnych. Produkcja inteligentna zapowiada

przyszłość masowej produkcji spersonalizowanych produktów o wysokiej klasie dokładności, co więcej – koszty wytworzenia takich produktów będą osiągać wartości minimalne w stosunku do metod wykorzystywanych obecnie. Należy jednak pamiętać, że inteligentna produkcja wymaga kompleksowej integracji wewnątrzbranżowych i międzybranżowych procesów oraz systemów produkcyjnych. Szybszego, a także głębszego wdrożenia inteligentnej automatyzacji można oczekiwać przez rozpowszechnianie oraz ulepszenie odpowiednich standardów w podejściu opartym na obecnych potrzebach (Dash i in., 2019).

## Bibliografia

- [1] Dash R., McMurtrey M., Rebman C., Kar U.K. (2019), Application of artificial intelligence in automation of supply chain management. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, 14(3), 43-53.
- [2] Frohm J., Lindström V., Winroth M., Stahre J. (2006), The industry's view on automation in manufacturing. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(4), 453-458
- [3] Honczarenko J. (2008), Obrabiarki sterowane numerycznie, WMT, Warszawa.
- [4] Hyla A. (2018), 10 powodów dla których warto automatyzować produkcję. *Utrzymanie Ruchu*, 1, 60-63.
- [5] Kishore R. (2019), How automation is helping manufacturing companies. Dostępne na: <https://www.manufacturingtodayindia.com/sectors/3969-how-automation-is-helping-manufactuign-companies> (dostęp: 20.01.2021).
- [6] Kosmol J. (2000), Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem, WMT, Warszawa.
- [7] Marciniak M. (2007), Elementy automatyzacji we współczesnych procesach wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [8] Moutsatsou P., Ochs J., Schmitt R.H., Hewitt C.J., Hanga M.P. (2019), Automatyzacja produkcji komórek i terapii genowej: od przeszłości do przyszłości. *Listy Biotechnologiczne*, 41(11), 1245-1253.
- [9] Palchevskiy B., Świć A., Pavlysh V., Banaszak Z., Gola A., Krestianpol O., Lozynskiy V. (2015), Komputerowo zintegrowane projektowanie elastycznych systemów produkcyjnych. Politechnika Lubelska, Lublin.
- [10] Szatkowski K. (2014), Nowoczesne zarządzanie produkcją. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [11] Wilson G. (2020), How automation can help manufacturers navigate COVID-19. Dostępne na: <https://www.manufacturingglobal.com/technology/how-automation-can-help-manufacturers-navigate-covid-19> (dostęp: 01.02.2021).

## 3.10. TPM w zarządzaniu parkiem maszyn technologicznych

(Nikita Kłeczek)

TPM (ang. *Total Productive Maintenance*), czyli produktywne utrzymanie maszyn pozwala zaoszczędzić pieniądze dzięki temu, że istnieje możliwość przewidywania awarii parku maszynowego. TPM redukuje przestoje maszyn, które zamiast czekać na usunięcie usterki, powinny produkować i przynosić większe zyski (Ngadiman i in, 2020).

Dobrze wdrożona metoda TPM może wydłużyć okres eksploatacji maszyn, nie powodując zwiększenia kosztów, a przez zmniejszenie awarii, zwiększyć





efektywność. TPM ma na celu zapobieganie występowaniu problemów z maszynami, a nie ich rozwiązywanie.

Wdrożenie TPM jest realizowane w wymienionych dalej fazach (Hirano, 2009).

**Faza początkowa** to wdrożenie 5S. Metodologia 5S ma na celu stworzenie i utrzymywanie dobrze zorganizowanego, czystego, wydajnego stanowiska pracy o wysokiej jakości. Pierwsza faza skupia się na ustanowieniu standardów czyszczenia i smarowania. Zadania realizowane w tej fazie to różne czynności mające na celu przywrócenie urządzeń do jak najlepszego stanu operacyjnego (Prabowo i in., 2020):

- czyszczenie początkowe,
- eliminacja źródeł zanieczyszczeń i przestrzeni trudno dostępnych,
- wyznaczenie standardów czyszczenia i smarowania.

**Druga faza** ma na celu osiągnięcie dużego spadku awarii dzięki podniesieniu wiedzy i umiejętności operatorów oraz mechaników przez przeszkolenie, prowadzenie inspekcji i przeglądów ze zrozumieniem ich celów. Drugim celem jest zorganizowanie uporządkowanego środowiska pracy, w którym każde odchylenie od normy jest natychmiast zauważane. W kroku 5. standardy czyszczenia, smarowania i inspekcji są połączone w **standardy autonomicznego utrzymania ruchu**. W kolejności są realizowane następujące kroki (Woźnicka i Sikora, 2014):

1. Wdrożenie bieżącego przeglądu ogólnego.
2. Stworzenie standardów autonomicznego utrzymania ruchu.

Jakość produktu jest zapewniona przez stworzenie niezawodnych procesów, które zapobiegają przejściu produktu uszkodzonego w danym etapie produkcji do etapu następnego. Jednocześnie prace nad zapobieganiem uszkodzaniu produktów trwają bez końca.

3. Wdrożenie czynności zapobiegających przejściu produktu uszkodzonego w danym etapie produkcji do etapu następnego.
4. Wdrożenie czynności zapobiegających wyprodukowaniu uszkodzonego produktu.
5. Wdrożenie czynności utrzymujących warunki zapewnienia jakości.

W finałowej fazie, która na stałe wchodzi w zakres pracy wszystkich pracowników firmy, mechanicy i operatorzy prowadzą bieżące autonomiczne utrzymanie ruchu oraz przestrzegają wypracowanych standardów.

Zespół, który pracował na projektem, składa się z operatorów i specjalistów jakości, menedżera operacyjnego, specjalistów utrzymania ruchu, lidera Lean Manufacturing, planistów, specjalisty BHP (Ahmed i Karmaker, 2020).

Krytyczne czynniki sukcesu projektu to (Hirano, 2009):

- zaangażowanie wszystkich pracowników w prowadzenie projektu,
- zaangażowanie wszystkich pracowników linii w prace projektowe,
- odpowiedni przepływ informacji pomiędzy zespołem wdrażania a zespołem projektowym, pomiędzy zmianami oraz wewnątrz danej zmiany.

Autonomiczne utrzymanie ruchu zobowiązuje do stworzenia zespołów utrzymania ruchu odpowiedzialnych za poprawę efektywności parku maszynowego.



Samodzielność zespołów pozwala swobodnie podejmować decyzje w zakresie napraw, konserwacji oraz dbałości o dostępność maszyn i urządzeń (Jama i Steenkamp, 2020):

- doskonalenie,
- planowanie konserwacji,
- planowanie nowych maszyn i urządzeń,
- zapewnianie jakości,
- szkolenia,
- zarządzanie parkiem maszynowym,
- bhp.

Zebranie niezbędnych danych, takich jak liczba awarii, czas trwania awarii, czas trwania napraw oraz czas między awariami, będzie wymagało zaangażowania operatorów. Nie powinno to jednak stanowić dla nich nadmiernego obciążenia, lecz być częścią ich pracy. W parkach maszynowych oraz w dużych zakładach produkcyjnych wdrożenie metody TPM staje się wręcz koniecznością. Prawidłowe wykorzystanie tej koncepcji pozwala stale maksymalizować efektywność procesów, a także wydłużyć żywotność urządzeń (Patel i Thakkar, 2020).

Metoda TPM może zapewnić brak awarii, przestojów, sprawnie działające linie produkcyjne, zwiększenie zysków, uniknięcie wypadków. Metoda ta angażuje także pracowników na wszystkich szczeblach, którzy stają się odpowiedzialni za powierzone im zadania. Tym samym nie tylko pracują lepiej, ale także utożsamiają się z tym, co robią (Alseiari i in., 2020).

## Bibliografia

- [1] Ahmed S.M., Karmaker C.L. (2020), A critical success factors model for total productive maintenance in manufacturing industry. *International Journal of Advanced Science and Research*.
- [2] Alseiari A.Y., Farrell P., Osman Y. (2020), Technical and operational barriers that affect the successful total productive maintenance (TPM) implementation: case studies of Abu Dhabi power industry. *Advances in Asset Management and Condition Monitoring*, Springer, Cham, 1331-1344.
- [3] Hirano H. (2009), *JIT Implementation Manual – The Complete Guide to Just-in-Time Manufacturing*. Vol. 2 – Waste and the 5S's. Crc Press.
- [4] Jama N.P., Steenkamp H. (2020), Total productive maintenance based on employees perspective: a case study for Eskom.
- [5] Khalaf B.A., Abd Alrda N.Y., Hisham A.H. (2020), The Role of Total Productive Maintenance in Improving the Agile Manufacturing System Applied Research in The Military Industries Company. Published in: *Productivity management*.
- [6] Ngadiman Y., Ahmad M.F., Abd Hamid N.A., Rasi R.Z.R.M., Ahmad K., Hamid N.H.A. (2020), The Awareness and Obstacle Factor of Machine Maintenance Toward Total Productive Maintenance in Manufacturing Company. *Advances in Manufacturing Engineering*, Springer, Singapore, 673-686.
- [7] Patel V.N., Thakkar H. (2020), *Total Productive Maintenance: A Detailed Study*.



- [8] Prabowo H.A., Hilmy I., Adesta E.Y.T. (2020), Total Productive Maintenance Implementation's Barriers and Enablers in Indonesian Manufacturing Companies. In 2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), IEEE, 1-6.
- [9] Woźnicka K., Sikora K. (2014), Model utrzymania sprawności produkcyjnej maszyn jako kluczowy czynnik rozwoju przedsiębiorstwa produkcyjnego.

### 3.11. Statystyczna kontrola procesu – SPC (Mateusz Zając)

W systemie produkcji jednostkowej, małoseryjnej lub przy produkcji wyrobów o podwyższonych wymaganiach często jest stosowana kontrola 100%, w której weryfikacji są poddawane wszystkie wyprodukowane wyroby na ich finalnym etapie produkcji. Ten typ kontroli cechuje jednak wysoki koszt oraz czasochłonność tego procesu. Przy produkcji seryjnej proces ten generuje bardzo duże koszty oraz absorbuje wiele czasu pracowników, stąd szczególnie duże przedsiębiorstwa bardziej skłaniają się do utrzymywania jakości swoich wyrobów oraz ich doskonalenia, opierając się na analizie informacji pochodzących z kontroli procesów. Przemysłane i konsekwentne zastosowanie statystycznych metod kontroli jakości skutecznie przyczynia się do poprawy stabilności procesu oraz znacząco zwiększa szanse wychwycenia momentu, w którym należy podjąć działania korygujące w celu zachowania spełnionych wymagań klienta. Statystyczna kontrola procesu (ang. *Statistical Process Control* – SPC) dostarcza osobom decyzyjnym informacji o procesie, umożliwiających podejmowanie decyzji kształtujących proces wytwarzania. Statystyczna kontrola procesu pozwala świadomie sterować procesem, co znacząco przyczynia się do utrzymania wysokiej jakości produkowanych wyrobów (Roszak, 2015; Szafranski, 2020).

Wyróżnia się trzy filary SPC:

1. Sporządzenie diagramu procesu produkcji.
2. Pobieranie w regularnych odstępach czasu i na zróżnicowanych etapach procesu produkcji losowych próbek oraz dokonywanie pomiarów na tych próbkach.
3. Wykorzystanie zaobserwowanych sygnałów ewentualnego rozregulowania procesu do wykrywania przyczyn ich powstania oraz usunięcia tych przyczyn.

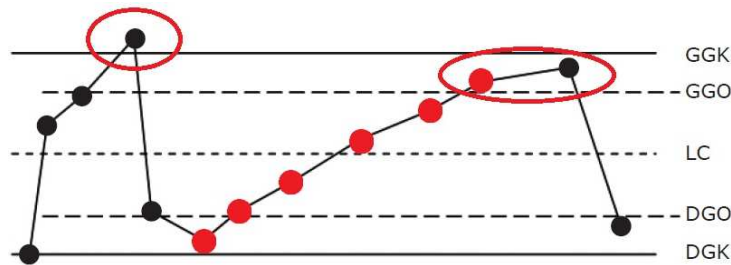
Znaczącą rolę w statystycznej kontroli procesu pełnią karty kontrolne, które służą do zbierania danych oraz do graficznego przedstawienia przebiegu procesu. Analiza kart kontrolnych pozwala zespołowi stwierdzić, czy proces jest stabilny lub czy wymaga modyfikacji.

Rysunek 3.4 prezentuje kartę kontrolną z oznaczeniem zakłóceń specjalnych, na które wskazują: jeden punkt poza górną granicą tolerancji, sześć kolejnych punktów rosnących oraz dwa z trzech kolejnych punktów znajdujących się blisko granicy kontrolnej.

Skróty na rysunku oznaczają:

- GGK – górna granica kontrolna,
- GGO – górna granica ostrzegawcza,

- LS – linia centralna,
- DGO – dolna granica ostrzegawcza,
- DGK – dolna granica kontrolna.



Rys. 3.4. Karta kontrolna z oznaczeniem zakłóceń specjalnych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Łańcucki, 2007).

Analizując karty kontrolne, należy skupić się na wykryciu zakłóceń specjalnych, które są wskaźnikami niestabilnego procesu. O występowaniu zakłóceń specjalnych świadczą (Stadnicka, 2017):

- jeden punkt poza górną granicą kontrolną,
- dziewięć kolejnych punktów znajdujących się po tej samej stronie linii centralnej,
- sześć kolejnych punktów stale rosnących lub malejących,
- czternaście kolejnych punktów naprzemiennie rosnących i malejących,
- dwa z trzech kolejnych punktów znajdujących się blisko granicy kontrolnej,
- cztery z pięciu kolejnych punktów znajdujących się w pobliżu granicy ostrzegawczej.

Karty kontrolne dzieli się na karty kontrolne oceniane liczbowo, zwane inaczej kartami cech mierzalnych oraz na karty oceniane alternatywnie, zwane inaczej kartami cech alternatywnych (Zawada, 2016).

Do kart kontrolnych dla cech ocenianych liczbowo zalicza się:

- kartę wartości średniej ( $\bar{x}$ ),
- kartę odchylenia standardowego ( $s$ ),
- kartę wartości średniej i rozstępu – karta ( $\bar{x} - R$ ),
- kartę pojedynczych obserwacji ( $x_i$ ),
- kartę ruchomego rozstępu,
- kartę mediany ( $Me$ ) i rozstępu – karta ( $Me-R$ ),
- kartę sum skumulowanych,
- kartę akceptacji procesu,
- kartę średniej ruchomej.

Z kolei wśród kart kontrolnych dla cech ocenianych alternatywnie wyróżnia się:

- kartę frakcji jednostek niezgodnych ( $p$ ),
- kartę liczby jednostek niezgodnych ( $np$ ),
- kartę liczby niezgodności ( $c$ ),
- kartę liczby niezgodności na jednostkę ( $u$ ).

Wyróżnia się dwie zasady, które obowiązują podczas projektowania kart kontrolnych z uwzględnieniem metody obliczania linii kontrolnych:

- metodę projektową – stosowaną do projektowania kart opisujących proces przebiegający w danym momencie oraz wtedy, gdy nie dysponuje się wystarczającą ilością danych o funkcjonowaniu procesu. Wówczas zespół projektowy z góry narzuca warunki, jakie proces powinien spełnić,
- metodę stabilizacyjną – metodę mającą zastosowanie do przebiegającego już procesu w przypadku, gdy istnieje wiele danych opisujących ten proces. Na podstawie tych danych oblicza się podstawowe parametry, takie jak: odchylenie standardowe, wielkości średnie oraz linie kontrolne. Gdy proces nie mieści się w opracowanych przez nas liniach, należy dążyć do ustalenia czynnika sprawczego, a następnie skutecznie go wyeliminować.

Podsumowując, statystyczna kontrola procesu to metoda, która znacznie przyczynia się do poprawy jakości procesów i wyrobów, a także do obniżenia kosztów produkcji przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości wyrobów. Pozwala na świadome kierowanie procesami oraz pełną kontrolę nad poziomem spełnienia wymagań klientów (Greber, 2005).

## Bibliografia

- [1] Greber T. (2005), Statystyczne sterowanie procesami. Politechnika Wroclawska, Wrocław.
- [2] Łańcucki J. (2007), Podstawy kompleksowego zarządzania jakością TQM. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- [3] Roszak M.T. (2015), Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej. Gliwice.
- [4] Stadnicka D. (2017), Wybrane metody i narzędzia doskonalenia procesów w praktyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [5] Szafranski B. (2020), SPC – statystyczne sterowanie jakością/procesem. Zarządzanie i Systemy, Główny Mechanik, Kraków styczeń–luty 2020, 50-52. Dostępne na: [https://glowny-mechanik.pl/wp-content/uploads/GM\\_2020\\_1\\_50\\_53\\_SPC.pdf](https://glowny-mechanik.pl/wp-content/uploads/GM_2020_1_50_53_SPC.pdf) (dostęp: 15.01.2021).
- [6] Zawada J. (2016), Statystyczne sterowanie procesami. Politechnika Łódzka, Łódź.

## Rozdział 4.

### Zarządzanie łańcuchem dostaw

#### 4.1. Definicja łańcucha dostaw *(Paulina Warzocha)*

W przeciągu ostatnich kilkunastu lat współpraca pomiędzy przedsiębiorstwami znacznie ewoluowała. Przed powstaniem łańcuchów dostaw miała ona różne formy, a jej głównym celem było skuteczne dostarczenie do klientów produktów, jak również usług. Była to jedynie zwyczajna transakcja wymiany, bez dodatkowego nacisku na zacieśnianie współpracy pomiędzy klientem a przedsiębiorstwem lub pomiędzy przedsiębiorstwami. Postęp zachodzący w likwidacji barier między firmami, a także umacnianie współpracy pomiędzy kontrahentami doprowadziły do utworzenia pierwszych form powiązań. To właśnie te powiązania przyczyniły się do rozwoju takich pojęć, jak łańcuch dostaw, a następnie sieć dostaw (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).

Pierwsze określenia związane z definicją zarządzania łańcuchem dostaw pojawiły się we wczesnych latach 80., jednak naukowcy pracujący nad tym zagadnieniem odwołują się nawet do końca lat 50. oraz 60., gdzie w tamtejszych publikacjach analizowany jest przepływ dóbr pomiędzy dostawcą a odbiorcą (Kot i in., 2009).

Najogólniej ewolucję związaną z definiowaniem łańcucha dostaw można przedstawić w czterech etapach (Korneta i in., 2018):

1. Etap fizycznej dystrybucji – w latach 1960-1970 przedsiębiorstwa zaczęły dostrzegać w procesie dystrybucji szansę na zwiększenie swojej konkurencyjności, dlatego organizacje skupiły większą uwagę na kierowaniu procesami związanymi z przepływem towarów. Powstała wtedy koncepcja outsourcingu.
2. Etap integracji logistycznej – etap ten przypada na lata 1970-1990, gdzie organizacje zaczęły skupiać się na powiązaniu działań logistyki zaopatrzenia z logistyką zbytu.
3. Etap zarządzania łańcuchem dostaw – w latach 1990-2000 przedsiębiorstwa rozpoczęły optymalizację logistyki. Proces ten polegał na analizie całego łańcucha dostaw, który rozpoczynał się od dostawców, a kończył na kliencie. Dodatkowo, przedsiębiorstwa powiększały zasięg procesów logistycznych na wiele państw.
4. Etap globalizacji łańcucha dostaw – jest to etap zapoczątkowany w 2000 r. i trwający do dziś. Łańcuch dostaw składający się z wielu organizacji przyjął formę sieci, gdzie ważną rolę odgrywa współpraca partnerska. Każdy z członków skupił się na analizie całego łańcucha pod

względem konkurencyjności. Organizacje zaczęły decydować się na narzędzia IT oraz offshoring.

Łańcuch dostaw obejmuje wszelkie działania, które są powiązane z przepływem materiałów, tzn. od pozyskania podstawowych surowców, przez sprzedaż produktu gotowego klientowi, po utylizację części, które zostały po zużyciu produktu. Na każdym etapie przepływu mogą wystąpić zwroty lub odpady podlegające utylizacji (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Przykład łańcucha dostaw

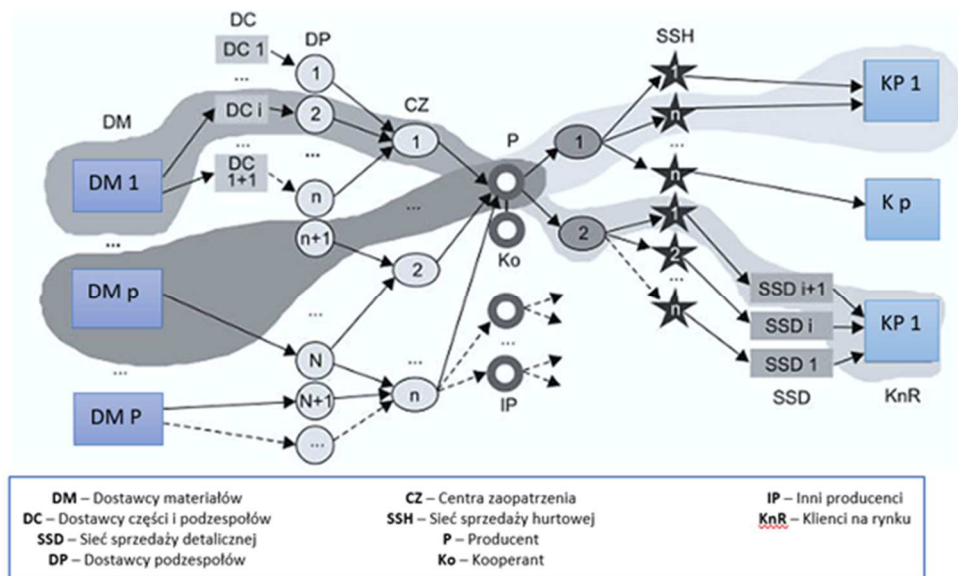
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).

Definicje łańcucha dostaw można rozumieć na kilka sposobów (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016):

1. Grupa przedsiębiorstw wykonująca wspólne działania, dążące do zaspokojenia popytu na wyznaczone produkty w całym łańcuchu przepływu dóbr, tzn. od zdobycia surowców do dostarczenia wyrobu do ostatecznego odbiorcy. Do tych działań można zaliczyć: rozwój, produkcję, dystrybucję, sprzedaż, serwisowanie, dostarczanie, zarządzanie zasobami, działania wspierające.
2. Sieć relacji współzależnych organizacji, które – pracując na zasadzie wzajemnie korzystnej współpracy – wspólnie zarządzają przepływami informacyjnymi i rzeczowymi od dostawców do finalnych klientów, weryfikują je i usprawniają.
3. Sieć organizacji zaangażowanych – dzięki powiązaniom z dostawcami i odbiorcami – w różnego rodzaju procesy oraz działania, dzięki którym tworzy się wartość w postaci produktów, a także usług dostarczanych do ostatecznych konsumentów.

Zaprezentowane definicje wskazują, że łańcuch dostaw posiada zakres, który wykracza poza granice przedsiębiorstw, a zarządzanie procesami związanymi z logistyką oraz ich koordynacja realizują się przy udziale wszystkich podmiotów biorących w nim udział. Każda z firm znajdujących się w łańcuchu dostaw odpo-

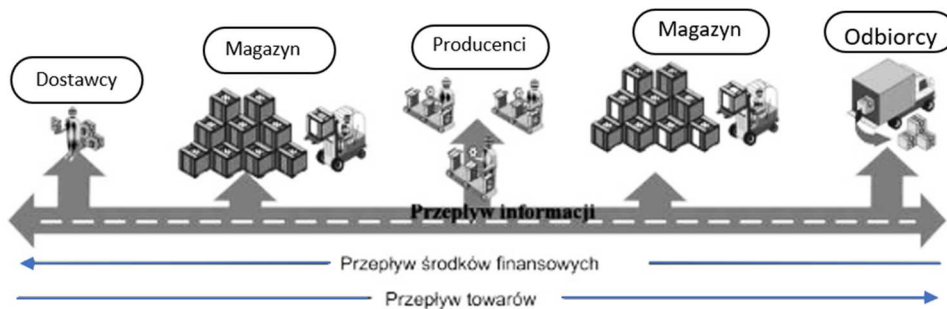
wiada za swoją część wykonywanych w nim przepływów. Większa część firm za-  
potrzebowanie materiałowe pokrywa przez współpracę z różnymi dostawcami  
oraz sprzedaje finalne produkty różnym klientom (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Przykład łańcucha dostaw w sieci logistycznej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).

Istotne jest również, że osoby czy przedsiębiorstwa biorące udział w łańcuchu dostaw są ze sobą połączone. Tymi połączeniami są: przepływy produktów, informacji oraz pieniędzy. Przepływ informacji przebiega w obu kierunkach, przepływ produktów odbywa się w kierunku od źródła zdobywania surowca, przez producenta, do konsumenta, natomiast przepływ finansów odbywa się w kierunku przeciwnym do przepływu produktów. Kierunki tych przepływów zaprezentowano na rys. 4.3.



Rys. 4.3. Przykład strumienia materiałów i informacji w łańcuchu dostaw

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).



Chcąc zdefiniować, czym jest łańcuch dostaw, powinno się również pamiętać, aby uwzględnić kilka dodatkowych czynników. Zalicza się do nich: strukturę podmiotową, obiekt przepływu, a także zakres czynnościowy i obszar, w którym współdziałają podmioty uczestniczące w łańcuchu (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).

Biorąc pod uwagę wszystkie uwzględnione wcześniej definicje, dla łańcucha dostaw rozumianego jako zbiór minimum trzech podmiotów zaangażowanych w przepływy materiałów, usług, środków finansowych lub informacji wyróżnia się trzy stopnie złożoności (Mentzer i in., 2001):

- bezpośredni łańcuch dostaw,
- rozszerzony łańcuch dostaw,
- ostateczny łańcuch dostaw.

Podsumowując omówione definicje, warto podkreślić, że łańcuchy dostaw funkcjonują niezależnie od tego, czy są zarządzane, ponieważ istnieją wtedy jako zjawisko biznesowe lub są nazywane kanałem dystrybucji. Z kolei zarządzanie łańcuchem dostaw wiąże się z jawnymi działaniami zarządczymi organizacji biorących udział w łańcuchu (Mentzer i in., 2001).

W dzisiejszych czasach największy wpływ na rozwój oraz definiowanie łańcuchów dostaw mają innowacje cyfrowe oraz technologie. Stanowią one nowy etap w ewolucji łańcuchów dostaw. Wszystkie procesy, jakie zachodzą w funkcjonowaniu łańcucha dostaw, podlegają cyfrowej transformacji. Do innowacji, a także nowych technologii wykorzystywanych w budowie cyfrowych łańcuchów dostaw są zaliczane: chmury obliczeniowe, platformy cyfrowe, Internet Rzeczy, drukowanie 3D, wszelkiego rodzaju robotyzacja. Stosowanie wciąż nowych innowacji pozwala na wzrost poziomu automatyzacji procesów, poszerzenie dystrybucji, a także poprawianie komunikacji między partnerami oraz dostęp do większej liczby informacji dotyczących działań logistycznych. Takie efekty pozwalają stale zwiększać pozycję na rynku oraz motywują do dalszego rozwoju cyfrowych łańcuchów dostaw stanowiących przyszłość zarządzania w przedsiębiorstwach. Mają także wpływ na nowoczesne postrzeganie łańcuchów dostaw (Nowicka, 2019).

## Bibliografia

- [1] Korneta P., Krzyszkowski A., Chmiel M. (2018), Pomiar dokonań w łańcuchach dostaw. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 19, 4, 33-36.
- [2] Kot S., Starostka-Patyk M., Krzywda D. (2009), Zarządzanie łańcuchami dostaw. Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- [3] Mentzer J.T., DeWitt W., Keebler J.S., Min S., Nix N.W., Smith C.D., Zacharia Z.G. (2001), Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25.
- [4] Nowicka K. (2019), Cyfrowe innowacje w zarządzaniu łańcuchem dostaw. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 63(8), 202-214.
- [5] Wasiak M., Jacyna-Gołda I. (2016), Transport drogowy w łańcuchach dostaw. Wyznaczenie kosztów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

## 4.2. Podstawowe zasady zarządzania łańcuchem dostaw

(Sonia Mieszkowska)

Właściwa obsługa łańcucha dostaw jest w szczególności potrzebna w dużych przedsiębiorstwach, w których wszelkie niedopracowania i brak płynności przepływu mogą spowodować zmniejszenie jakości pracy firmy i ekonomii jej działania. Odpowiednio sporządzony łańcuch zarządzania dostawami to działania wewnętrzne oraz działania na zewnątrz firmy.

Zarządzanie łańcuchem dostaw jest osiągalne, gdy (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016):

- łańcuch dostaw jest postrzegany jako jedność organizacyjna,
- najważniejszym wspólnym celem każdego uczestnika łańcucha jest dostawa, natomiast ustalenia strategiczne dostaw wpływają na koszty oraz udział w rynku,
- problemy rozwiązuje się w sposób całościowy,
- zapasy zmniejsza się do niezbędnych rozmiarów,
- wykorzystuje się nowoczesne techniki informatyczne, co powoduje integrację uczestników łańcucha.

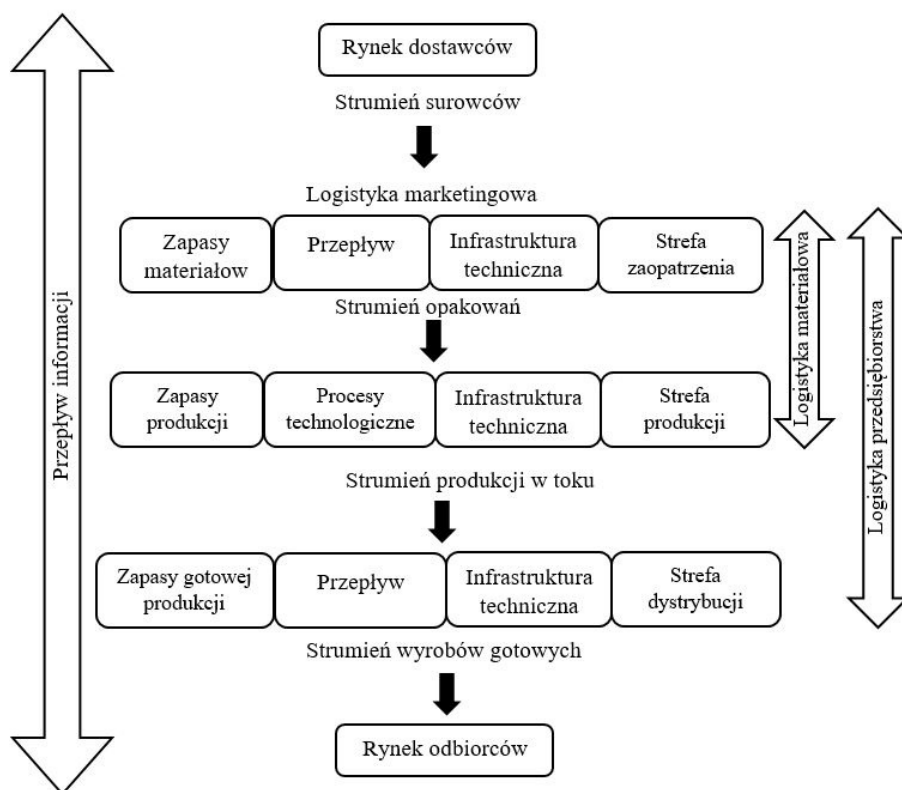
Łańcuch dostaw to rozwinięta sieć wzajemnych powiązań współzależnych oraz współpracujących elementów dystrybucji i zaopatrzenia. Należy uwzględnić takie ogniwa łańcucha, jak przedsiębiorstwa produkcyjne, wydobywcze lub dystrybucyjne. Ich znaczenie w strukturze jest określane ze względu na podział pracy na kolejnych etapach produkcji oraz sprzedaży wyrobów. Pośród istotnych elementów łańcucha dostaw należy uwzględnić także firmy pełniące funkcje usługowe, np. (Pisz i in., 2013):

- przedsiębiorstwa transportowo-spedycyjne,
- przedsiębiorstwa logistyczne,
- magazyny,
- centra logistyczne, dystrybucyjne,
- zakłady utylizacji i składowania odpadów.

Relacje pomiędzy procesami przemieszczania oraz magazynowania można przedstawić graficznie. Do właściwej obsługi wszelkich firm funkcjonujących na rynku potrzebne jest właściwe zintegrowanie fizycznego przepływu strumieni materiałów i powiązanych z nim strumieni informacji. System informacyjny, który efektywnie funkcjonuje, przyczynia się do poprawnego identyfikowania problemów decyzyjnych w sferach zaopatrzenia, produkcji oraz dystrybucji w obszarze realizacji i kontroli procesów (rys. 4.4). W magazynach wyroby są czasowo gromadzone albo przekazywane inną drogą, prowadzącą przez sieć zależności.

Obecnie logistyka to metoda zarządzania przepływem materiałów od dostawców do odbiorców, tak aby ten przepływ przebiegał bez żadnych zakłóceń. Można wyróżnić między innymi logistykę zaopatrzenia, która polega na zarządzaniu przepływem materiałów od dostawców do miejsca produkcji po odpowiedniej cenie, we właściwej ilości, czasie, jakości oraz we właściwym miejscu. Inną metodą jest

logistyka dystrybucji, w której czynności są związane z zaopatrywaniem klientów w produkty i usługi. Jest to ogół działań podejmowanych celem osiągnięcia wydajnego ruchu produktów od zakończenia procesu na linii produkcyjnej do konsumenta (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).



Rys. 4.4. Schemat zintegrowanego systemu logistycznego firmy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016).

*The Association for Operations Management* – APICS, czyli Stowarzyszenie dla Zarządzania Operacyjnego, założone w 1957 r. jako Amerykańskie Towarzystwo Kontroli Produkcji i Zapasów, jest to organizacja non profit, która zajmuje się standaryzacją metod sterowania produkcją, inaczej mówiąc MRP i MRPII. APICS buduje doskonałość w zarządzaniu operacjami wśród osób i przedsiębiorstw dzięki edukacji, jak również szkoleniom wysokiej jakości, a także przez międzynarodowe certyfikaty, wszechstronne zasoby oraz ogólnoświatową sieć profesjonalistów z branży (Fredendall i Hill, 2000). Charakteryzując zasady zarządzania łańcuchem dostaw, można zaczerpnąć inspiracji z podejścia prezentowanego przez organizację APICS zajmującą się rozwijaniem wiedzy i doradztwem

w zakresie zarządzania zasobami. Na tej podstawie można wyróżnić (Walker, 2005):

- koordynowanie działania kolejnych ogniw w łańcuchu – aby umożliwić redukcję poziomu zapasów oraz zmniejszyć koszty, należy podjąć działania związane ze zróżnicowaniem czasu potrzebnego do wykonania zadań przez poszczególne jednostki w łańcuchu,
- identyfikacja oraz zrozumienie oczekiwanych wyników współpracy – zastosowanie odpowiednich wskaźników osiągnięć i uzgodnienia partnerów dotyczące przewidywanych wyników w skali całego łańcucha,
- szybkość działania – odnosi się do zadań realizowanych od otrzymania zamówienia do uzyskania środków finansowych za towary dostarczone klientom, dzięki czemu zapewniona jest właściwa infrastruktura,
- zapewnienie przepływów informacji pomiędzy współpracującymi jednostkami w odpowiedniej formie, miejscu i czasie – ma związek zwłaszcza z zapotrzebowaniem na produkty gotowe zgłaszane przez klientów, z dostarczeniem odpowiedniego poziomu zapasów surowców, materiałów czy półproduktów w poszczególnych jednostkach, zdefiniowaniem koniecznego czasu realizacji zamówienia, zapewnieniem przepływów środków pieniężnych niezbędnych do zabezpieczenia zasobów w poszczególnych jednostkach,
- kreowanie wartości dla interesariuszy – związane z potrzebą rozpoznania i uwzględnienia oczekiwań wszystkich interesariuszy w obrębie łańcucha dostaw.

Zarządzanie łańcuchem dostaw najlepiej funkcjonuje, gdy kooperanci firmy są jej partnerami, a nie konkurencją. Przedsiębiorstwo skupia się wtedy na najważniejszych dla siebie obszarach, natomiast pozostałe usługi zleca na zewnątrz firmy. Takie działanie, które wykracza poza standardowe kompetencje przedsiębiorstwa, jest przekazywane organizacjom specjalizującym się w wykonywaniu danych usług. Z tego powodu zarządzanie łańcuchem dostaw opiera się nie tylko na analizie funkcjonalnej, ale także na analizie powiązań logistycznych, informacyjnych czy procesowych.

Można rozróżnić cztery podejścia do zarządzania łańcuchem dostaw (Rutkowski, 2004):

- szkoła świadomości funkcjonalnej – jest to organizacja przepływu produktów przez różne ogniwa, inaczej mówiąc – przepływ produktów od dostawcy, przez producenta, dystrybutora, aż do ostatecznego odbiorcy,
- szkoła wspólnych powiązań – skupia się głównie na powiązaniach między różnymi obszarami funkcjonalnymi w łańcuchu dostaw,
- szkoła informacyjna – podkreśla, że przepływ informacji w łańcuchu dostaw jest tak samo ważny jak sam przepływ produktów,
- szkoła integracyjna – mówi, że łańcuch dostaw można rozpatrywać jako proces, w którym dąży się do optymalizacji subprocesów.

Każde podejście skupia się na innych aspektach zarządzania łańcuchem dostaw. Dzięki analizie zaprezentowanych podejść do zarządzania łańcuchem dostaw jest możliwe usystematyzowanie rozmaitych definicji występujących w literaturze. Można jednak założyć, że żadne z wymienionych podejść samo w sobie nie przedstawia doskonałego modelu, jest natomiast możliwe połączenie wszystkich czterech szkół jako koncepcji definiującej pojęcie łańcuch dostaw.

Zarządzanie łańcuchem dostaw wiąże się również z ryzykiem. Jest ono widoczne w niepewności biznesowej narastającej w łańcuchu dostaw zarządzania, stwarzających zagrożenie dla całej sieci i gospodarki. Zarządzanie ryzykiem odnosi się do wdrażania strategii i planów zarządzania sieci łańcucha dostaw przez stałą ocenę ryzyka, aby zapewnić odporność łańcuchów dostaw. Wszystkie łańcuchy nie mają takiego samego ryzyka, ale pewne zagrożenia są wspólne. Łańcuch dostaw jest tak silny, jak najsłabsze jego ogniwo. Dlatego im jest dłuższy, tym większe jest ryzyko jego niepowodzenia. Zbudowanie solidnego łańcucha dostaw jest jednak kosztowne. Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw stanowi ważny obszar ze względu na dużą liczbę wydarzeń, które przyniosły skutki w sieciach logistycznych. Niektóre z nich to: atak terrorystyczny 11 września, wojna w Zatoce Perskiej, wybuch pandemii (np. encefalopatia gąbczasta bydła, potocznie nazwana chorobą wściekłych krów czy koronawirus COVID-19), pluskwa milenijna. Te przełomowe wydarzenia zmusiły praktyków do zbadania słabych punktów łańcuchów dostaw i oceny ryzyka (Gurtu i Jestin, 2021).

## Bibliografia

- [1] Gurtu A., Johny J. (2021), Supply Chain Risk Management: Literature Review. Risks, 9(1), 16.
- [2] Lawrence D., Fredendall E.H. (2000), Basics of Supply Chain Management. CRC Press.
- [3] Pisz I., Sęk T., Zielecki W. (2013), Logistyka w przedsiębiorstwie. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- [4] Rutkowski K. (2004), Zarządzanie łańcuchem dostaw – próba sprecyzowania terminu i określenia związków z logistyką. Gospodarka Magazynowa i Logistyka, 12, 3.
- [5] Walker W.T. (2005), Supply Chain Architecture: A Blueprint for Networking the Flow of Material, Information and Cash. CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.
- [6] Wasiak M., Jacyna-Gołda I. (2016), Transport drogowy w łańcuchach dostaw. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

## 4.3. Metody stosowane w zarządzaniu łańcuchem dostaw

(Elżbieta Wigłusz)

Do metod i narzędzi wykorzystywanych w zarządzaniu łańcuchem dostaw można zaliczyć (Waściński, 2014):

- 1) LM (ang. *Lean Management*) – zarządzanie wyszczuplające,
- 2) QR (ang. *Quick Response*) – szybką reakcją,
- 3) AM (ang. *Agile Management*) – zarządzanie elastyczne,

- 4) TQM (ang. *Total Quality Management*) – kompleksowe zarządzanie jakością,
- 5) BPR (ang. *Business Proces Reengineering*) – przeprojektowanie procesu biznesowego,
- 6) TBM (ang. *Time Based Management*) – zarządzanie czasem,
- 7) Six Sigma – metodę zarządzania jakością,
- 8) ECR (ang. *Efficient Consumer Response*) – efektywną obsługę w łańcuchach dostaw klienta,
- 9) JiT (ang. *Just in Time*) – dokładnie na czas,
- 10) SCOR (ang. *Supply Chain Operation Reference-Model*) – model referencyjny łańcucha dostaw,
- 11) VMI (ang. *Vendor Management Inventory*) – zarządzanie zapasami przez dostawcę,
- 12) CS (ang. *Consignment Stock*) – zapas konsygnacyjny,
- 13) CPFR (ang. *Collaborated Planning, Forecasting & Replenishment*) – wspólne planowanie, prognozowanie i uzupełnianie zapasów.

**Lean Management** jest to takie zarządzanie przedsiębiorstwem, które pozwala na minimalizację marnotrawstwa we wszystkich obszarach funkcjonowania organizacji. Szczupłość daje możliwość zredukowania wykorzystywania wszystkiego, co niezbędne, tworząc produkt lub usługę, które odpowiadają oczekiwaniom klientów i które są wprowadzone w życie po niższych kosztach niż w standardowym uporządkowanym systemie (Dudek, 2016). Rysunek 4.5 przedstawia kroki szczupłego myślenia.



Rys. 4.5. Kroki szczupłego myślenia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Womack i Jones, 2016).



**Quick Response** – koncept mający na celu skrócenie czasu od projektu do momentu, gdy produkt zostanie wprowadzony w życie. Dodatkowym rezultatem „szybkiej decyzji” jest zwiększenie elastyczności łańcucha w urzeczywistnieniu potrzeb. QR daje możliwość szybkiej reakcji na zmiany popytu na rynku. Dzięki rozwiązaniu QR można stronić od nadmiernej produkcji, czego rezultatem jest niski poziom produktów magazynowanych, oraz odnieść się do zmian postępowania klientów (Ciszewska-Kulwińska, wilis.pg.edu.pl).

Głównymi zaletami szybkiego reagowania są (<https://smartlean.pl/lean-management/>):

- zastąpienie zapasów informacją,
- rozwój poziomu obsługi,
- zminimalizowanie czasu wykonywania zamówienia.

**Agile Management (AM)** – podejście korzystające ze zbioru różnorodnych metodyk, określanych jako zwinne, lekkie czy elastyczne oraz z narzędzi mających zastosowanie w zarządzaniu złożonymi i innowacyjnymi projektami. Główne cele *Agile Management* to m.in. (Gągała i Biernacki):

- elastyczność i adaptacyjność projektowania według czynnie zmieniających się potrzeb i wymagań klienta,
- kreowanie wartościowych i pionierskich rozwiązań zarówno dla firmy, jak i kontrahentów na wszystkich etapach projektowania,
- minimalizacja kosztów, m.in. za pomocą skrócenia harmonogramów procesu wytwarzania,
- skupienie się na członkach zespołu projektowego, wzrost motywacji wśród pracowników i spokojne tworzenie projektów,
- współpraca z klientem na zasadzie kontaktu bezpośredniego,
- samoorganizujące się zespoły,
- zadowolenie klientów dzięki sprawnemu i regularnemu dostarczaniu wartościowego produktu,
- minimalizacja ryzyka.

**Total Quality Management (TQM)** – koncepcja, która jest uznawana za najwyższą w randze w dziedzinie jakości. Wyznacza ona sposób zarządzania przedsiębiorstwem, jest skupiona głównie na jakości, oparta na współdziałaniu członków organizacji i ukierunkowana na zdobywanie długoterminowego sukcesu dzięki satysfakcji klienta oraz pozytywowi dla wszystkich pracowników firmy oraz dla społeczeństwa. Można wyróżnić 5 zasad TQM (Brajer-Marczak, 2015):

1. Zaangażowanie kierownictwa (przywództwo),
2. Koncentracja na klientach i pracownikach,
3. Koncentracja na faktach,
4. Proces ciągłej poprawy,
5. Powszechne uczestnictwo.

**Business Proces Reengineering (BPR)** – idea tworząca gruntowne i szybkie przeprojektowanie procesów (praca organizowana jest wokół procesów, a nie



funkcji) w celu zdobycia konkretnych usprawnień, dających wartość z punktu widzenia klientów. Kroki te nie mają na celu poprawy stanu obecnego, lecz zakładają rozpoczęcie wszystkiego od początku, czyli zmianę dotychczasowych reguł postępowania (Pałucha, 2012).

**Time Based Management (TBM)** – zarządzanie czasem, charakteryzujące się trzema cechami (Blaik, 2010):

- jest przyjmowane jako wzorzec zarządzania, który chce rozciągnąć zasady koncepcji *Just in Time* na każdy proces organizacji,
- wspiera indywidualne ukształtowanie organizacji przedsiębiorstwa, które charakteryzują takie cechy, jak: swoboda (sprawność) przepływów, zespołowość działania i elastyczność,
- rozwija się nadal przez wzmocnione stosowanie instrumentalnych środków pomocniczych i zastosowanie nowoczesnych technologii informatycznych.

**Six Sigma** – pro jakościowa metoda, której podstawą jest stosowanie metod statystycznej kontroli jakości, planowanie doświadczeń oraz udoskonalanie w celu opisanego przyczyn zmienności w każdym procesie występującym w przedsiębiorstwie. W wielu organizacjach wdraża się metodę Six Sigma opartą na dwóch najbardziej znanych metodykach: DMAIC (*Define – Measurement – Analyze – Improve – Control*) i DMADV (*Define – Measurement – Analyze – Design – Verify*) (Brajer-Marczak, 2015).

**Efficient Consumer Response (ECR)** – kolejna koncepcja, która mówi o natychmiastowej reakcji na wymagania klienta. To nowoczesna strategia łańcucha dostaw przeprowadzana na podstawie partnerstwa jego uczestników, polegająca na zsynchronizowanym zarządzaniu popytem i podażą przy czynnym udziale technologii wspomagających przepływy produktów, informacji oraz środków finansowych, aby podnosić konkurencyjność całego łańcucha dostaw, przy maksymalizacji osiąganych dóbr wszystkich uczestników łańcucha i wzroście satysfakcji ostatniego odbiorcy (Barcik i Kubański, 2011).

**Just in Time (JiT)** – jest to narzędzie, które daje możliwość zorganizowania procesu produkcji w taki sposób, aby surowce i materiały były wyprodukowane i dostarczone dokładnie w takiej ilości i dokładnie wtedy, gdy jest na nie zapotrzebowanie. Metoda ta umożliwia zmniejszenie zapasów, a w rezultacie również zmniejszenie kosztów składowania i wynajmowania magazynów (<https://smart-lean.pl/lean-management/>).

**Supply Chain Operation Reference Model (SCOR)** – narzędzie kształtowania zrównoważonego rozwoju, które opiera się na 5 filarach (Adamczak i in., 2012):

1. Planowaniu (ang. *plan*) – zarządzaniu przepływem materiałów,
2. Zaopatrzeniu (ang. *source*) – zamawianiu i harmonogramowaniu materiałów,
3. Wykonaniu (ang. *make*) – modyfikacji materiałów lub tworzeniu treści usług,



4. Dystrybucji (ang. *deliver*) – magazynowaniu i transporcie wyrobów gotowych,
5. Łańcuchu zwrotnym (ang. *return*) – obsłudze posprzedażowej, wspieraniu powrotu produktu od klienta niezależnie od jego przyczyny.

**Vendor Management Inventory (VMI)** – technika, która polega na zarządzaniu przez dostawców zapasami organizacji. Daje możliwość widocznej redukcji kosztów zarówno w zakresie opracowywania i wysyłania zamówień, jak i sterowania zapasami na poziomie przedsiębiorstwa (Baraniecka, 2010).

Reasumując, narzędzia zarządzania łańcuchem dostaw to bardzo przydatne sposoby zarządzania procesem produkcyjnym. Działania wykonywane w poszczególnych metodach czy narzędziach usprawniają procesy, pomagają pracownikom w sytuacjach kryzysowych czy nawet jako znaki informacyjne. Dzięki narzędziom zarządzania łańcuchem dostaw firma staje się przedsiębiorstwem wartym uwagi, zaczyna osiągać wysokie noty i opinie, ponieważ jakość wykonywanych usług jest na najwyższym poziomie.

## Bibliografia

- [1] Adamczak M., Domański R., Cyplik P. (2012), Model SCOR jako narzędzie kształtowania zrównoważonego rozwoju. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań.
- [2] Baraniecka A. (2010), Przełomy strategiczne w kontaktach przedsiębiorstw z dostawcami – przyczyny i konsekwencje. Studia i prace kolegium zarządzania i finansów. Zeszyt Naukowy, nr 101, Warszawa.
- [3] Barcik R., Kubański M. (2011), Współczesne trendy w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Logistyka, 2, Politechnika Koszalińska, Koszalin.
- [4] Blaik P. (2010), Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania, PWE, Warszawa.
- [5] Brajer-Marczak R. (2015), Doskonalenie zarządzania jakością procesów i produktów w organizacjach. UE, Wrocław.
- [6] Ciszewska-Kulwińska E., Logistyka branży odzieżowej – wyzwania i szanse rozwoju. Dostępne na: [https://wilis.pg.edu.pl/documents/2336321/48297385/Eliza\\_Ciszewska-Kulwi%C5%84ska\\_Logistyka\\_bran%C5%BCy\\_odzie%C5%BCowej-wyzwania-i-szansy-rozwoju.pdf](https://wilis.pg.edu.pl/documents/2336321/48297385/Eliza_Ciszewska-Kulwi%C5%84ska_Logistyka_bran%C5%BCy_odzie%C5%BCowej-wyzwania-i-szansy-rozwoju.pdf) (dostęp: 08.02.2021).
- [7] Dudek M. (2016), Szczupłe systemy wytwarzania. Difin, Warszawa.
- [8] Gągała J., Biernacki D., Adaptacyjne zarządzanie projektami. Dostępne na: [https://mfiles.pl/pl/index.php/Adaptacyjne\\_zarz%C4%85dzanie\\_projektami](https://mfiles.pl/pl/index.php/Adaptacyjne_zarz%C4%85dzanie_projektami) (dostęp: 08.02.2021).
- [9] Pałucha K. (2012), Nowoczesne metody w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [10] SMART LEAN S.C., Lean management co to jest? Metodologia, definicja, filozofia, koncepcja i zasady, 2015-2020. Dostępne na: <https://smartlean.pl/lean-management/> (dostęp: 08.02.2021).
- [11] Waściński T. (2014), Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Logistics Processes in Supply Chain Management. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, 103, Administracja i Zarządzanie, 25-38.
- [12] Womack J.P., Jones D.T. (2016), Odchudzanie form. Eliminacja marnotrawstwa kluczem do sukcesu. CIM, Warszawa.

#### 4.4. Kanban (Aleksandra Farion)

System Kanban jest jednym z głównych narzędzi koncepcji Lean Manufacturing. Po raz pierwszy określenie to zostało użyte w latach 50. XX w. przez Taiichiego Ohno. Termin Kanban wywodzi się od japońskiego słowa: kan – widoczny, ban – kartka papieru, co w wolnym tłumaczeniu oznacza widoczny spis. Karty Kanban są wykorzystywane w systemie ssącym. Kanban zdefiniowano jako zaawansowany system adaptacyjny, który charakteryzuje się wizualizacją procesu, ograniczeniem pracy w toku, pomiarem i zarządzaniem przepływem pracy, określonymi regułami postępowania i zastosowaniem modeli wprowadzania zmian w procesie jako narzędzia optymalizacji (Szwedzka i Lubiński, 2015).

Redukcja pracy w toku jest jednym z najważniejszych celów systemu Kanban. Redukcja jest monitorowana za pomocą wizualizacji pracy i określania maksymalnej liczby zadań dla kolejnych faz procesu. System Kanban to istotne narzędzie wykorzystywane w celu optymalizacji procesu. Umożliwia adaptację procesu w taki sposób, aby czas jego odpowiedzi, czyli także czas realizacji zadań, był odpowiednio krótki. Wyróżnia się sześć zasad metody Kanban, które ujęto w tab. 4.1 (Szwedzka i Lubiński, 2015).

Tabela 4.1. Zasady metody Kanban

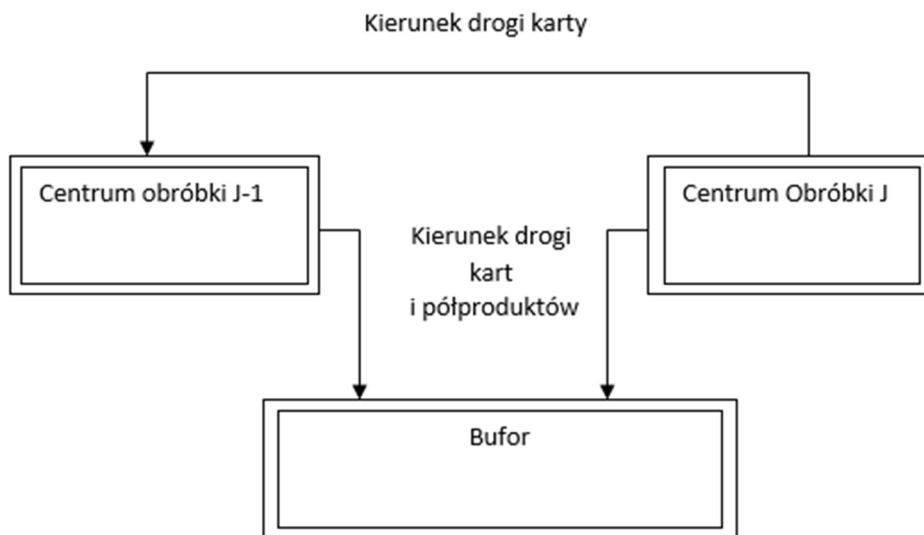
Lp.	Opis zasady	Zastosowanie
1	Następujący proces zwraca się do poprzedzającego procesu w celu pobrania elementów z określoną liczbą sztuk w karcie Kanban.	Tworzy ciągnięcie, zapewnia pobranie lub transport informacji.
2	Poprzedzający proces produkuje elementy w liczbie i sekwencji określonej w karcie Kanban.	Dostarcza informacji, zapobiega nadprodukcji.
3	Elementy nie są produkowane i transportowane bez kart Kanban.	Zapobiega nadprodukcji i zbędnemu transportowi.
4	Należy zawsze dołączać kartę Kanban do elementów.	Zapewnia porządek pracy.
5	Wadliwe elementy nie są transportowane do następnej fazy procesu.	Zapobiega pobieraniu wadliwych elementów, identyfikuje wadliwy proces.
6	Redukcja liczby kart Kanban zwiększa efektywność i czułość procesu produkcyjnego.	Redukcja pracy w toku zmniejsza odpad i sprawia, że system jest bardziej czuły.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Szwedzka i Lubiński, 2015).

W metodzie Kanban do zarządzania ilością i czasem przepływu elementów używa się dwóch rodzajów kart: karty produkcyjnej (ang. *Production Order Kanban* – POK) oraz karty transportowej (ang. *Withdrawal Kanban* – WK). System Kanban dysponuje kartami zwanymi kartami produkcyjnymi lub zamówień produkcyjnych Kanban. Gdy odległość między centrami obróbki jest niewielka, to stosuje się pojedynczy bufor pomiędzy centrami. Bufor ten pracuje jako wyjściowy dla obecnego centrum obróbki i jako wejściowy dla kolejnego. W chwili uzyskania żądania przygotowywana karta Kanban jest wysyłana do bufora



wejściowego, by zassać zleconą część. Następnie karta zostaje przekazana do bufora wejściowego i automatycznie – do poprzedzającego centrum obróbki. Centrum to produkuje liczbę zleconą w karcie Kanban i odsyła do bufora wyjściowego. W wyniku tego część jest transportowana do następnego centrum obróbczego, które wygenerowało kartę. W systemie jednokartowym Kanban obydwie bufory: wyjściowy aktualnego centrum obróbki i wejściowy kolejnego centrum są jednym i tym samym buforem. Jednokartowy system Kanban przedstawiono na rys. 4.6 (Szwedzka i Lubiński, 2015).



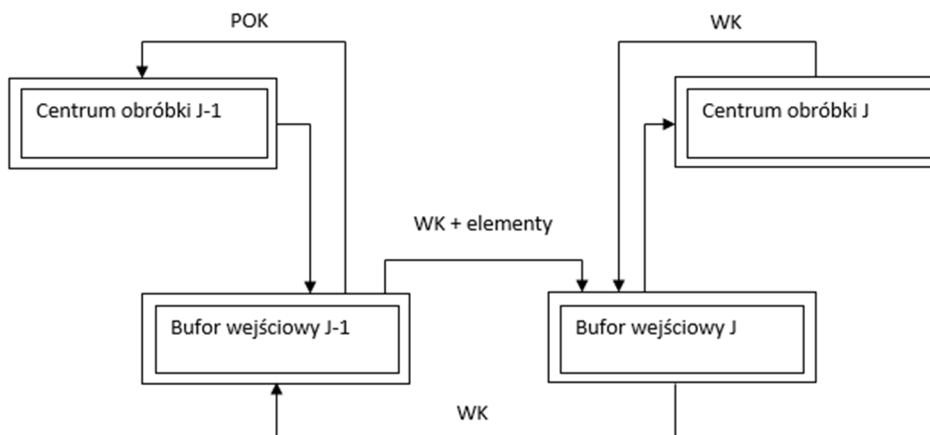
Rys. 4.6. Jednokartowy system Kanban

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Szwedzka i Lubiński, 2015).

Dwukartowy system Kanban działa na dwóch różnych kartach. Jedną z nich jest zamówieniem produkcyjnym Kanban (POK), a kolejną to karta transportowa Kanban. Karta zamówienia produkcyjnego Kanban (POK) instruuje poprzedzające centrum obróbki o wymaganej liczbie. Karta pobrania Kanban przekazuje informację do kolejnego centrum obróbki, wskazując liczbę elementów do pobrania. Dwukartowy system Kanban obrazowano na rys. 4.7.

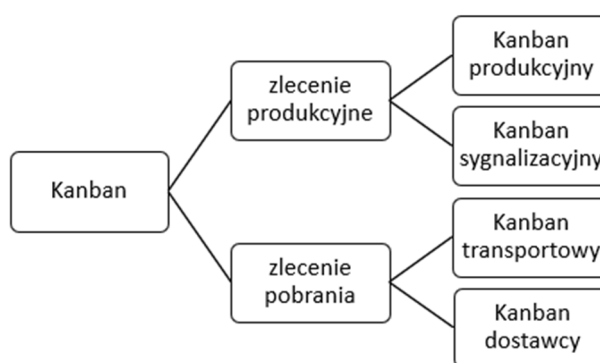
Typy Kanbanów przedstawia rys. 4.8.

**Kanban produkcyjny** służy do sterowania uruchamianiem kolejnych partii elementów. Po umieszczeniu na pojemniku z zakończonymi elementami Kanbana transportowego, Kanban produkcyjny jest odczepiany od tego pojemnika. „Wolny” (nieskojarzony z żadnym pojemnikiem) Kanban produkcyjny rozpoczyna uruchomienie kolejnej partii danego elementu (Smalley, 2011).



Rys. 4.7. Dwukartowy system Kanban

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Szwezdka i Lubiński, 2015).



Rys. 4.8. Typy Kanbanów

Źródło: Opracowanie własne.

**Kanban sygnalizacyjny** jest wykorzystywany w obszarach charakteryzujących się produkcją w dużych partiach, takich jak prasy tłoczące i wtryskarki. Kanban produkcyjny byłby w tych zastosowaniach mniej efektywny, gdyż potrzebna byłaby duża liczba kart Kanban, co oznaczałoby długi czas zajmowania się nimi. Kanban sygnalizacyjny jest zazwyczaj stosowany do harmonogramowania operacji w górze strumienia wartości, które ze względu na czasochłonne przebrojenia wymagają dodatkowych supermarketów dla półwyrobów, by nie zaburzyć ciągłości pracy stanowisk produkcyjnych w dole strumienia. Ze względu na specyfikę funkcjonowania Kanban sygnalizacyjny można podzielić na: Kanban zlecający produkcję według ustalonego wzoru, Kanban zlecający produkcję zgromadzonej serii i Kanban trójkątny (Smalley, 2011).

Produkcja według ustalonego wzoru umożliwia usystematyzowanie i wyregulowanie czasu przejścia, a także przedziału czasu, który jest wymagany do wykonania każdego typu wyrobu. Kanban zlecający produkcję według ustalonego wzoru wykorzystuje się w sytuacjach, gdy ma znaczenie następstwo wykonywania produkcji z uwagi na rodzaj używanych materiałów i przebrojenia. Produkcja zgromadzonej serii charakteryzuje się uruchamianiem produkcji w górnym odcinku strumienia wartości, po uzyskaniu punktu uruchamiającego, gdy zostanie zebrana właściwa liczba kart. Z kolei Kanban trójkątny posiada zastosowanie podczas złożonych procesów z pochłaniającymi czas przebrojeniami oraz gdy czas taktu jest większy niż czas cyklu. Podstawowym parametrem jest wielkość serii wyrobów oraz przyjęta wartość wskaźnika punktu uruchamiającego proces, w celu uzupełnienia zapasów (Fulczyk, leanmenedzer.pl).

**Kanban transportowy** jest stosowany w przypadku gniazd montażowych charakteryzujących się ciągłym przepływem, gdzie jest wykorzystywana duża liczba komponentów. W celu uruchomienia Kanbanu transportowego istotna jest obecność supermarketu wraz z konkretną lokalizacją danych materiałów oraz ustaloną ich ilością znajdującą się bezpośrednio w obszarze produkcyjnym. Pozwala to na wygospodarowanie większej przestrzeni produkcyjnej, ale jednocześnie wymaga częstych i regularnych dostaw. Karta Kanban powinna zawierać informacje: o dostawcy (kod i rodzaj dostawcy, lokalizację komponentu na supermarkecie), o produkcie (numer i opis części, liczba zamawianych części) oraz o punkcie użycia (stanowisko i dokładna lokalizacja linii oraz regału) (Smalley, 2011).

**Kanban dostawcy** jest wykorzystywany do sygnalizowania konieczności pobrania elementów u dostawcy zewnętrznego, w celu przewiezienia ich do marketu części nabywanych lub marketu centralnego. Kanban dostawcy różni się od Kanbana transportowego tym, że posiada zastosowanie w relacjach z dostawcami zewnętrznymi. W zastosowaniach zaawansowanych Kanban dostawcy zawiera także informację zwaną cyklem Kanban. Każdy cykl Kanban będzie zależny od poziomu zapasów na wyrobach gotowych u dostawcy, czasu tranzytu oraz charakterystyki procesów produkcyjnych u dostawcy. Karta Kanban dostawcy powinna zawierać zatem dodatkową informację o ustalonym cyklu Kanban oraz miejscu rozładunku dla uzupełnionych Kanbanów od dostawcy. Przykładem cyklu Kanban jest wyrażenie 1:4:2, które dla określonego numeru części oznacza, że w jednym dniu dostawca będzie dostarczał ten numer części i zabierał Kanbany cztery razy, a zabrane Kanbany w danym kursie zostaną zwrócone z zamówionymi częściami dwa kursy dostaw później. W tym wypadku, ponieważ codziennie są cztery dostawy (co sześć godzin), potrzebny materiał zostanie uzupełniony po 12 godzinach (Smalley, 2011).

Liczbę kart Kanban określa i reguluje co miesiąc sterowanie produkcją i raz w miesiącu liczba kart jest dostosowywana do zmian popytu i czasu przejścia. Pojawiają się jednak pewne okoliczności o charakterze krótkotrwałym, skutkujące dołożeniem dodatkowych Kanbanów, które należy wprowadzić do systemu w celu łatwego przebiegu produkcji. Okoliczności te to przykładowo potrzeba powiększenia zapasów dla dostosowania się do różnic w liczbie dni roboczych pomiędzy

klentem a dostawcami lub nadrobienie produkcji za czas stracony na konserwację matrycy lub naprawę maszyny. Kanban tymczasowy, jak sama nazwa wskazuje, ma być używany tylko jednorazowo przez pewien okres i powinien mieć wyraźnie podaną datę ważności. Dobrą praktyką jest wyróżnianie Kanbanów tymczasowych kolorem lub w inny specjalny sposób, aby przypadkowo nie pozostały w systemie po zamierzonym okresie ich użytkowania (Smalley, 2011).

eKanban to szczególny rodzaj oprogramowania, który ułatwia, a także uzupełnia tradycyjne narzędzie Kanban. Tradycyjny Kanban zmniejsza nadmierne zamówienia, redukuje zapasy, zwiększa przepływy pieniężne, a także poprawia wydajność dostaw. eKanban poprawia te rezultaty, ponadto zmniejszając zasoby administracyjne konieczne do zarządzania Kanbanem tradycyjnym (Lyles, 2020). W systemie eKanban można stosować zlecenia kanbanowe dla każdej linii produkcyjnej, dzięki czemu nie trzeba ręcznie zlecać i wprowadzać czynności produkcyjnych (Gozali i in., 2019). W celu usprawnienia systemu Kanban i sprawienia, aby działał efektywniej i wydajniej, konieczny jest dostęp do aktualnych i precyzyjnych danych. System eKanban wspomaga różne zadania mające związek z zarządzaniem Kanbanami, dzięki działaniu w czasie rzeczywistym. Dzięki zautomatyzowanym usługom eKanban może sortować, wyszukiwać, a także analizować dane. Dzięki pełnej automatyzacji skuteczność i wydajność związana z zarządzaniem zamówieniami i kartami wzrasta (Lyles, 2020).

## Bibliografia

- [1] Fulczyk A., System Kanban – sygnalizowane sterowanie produkcją. Dostępne na: <http://leanmenedzer.pl/kanban/> (dostęp: 29.01.2021).
- [2] Gozali L. i in. (2020), Kanban System and Calculation of Kanban Production in Stamping Division of PT. XYZ. Dostępne na: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/ticash-19/125940627> (dostęp: 31.01.2021).
- [3] Lyles A. (2020), Electronic Kanban. Dostępne na: <https://falconfastening.com/lean-learning/lean-manufacturing/electronic-kanban-ekanban/> (dostęp: 31.01.2021).
- [4] Smalley A. (2011), Kanban, czyli sterowanie produkcją według zasad Lean Manufacturing. Dostępne na: <https://lean.org.pl/kanban-sterowanie-produkcja/> (dostęp: 29.12.2020).
- [5] Szwedzka K., Lubiński P. (2015), Koncepcja implementacji systemu Kanban-studium przypadku. Dostępne na: [http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2015/T1/t1\\_0635.pdf](http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2015/T1/t1_0635.pdf) (dostęp: 29.12.2020).

## 4.5. *Just in Time* (Aneta Pezioł)

Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie wymaga nieustannego pogłębiania swojej wiedzy w tej dziedzinie. Szukanie nowych, bardziej elastycznych rozwiązań, jak też doskonalenie już istniejących, które przyniosą jak największe korzyści dla organizacji, jest wieloaspektowym przedmiotem rozważań. Podstawowe źródło wiedzy stanowi niewątpliwie znajomość rozwiązań, które już istnieją, a których wdrożenie w przedsiębiorstwie przyczyniło się do wzrostu efektywności ekonomicznej, czasowej, jak też jakościowej. Tworzenie nowych rozwiązań zarządzania logistycznego powinno się opierać na już wprowadzonych metodach.





Jedną z nich jest na przykład powszechnie stosowana metoda *Just in Time* (Bujak i Śliwa, 2008).

*Just in Time* (z ang. dokładnie na czas) jest jednym z ważniejszych narzędzi Lean obszaru produkcji, a także dystrybucji materiałów i surowców. W praktycznym ujęciu jest to dostarczanie wszystkich niezbędnych do produkcji materiałów w momencie, kiedy jest na nie zapotrzebowanie oraz w odpowiedniej ilości, tak aby uniknąć niekorzystnego z finansowego punktu widzenia magazynowania (Pacana i in., 2018). JIT jest zdefiniowane przez odniesienie do skutecznego sposobu planowania produkcji, zaopatrzenia oraz logistyki przedsiębiorstwa. Niewątpliwie łańcuch dostaw wywiera istotny wpływ na wydajność operacyjną całego procesu produkcji (Yang i in., 2021). W rezultacie zadania produkcyjne mogą być realizowane bez zbędnych zakłóceń, zgodnie z założonymi planami produkcyjnymi.

Metoda *Just in Time* jest utożsamiana ze strategią inwentaryzacji, gdzie zamawianie oraz odbieranie materiałów odbywa się wtedy, kiedy istnieje na nie realne zapotrzebowanie w procesie produkcji, w celu minimalizacji kosztów związanych z utrzymywaniem zapasów. Aby metoda *Just in Time* była skuteczna, przedsiębiorstwo musi posiadać dokładny system prognostyczny, który umożliwi przyszłościowe wyliczenie zapotrzebowania na produkty bądź usługi. Jest to także jeden z ważniejszych elementów, które są konieczne do zrealizowania procesu produkcji zgodnie z zasadą Lean Thinking. Ta filozofia produkcji opiera się na planowym eliminowaniu wszystkich potencjalnych strat oraz bezustannej poprawie produktywności (Kidacka, kanban.pl).

Za twórcę metody *Just in Time* uznaje się Shigeo Shingo. Jako inżynier pracujący w przemyśle posiadał ogromne praktyczne doświadczenie. Zadebiutował już w latach 30., kiedy to w Taipei Railway Company wprowadził pierwsze naukowe metody pozwalające na obniżenie kosztów przedsiębiorstwa. Przełomowym momentem było przebadanie około 300 firm w celu zrozumienia problematyki związanej z szeroko rozumianą kontrolą jakości, co umożliwiło w 1951 r. wypracowanie koncepcji dotyczącej statystycznej kontroli jakości. Kariera Shingo potoczyła się w bardzo szybkim tempie, ponieważ już 8 lat później, dzięki rozwojowi koncepcji *Just in Time* oraz *Toyota Production System* (TPS), został okrzyknięty mianem geniusza w dziedzinie systemów produkcji. Skoncentrowany był głównie na produkcji, a nie na zarządzaniu, dzięki czemu zyskał ogromne doświadczenie na stanowisku inżyniera przemysłowego i cieszył się bardzo dobrą reputacją. Swoją skuteczność w zakresie produkcji efektywnej wykazał, pracując w latach 1956–1958 w *Mitsubishi Heavy Industries*. Doprowadził on wtedy do spektakularnej redukcji czasu potrzebnego do budowy kadłuba supertankowca, charakteryzującego się wypornością na poziomie 65 000 t, z czterech miesięcy do dwóch. Ustanowił w ten sposób nowy rekord przemysłu stoczniowego (Bujak i Śliwa, 2008).

Główne idee metody *Just in Time* zostały wdrożone do procesów produkcyjnych przemysłu skupionego na doskonaleniu dzięki zastosowaniu zasad Lean Manufacturing. Zakłada się eliminację wszystkich czynności procesu, które nie wpływają na końcową wartość produktu. Przy wdrażaniu metody *Just in Time*

w zakładach produkcyjnych skupiano się głównie na osiągnięciu przewagi konkurencyjnej oraz zwiększeniu produkcji, dzięki możliwości wyeliminowania przyczyn powstawania następujących strat (Bujak i Śliwa, 2008):

- straty, które wynikają z produkcji ilości większej niż jest to obecnie potrzebne (nadprodukcji),
- koszty dodatkowego transportu zarówno bezpośrednio podczas produkcji, jak i w odniesieniu do relacji przedsiębiorstwo–klient,
- koszty dodatkowego, zbędnego składowania produktów w formie zapasów produkcyjnych, które wymagają inwestycji w dodatkowe pomieszczenia i magazyny do przechowywania,
- straty czasu obecne podczas realizacji procesu produkcyjnego,
- straty, które wynikają bezpośrednio z niedoskonałych i niedopracowanych procedur,
- straty, które wynikają ze zmniejszonego tempa produkcji,
- straty powstające w wyniku wyprodukowania wadliwych produktów.

Zastosowanie odpowiednich rozwiązań, umożliwiających eliminację wymienionych strat umożliwia osiągnięcie korzystnych wyników w produkcji, które mają swoje odzwierciedlenie w zyskach finansowych przedsiębiorstwa. Jest to bardzo ważne w czasach nieustannie zmieniających się potrzeb potencjalnych klientów, ponieważ umożliwia dosyć szybką reakcję w chwili zmiennego popytu na konkretne dobra. Prowadzi to także do nieustannego wzrostu elastyczności w planowaniu oraz działaniu całego przedsiębiorstwa w kwestiach wolnej konkurencji (Antos i Antos, 2013).

Głównymi założeniami koncepcji *Just in Time* są przede wszystkim: redukcja zapasów do poziomu minimalnego, mniejsze, ale częstsze dostawy niezbędnych surowców, minimalne cykle realizacji zamówień oraz możliwie jak najwyższy poziom jakości oferowanych dóbr czy usług (Długosz, 2006). Takie podejście do procesu produkcji całkowicie zmienia jego pierwotną strukturę. Zadania tej koncepcji to przede wszystkim: eliminacja gromadzenia zapasów, maksymalizacja procesu produkcyjnego, podniesienie jakości produkcji oraz ograniczenie ewentualnych opóźnień. Tak dopracowany system produkcji umożliwia natychmiastową lokalizację nieprawidłowości, które uchwycone we wczesnym stadium rozwoju pozwalają na poprawę jakości procesu produkcji. Całkowita rezygnacja ze składowania jest odważnym krokiem, jednak bardzo ważnym dla poprawy funkcjonowania całej organizacji. Proces składowania jest zamrożeniem kapitału, który kamufluje problemy powstałe podczas transportu półproduktów. W systemie JiT istnieje możliwość zlokalizowania problemu w celu jego eliminacji. Według koncepcji *Just in Time* zapasy są wynikiem nieprawidłowego zarządzania pomiędzy aktualnym zapotrzebowaniem na poszczególne surowce a terminem ich dostawy. Nierozwiązanie problemów na tym poziomie skutkuje dalszymi komplikacjami w produkcji. Kiedy stanowiska pracy będą zorganizowane w odpowiedni sposób, a komponenty dostarczone w odpowiednie miejsce oraz w odpowiednim czasie, wtedy dopiero będzie można zlikwidować wszelkie rezerwy surowców. Będzie to

skutkowało znacznym zmniejszeniem kosztów, które wiążą się ze składowaniem oraz strat ponoszonych w związku z uszkodzeniem surowca. W koncepcji *Just in Time* istotne jest nieustanne dążenie do sytuacji, kiedy realizuje się małe, ale częste dostawy materiału, czyli rezygnuje się z produkcji tak zwanych nadwyżek. Niewątpliwie proces wytwórczy powinien się rozpoczynać w momencie, kiedy otrzymano zamówienie na dany produkt. Zwiększa się tym samym częstotliwość dostaw regulowanych realnym popytem, a zmniejsza się ilość strat, które są generowane przez zapasy. Metoda zakłada dosyć krótkie cykle w realizacji zamówień, które mogą się spotkać z ewentualnym brakiem danej części w magazynie z powodu utrzymywania minimalnych zamówień. Może to skutkować zakłóceniami w produkcji. Koncepcja zakłada, że dostawy powinny być realizowane w jak najkrótszym odstępie czasu, jednak takim, który nie powodowałby przestojów w procesie. Aby osiągnąć ten cel, należy posiadać umiejętność symulacji wielkości zamówienia w odniesieniu do przewidywanego popytu na dany produkt. Ostatnim, jakże ważnym aspektem tej koncepcji jest zagwarantowanie wysokiej jakości. Jeśli chce się produkować, eliminując straty oraz nieprawidłowości, należy się skupić na jakości dostarczanych surowców. Niewątpliwie, im niższa jakość, tym generowane straty będą większe. Należy z wielką uwagą dobierać potencjalnych dostawców, ale też dbać o jakość podczas procesu produkcji. Podczas stosowania metody *Just in Time* ważne jest, aby korzystać z najlepszych dostępnych surowców, które będą miały odzwierciedlenie w wysokiej jakości wyrobu gotowego (Żurawek, 2014).

Z koncepcją *Just in Time* są powiązane również inne koncepcje mające zastosowanie w produkcji. Są to przede wszystkim (Bujak i Śliwa, 2008):

- Kanban – system planowania oraz sterowania przepływem produkcji,
- SMED (*Single Minute Exchange of Die*) – metoda stosowana do zapewnienia szybkich przebrojeń,
- Poka-Yoke – metoda stosowana do usuwania przyczyn braków,
- Kaizen – system ciągłych usprawnień.

Koncepcja *Just in Time* rozpowszechniła się na cały świat. W 1987 roku wprowadziło ją aż 25% przedsiębiorstw amerykańskich. W obecnych czasach jest to najbardziej powszechny sposób produkcji. *Just in Time* jest metodą na tyle opłacalną, że stosowanie jej przynosi pozytywne zmiany w organizacji przedsiębiorstwa. Z racji tego, że klient docelowy jest najważniejszy, stosowanie tej metody zmierza do tego, aby nigdy nie był on niezadowolony i zawsze powracał do sprawdzonego producenta. Zadowolenie odbiorców generuje mniejsze straty, a zatem większy przychód. Prowadzenie zakładu w ten sposób przynosi same korzyści. Przedsiębiorstwo produkcyjne Toyota, które jako pierwsze wprowadziło metodę *Just in Time* do swojego zakładu, po dzień dzisiejszy jest popularnym producentem samochodów i nieustannie dąży do podnoszenia jakości przez ulepszanie procesów wytwórczych, dzięki czemu generuje coraz wyższe zyski (Żurawek, 2014).

## Bibliografia

- [1] Antos Ł., Antos K. (2013), Just in Time jako metoda poprawy efektywności procesu logistycznego przedsiębiorstwa. *Logistyka – nauka*, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach. Dostępne na: <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/item/86221-just-in-time-jako-metoda-poprawy-efektywnosci-procesu-logistycznego-przedsiębiorstwa> (dostęp: 08.02.2021).
- [2] Bujak A., Śliwa Z. (2008), Narzędzia Zarządzania Logistycznego, 2(148), *Zeszyty Naukowe WSOWL*, 156-166. Dostępne na: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BATA-0006-0036> (dostęp: 05.12.2020).
- [3] Długosz J. (2006), *Metody sterowania przepływami w przedsiębiorstwie. Instrumenty zarządzania logistycznego*, pod red. M. Ciesielskiego. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- [4] Kidacka D., JIT (Just in Time). Dostępne na: <https://kanban.pl/nl45/> (dostęp: 05.12.2020).
- [5] Pacana A., Czerwińska K., Siwiec D. (2018), *Narzędzia i wybrane metody zarządzania jakością. Teoria i praktyka*, Częstochowa.
- [6] Yang J., Xie H., Yu G., Liu M. (2021), Achieving a just-in-time supply chain: The role of supply chain intelligence. *International Journal of Production Economics*, 231, 107878. Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527320302358> (dostęp: 29.01.2021).
- [7] Żurawek L. (2014), Zarządzanie zapasami z zastosowaniem koncepcji Just in Time. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach*, nr 103, seria: Administracja i Zarządzanie. Dostępne na: [https://repozytorium.uph.edu.pl/bitstream/handle/11331/1504/Zurawek.L\\_Zarzadzanie\\_zapasami\\_z\\_zastosowaniem\\_koncepcji\\_just-in-time.pdf?sequence=1](https://repozytorium.uph.edu.pl/bitstream/handle/11331/1504/Zurawek.L_Zarzadzanie_zapasami_z_zastosowaniem_koncepcji_just-in-time.pdf?sequence=1) (dostęp: 05.12.2020).

### 4.6. *Vendor Managed Inventory (VMI)* – Zarządzanie zapasami przez dostawcę (Sławomir Miłek)

Jedną z wielu metod zarządzania łańcuchem dostaw jest VMI (ang. *Vendor Managed Inventory*). Jest to proces, w którym dostawca generuje zamówienia na rzecz klienta, biorąc pod uwagę jego potrzeby, na podstawie informacji podanych przez odbiorcę. Na początku lat 80. XX w. podejmowano działania zbliżone do dzisiejszego VMI w kwestii kształtowania relacji z dostawcami w firmach „Wal-Mart” oraz „Procter & Gamble”(Ciesielski, 2006).

Głównymi celami zarządzania zapasami są (Szymonik, 2011):

- zagwarantowanie należytego poziomu obsługi klientów zewnętrznych i wewnętrznych, mając na względzie odpowiednią jakość i stosunek do zrealizowanych zamówień, kontrolowanie bieżącego i przyszłego zapotrzebowania na dobra konieczne, dzięki którym można uniknąć braków oraz nadwyżek w produkcji,
- zminimalizowanie kosztów dzięki zmniejszeniu różnorodności zapasów,
- ustalenie ekonomicznych wielkości partii oraz nadzorowanie kosztów generowania i utrzymywania zapasów.

VMI stosuje się tam, gdzie tradycyjna procedura zamówień jest kosztowna oraz dla takich produktów, których popyt można łatwo przewidzieć. Dodatkowymi



warunkami są: wysoka częstotliwość zakupu, stała cena oraz stały dostawca. Po spełnieniu wymienionych warunków można wdrożyć VMI dla analizowanego produktu.

Rozpoczęcie współpracy na zasadach VMI musi się odbyć za obopólną zgodą zarówno dostawcy, jak i klienta. Często zdarza się, że jedno z nich narzuca tę formę jako konieczną do rozpoczęcia współpracy. Może to wynikać z siły przetargowej lub wymagań technologicznych strony narzucającej.

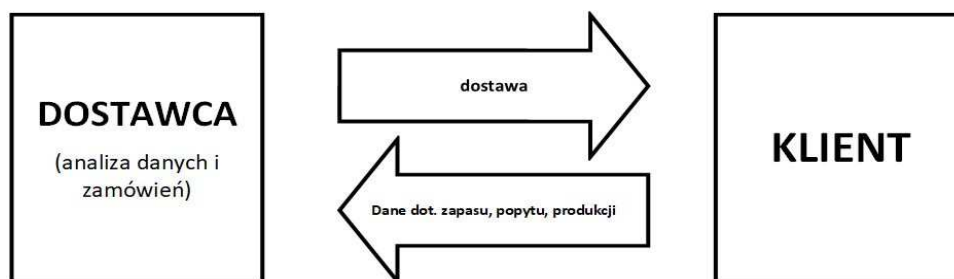
Wdrożenie VMI wiąże się z obowiązkami dostawcy i klienta. Klient jest zobowiązany do (Ciesielski, 2006):

- dostarczania dostawcy danych o zapasie i zużyciu produktów,
- pełnej współpracy z dostawcą, pełnego zaufania do jego kalkulacji i harmonogramu dostaw.

Do obowiązków dostawcy należą (Ciesielski, 2006):

- utrzymanie ustalonego poziomu zapasu u klienta,
- tworzenie zamówienia odnawiającego,
- realizowanie zamówień zgodnie z harmonogramem.

Większość obowiązków wynika z charakteru współpracy pomiędzy dostawcą a klientem. Obowiązki klienta i dostawcy w VMI zostały ukazane na rys. 4.9.



Rys. 4.9. Obowiązki klienta i dostawcy

Źródło: Opracowanie własne.

Udogodnienia związane ze stosowaniem VMI mogą dotyczyć (Szymonik, 2011):

- dystrybutora lub producenta – zmniejszenie braków w zapasach oraz ich ogólnego poziomu, redukcja kosztów planowania i składania zamówień, zwiększenie jakości obsługi klienta, przerzucenie odpowiedzialności za utrzymanie zapasów na dostawcę, zabezpieczenie firmy przed negatywnymi sytuacjami na rynku dostarczanych komponentów i materiałów, angażowanie się wyłącznie w przypadku wystąpienia problemów,
- obu stron – zmniejszenie błędów w danych i w wykonywanych operacjach, zwiększenie szybkości przebiegu procesów, podwyższenie jakości obsługi klienta finalnego, redukcja czasu oraz zmniejszenie kapitału pracującego, ograniczenie liczby pilnych dostaw i zwrotów, zacieśnienie współpracy,

- dostawcy – zmniejszenie błędów w prognozowaniu, minimalizowanie błędów w zamówieniach, budowanie relacji z klientem na płaszczyźnie sprzedażowej i operacyjnej, dostępność informacji o faktycznym końcowym popycie, możliwość zapobiegania potencjalnemu spadkowi sprzedaży przez wczesne wykrycie spadającego zużycia u klienta,
- ogólne – wyższa retencja klientów, zminimalizowanie niepewności co do wysokości popytu, zmniejszenie zapasów wymaganych w poszczególnych ogniwach łańcucha dostaw.

Przykładowe korzyści z wdrożenia VMI w firmach (Szymonik, 2011):

- Grand Union – poprawa rotacji zapasów o ok. 80% przy uzyskaniu wartości wskaźnika obsługi klientów równej 99%,
- ACE Hardware – wzrost wskaźnika perfekcyjnej realizacji zamówień do poziomu 96%,
- Fred Meyer – redukcja zapasów o 40% przy wzroście sprzedaży i wskaźnika obsługi klientów do 98%,
- K-mart – zwiększenie wskaźnika rotacji produktów niesezonowych z 12-15 do 17-20, natomiast produktów sezonowych z 3 do 10-11 razy,
- Oshawa Foods – osiągnięcie wskaźnika obsługi klientów 99% oraz poprawa wskaźnika rotacji zapasów z 3 do 9 razy.

Wdrożenie VMI wiąże się z dodatkowymi kosztami klienta i przede wszystkim dostawcy. Zastosowanie metod i narzędzi zarządzania zapasami zazwyczaj bez większego wysiłku przynosi spadek zapasów, a sam program przez narzucenie systematyczności wymiany danych stabilizuje plany dostaw, co pozwala włączać klientów VMI w harmonogramy dostaw. Właśnie stabilizacja, która umożliwia obniżenie kosztów produkcji i dystrybucji, może się okazać największą korzyścią dla dostawcy.

W zarządzaniu łańcuchem dostaw coraz częściej stosuje się technologie blockchain, inaczej łańcuch bloków. Służą one do przesyłania i przechowywania informacji zawartych w Internecie. Informacje są dodawane do systemu w formie bloków, z których każdy zawiera wiele transakcji. Blockchain pozwala na lepszą komunikację między dostawcą a klientem. System umożliwia użytkownikom śledzenie przemieszczeń towarów wraz z oznaczeniem czasowym, dzięki kompatybilności z dostępnymi technologiami, takimi jak: GPS, IoT czy RFID. Blockchain umożliwia dostawcom dostęp do danych udostępnianych przez sprzedawców w czasie rzeczywistym, pozwala im dokładnie określić, kiedy klienci osiągną poziom ponownego zamówienia. Blockchain zwiększa dokładność zamówień oraz sprzedaż i rentowność, zmniejsza rotacje zapasami (Omar, 2020). Częste problemy, błędy i nieefektywności VMI mogą wynikać z używania modelu statycznego w dostawach, braku zaufania pomiędzy klientem a dostawcą do przepływu wszystkich koniecznych informacji, niewłaściwej analizy produktowej, dużej odległości geograficznej pomiędzy dostawcą a klientem (Gościński, 2005).



## Bibliografia

- [1] Ciesielski M. (2006), Instrumenty zarządzania logistycznego. PWE, Warszawa.
- [2] Gościński D. (2005), VMI – Optymalizuje funkcjonowanie łańcucha dostaw. Dostępny na: <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/item/4118-vmi-optimalizuje-funkcjonowanie-lancucha-dostaw> (dostęp: 03.01.2021).
- [3] Omar I.A., Jayaraman R., Salah K., Debe M., Omar M. (2020), Enhancing vendor managed inventory supply chain operations using blockchain smart contracts. *IEEE Access*, 8, 182704-182719.
- [4] Szymonik A. (2011), Zarządzanie zapasami i łańcuchem dostaw. Difin, Warszawa.

### 4.7. Zastosowanie technologii informacyjnych w konfigurowaniu łańcucha dostaw (Aleksandra Brzozowska)

Na przełomie lat można zaobserwować ogromny postęp technologiczny. Był on mechanizmem napędzającym do wykorzystywania dawniej niepotrzebnych i mało użytecznych modeli ekonomicznych w procesie konfigurowania łańcucha dostaw. Konfigurując łańcuch dostaw, zadania realizuje się począwszy od pozyskania materiałów i surowców, aż po dostarczenie gotowego produktu do odbiorcy. Każdy podmiot łańcucha dostaw ma przydzielone zadanie, umożliwiające odpowiednie działanie w kolejnych etapach produkcji i sprzedaży. Łańcuchy dostaw przenikają się wzajemnie i tworzą sieć powiązań organizacji, które współpracują ze sobą, wspólnie kierują przepływem informacji i dóbr, a także się wzajemnie kontrolują (Wasiak i in., 2016).

Obecnie trudne jest prawidłowe zarządzanie bez użycia nowoczesnych technologii informatycznych, do których zalicza się: zintegrowany system elektroniczny klasy ERP, system zarządzania łańcuchem dostaw (SCM), elektroniczną wymianę danych (EDI), technologie Internetowe i agentowe (Kawa, 2015).

Pierwszym opisanym narzędziem informatycznym będzie zintegrowany system informatyczny klasy ERP. Jednak zanim powstał ten nowoczesny system, musiał przejść on ewolucje systemów MRP, których główną koncepcją było tworzenie listy zakupów z uwzględnieniem harmonogramu produkcji, danych o wyrobie oraz zapasach materiałów. Nowoczesne zintegrowane systemy ERP spełniają wszystkie zamierzenia systemów MRP, od których pochodzą, a dodatkowo umożliwiają przedsiębiorstwu zarządzanie płynnością, wolnymi środkami czy analizą rentowności inwestycji finansowych. Dzięki tym systemom możliwa jest dokładna analiza działań i procesów zachodzących wewnątrz przedsiębiorstwa. Z kolei do kontrolowania działań na zewnątrz przedsiębiorstwa stosowane są technologie internetowe. Pozwalają one zaangażować jednostki zewnętrzne do łańcucha informacyjnego. Dzięki temu tworzy się zintegrowany łańcuch dostaw w miejscu odseparowanych od siebie systemów ERP odrębnych uczestników rynku. Przy lokalizacji systemu ERP wewnątrz sieci WWW ma miejsce połączenie odrębnych systemów przedsiębiorstw, a także przyłączenie klientów do systemu informatycznego, dzięki udostępnionym przez przeglądarkę internetową treściom. Systemy



zarządzania, które pozwalają pracować w Internecie, są nazywane systemami klasy ERP II (Lech, 2003).

Kolejny system dotyczy zarządzania łańcuchem dostaw SCM. Główną koncepcją tego systemu jest zarządzanie przepływem towarów, danych i zasobów materialnych dotyczących produktów i usług, od momentu zakupu, aż po dostarczenie gotowego wyrobu w wyznaczone miejsce (Jurczak, 2018). System SCM gromadzi dane rozproszone w łańcuchu dostaw. Narzędzia SCM są stosowane do kontrolowania wszelkich działań i zadań logistycznych przedsiębiorstwa. W dzisiejszych czasach SCM uznaje się za najlepszy system w dziedzinie zarządzania przepływami informacji pomiędzy poszczególnymi przedsiębiorstwami. System SCM to zbiór metod, które są w stanie zapewnić maksymalny zysk, dzięki optymalizacji wartości cen materiałów, a także zapewnieniu takiego poziomu zapasu, aby możliwa była nieustanna ciągłość procesu. Przedsiębiorstwa, które wykorzystują SCM, są w stanie bardziej skutecznie reagować na swoich dostawców i odbiorców. Przedsiębiorstwa te mogą również identyfikować pojawiające się szanse i zagrożenia płynące z otoczenia. Dzięki SCM powstają również zoptymalizowane harmonogramy zamówień, które wynikają z dogłębnych analiz wspomagania procesów decyzyjnych (Kawa, 2015). Wdrożenie SCM do działalności przedsiębiorstwa przynosi mu wiele korzyści. Pozwala na połączenie wewnętrznych i zewnętrznych procesów przedsiębiorstwa, zoptymalizowanie planu dostaw, zaopatrzenia, magazynowania, transportu, zidentyfikowanie zdolności produkcyjnych i planowanie ilości potrzebnych materiałów, ustalenie, jak poszczególne elementy łańcucha dostaw oddziałują na siebie, stwarza możliwość określenia poziomu popytu na poszczególne wyroby, daje szansę na tworzenie aktualnych symulacji rynkowych (Kucza, log4.pl). SCM nie zapewnia gotowych mechanizmów wspierających matematycznie wydajniejszą optymalizację od ERP, nie jest również kolejnym etapem MRP (Zajac i Zajac, 2004).

Następną technologią jest EDI, czyli elektroniczna wymiana danych. Celem EDI jest współpraca poszczególnych przedsiębiorstw, które działają w takich obszarach, jak: produkcja, zarządzanie zapasami, przetwarzanie zamówień, księgowość, transport, marketing i sprzedaż. Umożliwia on przedsiębiorstwu wymianę dokumentów w tradycyjnym formacie. EDI zastępuje dokumenty w formie papierowej formą elektroniczną. Dzięki takiemu rozwiązaniu przedsiębiorstwa w szybszy sposób przekazują informacje, a przy tym oszczędzają dodatkowo pieniądze, które musiałyby przeznaczyć na ewentualną poprawę błędów, wynikającą z ręcznej obsługi dokumentacji. Ponadto dostęp do faktur, zamówień, płatności, planów produkcyjnych w całym łańcuchu dostaw jest w znaczący sposób ułatwiony. Z wykorzystaniem EDI informacje są przesyłane pomiędzy przedsiębiorstwami bezpośrednio z aplikacji na komputerze (Grabska, 2018).

Pomimo wielu zalet systemu EDI należy wspomnieć o licznych wadach dla przedsiębiorstw. Największym problemem jest wysoki koszt oprogramowania oraz wyposażenia. Dodatkowo przedsiębiorstwo ponosi koszty licencji oprogramowania, a co za tym idzie – koszty za wsparcie techniczne. Każde dodatkowe zmiany w oprogramowaniu powodują nowe koszty związane ze szkoleniem pra-



owników. Koszty związane z transmisją danych również są bardzo duże. Małe firmy nie mogą sobie pozwolić na to oprogramowanie ze względu na fakt, że generuje ono wysokie koszty (Fuks, 2009).

Następną, najchętniej i najczęściej wykorzystywaną technologią w łańcuchu dostaw są technologie internetowe. Internet jest w stanie połączyć różne urządzenia w jedną sieć. Takie połączenia odbywają się najczęściej za pośrednictwem linii telefonicznych, łączy telefonii komórkowych, wi-fi czy połączeń kablowych. Wcześniej korzystanie z Internetu sprowadzało się do sprawdzenia poczty elektronicznej, odwiedzenia różnego rodzaju stron internetowych czy ściągania plików. Obecnie Internet daje o wiele więcej możliwości. Pozwala na wymianę plików pomiędzy poszczególnymi urządzeniami, stwarza okazję do uczestniczenia wielu osób w czacie bądź grupie dyskusyjnej. Pomijając Internet, można wyróżnić także inne sieci, jak intranet czy ekstranet. Intranetem nazywa się wewnętrzną sieć komputerową danego przedsiębiorstwa. Sieć ta umożliwia stałe połączenie poszczególnych jednostek, najczęściej pracowników, funkcjonujących w tym przedsiębiorstwie. Z kolei ekstranet łączy ze sobą kilka intranetów, wykorzystując przy tym protokoły sieciowe. Główną cechą ekstranetu jest umożliwienie odpowiedniej komunikacji z partnerami biznesowymi z zewnątrz. Do ekstranetu mogą się zalogować tylko osoby, które otrzymają wcześniejszy dostęp. Zarówno jeden, jak i drugi system są niezbędne w konfigurowaniu łańcucha dostaw (Petryczka, 2017).

Gdy technologie internetowe zostaną połączone z technologią agentową, możliwe staje się odejście od koncepcji tradycyjnego łańcucha dostaw, a zastąpienie go elektronicznym. Takie rozwiązanie pozwoli być elastycznym na pojawiające się w otoczeniu trendy, bardziej otworzyć się na klientów oraz zwiększyć konkurencyjność. Łańcuchy dostaw z takiego połączenia najczęściej są tworzone i utrzymywane na konkretne potrzeby danej transakcji. Najczęściej takie transakcje wymagają od przedsiębiorstwa szybkiego czasu reakcji lub po prostu są one specyficzne (Wieczerzycki, 2003).

Podstawą technologii agentowej są programy, czyli agenty, pełniące rolę przedstawicieli użytkowników (Kawa, 2015). W języku informatycznym występuje agent programowy i oznacza *program wykonywany zdalnie, na innym komputerze w sieci lub lokalnie* (Wieczerzycki i Wieliński, 2008). Działanie takiego programu odbywa się według preferencji poszczególnych użytkowników, którzy mogli go uruchomić (Wieczerzycki i Wieliński, 2008). Istotą agenta jest realizacja celów zamierzonych przez danego użytkownika. Agent podczas wykonywania zadania szuka najbardziej odpowiedniego środowiska. Poruszanie się po danym otoczeniu, bez naruszenia jego cech, nazywa się mobilnością agenta (Fuks i Kawa, 2007).

Informatyka stała się elementem każdego przedsiębiorstwa. Konfigurowanie łańcucha dostaw byłoby bardzo trudne bez wprowadzania i stosowania nowoczesnych technologii informacyjnych. Bez wątplenia ułatwiają one pracę przedsiębiorstwom, a w głównej mierze przesyłanie informacji, danych i środków finansowych. Do codziennego funkcjonowania przedsiębiorstw niezbędne jest stosowanie

rozwiązań informatycznych, które pozwalają na wykonywanie zadań w imieniu użytkownika.

## Bibliografia

- [1] Fuks K. (2009), Elektroniczna wymiana danych. [W:] Nowoczesne technologie w logistyce, red. J. Długosz, Wydawnictwo PWE, Warszawa.
- [2] Fuks K., Kawa A. (2007), Dynamiczne konfigurowanie łańcuchów dostaw w oparciu o technologię agentową. [W:] Logistyka i zarządzanie produkcją – nowe wyzwania, odległe granice, red. M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak, Politechnika Poznańska – Instytut Inżynierii Zarządzania, Poznań.
- [3] Grabska A. (2018), Czym jest EDI? – wszystkie informacje, których potrzebujesz. Dostępne na: <https://pefbroker.pl/czym-jest-edi-wszystkie-informacje-ktorych-potrzebujesz/> (dostęp: 30.01.2021).
- [4] Jurczak M. (2018), SCM, czyli jak aplikacje pomagają zoptymalizować łańcuch dostaw. Dostępne na: <https://trans.info/pl/scm-czyli-zoptymalizowac-lancuch-dostaw-78921> (dostęp: 29.01.2021).
- [5] Kucza M., Systemy SCM – jak je wykorzystać? Dostępne na: <https://log4.pl/systemy-scm-%E2%80%93-jak-je-wykorzystac-,202,13336.htm> (dostęp: 05.01.2021).
- [6] Lech P. (2003), Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Wykorzystanie w biznesie, wdrażanie. Difin, Warszawa.
- [7] Petryczka I. (2017), Wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w przedsiębiorstwach z branży logistycznej. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, nr 113, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Siedlce.
- [8] Wasiak M., Jacyna-Gołda I., Markowska K., Jachimowski R., Kłodawski M., Izdebski M. (2019), The use of a supply chain configuration model to assess the reliability of logistics processes. *Eksploracja i Niezawodność*, 21(3).
- [9] Wieczerzycki W. (2003), Technologie informacyjne w logistyce. Wydawnictwo AEP, Poznań.
- [10] Wieczerzycki W., Wieliński J. (2008), Zastosowanie technologii agentowej w logistyce. Dostępne na: <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/item/5560-zastosowanie-technologiei-agentowej-w-logistyce> (dostęp: 05.01.2021).
- [11] Zajac M., Zajac P. (2007), Zarządzanie łańcuchem dostaw z wykorzystaniem modelu SCOR. *Logistyka*, nr 3, 2004. Dostępne na: <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/logistyka/item/5073-zarządzanie-lancuchem-dostaw-z-wykorzystaniem-modelu-scor> (dostęp: 30.01.2021).

## 4.8. Wykorzystanie systemów informatycznych ERP w zarządzaniu łańcuchem dostaw (Małgorzata Syrek)

W dwudziestym pierwszym wieku każde przedsiębiorstwo posiada dane, wszelkiego rodzaju zgromadzone informacje i wiedzę, które tworzą aktywa firmy. Są one niezbędne, aby prowadzić odpowiednią logistykę oraz zarządzanie łańcuchem dostaw. Aktywa firmy są fundamentem planowania oraz organizacji operacji logistycznych, komunikacji z partnerami handlowymi, m.in. dostawcami, kontrahentami oraz klientami. Zebrane dane pozwalają na odpowiednią organizację procesów łańcucha dostaw, koordynują współpracę, dają przewagę firmie, aby



maksymalizować zyski przy minimalizowaniu wszelkiego rodzaju strat i popełnianych błędów.

Każda firma posiada ogromną ilość informacji, którą manualnie nie jest w stanie odpowiednio zarządzać. Czynnikiem, który umożliwił efektywne zarządzanie łańcuchem dostaw, jest technologia informatyczna (IT). To zarządzanie obejmuje swoim zasięgiem całe przedsiębiorstwo oraz otoczenie z nim związane, łącząc tym samym dostawców znajdujących się w całym łańcuchu. Dla tak wielkiego obszaru działania rozwiązania z zakresu systemów technologii informatycznej powinny uwzględniać podział na system wewnętrzny oraz zewnętrzny. W znaczny sposób ułatwiłyby przepływ informacji wewnątrz firmy oraz informacji, które są przekazywane poza przedsiębiorstwo (Kot i in., 2009).

ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) to system integrujący informacje z każdego działu organizacji, łączący je w jednej bazie danych. Rozróżnia się dwie możliwości przechowywania danych. Pierwszą z nich jest lokalne przechowywanie danych, jeśli wdrożenie ERP odbywa się w siedzibie firmy. Innym sposobem jest przechowywanie danych w chmurze, w sytuacji gdy wdrożenie systemu ERP wykracza poza granice organizacji. System jest tak stworzony, aby było możliwe wykorzystanie technologii na całym świecie. Takie działania zostały podjęte w celu poprawy usług, lepszego zarządzania, większej przejrzystości, jak i płynniejszego przepływu pracy. Powstały one z potrzeby poprawy efektywności przedsiębiorstw, do której dążyli kierownicy (Surung i Bayupati, 2020).

System ERP należy do zintegrowanych systemów informatycznych. Jest następstwem po systemie MRP. Głównym założeniem było ograniczenie kosztów oraz wsparcie dla automatyzacji procesów logistycznych, produkcyjnych oraz decyzyjnych. Systemy zintegrowane powstały z zapotrzebowania, jakie się pojawiało w przedsiębiorstwach, na systemy informatyczne, które mogłyby zintegrować funkcjonalność podsystemów z różnych branż. Przedsiębiorstwa dzięki temu nie musiały się zaopatrywać w wiele systemów oferowanych przez różne firmy oraz nie ponosiły tak wysokich kosztów, z jakimi wiązała się integracja wszystkich systemów informatycznych.

Zintegrowane systemy informatyczne pozwalały na wsparcie całościowego procesu – od pierwszej koncepcji wraz z technicznym przygotowaniem, na dystrybucji kończąc. Systemy MRP II wspomagają funkcjonalność całego systemu logistycznego. Swoim zasięgiem obejmują systemy wspomagające decyzje, transakcyjne czy komunikacyjne z kierownictwem. Jako pierwsze stworzyły możliwość komunikacji z systemami wspomagającymi prace konstruktorskie CAD-CAM. Niestety, miały wiele ograniczeń, uniemożliwiając wykonywanie wielu zadań w innych obszarach firmy, takich jak np. system finansowy, co spowodowało powstanie unowocześnionego systemu MRP III. Obecnie systemy MRP zostały wycofane i zastąpione przez nowoczesne systemy ERP (Nowotyńska i Trzepieciński, 2016).

System planowania zasobów przedsiębiorstwa ERP monitoruje m.in. (Niewiadomska, 2019):

- harmonogramy produkcyjne,

- stany magazynowe,
- zamówienia,
- zakupy surowców.

ERP ma zdolność do śledzenia całego procesu: od zakupu surowców do dostarczenia do klienta wyrobu gotowego przez wykonanie zlecenia, skupiając się także na początkowym etapie, jakim jest proces wypełniania zamówień. Systemy są opracowywane modułowo, aby stanowiły kompatybilną całość przy połączeniu z innymi modułami, przy braku konieczności instalowania wszystkich modułów. Najważniejsze moduły zostały wyróżnione na rys. 4.10 (Niewiadomska, 2019).



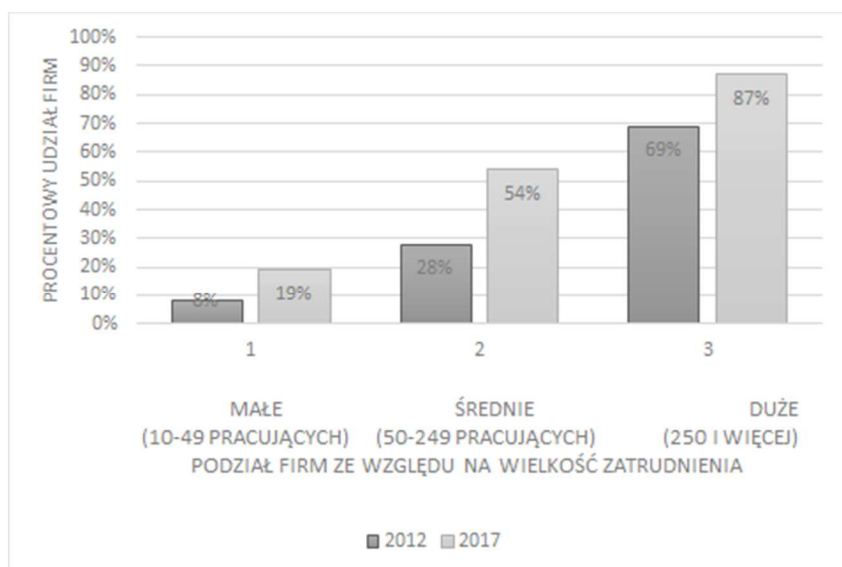
Rys. 4.10. Moduły systemu ERP

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Niewiadomska, 2019).

System, czyli zespół różnych modułów, korzysta z jednej bazy danych, natomiast moduły stanowią ścisłą integrację tego samego systemu. Najważniejszym zadaniem modułów jest monitorowanie oraz wykonywanie codziennych transakcji. Dzięki funkcjonowaniu systemu w całym przedsiębiorstwie możliwe jest zoptymalizowanie procesów zachodzących wewnątrz firmy, między pracownikami i kierownictwem oraz procesów zewnętrznych między firmą a klientami czy kontrahentami. Pozwala to zautomatyzować wymianę danych pomiędzy partnerami w łańcuchu logistycznym. ERP dzięki połączeniu ze sobą różnych obszarów działania firmy w istotny sposób ułatwia przepływ najważniejszych informacji, co pozwala na natychmiastową aktualizację danych w czasie rzeczywistym. System planowania zasobów przedsiębiorstwa pozwala na optymalizację wykorzystania zasobów posiadanych przez firmę, usprawnienie procesów, które zachodzą w przedsiębiorstwie, co przekłada się na zmniejszenie marnotrawstwa i możliwość znacznej redukcji kosztów (Bendkowski i Pietrucha-Pacut, 2003).

Systemy planowania zasobów przedsiębiorstwa w znaczny sposób poprawiły procesy organizacyjne w przedsiębiorstwie. Podlegają one ewolucyjnemu rozwojowi, co przekłada się na wzbogacanie kolejnych aktualizacji w kolejne funkcjonalności, pozwalające rozwiązywać bardziej złożone problemy. Systemy są liderem wśród narzędzi do optymalizacji procesów biznesowych w przedsiębiorstwie. Wraz ze zmieniającymi się potrzebami na rynku ERP jest dostosowywany do aktualnych potrzeb biznesowych klientów. W czasie pojawiania się coraz to nowszych potrzeb i oczekiwań ze strony przedsiębiorstw powstał system ERP II, wykorzystujący potencjał Internetu. Daje to możliwość wysyłania oraz odbierania dokumentów przez system, z użyciem specjalistycznej technologii XML. Z systemu można korzystać nie tylko przy swoim stanowisku, ale w całym przedsiębiorstwie, jeśli pracownik ma do dyspozycji komputer oraz podłączenie do sieci (Nowotyńska i Trzepieciński, 2016).

Na rysunku 4.11 przedstawiony został wykres z porównaniem przedsiębiorstw w zależności od wielkości organizacji wykorzystujących system ERP w latach 2012 i 2017. W każdej grupie przedsiębiorstw w przeciągu pięciu lat nastąpił znaczny wzrost firm korzystających z systemów planowania zasobów przedsiębiorstwa. Grupą dominującą są zdecydowanie duże przedsiębiorstwa (70% w 2012 r.). Po zaledwie kilku latach nastąpił wzrost aż o 17 punktów procentowych, co dało wynik 87%.



Rys. 4.11. Przedsiębiorstwa wykorzystujące pakiety oprogramowania ERP

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Niewiadomska, 2019).

Wśród średnich oraz małych firm można dostrzec wręcz dwukrotny wzrost korzystających z oprogramowania ERP. Najmniejsze zainteresowanie systemami



wykazują najmniejsze firmy, co może wynikać z braku złożoności procesów czy nawet braku środków finansowych. W średnich, a szczególnie dużych firmach widać, że system ERP odgrywa bardzo ważną rolę ze względu na złożoność procesów, wiele istniejących działów, jak i dużą liczbę pracowników, co może negatywnie wpłynąć na przepływ informacji czy rozwój firmy.

## Bibliografia

- [1] Bendkowski J., Pietrucha-Pacut M. (2003), Podstawy logistyki w dystrybucji. Politechnika Śląska.
- [2] Kot S., Starostka-Patyk M., Krzywda D. (2009), Zarządzanie łańcuchem dostaw. Politechnika Częstochowska.
- [3] Niewiadomska M. (2019), Wykorzystanie systemów informatycznych w logistycznej działalności przedsiębiorstw. Studia i Prace WNEiZ US, 56, 105-117.
- [4] Nowotyńska I., Trzepieciński T. (2016), Wykorzystanie systemów informatycznych w branży logistycznej. Politechnika Rzeszowska.
- [5] Surung J.S., Putu Agung Bayupati (2020), The Implementation of ERP in Supply Chain Management on Conventional Woven Fabric Business.







## Rozdział 5.

### Systemy wspierające Lean Manufacturing

#### 5.1. Elementy systemu produkcyjnego Forda zaczerpnięte do systemów Lean Manufacturing (Aleksandra Augustyn)

Ponad sto lat temu pojawiło się w historii gospodarczej świata jedno z najbardziej rewolucyjnych osiągnięć. To właśnie 1 grudnia 1913 r. uruchomiono po raz pierwszy taśmę produkcyjną. Miało to miejsce w zakładach Highland Park w Detroit. Służyła ona do montażu samochodu osobowego – Forda T. Nad tym eksperymentem wiele lat pracował Henry Ford – jeden z amerykańskich przemysłowców i twórca Ford Motor Company, którego wizją było skonstruowanie i wyprodukowanie samochodu dla większej liczby odbiorców (Dave, 2020).

Wkład Forda w produkcję to także *Just in Time*, projekty dotyczące łatwości konserwacji, względy ergonomiczne oraz odpowiedni sposób zarządzania pracownikami. System produkcji utworzony przez Forda szybko stał się najbardziej charakterystycznym amerykańskim sposobem produkcji, który szybko został rozpowszechniony na całym świecie (Tomac i in., 2019). Ford żył z przekonaniem, że każda firma produkcyjna powinna zadbać przede wszystkim o jakość, a uzyskać ją można tylko wtedy, jeśli dba się o klientów (Czainska, 2010).

Początki produkcji polegały na tym, że samochód tkwił na hali produkcyjnej przez cały czas trwania produkcji, a mechanicy i pozostali pracownicy zmuszeni byli do licznych podróży do innych fabryk po potrzebne części. Wracali do fabryki Forda i składali pojazd w całość. Ford ciągle dążył do tego, aby usprawnić procesy produkcyjne w swojej fabryce. Z czasem ewaluowało to do tego stopnia, że samochód składano na specjalnych ruchomych platformach, które przesuвано pomiędzy kolejnymi monterami. Przyspieszyło to proces produkcyjny, jednak nadal nie było to wystarczająco sprawne rozwiązanie dla Forda, który wciąż potrzebował wykwalifikowanej kadry pracowników zmuszonych do składania samochodu własnymi rękami. Ruchome platformy wyeliminowały zbędne przemieszczanie się pracowników, a także wpłynęły na zminimalizowanie marnotrawstwa czasu ([www.ford.pl](http://www.ford.pl)).

Z czasem Henry Ford postawił na produkcję masową, która charakteryzuje się m.in. (Gornowicz i in., 2014):

- długimi seriami produkcyjnymi,
- dużą wielkością produkcji,
- małą zmiennością produkcji,
- małą liczbą pracowników,
- wysokimi kosztami stałymi,

- niskimi kosztami jednostkowymi,
- specjalistycznym wyposażeniem technicznym,
- brakiem różnorodności czynności wykonywanych prac.

Ford wiedział, że produkcja masowa musi mieć także swojego masowego odbiorcę. Dlatego też model Forda T od początku był projektowany z myślą, że będzie to pierwsze auto masowe na świecie. Maszyna miała być prosta, ale jednocześnie wykonana z najlepszych materiałów. Dzięki specjalnemu nadwoziu zapewniono możliwość przemieszczania się po wiejskich i nieutwardzonych drogach. Konstrukcję optymalizowano tak, by była prosta, ale jednocześnie wytrzymała i tania. Pojazd miał być przeznaczony dla zwykłych Amerykanów, a nie bogaczy. Wprowadzenie produkcji masowej przyczyniło się między innymi do zaoszczędzenia pieniędzy.

Henry Ford użył systemu, który polegał na zaawansowanym podziale pracy. Polegało to na tym, że każdy z pracowników był odpowiedzialny za pracę tylko i wyłącznie nad jednym fragmentem produkowanego wyrobu (Michalski, 2013). W wyniku tych działań proces montażu trwał niespełna 6 godzin, wcześniej zaś 12,5 godziny (Kozłowski i Piotrowski, 2010).

Kolejnym krokiem przyczyniającym się do rozwoju produkcji było wprowadzenie taśmy produkcyjnej, która potrafiła przesuwać się z prędkością 1 metra na minutę. Na wszystkich 84 stanowiskach rozplanowano wówczas dokładnie 45 czynności, a po ich wykonaniu z taśmy zjeżdżał gotowy już pojazd. Składanie Forda T wynosiło wtedy już tylko 1,5 godziny. Był to ogromny sukces Henry'ego Forda. Wprowadzenie w późniejszym czasie dodatkowych taśm, po których możliwe było przemieszczenie się części niezbędnych do montażu samochodu również przyczyniło się do skrócenia czasu cyklu.

Działania te pozwoliły znacznie usprawnić proces wytwarzania pojazdu w fabryce Forda, jednocześnie zwiększając możliwości produkcyjne przedsiębiorstwa, co przekładało się na przewagę fabryki nad konkurencją. Taśma bardzo szybko zmieniała świat. Doszło do obniżenia cen pojazdów, przy jednoczesnym zwiększeniu zarobków pracowników fabryki. Pobudziło to wzrost gospodarczy, a także wymianę handlową (Grzeszak, 2013).

Ciągłe udoskonalanie produkcji widoczne było z czasem nie tylko w liczbie produkowanych samochodów, ale także w ich cenie. Wraz ze wzrostem produkcji Ford obniżał ceny. W tabeli 5.1 przedstawiono relację wyprodukowanych pojazdów do ich ceny w latach 1908, 1913 i 1916.

Tabela 5.1. Relacja liczby i ceny samochodów produkowanych przez H. Forda

Rok	Liczba samochodów [szt.]	Cena za sztukę
1908	89 500	950 dolarów
1913	188 000	550 dolarów
1916	533 921	360 dolarów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Łabno, 2015).

Precyzja w pracy nad produkcją pojazdu w połączeniu z szybkim tempem montażu przyniosły całemu światu produkcję masową. Produkcja modelu T osiągała rekordowe wyniki, a każdego dnia gotowy pojazd zjeżdżał z linii produkcyjnej średnio co dziesięć sekund. Ford był w stanie znacznie obniżyć ceny, podwoić minimalną płacę swoich pracowników, a co najważniejsze – produkować auta najwyższej jakości, czerpiąc przy tym ogromne zyski. Co roku zakłady Forda produkowały blisko 2 miliony egzemplarzy modelu T, a cena sprzedaży wynosiła już tylko 260 dolarów za sztukę ([www.ford.pl](http://www.ford.pl)). Prezentację założeń produkcji masowej w systemie Forda przedstawiono na rys. 5.1.



Rys. 5.1. Prezentacja założeń produkcji masowej  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie ([www.ford.pl](http://www.ford.pl)).

Do dziś Ford Motor Company jest jednym z największych koncernów w branży motoryzacyjnej. Produkuje nie tylko samochody osobowe i ciężarowe, ale także maszyny rolnicze, autobusy oraz sprzęt informatyczny. Rozwój technologii, a także komputeryzacja i automatyzacja pozwalają dziś na osiągnięcie czegoś, czego Ford nie mógł osiągnąć, czyli jednoczesną produkcję różnych modeli samochodów na jednej taśmie.

## Bibliografia

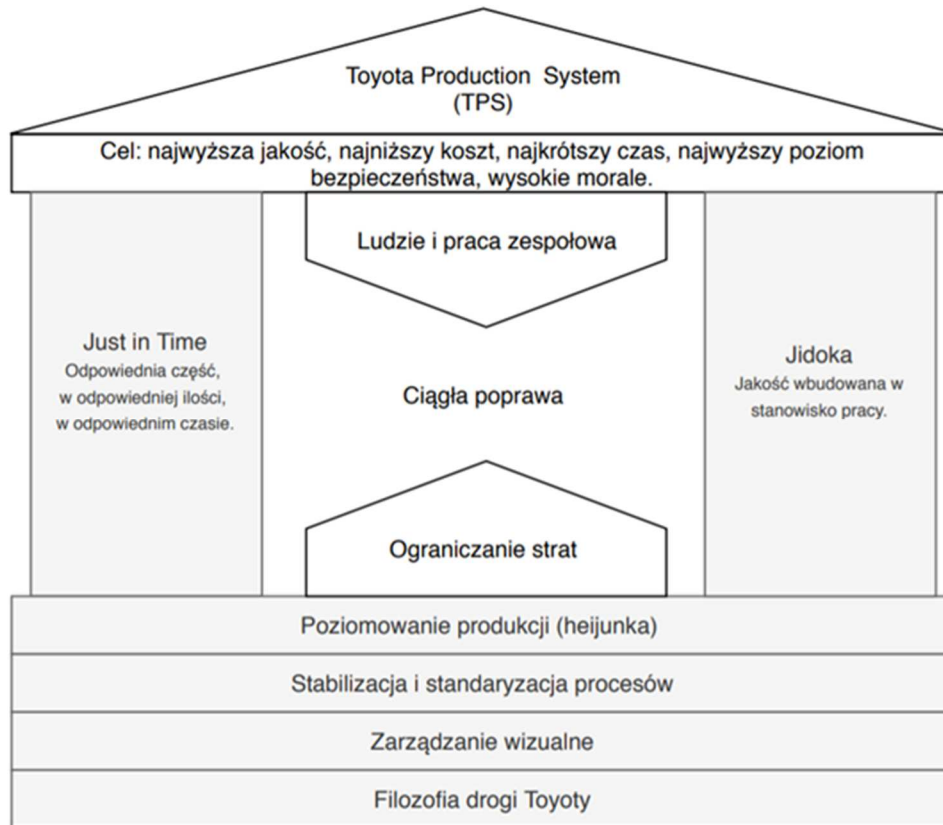
- [1] Czainska K. (2010), Odkryć zarządzanie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [2] Dave P.Y. (2020), The History of Lean Manufacturing by the view of Toyota-Ford. International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 11, issue 8, August, 1598-1602.
- [3] Gornowicz M., Romaniuk K., Szczubetek G. (2014), Ekonomika produkcji. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn.
- [4] Grzeszak A. (2013), Pomysł, który nam dał produkcję masową. Dostępne na: <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/rynek/1562321,1,pomysl-ktory-nam-dal-produkcje-masowa.read> (dostęp: 29.01.2021).
- [5] Historia Henry’ego Forda. Dostępne na: <https://www.ford.pl/swiat-forda/o-firmie/historia#assemblyline> (dostęp: 01.02.2021).
- [6] Koźmiński A.K., Piotrowski W. (2010), Zarządzanie. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [7] Łabno P. (2015), Henry Ford – przedsiębiorca z zasadami. Dostępne na: <https://sukces.edu.pl/blog/henry-ford-przedsiębiorca-z-zasadami#comments> (dostęp: 08.02.2021).
- [8] Michalski E. (2013), Zarządzanie przedsiębiorstwem. Podręcznik akademicki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [9] Tomac N., Radonja R., Bonato J. (2019), Analysis of Henry Ford’s contribution to production and management. Pomorstvo.

## 5.2. System produkcyjny Toyoty (Aleksandra Chmiel)

Eliminacja marnotrawstwa ma długą historię. Wiele koncepcji Lean odkryto i stosowano przez lata w dążeniu do ograniczenia nadmiaru strat. W drugiej połowie drugiej rewolucji przemysłowej, wraz ze wzrostem złożoności produktów, wzrosły również koszty pracy, które często zaczęły przewyższać koszty materiałów. W odpowiedzi na zachodzące zmiany, jak wspomniano we wcześniejszym rozdziale niniejszej pracy, Fredrick Taylor przedstawił koncepcję standaryzacji, a Frank Gilbreth ustanowił podstawy dla metod badania przebiegu i czasu trwania ruchów roboczych, które w późniejszym czasie były inspiracją dla Shigeo Shingo. W rozwoju koncepcji Lean kluczową rolę odegrał system produkcyjny Forda. Henry Ford, rozwijając swój system masowej produkcji, koncentrował się między innymi na redukcji strat. Ford stwierdził, że złe zarządzanie miejscem pracy, na którym skupia się nowoczesna koncepcja ciągłego doskonalenia (Kaizen), jest głównym rodzajem marnotrawstwa. W masowej produkcji Forda pojawiała się jednak nadprodukcja, ze względu na to, że nie zastosowano koncepcji Lean oraz strategii pull. Wiele elementów systemu produkcyjnego Forda zaczerpnęli twórcy systemu produkcyjnego Toyoty (Yamamoto i in., 2019).

System Produkcyjny Toyoty (ang. *Toyota Production System* – TPS) jest systemem opartym na koncepcji szczupłej produkcji, wprowadzonym w fabrykach koncernu Toyota po drugiej wojnie światowej. Twórcą tego systemu jest Taiichi Ohno, a do jego rozwoju przyczynili się również Shigeo Shingo i Eiji Toyoda. Głównym założeniem jest wytwarzanie najwyższej jakości produktów przy możliwie najniższych kosztach w wyniku minimalizacji procesów związanych ze zbędnym magazynowaniem części i produktów, a także na czas, wtedy kiedy dany

produkt jest potrzebny. Dla systemu TPS charakterystyczne jest dążenie do eliminacji 3M, czyli: MUDA (marnotrawstwo), MURA (nieregularność) oraz MURI (nadmierne obciążenie) (Szatkowski, 2014). Na rysunku 5.2 przedstawiono strukturę systemu produkcyjnego Toyoty. Poszczególne komponenty systemu zostały omówione we wcześniejszych rozdziałach pracy. Tutaj przedstawiono jedynie ich podsumowanie.



Rys. 5.2. Struktura systemu produkcyjnego Toyoty

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Liker, 2005).

System TPS opiera się na dwóch podstawowych filarach – *Just in Time* (JiT) oraz Jidoka:

- *Just in Time* – strategia zarządzania zapasami, mająca na celu redukcję poziomu zapasów w całym procesie produkcyjnym dzięki zastosowaniu przepływu ciągłego i systemu ssącego. Strategia JiT przynosi wiele korzyści, takich jak: minimalizacja miejsca magazynowego, zwiększenie produktywności, usprawnienie przepływu materiałów, efektywniejsze wykorzystanie pracowników, co wpływa na redukcję kosztów produkcji. Jest

wspomagana między innymi przez standaryzację pracy, system Kanban, SMED, 5S, zarządzanie wizualne, VSM, TPM (Szatkowski, 2014),

- Jidoka – koncepcja opierająca się na budowaniu wartości u źródła, czyli eliminacji wszystkich czynników obniżających jakość produktu od momentu złożenia zamówienia przez klienta do momentu, w którym klient otrzyma zamówiony produkt. Głównymi założeniami są: kontrola wbudowana w stanowisko pracy, uwidacznianie i rozwiązywanie problemów, odseparowanie człowieka i maszyny. Jidoka jest wspomagana przez takie narzędzia, jak Andon, Poka-Yoke, 5xWhy, diagram Ishikawy (Gutowska, 2020).

Fundamentami Systemu Produkcyjnego Toyoty są: poziomowanie produkcji, stabilizacja i standaryzacja procesów, zarządzanie wizualne oraz filozofia Drogi Toyoty (Żemigła, 2009):

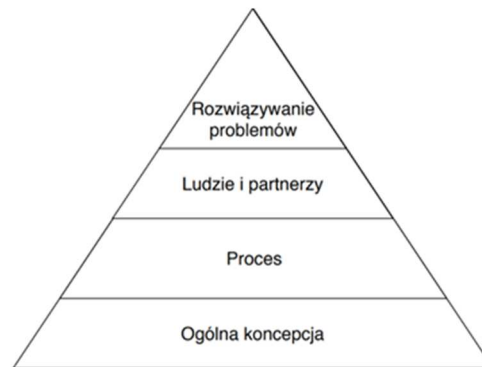
- poziomowanie produkcji (Heijunka) – harmonogramowanie pod względem wielkości i asortymentu wyrobów. Poziomowanie polega na naprzemiennym wytwarzaniu poszczególnych produktów zgodnie z zamówieniami. Wdrożenie tablicy Heijunka zwiększa elastyczność produkcji, redukuje marnotrawstwo, zapewnia równoważenie obciążenia nakładanego na pracowników, dostawców i wyposażenie, a także pozwala na zwiększenie produkcji,
- standaryzacja procesów – podstawowe narzędzie Lean Manufacturing, definiujące pożądaną sekwencję czynności i innych parametrów, które zapewniają optymalny sposób wykonania zadania. Standaryzacja procesów zapewnia produktywność, bezpieczeństwo, stabilność procesu, a także obniżenie kosztów produkcji,
- zarządzanie wizualne (ang. *Visual Management*) – działania zmierzające do przedstawienia w sposób ułatwiający analizę najważniejszych elementów. Zarządzanie wizualne jest stosowane w pięciu podstawowych obszarach: zarządzanie pracownikami, zarządzanie sprzętem, zarządzanie materiałami, zarządzanie metodami, zarządzanie pomiarami,
- filozofia Drogi Toyoty (ang. *The Toyota Way*) – leży u podstawy TPS wraz z 14 zasadami Toyoty, które się z nią wiążą (rys. 5.3).

14 zasad Toyoty mówi o tym, że należy (Żemigła, 2009):

- opierać decyzje w zarządzaniu na dalekosiężnej koncepcji, nawet kosztem krótkoterminowych wyników finansowych,
- stosować wyłącznie niezawodną, dobrze sprawdzoną technologię,
- stosować kontrolę wizualną, aby żaden problem nie pozostał w ukryciu,
- standaryzować zadania, aby zapewnić ciągłą poprawę,
- przerywać pracę, gdy pojawia się problem z jakością (Jidoka),
- wyrównywać obciążenie pracą (Heijunka),
- wykorzystać systemy „ciągnięcia”, aby uniknąć nadprodukcji,
- stworzyć ciągły i płynny proces ujawniania problemów,
- szanować partnerów, rzucać im wyzwania i pomagać im,



- szanować ludzi, dbać o ich rozwój i rzucać im wyzwania,
- wychowywać liderów, którzy żyją ogólną koncepcją firmy,
- podejmować decyzje powoli, w drodze konsensusu i starannie rozważając wszystkie możliwości, szybko wdrażać decyzje (Nemawashi),
- angażować się osobiście, aby gruntownie zrozumieć sytuację (Genchi Genbutsu),
- ciągle uczyć się dzięki Kaizen.



Rys. 5.3. Schemat Droga Toyoty (The Toyota Way)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Żemigąła 2009).

System produkcyjny Toyoty był podstawą budowy innych systemów Lean Manufacturing, a sam ciągle się rozwija.

### Bibliografia

- [1] Gutowska D. (2014), Lean Management, czyli odpowiedni lider na właściwym miejscu. *Przestrzeń, Ekonomia, Społeczeństwo* (5/I), 151-170.
- [2] Liker J.K. (2005), Droga Toyoty. 14 zasad zarządzania wiodącej firmy produkcyjnej świata. MT Biznes, Warszawa.
- [3] Szatkowski K. (2014), Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [4] Yamamoto K., Milstead M., Lloyd R. (2019), A Review of the Development of Lean Manufacturing and Related Lean. The Case of Toyota Production System and Managerial Thinking. *International Management Review*, 15, 2, 21-40.
- [5] Żemigąła M. (2009), Jakość w systemie zarządzania przedsiębiorstwem. Wydawnictwo Placet, Warszawa.

### 5.3. System operacyjny ACE (Marta Wójtowicz)

ACE™ jest systemem, którego pełna nazwa brzmi *Achieving Competitive Excellence – Total Management*. Jest on metodą osiągania konkurencyjnej doskonałości, powstała w 1996 r. (Zakrzewska-Bielawska, 2017). Na system składa się wiele różnych narzędzi, które łącznie tworzą warunki konkurencyjności organizacji. Przedsiębiorstwa w zależności od swoich potrzeb używają różnej liczby tych narzędzi. Przykładem jest firma Pratt & Whitney. Oddział w Rzeszowie



korzysta z 14 narzędzi systemu ACE (pwrze.com), natomiast Pratt & Whitney Niepołomice – już z 13 narzędzi (pwtubes.pl). System ACE został opracowany przez United Technologies Corporation (UTC) i jest praktykowany w całej korporacji. Inna definicja mówi, że ACE to system rodzaju operacyjnego, który działa w każdej jednostce UTC na całym świecie. Dzięki niemu możliwe jest zagwarantowanie takiego samego standardu jakości produktów oraz procesów w każdej fabryce. W swoim działaniu stosuje liczne narzędzia z zakresu Lean Manufacturing. Narzędzia te są uszeregowane zgodnie z konkretnymi kryteriami w protokole certyfikacji. W UTC podstawą Lean Management jest właśnie system operacyjny ACE. Wszystkie narzędzia są innowacyjne, skuteczne oraz zintegrowane. Ponadto mogą one ulegać ewolucji, na co mają wpływ ich określone zastosowania. Warto dodać, że na system ACE składają się trzy zasadnicze elementy. Oprócz narzędzi są to kultura oraz kompetencje. Przez ACE rozumie się również sposób, w jaki poszczególni pracownicy UTC za pomocą narzędzi wykonują swoje obowiązki każdego dnia. Celem stosowania ACE jest wzrost jakości, a także usprawnienie przepływu wartości dla odbiorcy (Sudoł, 2010). Głównym narzędziem tworzącym ACE jest system 6S, który obejmuje swoim działaniem różne techniki nastawione na tworzenie i zachowanie jak najlepszego stanowiska pracy pod względem czystości i jakości. Uznaje się je za narzędzie, które wspiera analizowanie procesów na danym stanowisku pracy. Efektem wdrożenia 6S jest bardzo dobra organizacja tego stanowiska, usunięcie strat, ulepszenie bezpieczeństwa i wyższa jakość. Do najważniejszych czynności należą: zapewnienie bezpieczeństwa, sprzątanie, standaryzacja, systematyka, sortowanie oraz samodyscyplina. Kolejnym narzędziem jest TPM, który za główne cele obiera zwiększenie efektywności wyposażenia oraz rozwój systemu utrzymania ruchu. Takie działanie pozwala na uniknięcie przestojów, usterek i strat. Dzięki temu koszty są redukowane, a proces produkcyjny ulepszony pod względem stabilności i monitoringu. Następnym narzędziem jest Poka-Yoke. Jest to zapobieganie błędom, które wynikają z chwilowego braku koncentracji pracownika lub jego nieuwagi. Stosowane są w tym celu np. sygnały dźwiękowe lub świetlne, które ostrzegają operatora o wystąpieniu błędu. Może być to akcja korekcyjna dla operacji, które wcześniej generowały produkty wadliwe (Zakrzewska-Bielawska, 2017).

Równie ważnym narzędziem jest SMED. Umożliwia on minimalizację czasu związanego z przebrojeniami urządzeń, a dzięki temu maksymalizację czasu efektywnego wykorzystania maszyn. Ostateczną zaletą SMED jest redukcja kosztów. System ACE stosuje również: redukcję marnotrawstwa, czyli działań w procesie produkcyjnym, które nie przynoszą wartości dla klienta, a tylko generują dodatkowe koszty, rozwiązywanie problemów rodzaju jakościowego za pomocą Lean Management, analizę zwrotną rynku (identyfikację klientów oraz ich potrzeb), walidację procesów (pomiary, analiza, optymalizacja), mapowanie procesów. W systemie ACE stosowane są też niejednokrotnie: burza mózgów, macierze decyzyjne, wykres Ishikawy (czyli wykres przyczynowo-skutkowy), wykres Pareto, 5xDlaczego?, karty kontrolne. Można w skrócie uznać, że na ACE składają się więc te narzędzia, które są ważne w tzw. „odchudzaniu” produkcji. Dzięki

stosowaniu wymienionych metod i narzędzi wzrastają możliwości dotyczące spełnienia wymagań klientów, jak też rozwijanie przedsiębiorstwa przez systematyczne inwestowanie (Sudoł, 2010).

System ACE uznaje się za szerszy od podejścia Six Sigma, choć jego celem jest również minimalizacja błędów oraz ulepszenie wydajności poszczególnych procesów. Mimo że system ACE jest szerszy w swoim działaniu, to nie jest tak zorientowany na dane jak Six Sigma. System ACE obraca się wokół trzech podstawowych kategorii. Pierwsza kategoria odnosi się do narzędzi służących do usprawniania procesów i usuwania marnotrawstwa, druga kategoria – do narzędzi decyzyjnych, a trzecia – do narzędzi umożliwiających rozwiązywanie problemów. Dodać trzeba, że narzędzia te mają wpływ na wiele różnorodnych problemów, jednak nie skupiają się tylko na nich. Można więc stwierdzić, że system ACE stanowi pewnego rodzaju połączenie doskonalenia jakości z filozofią Lean Manufacturing (Zimniewicz, 2011).

Filozofia systemu ACE jest nastawiona na identyfikację, usprawnianie procesów, rozwiązywanie powstałych problemów, ale też na podejmowanie decyzji o charakterze strategicznym dzięki wielokrotnemu wykorzystaniu narzędzi i wdrażaniu pozytywnych modyfikacji. System ten posiada trzy filary. Pierwszy z nich stanowi filozofię permanentnego doskonalenia na rynku konkurencyjnym, drugi filar to zbiór narzędzi operacyjnych służących doskonaleniu, trzeci zaś to dysponowanie kompetentnymi i wydajnymi zasobami ludzkimi korzystającymi regularnie z narzędzi ACE. Warto wspomnieć o protokole ACE, którego istotą jest nakierowanie na postęp oraz wdrażanie narzędzi usprawniających. Posiada on cztery główne poziomy, a mianowicie: kwalifikacje (zapoznanie się z narzędziami i programem), brąz (wymaga 60% zaangażowania pracowników oraz wykorzystania narzędzi), srebro (wymaga 80% zaangażowania pracowników, faktycznej satysfakcji klienta i poprawy wyników biznesowych, udokumentowania i usprawnienia wszystkich kluczowych procesów, zdefiniowania satysfakcji pracowników) oraz złoto (100% zaangażowania zasobów ludzkich i najlepsze wyniki) (Zakrzewska-Bielawska, 2017). W pracy (Zakrzewska-Bielawska, 2017) autorka mówi o praktycznym zastosowaniu systemu ACE. W swojej publikacji wspomina, że przedsiębiorstwa chwalą sobie brak zbędnych narzędzi, brak możliwości popełnienia jakiegokolwiek błędu, czy też pomylenia któregoś z elementów. Autorka mówi o tym, że system ACE ma wpływ na lepszą organizację firmy i lepsze wykorzystanie dostępnej przestrzeni. użytym przez nią przykładem jest zastosowanie narzędzi ACE w jednym z warsztatów na linii produkcyjnej. Użycie tych narzędzi poprawiło wizualną stronę linii oraz umożliwiło lepsze jej zorganizowanie. Narzędzia te przysłużyły się również w trakcie procesu wymiany wózków, na te, które spełniają wymogi ergonomiczne i posiadają wysuwane szuflady. Kolejnym przykładem jest wymiana suwnic na manipulatory, warunkujące o wiele sprawniejszą i szybszą pracę. Według autorki wiele firm twierdzi, że system ACE powoduje większe zaangażowanie pracowników w doskonalenie jakości produktów, które są wytwarzane, a funkcjonowanie przedsiębiorstwa jest dużo lepsze na każdym szczeblu organizacyjnym (Zakrzewska-Bielawska, 2017).



System operacyjny ACE jest stosowany w wielu przedsiębiorstwach. Przykładem jest Collins Aerospace – Microtecnica. Za główne cele zespół powołany do wdrożenia tego systemu przyjął poprawę systemów produkcji i montażu oraz poprawę MRO (ang. *Maintenance, Repair and Overhaul*), minimalizację marnotrawstwa oraz szkolenie przez ludzi, którzy mają ogólne spojrzenie na problemy zachodzące na terenie ich zakładu (Viaro, 2020).

W przedsiębiorstwie Pratt & Whitney's Turbine Module Center (TMC) również stosuje się system ACE. TMC była jednym z 12 zakładów Pratt & Whitney, gdzie wykorzystywano ten system. Dzięki zastosowaniu systemu osiągnięto dużą poprawę jakości wyrobów, większą terminowość dostaw, znacząco zwiększyło się również zadowolenie klienta. Po wprowadzeniu systemu *Achieving Competitive Excellence* zaobserwowano także zwiększenie zadowolenia wśród pracowników, a co za tym idzie – znacznie wzrosła wydajność (Roth i Rebentisch, 2019).

Reasumując, system ACE pozwala firmom na definiowanie, a następnie spełnianie oczekiwań nabywców, zarówno tych zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Ponadto umożliwia ulepszanie i standaryzowanie procesów, rozwiązywanie trudności, redukowanie produkcyjnego cyklu, wizualizowanie miejsca pracy, prowadzenie działań o charakterze prewencyjnym. Duże znaczenie przywiązuje się do optymalizacji i usprawnień produktywności, ogólnej wizualizacji środowiska pracy, tak by łatwiej można było identyfikować dostępność narzędzi oraz miejsc, jak również do kontrolowania sytuacji wywołujących przerwy w pracy, czy informowania na bieżąco o statusach. Problemy natomiast traktuje się jako źródła bardzo istotnego edukacyjnego potencjału (Bednarek, 2012).

## Bibliografia

- [1] ACE. Dostępne na: <https://pwrze.com/systemy-zarzadzania/ace> (dostęp: 29.01.2021).
- [2] Bednarek M. (2012), *Doskonalenie systemów zarządzania*. Difin, Warszawa.
- [3] Lean Management. Dostępne na: <http://pwtubes.pl/en/jak-pracujemy/lean-management/> (dostęp: 29.01.2021).
- [4] Roth G., Rebentisch E. (2019), *ACE in engineering: Pratt & Whitney Turbine Module Center Engineering*. Dostępne na: [http://oastats.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/122043/Roth\\_TMC%20Case%20Study%20Summary\\_20130515.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://oastats.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/122043/Roth_TMC%20Case%20Study%20Summary_20130515.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (dostęp: 16.01.2021).
- [5] Sudoł S. (2010), *Nauki o zarządzaniu. Węzłowe problemy i kontrowersje*. TNOiK, Toruń.
- [6] Viaro L.M. (2020), *Achieving Competitive Excellence Application of Lean Principles in the Aerospace MRO*. Diss. Politecnico di Torino.
- [7] Zakrzewska-Bielawska A. (2017), *Podstawy zarządzania. Teoria i ćwiczenia*. Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa.
- [8] Zimmiewicz K. (2011), *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*. PWE, Warszawa.

## 5.4. World Class Manufacturing – WCM (Dominika Zaforemska)

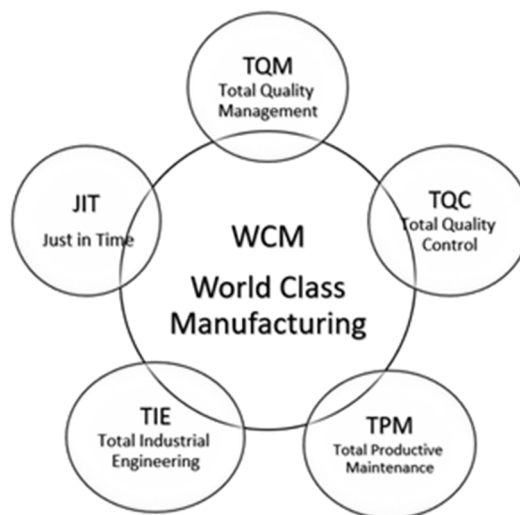
System WCM (ang. *World Class Manufacturing*), czyli Produkcja Klasy Światowej, jest to zintegrowany system zarządzania opracowany przez koncern Fiata oraz firmy partnerskie w 2005 r. System ten ma na celu osiągnięcie bezpiecz-

nej i zrównoważonej produkcji, eliminując jednocześnie wszelkie straty, defekty, awarie oraz wypadki. Głównym założeniem jest ciągłe doskonalenie systemu organizacyjnego przedsiębiorstwa w dążeniu do osiągnięcia światowego poziomu konkurencyjności.

Założenie to jest możliwe do spełnienia przy realizacji podstawowych celów metody WCM, jakimi są (Staneki in., 2011; Piasecka-Gluszak 2017):

- maksymalizacja wyników procesów produkcyjnych przy jednoczesnym uwzględnianiu programów produkcyjnych i logistycznych oraz ustalonych celów jakościowych,
- ukierunkowanie systemu produkcyjnego na wzmocnienie pozycji konkurencyjnej całego przedsiębiorstwa,
- poszerzenie kompetencji i wiedzy personelu z zakresu rozwiązywania problemów produkcyjnych z wykorzystaniem technik i narzędzi WCM, takich jak: Poka-Yoke, narzędzia 5S, 5Why, diagram Ishikawy, SMED, czy też Kaizen.

Ogół systemu WCM opiera się na filozofii Lean Manufacturing, a dokładniej na kilku fundamentalnych założeniach przedstawionych na rys. 5.4, bez których wdrożenie systemu będzie nieefektywne.



Rys. 5.4. Założenia WCM – World Class Manufacturing

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Rosak-Szyrocka i in., 2017).

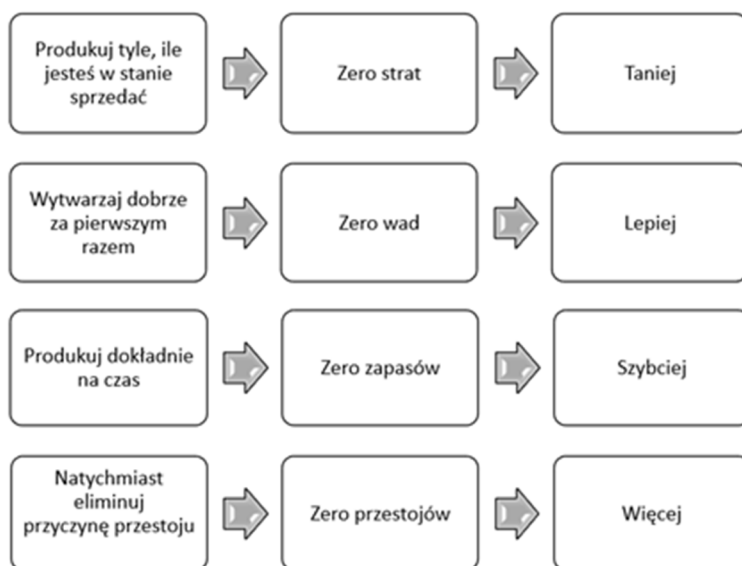
Opieranie się na przedstawionych założeniach oraz wykorzystywanie technik i narzędzi systemu WCM w zarządzaniu przedsiębiorstwem gwarantuje zwiększenie nie tylko konkurencyjności, ale również zyskowności firmy na rynku. Powszechnie wiadomo, że zysk stanowi dla przedsiębiorstwa podstawę jego funkcjonowania, dlatego tak ważne jest skrupulatne, nieprzerwane wdrażanie i ulepszanie systemu WCM (Rosak-Szyrocka i in., 2017).

Produktowanie w światowej klasie opiera się na wytycznych wyrażonych w czterech prostych słowach: szybciej, więcej, lepiej, taniej. Dążąc do spełnienia

tych wytycznych, konieczne jest nieustanne kierowanie się tzw. koncepcją zera (zero strat, wad, zapasów i przestoju) oraz realizacja czterech postulatów z zakresu wytwarzania (Rosak-Szyrocka i in., 2017):

1. Produkuj tyle, ile jesteś w stanie sprzedać,
2. Wytwarzaj dobrze za pierwszym razem,
3. Produkuj dokładnie na czas,
4. Natychmiast eliminuj przyczynę przestoju.

Na rysunku 5.5 przedstawiono w formie graficznej wpływ realizacji postulatów na koncepcję zer oraz wytyczne systemu WCM.

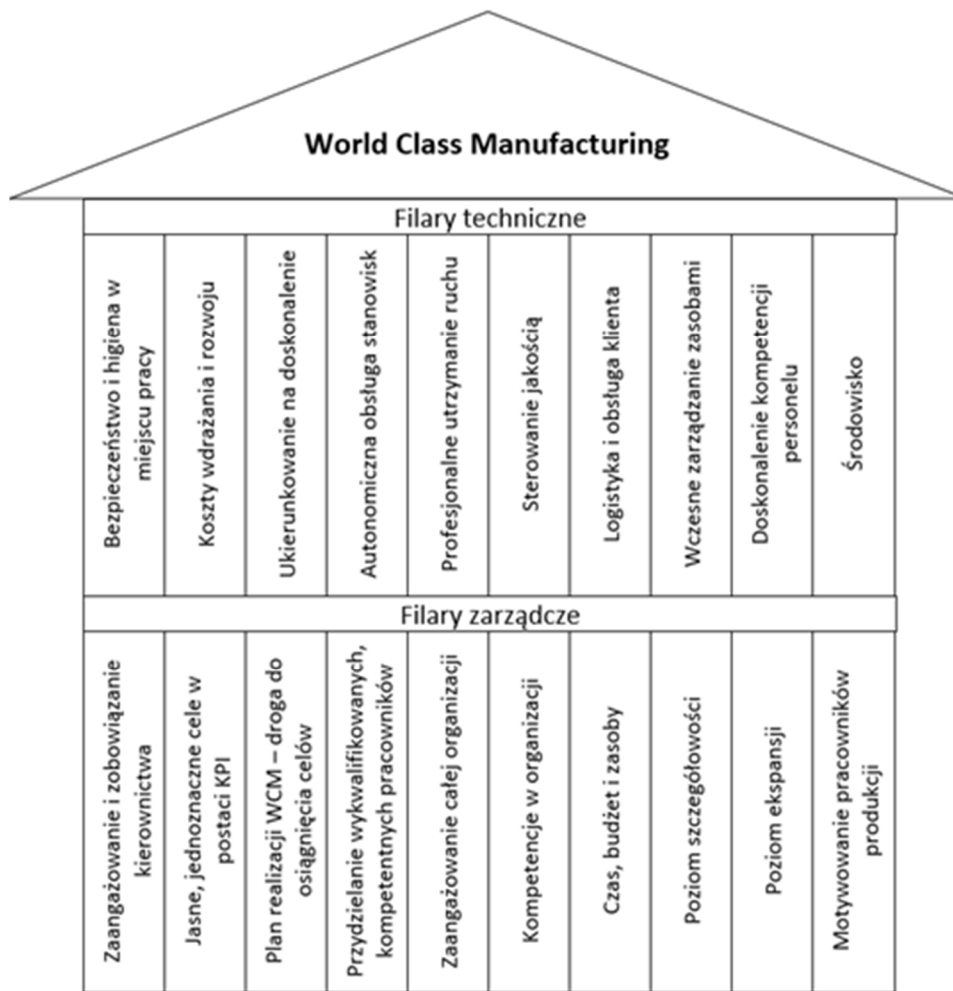


Rys. 5.5. Zależności między postulatami, koncepcją zer oraz wytycznymi systemu WCM

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Rosak-Szyrocka i in., 2017).

Kompleksowe oraz efektywne wdrożenie systemu WCM to proces długofalowy i sformalizowany. Jak podkreślono w pracy (Piasecka-Głuszak, 2017), proces ten nie jest projektem zawartym w skończonym przedziale czasu oraz ściśle określonym przez harmonogram. Jest to program trwający przez cały okres funkcjonowania przedsiębiorstwa, nieposiadający definitywnie ustalonego końca. Wdrażanie systemu WCM polega na współpracy dwóch rodzajów filarów: technicznych oraz zarządczych. Filary te zostały przedstawione na rys. 5.6. Pierwsze – techniczne dotyczą procesów wytwarzania, natomiast zarządcze stanowią zbiór wytycznych mających za zadanie wspierać oraz ułatwiać implementację filarów technicznych (Piasecka-Głuszak, 2017).





Rys. 5.6. Filary WCM

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Hall, na.eventscloud.com).

Filar I: Bezpieczeństwo i higiena w miejscu pracy – upowszechnienie kultury bezpieczeństwa we wszystkich obszarach przedsiębiorstwa, zmierzające do poprawy środowiska pracy oraz eliminacji warunków stwarzających ryzyko wystąpienia wszelkich zdarzeń niebezpiecznych. Filar ten opiera się na normie PN-ISO 45001:2018-06.

Filar II: Koszty wdrażania i rozwoju – realizacja działań mających wpływ na redukcję strat, marnotrawstwa oraz wszelkich czynności nieuczestniczących w tworzeniu wartości dodanej. Program redukcji kosztów polega na ciągłej analizie wszystkich procesów w przedsiębiorstwie pod kątem zużycia zasobów, pracochłonności oraz uzyskania oszczędności.





Filar III: Ukierunkowanie na doskonalenie – gromadzenie i dostarczanie wiedzy, metod oraz technik niezbędnych do rozwiązywania problemów produkcyjnych i realizacji koncepcji zera. W ramach działań wykorzystuje się m.in. podejście PDCA (ang. *Plan-Do-Check-Act*), co oznacza Zaplanuj-Wykonaj-Sprawdź-Działaj.

Filar IV: Autonomiczna obsługa stanowisk – system WCM obejmuje dwa obszary działań w tym zakresie: autonomiczne utrzymanie linii produkcyjnych oraz autonomiczną obsługę stanowisk, na których prace są wykonywane ręcznie lub w sposób półautomatyczny. Celem tego filaru jest zapobieganie występowaniu przestojów, będących skutkiem usterek oraz awarii wynikających z niewłaściwego utrzymania parku maszyn i urządzeń. Autonomiczne utrzymanie stanowisk opiera się na wykorzystaniu kompetencji operatorów oraz zaangażowaniu ich do wykonywania podstawowych czynności eksploatacyjnych, takich jak: kontrola wizualna stanowiska pracy, utrzymanie czystości, kontrola stanu płynów, olejów oraz uzupełnianie ich itp.

Filar V: Profesjonalne utrzymanie ruchu – podejmowanie działań opartych na koncepcji TPM, mających na celu redukcję usterek oraz przestojów maszyn, co w efekcie wpłynie na wydłużenie żywotności maszyn i urządzeń.

Filar VI: Sterowanie jakością – jeden z najważniejszych filarów – maksymalna redukcja wad występujących w produkcji dzięki doskonaleniu procesów. Implementacja tego filaru przynosi przedsiębiorstwu bardzo dużo korzyści, m.in. poprawę wizerunku organizacji, wzrost konkurencyjności organizacji, redukcję kosztów związanych z brakami oraz reklamacjami, wzrost satysfakcji klientów. Filar ten opiera się przede wszystkim na systemie zarządzania jakością zgodnym z normą PN-EN ISO 9001:2015-10.

Filar VII: Logistyka i obsługa klienta – celem logistyki jest ukierunkowanie na wdrożenie metody JiT (ang. *Just in Time*) wpływającej na redukcję pracy w toku oraz obniżenie poziomu zapasów w procesach produkcyjnych i magazynowych. Obsługa klienta opiera się natomiast na analizie oraz doskonaleniu relacji między przedsiębiorstwem a klientem zarówno zewnętrznym, jak i wewnętrznym.

Filar VIII: Wczesne zarządzanie zasobami – filar opiera się na ścisłej współpracy pomiędzy producentami maszyn, urządzeń, wyrobów oraz pracownikami produkcji. Już na początkowym etapie projektowania nowego stanowiska, gniazda lub też linii produkcyjnej opracowywany jest sposób diagnozowania maszyn przez operatorów, planowana jest bieżąca obsługa, a także utrzymanie i eksploatawanie parku maszyn i urządzeń. Wyposażenie stanowiska dobierane jest w taki sposób, aby możliwe było jak najprostsze autonomiczne jego utrzymanie.

Filar IX: Doskonalenie kompetencji personelu – wdrożenie systemu rozwoju kompetencji personelu, opartego na zasadach zarządzania zasobami ludzkimi, nieustannej identyfikacji luk kompetencyjnych oraz realizacji szkoleń i kursów w celu ich niwelowania.

Filar X: Środowisko – bardzo ważny filar, mający na celu zapewnienie przestrzegania przez przedsiębiorstwo norm zarządzania środowiskowego. Skupia się na redukcji negatywnego oddziaływania procesów produkcyjnych na środowisko,

zmniejszeniu marnotrawstwa zasobów naturalnych i energii (D’Orazio i in., 2020; Pałucha, 2012; Rosak-Szyrocka i in., 2017).

Wokół tych filarów skupione są wszelkie działania prowadzące w efekcie do uzyskania wielu wymiernych korzyści wewnątrz organizacji. Przedstawiono je na rys. 5.7.



Rys. 5.7. Korzyści z wdrożenia systemu WCM

Źródło: Opracowanie własne.

W systemie WCM wszystko dzieje się za sprawą aktywnego udziału całego personelu przedsiębiorstwa. Osiągnięcie produkcji na poziomie światowej klasy jest bardzo trudnym do zrealizowania celem, wymagającym wytrwałości oraz samodyscypliny każdego z pracowników: od kierowników i dyrektorów organizacji po pracowników produkcyjnych i fizycznych. WCM tworzą ludzie i to właśnie ich kompetencje powinny być rozwijane i doskonalone.

## Bibliografia

- [1] D’Orazio L., Messina R., Schiraldi M.M. (2020), Industry 4.0 and World Class Manufacturing Integration: 100 Technologies for a WCM-I4. 0 Matrix. Applied Sciences, 10(14), 4942.
- [2] Hall J., The development of World Class Manufacturing. Dostępne na: [https://na.eventscloud.com/file\\_uploads/699a26fdccb3bfaab7649d721698fc0\\_02\\_how-to-apply\\_WCM.pdf](https://na.eventscloud.com/file_uploads/699a26fdccb3bfaab7649d721698fc0_02_how-to-apply_WCM.pdf) (dostęp: 29.01.2021).
- [3] Pałucha K. (2012), World Class Manufacturing model in production management. Archives of Material Science and Engineering, 58(2), 227-234.
- [4] Piasecka-Głuszak A. (2017), Implementacja world class manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym na rynku polskim. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.



- [5] PN-ISO 45001:2018-06. Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy – Wymagania i wytyczne stosowania.
- [6] PN-EN ISO 9001:2015-10. Systemy zarządzania jakością – Wymagania.
- [7] Rosak-Szyrocka J., Krynke M., Knop K. (2017), Doskonalenie przedsiębiorstw w aspekcie czystszej produkcji i zrównoważonego rozwoju. Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Jakości i Produkcji, Częstochowa.
- [8] Stanek K., Czech P., Barcik J. (2011), Metodologia World Class Manufacturing (WCM) w fabryce Fiat auto Poland S.A., Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport, 71.

## 5.5. System Lean Manufacturing w firmie produkcyjnej Borg Warner Cooling Systems (Marta Rejman)

Należy podkreślić, że Lean Manufacturing to taka filozofia zarządzania produkcją, która minimalizuje marnotrawstwo przy niezmiennym poziomie jakości (Yadaw i in., 2020). Efekty zrównoważonego zarządzania oraz minimalizacji marnotrawstwa zadziwiają największe światowe przedsiębiorstwa (Bartos, 2010). Systemy Lean Manufacturing są w tym celu pomocne. Firmą, która wdrożyła ideologię Lean Manufacturing jest m.in. Borg Warner Cooling Systems – jedna z czołowych firm sektora motoryzacyjnego.

Przedsiębiorstwo Borg Warner Cooling Systems to część amerykańskiego koncernu – dostawcy w obrębie sektora motoryzacyjnego, posiadającego 60 firm ulokowanych w 19 krajach. Opisany system jest wdrożony w zakładzie zajmującym się seryjną produkcją systemów chłodzenia silników zarówno dla samochodów, jak i dla specjalistycznego sprzętu budowlanego, a także dla maszyn rolniczych. Liczba zatrudnionych to obecnie około 320 osób. Jednym z najpoważniejszych problemów występujących przed wdrożeniem systemu Lean Manufacturing w przedsiębiorstwie była niska wydajność produkcji spowodowana takimi czynnikami, jak (Unzueta i in., 2020):

- brak wystarczająco dokładnych pomiarów wskaźnika OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*),
- zarządzanie w sposób zdalny i nieefektywny procesami produkcji, szczególnie ze strony menedżerów,
- brak dokładnych informacji o występujących problemach technicznych w czasie rzeczywistym w różnych jednostkach zakładu,
- brak odpowiedniej synchronizacji działań, np. pomiędzy halą produkcyjną a działem administracji,
- niska kultura CIP (ang. *Continuous Improvement Process*) lub jej brak, czyli mały wysiłek ukierunkowany na nieustanne podnoszenie jakości procesów, produktów oraz usług.

Efektom tych problemów były straty w postaci nieekonomicznego wykorzystania zasobów ludzkich, energii oraz czasu, co przełożyło się na znaczne straty finansowe. Celem głównym wprowadzenia Lean Manufacturing stało się więc intensywne dążenie do stworzenia bardziej efektywnej produkcji przez: synchroni-

zacje Lean Manufacturing z produkcją, a także zmiany w takich obszarach, jak: narzędziowy, metod i procedur oraz organizacyjny.

Za jeden z najistotniejszych czynników doskonalenia uznano precyzyjne pomiary procesów. W celu uzyskania jak największej ilości danych liczbowych w Borg Warner wdrożono oprogramowanie *Factory FrameWork*, które dla analizowanej firmy kompleksowo i systematycznie przesyła i analizuje dane operacyjne z około 40 maszyn. System monitoruje wybrane procesy oraz przechowuje ich istotne parametry, takie jak przykładowo: temperatura, moc czy ciśnienie w celu kontynuacji automatycznego przetwarzania. Oprócz tego moduł przetwarzania danych posiada elementy identyfikowalności (ang. *Traceability*). Za pomocą tej funkcji możliwe jest wyświetlanie informacji o produkcie, takich jak: jaki półwyrob/produkt, kiedy, gdzie i przez jakiego pracownika został wyprodukowany, magazynowany oraz wysłany. Ponadto *Factory FrameWork* łączy dane pochodzące z hali produkcyjnej z korporacyjnym systemem zintegrowanego planowania SAP ERP, tworząc w ten sposób istotne wskazówki dotyczące głównie zamówień lub zasobów. Dzięki tak zorganizowanemu monitoringowi, który umożliwia wizualizację danych zebranych z produkcji w trybie online, można z łatwością zobaczyć wszystkie słabe punkty produkcji w Borg Warner (np. błędy techniczne, zarządzania i logistyczne). Zebrane dane, precyzyjnie analizowane przez system, umożliwiły poprawę procedur oraz procesów, które obecnie są ulepszane systematycznie. Rezultatem monitoringu są dokładne, wiarygodne i porównywalne dane w aspekcie wydajnościowym, dotyczące cyklu życia, jakości oraz szybkości działania maszyn, systemów i fabryki. Niemiecki producent dostaje więc informację najważniejszą – rzeczywisty wskaźnik OEE. Obliczanie wskaźnika OEE opiera się na określeniu trzech fundamentalnych parametrów produkcyjnych. Są one monitorowane i analizowane w czasie rzeczywistym, a są nimi: dostępność (Ile czasu może zostać przeznaczona na produkcję?), wydajność (Jak szybko firma produkuje?), jakość (Jak dobrze przedsiębiorstwo produkowało?). Opierając się na tych danych, obliczono, że produktywność w zakładzie Borg Warner Cooling Systems zwiększyła się o 4,3% w czasie zaledwie sześciu miesięcy od rozpoczęcia wdrażania systemu Lean Manufacturing.

Wszyscy zatrudnieni są permanentnie włączani w proces optymalizacji poziomu wydajności na ich odcinku procesu produkcyjnego. Każda osoba biorąca udział w tworzeniu produktu w Borg Warner Cooling Systems posiada kluczowe dla odpowiedniego procesu dane, umożliwiające jak najszybszą reakcję i wprowadzenie działań korekcyjnych. Dla liderów produkcji są zbierane rzeczywiste dane dotyczące ich zmiany produkcyjnej (wyświetlane są one w sposób graficzny oraz tabelaryczny). Umożliwia to jasny przegląd wszystkich obszarów produkcji, przestoju oraz zakłóceń. Planista otrzymuje pomoc w postaci informacji na temat opóźnień i zakłóceń w produkcji oraz dane powiązane z kalkulacją kosztu wytwarzanego produktu, analizę porównawczą obranego celu ze stanem rzeczywistym czy wskaźniki dotyczące czasów produkcji i przebrojeń. Dzięki takiej organizacji można szczegółowo zaplanować na przykład skrócenie cyklu pracy, czasy przestoju, przebrojeń oraz napraw. Prowadzi to do skutecznego wykorzystania mocy



produkcyjnej w firmie. Sektor utrzymania ruchu posiada natomiast dane na temat awarii w postaci graficznego zestawienia danych, np. diagram Pareto. Właśnie dla tego działu udostępnione jest szczegółowe i siedmiostopniowe pogrupowanie problemów dotyczących awarii. Dzięki połączeniu oprogramowania Forcam z SAP ERP wszyscy zatrudnieni w Borg Warner otrzymują także graficzne dane w czasie rzeczywistym na temat zleceń produkcyjnych, operacji i zbierania danych z maszyn. Zakupione oprogramowanie potrafi wykonać mapowanie kodów błędów: dane o przestojach są gromadzone samodzielnie oraz bezpośrednio z kontrolera maszyny, możliwe jest także wprowadzanie danych przez operatora z użyciem specjalnego terminala (Worker-Client). Na wprowadzeniu zmian zyskała też kadra kierownicza. Osoby zarządzające mają bowiem ciągły dostęp do sprawozdań oraz analiz porównawczych opierających się na wskaźnikach operacyjnych i dotyczących wszystkich maszyn, dzięki czemu nieefektywne planowanie jest bardzo łatwo zauważalne. Pracownicy zostali również przeszkoleni przez specjalistów z Forcam w zakresie kreowania i rozwijania w organizacji kultury ciągłego doskonalenia. Należy także pamiętać, że reorganizacja firmy w kierunku Lean Manufacturing jest procesem ciągłym, wymagającym głównie systematycznego doskonalenia. W firmie Borg Warner wdrożono model zarządzania top-down, który polega na tym, że wszystkie stanowiska produkcyjne są w sposób ciągły wspierane przez zaawansowaną technologię zarządzania produkcją (ang. *Special Filters Manufacturing* – SFM).

Dzięki implementacji filozofii Lean Manufacturing spełniono wszystkie założone cele jakościowe. Po pierwsze uzyskano precyzyjny pomiar kluczowych wskaźników, np. rzeczywisty wskaźnik OEE. Implementacja oprogramowania *Factory FrameWork* pozwoliła także na zsynchronizowanie działania odbywającego się pomiędzy halą produkcyjną a administracją (system ERP). Dzięki temu nastąpiła całkowita integracja danych: zaczynając od maszyn, zleceń produkcyjnych oraz zasobów, a finalizując na personelu (pracownicy i zarząd). Zmieniony został także model komunikacji. Z zarządzania w sposób zdalny niemiecki Borg Warner przeszedł na model CIP, który angażuje wszystkie zatrudnione osoby odpowiedzialne za proces produkcji. To z kolei pozwoliło na redukcję opóźnień spowodowanych m.in. nieefektywnym obiegiem informacji. Przed wdrożeniem obowiązywała głównie komunikacja e-mail, telefoniczna oraz papierowa. Po wprowadzeniu zmian wszystkie informacje są wyświetlane online, przy użyciu oprogramowania *Forcam FrameWork*. Wszelkie informacje są dostępne dla wszystkich uczestników procesu CIP. Wyższe kierownictwo posiada rozbudowaną wiedzę o procesach produkcji, dzięki czemu podejmowanie kluczowych decyzji nie zajmuje dużo czasu.

W przedsiębiorstwie Borg Warner Cooling Systems udało się uzyskać wysoką przejrzystość realizacji wszystkich zleceń produkcyjnych oraz cykli pracy maszyn. Problemy na tle produkcyjnym są bardzo szybko rozpoznawalne i poddawane analizie. W firmie rozwijana jest kultura CIP. Ogólna efektywność fabryki podlega pomiarom i jest doskonała w trybie ciągłym. Umożliwia to nieustanne

podnoszenie produktywności przedsiębiorstwa oraz wzrost poziomu konkurencyjności na międzynarodowym rynku dostawców w branży motoryzacyjnej.

Dzięki tak skutecznej implementacji w Niemczech na wdrożenie technologii Forcam zdecydowała się także fabryka Borg Warner Turbostystem zlokalizowana w Rzeszowie (Lebitko, 2020).

## Bibliografia

- [1] Bartos K. (2010), Teoretyczne podstawy koncepcji lean manufacturing i jej wybrane narzędzia. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- [2] Gunyan Yadaw (2020), Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies. Journal of Cleaner Production, vol. 245, 1 February, 118726.
- [3] Lebitko T. (2020), Lean Manufacturing przepis na sukces. Dostępne na: [http://www.industrial-monitor.pl/studia-przypadkow/334-lean-manufacturing-przepis-na-sukces?fbclid=IwAR3c12ACRBjB4N1GoPvkP2mHIOz\\_FCSc5rfIBk41A7y6ER4NUs6-3O2ehHc](http://www.industrial-monitor.pl/studia-przypadkow/334-lean-manufacturing-przepis-na-sukces?fbclid=IwAR3c12ACRBjB4N1GoPvkP2mHIOz_FCSc5rfIBk41A7y6ER4NUs6-3O2ehHc) (dostęp: 21.01.2021).
- [4] Unzueta G., Esnaola A., Eguren J.A. (2020), Continuous improvement framework to develop cultural change: case study, capital goods company. The TQM Journal.

## 5.6. Compliance Management System – CMS (Gabriela Ziomek)

*Compliance Management System* (CMS) jest to system zarządzania zgodnością w organizacji. Celem wdrożenia, a następnie utrzymania go w przedsiębiorstwie jest zmniejszenie ryzyka powstania niepożądanego sytuacji, mogącej narazić organizację na konsekwencje z podejmowania decyzji niezgodnych z obowiązującymi przepisami prawa. Służy on również do minimalizacji szkód i błędów, a także zapobieganiu przestępstwom, które mogą mieć miejsce podczas wykonywanych procesów. Norma ISO 19600 (ISO 19600:2019-03) określa wytyczne w zakresie tworzenia, implementacji i zapewnienia efektywności systemów zarządzania zgodnością ([instytutcompliance.pl](http://instytutcompliance.pl)). Pomaga ona pracownikom w całym przedsiębiorstwie w funkcjonowaniu zgodnie z obowiązującymi zasadami. Prawidłowo wdrożony system zarządzania zgodnością powinien zagwarantować, że wszystkie zainteresowane osoby, czyli: kadra pracowników, współpracownicy, kontrahenci, a także kadra kierownicza, powinny w odpowiednim zakresie znać niezbędne procedury oraz potrafić je zastosować w praktyce (Jurasz i in., 2019).

CMS jest przeznaczony dla wszystkich organizacji, niezależnie od ich wielkości. Odpowiedni system zarządzania zgodnością powinien móc obejmować każdy obszar funkcjonujący w przedsiębiorstwie: od sprzedaży, przez operacje produkcyjne, aż po administrację. W celu tworzenia oraz zapewnienia skutecznego funkcjonowania CMS powinny zostać spełnione następujące zasady (ISO 19600:2019-03):

- proporcjonalność,
- dobre zarządzanie,
- uniwersalność,
- długofalowość,





- transparentcja,
- elastyczność.

*Compliance* oznacza zgodność – zarówno z zakresem przepisów prawnych, które stale ulegają zmianie, jak i z podstawowymi zasadami etycznymi, istniejącymi normami, standardami oraz oczekiwaniami społeczeństwa. Technologia informacyjna wykorzystująca coraz to nowsze systemy informatyczne jest bardzo istotnym obszarem, służącym gromadzeniu danych w celu efektywnego i wydajnego ich wykorzystywania (Kim, 2020). Norma ISO 19600 zaleca, aby system zgodności był zintegrowany z istniejącymi w organizacji systemami zarządzania, czyli przykładowo z istniejącym systemem zarządzania ryzykiem. Najistotniejsze w ujęciu wspomnianej normy jest założenie długofalowej kultury zapewnienia zgodności w organizacji. Podstawą modelu CMS są trzy zasadnicze ogólne modele, które zostały połączone w celu utworzenia modelu CMS. Są to (instytutcompliance.pl):

- system zarządzania ryzykiem (ang. *Risk Management System*),
- struktura systemu zarządzania (ang. *High Level Structure*),
- model ciągłego ulepszania (ang. *PDCA-Model*).

W celu wdrożenia CMS w organizacji należy skonstruować założenia systemu zarządzania zgodnością na podstawie analizy działalności biznesowych, operacyjnych celów, a także dokumentów wewnętrznych przedsiębiorstwa. Rezultat przeprowadzonej analizy pozwala na stworzenie kompletnej macierzy zgodności oraz wprowadzenie systemu zgodności w organizacji dopasowanego do branży oraz skali jej działalności (Compliance, justcomply.pl).

Można wyróżnić cztery główne etapy wdrożenia CMS (Compliance, justcomply.pl):

Etap I – Analiza stanu faktycznego organizacji.

Etap II – Stworzenie mapy ryzyka.

Etap III – Opracowanie wymagań wewnętrznych systemu zapewnienia zgodności.

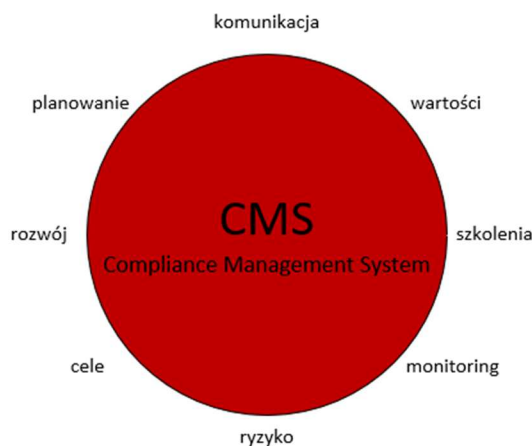
Etap IV – Audyt efektywnego działania systemu zapewnienia zgodności.

W celu odpowiedniego wdrożenia systemu zgodności oraz utrzymania go na należytych poziomach muszą zostać odpowiednio przeanalizowane elementy, które składają się na główne etapy CMS. Zostały one przedstawione na rys. 5.8.

Podstawowymi korzyściami z wdrożenia systemu zarządzania zgodnością są (Compliance, justcomply.pl):

- zmniejszenie występowania ryzyka w organizacji,
- zabezpieczenie danych poufnych,
- ograniczenie niepotrzebnych kosztów,
- zwiększenie atrakcyjności wizerunku przedsiębiorstwa z perspektywy klientów i kontrahentów,
- ułatwienie pracy pracownikom,
- ciągłe doskonalenie.





Rys. 5.8. Graf przedstawiający elementy systemu zapewnienia zgodności

Źródło: Opracowanie własne.

W obecnych czasach system zapewnienia zgodności stał się bardzo popularny i efektywny. Pomaga on monitorować działalność przedsiębiorstwa, wykrywać zagrożenia i minimalizować ryzyko wystąpienia błędów w przyszłości, przez gromadzenie danych. Umożliwia to spójne identyfikowanie niezgodności, wobec których są podejmowane następnie działania doskonalące (Visser, 2003). Skuteczne wdrożenie procedur zapewnienia zgodności pomaga uzyskać atrakcyjny wizerunek przedsiębiorstwa dla potencjalnych klientów, a także ułatwia pracę wszystkim pracownikom organizacji. CMS to zbiór środków i zasad wprowadzonych przez przedstawicieli prawnych przedsiębiorstwa, przez określone cele pomagających w osiągnięciu zgodności wszystkim pracownikom organizacji. W wypadku ewentualnych problemów spółki na tle sądowym, wdrożony CMS świadczy o jej należytej staranności w dbaniu o zarządzanie zgodnością w przedsiębiorstwie (Remmerbach i Krumme, 2020).

## Bibliografia

- [1] Compliance. Dostępne na: [justcomply.pl/pl/compliance-2](http://justcomply.pl/pl/compliance-2) (dostęp: 06.11.2020).
- [2] Jurasz J., Kaczała B., Kamińska-Kiempa K., Napiórkowski Ł., Paryś W. (2019), Compliance w firmie – poradnik dla małych i średnich przedsiębiorców, PARP.
- [3] Kim S.S. (2020), The ‘Relatedness’ Perspective in Compliance Management of Multi-business Firms. *Asia Pacific Journal of Information Systems*, 30(2), 353-373.
- [4] Norma ISO 19600:2019-03 – System zarządzania zgodnością.
- [5] Remmerbach K.U., Krumme R. (2020), The effectiveness of compliance management systems. University of Applied Sciences.
- [6] Visser R. (2003), Publikacja zgłoszenia patentowego: System Zarządzania Zgodnością. USA. Dostępne na: [patentimages.storage.googleapis.com/21/d2/ac/b6b701376a30c3/US20030153991A1.pdf](https://patentimages.storage.googleapis.com/21/d2/ac/b6b701376a30c3/US20030153991A1.pdf) (dostęp: 28.12.2020).





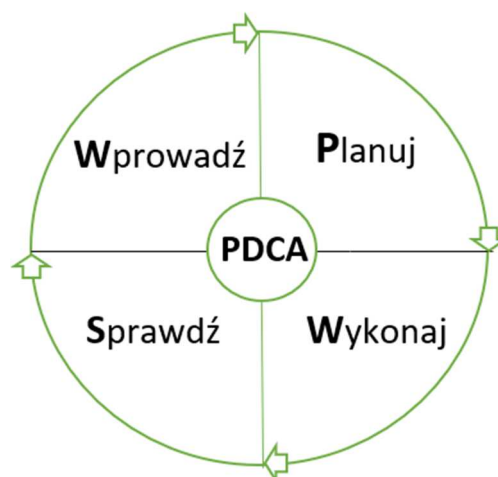
## Rozdział 6.

# Doskonalenie w systemach Lean Manufacturing

### 6.1. PDCA (Małgorzata Czachor)

Koło Deminga nie zostało zaproponowane przez Deminga, lecz opiera się na filozoficznej pracy Francisca Bacona „Novum Organum”. Opublikowana w 1620 r. praca określała, że wszystkie pomysły mogą być realizowane w trzech krokach (hipoteza–eksperyment–ocena). Deming skorzystał z tych trzech kroków i dołożył „Act”, powstało więc słynne „Plan-Do-Check-Act”. W języku polskim PDCA oznacza planowanie, wykonanie, sprawdzenie i działanie. PDCA jest stosowane w większości korporacji na świecie. Najczęściej znajduje zastosowanie w organizacjach, które opierają się na filozofii ciągłego doskonalenia. Stosowane jest do znajdowania usprawnień, zarządzania projektami lub wdrażania nowych procesów (Mydlarz, 2018).

Doskonalenie dotyczy doskonalenia produktów i działań, co przynosi korzyści zarówno dla organizacji, jak i dla klienta. PDCA (rys. 6.1) to tak zwany cykl doskonalenia (Hamrol, 2013).



Rys. 6.1. Cykl Deminga

Źródło: Opracowanie własne.

Poszczególne segmenty okręgu PDCA oznaczają (Łunarski, 2012):

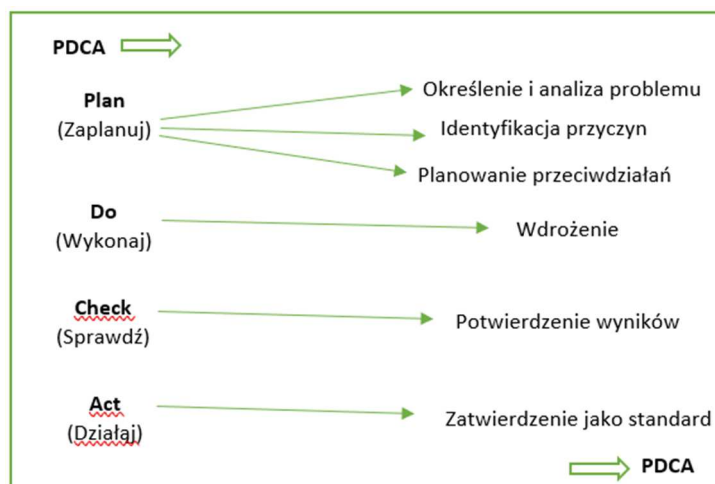
- **Planuj (P):** W celu zaplanowania usprawnień należy poznać dokładnie cały proces: jaki jest stan obecny, a jaki stan chce się uzyskać. Należy wyznaczyć zadania i cele, opierając się na strategii organizacji. Zadania te muszą być jasno sprecyzowane, konkretne, przydzielone do odpowiednich

osób i mają posiadać terminy realizacji. W tym etapie często jest stosowany diagram Pareto, diagram przyczynowo-skutkowy do określania sposobów realizacji zadań i osiągnięcia celów.

- **Wykonaj (D):** W tym etapie należy przeprowadzić szkolenie i przygotować kadry do realizacji zadań. Gdy personel jest dobrze przeszkolony i kieruje się zasadami samokontroli, to istnieje możliwość zmniejszenia liczby osób nadzorujących. Przed wykonaniem zaplanowanych prac potrzebna jest odpowiednia motywacja personelu. Faza ta jest eksperymentem, ponieważ nie jest to etap wdrożenia rozwiązania. Celem tej fazy jest zgromadzenie informacji oraz danych, które są potrzebne do następnych faz procesu.
- **Sprawdź (C):** Sprawdzenie wyników zrealizowanych prac. Po ukończeniu testów nad opracowanymi rozwiązaniami potrzebna jest ich ocena. Oceny dokonuje się na podstawie uzyskanych odchyłek lub zdarzeń. Potrzebna jest również ocena samej metody testowania i sprawdzenie, czy wdrożone zmiany przynoszą efekty. Celem tej fazy jest określenie, na ile udało się osiągnąć oczekiwane rezultaty i co trzeba uwzględnić w kolejnym etapie procesu. Wyniki uzyskanych obserwacji powinny być rejestrowane, np. na kartach kontrolnych. Gdy wystąpią odchylenia, należy zastosować działania korygujące, aby się już nie powtórzyły oraz wdrożyć działania zapobiegawcze.
- **Wprowadź (A):** W ostatnim etapie należy przystąpić do stałego działania według planu, który został ustalony. Wcześniej wykonano działania korygujące i prewencyjne, dzięki czemu ma się pewność, że będą uzyskiwane wymagane wyniki. Jednak w tych działaniach obowiązkowa jest stała kontrola, należy więc dokonywać okresowych przeglądów, ponieważ istnieje możliwość ciągłego doskonalenia.

Zarządzanie organizacją, procesem, wyrobem i osiągnięcie celów jakościowych jest niemożliwe bez stosowania sposobów planowania. W związku z tym planowanie jest uznawane za jeden z ważniejszych sposobów zarządzania i sterowania jakością. Stałą praktyką zarządzania codziennego jest standaryzacja usprawnień realizowana w czteroetapowym cyklu PDCA. W tej działalności kluczowe znaczenie ma ciągłe doskonalenie (Seaver, 2003).

Każda organizacja, aby się rozwijać, musi być ciągle doskonalona. Stosowanie zasady ciągłego doskonalenia opiera się na stworzeniu korzystnej atmosfery w organizacji, wpływającej pozytywnie na doskonalenie procesów, systemów jakości, wyrobów i osób. Uświadomienie pracowników co do tego, jaka jest ich rola i miejsce w systemie jakości, jest kluczowym elementem, ponieważ wpływa znacząco na wyniki pracy w kształtowaniu jakości wyrobu końcowego. Konieczne jest wdrożenie i opracowanie systemu motywacji, pomiaru i oceny postępów doskonalenia. Pomagają w tym m.in. rozwiązania, które mają na celu systematyzację działań doskonalących, oparte na cyklu PDCA (rys. 6.2) Shewharta-Deminga (Zymonik i in., 2013).



Rys. 6.2. Cykl Shewharta-Deminga (PDCA) w ciągłym doskonaleniu  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Zymonik i in., 2013).

Cykl Deminga to obecnie jedno z najczęściej stosowanych rozwiązań, które wykorzystuje podejście procesowe. Metoda ta jest uniwersalna i może być wykorzystywana do każdego rodzaju projektów i działań, które mają na celu doskonalenie. Dzięki PDCA możliwe jest usprawnienie funkcjonowania organizacji, gdyż cykl Deminga ma na celu skuteczne odnalezienie występujących w organizacji problemów. Dostarcza on informacji zwrotnych, które potwierdzają postawione wcześniej hipotezy. Korzystając z tej metody, można w szybki sposób pozbyć się przeszkód i barier w procesach, co wpływa na bardziej systematyczne poprawianie działań organizacji. Cykl Deminga ma wpływ na motywację pracowników, ponieważ są zachęceni do podejmowania licznych działań, ulepszających procesy w przedsiębiorstwie (Kapusta, 2019).

Korzystanie z cyklu PDCA to ciągle poszukiwanie metod poprawy. Cykl PDCA jest skuteczny w każdym z etapów. Umożliwia dwa typy działań naprawczych – tymczasowe i trwałe. Tymczasowe działanie ma na celu rozwiązanie problemów i osiągnięcie zamierzonych rezultatów. Trwałe działanie naprawcze polega na zbadaniu i wyeliminowaniu przyczyn źródłowych, a tym samym koncentruje się na trwałości ulepszonego procesu. Aspekty cyklu PDCA są stosowane do wewnętrznych procedur zapewniania jakości. Cykl PDCA to coś więcej niż tylko narzędzie. Jest to koncepcja procesu ciągłego doskonalenia. Najważniejszym aspektem PDCA jest etap „Działaj” po zakończeniu projektu, gdy cykl zaczyna się od nowa w celu dalszej poprawy (Sokovic i in., 2010).

## Bibliografia

- [1] Hamrol A. (2013), Zarządzanie jakością z przykładami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.



- [2] Kapusta M. (2019), Zarządzanie projektami w pigułce – cykl PDCA. Dostępne na: <https://leadership-center.pl/blog/cykl-pdca/> (dostęp: 05.01.2021).
- [3] Łunarski J. (2012), Zarządzanie jakością. Standardy i zasady. Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- [4] Mydlarz A. (2018), PDCA – Jak daleko dojedziesz na kołach Deminga? Dostępne na: <https://inzynierjakosci.pl/2018/03/pdca/> (dostęp: 05.01.2021).
- [5] Seaver M. (2003), Gower Handbook of Quality Management. Third Edition, Gower Publishing Ltd., England.
- [6] Sokovic M., Pavletic D., Pipan K.K. (2010), Quality improvement methodologies – PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 43(1), 476-483.
- [7] Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P. (2013), Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem. PWE, Warszawa.

## 6.2. Kaizen (*Pietrzyk Damian*)

Kaizen to innymi słowy zmiana na lepsze. W życiu przedsiębiorstwa jest to codzienne poprawianie procesów przez zaangażowanie każdego pracownika organizacji. Wszystkie usprawnienia pracy, które prowadzą do zwiększenia bezpieczeństwa zatrudnionych, efektywności firmy oraz jakości pracy, są tak zwanym Kaizenem. Wyrażenie to w polskich przedsiębiorstwach stosujących Lean Management jest bardzo często używane jako synonim słów: nowy pomysł, sugestia poprawy.

Mimo że kultura ciągłego doskonalenia, czyli sztuka nieustannej poprawy drobnymi krokami prowadząca w kierunku doskonałości (Janiszewski, 2018), pozwala uzyskać ogromne korzyści dla firmy oraz pracowników, nie jest od razu przyjmowana przez całą organizację. Korzyści w aspekcie finansowym oraz bezpieczeństwa, możliwości poprawy warunków na stanowiskach pracy finalnie okazują się nie być wystarczające do powszechnego przyglądania się własnej pracy, a także usprawniania jej. Wynika to między innymi z dotychczasowej kultury przedsiębiorstw, w wielu przypadkach będącej kulturą maskowania problemów i usterek, co znacząco demotywuje zatrudnione osoby do aktywności i wyróżniania się. Efektem tego w części firm jest upadek działań w obszarze Kaizen i znaczne zmniejszenie stosowania narzędzi Lean Management, znacząco wspierających ciągłe doskonalenie. Do uzyskania w danej firmie otwartości na zmiany i nowej, bardziej stabilnej kultury organizacji niezbędne są często długie lata (Burgant-Korol i Furman, 2007).

Programy zgłaszania sugestii poprawy przez zatrudnionych są nazywane programami Kaizen. Filarem ich działania jest utworzenie przez zarządzających otoczenia kreującego możliwość zgłaszania i wdrażania przez pracowników własnych pomysłów poprawy. Wytworzenie właśnie takiej kultury przedsiębiorstwa, gdzie każda zatrudniona osoba przygląda się własnej pracy, jest opozycją dla *status quo* i podejmowaniem próby wraz ze współpracownikami i kierownictwem, ułożenia pracy w sposób nowy, bardziej efektywny, a przede wszystkim bezpieczny (Łazicki i in., 2011).

Najważniejszą zasadą Kaizen jest doskonalenie i permanentna zmiana na lepsze badanego procesu. Nadrzędnymi celami wdrażanych zmian są (Carnerud i in., 2018):

- znaczne skrócenie czasu realizacji procesu,
- widoczna poprawa jakości,
- techniczne zmiany wybranych elementów systemu w celu danego dostosowania,
- znacząca redukcja kosztów,
- utworzenie odpowiednich kryteriów oceny oraz nagradzania.

Ogółem osiągnięcie tych założeń prowadzi do poprawy efektywności wykonywanej pracy, ponadto może wpływać na poprawę ergonomii oraz bezpieczeństwa pracy.

Na ogół w praktyce Kaizen przybiera bardziej sformalizowaną postać, której składową są następujące elementy (Massaki, 2007):

1. **Powołanie odrębnego stanowiska pracy dla pracownika nadzorującego program Kaizen.** Rozległy zakres obowiązków powoduje przyporządkowanie do tej funkcji jednej osoby w wymiarze pełnego etatu. Osoba ta koordynuje na ogół strategię szerzenia idei Kaizen oraz odpowiada za szkolenie podległych sobie pracowników.
2. **Utworzenie formularza do zgłaszania usprawnień.** Formularz może być w formie papierowej lub elektronicznej. Kompletny wniosek zostaje dostarczony do skrzynki Kaizen lub bezpośrednio do pracownika odpowiedzialnego za program.
3. **Podjęcie decyzji o zatwierdzeniu wniosku bądź jego odrzuceniu.** Decyzja zależy od zakresu wniosku i wprowadzonych zmian. Decyzję podejmuje osoba składająca wniosek lub jej przełożony.
4. **Stworzenie procedury wdrażania zaproponowanych we wniosku działań.** Działania mogą, lecz nie muszą być podejmowane przez: autora wniosku, koordynatora działań Kaizen, innych pracowników przyporządkowanych do danych obszarów.
5. **Upublicznienie informacji o zatwierdzonych wnioskach i nagroda dla najlepszych pomysłów.** Na ogół publikuje się tabele lub inne zestawienia zbiorcze otrzymanych pomysłów i oznacza te, które zostały już zrealizowane. W wyborze najlepszych pomysłów może brać udział specjalnie wybrany zespół pracowników.

Nie istnieje złota metoda działań Kaizen, która sprawdzi się zawsze i w każdym okolicznościach. Można jednak przedstawić kilka tez (Dariusz Michalski, 2020):

- Im większa liczba osób zaangażowanych w proces wdrożeniowy bądź decyzyjny, tym dłuższy czas zajmuje realizacja pomysłów.
- Im dłuższy przebieg ma realizacja poszczególnych działań, tym mniej będzie zgłaszanych pomysłów.





- Im większa liczba pracowników zaangażowanych w proces podejmowania decyzji o akceptacji danego pomysłu, tym mniej szczegółowa będzie analiza wartości pomysłu.
- Im więcej osób odpowiada za określoną decyzję o nagradzaniu najlepszych autorów wniosków, tym bardziej będzie ta decyzja niesprawiedliwa i nieczytelna.

Istotne jest przemyślenie działań z zakresu Kaizen, które wprowadza się w przedsiębiorstwie w taki sposób, aby były dostosowane do profilu działalności i w sposób efektywny wpływały na funkcjonowanie danego obszaru.

Przykładem skuteczności Kaizen zaprezentowanym w pracy (Piasecka-Głuszak, 2014) są zmiany kultury korporacyjnej, które miały miejsce w przedsiębiorstwie Excel Industries Inc. działającym w branży informatycznej. Firma rozpoczęła wprowadzanie procesu Kaizen w pierwszym kwartale 1992 r., w związku z ryzykiem utraty niezależności spowodowanym rosnącą konkurencją na rynku światowym. Konieczne okazało się umocnienie pozycji firmy. Musiała być ona w stanie sprostać wyszukanim wymaganiom klientów. W firmie stworzono interdyscyplinarny komitet sterujący, a także przeprowadzono szkolenia dotyczące metodyki Kaizen. Pozwoliło to na niezwykle widoczną poprawę wyników. Przykładem jest m.in. zmniejszenie czasu cyklu procesów (o 78%), spory wzrost produktywności (o 57%) i znaczące zmniejszenie ilości zapasów produkcji w toku (aż o 73%). Zaobserwowane rezultaty były tak ogromne, że skłoniły komitet sterujący (m.in. najwyższe władze firmy Excel Industries Inc.) do nieustannego wdrażania Kaizen oraz do wykonania jeszcze jednego kroku na podstawie analizy. Polegał on na porównaniu się z innymi jednostkami gospodarczymi. Firma Excel ustaliła, że w celu skutecznego wdrożenia Kaizen oraz kontynuacji dalszych ulepszeń konieczna będzie zmiana kultury organizacyjnej. Nowa kultura musi być kulturą wspierającą pracowników. Utworzono system edukacyjny, który zapewnił wszystkim zespołom wiedzę i nowe umiejętności, ponadto dano pracownikom szansę i obowiązek doskonalenia pracy wykonywanej przez nich samych. Warto zaznaczyć, że troska o pracowników nie oznacza tutaj sposobu zarządzania rozumianego jako partycypacja lub wspólne podejmowanie decyzji, ale jako dostarczenie narzędzi umożliwiających ulepszenie procesów i efektów pracy przez zaangażowanie w ich ciągłą poprawę (Hamrol i Mantura, 2008).

## Bibliografia

- [1] Burcgant-Korol D., Furman J. (2007), Zarządzanie produkcją i usługami. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [2] Carnerud D. i in. (2018), The Initial Stage of the Kaizen Costing in Production Company. Case Study, The TQM Journal.
- [3] Hamrol A., Mantura W. (2008), Zarządzanie jakością – teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [4] Janiszewski (2018), Zbieżność kultury firmy produkcyjnej nastawionej na ciągłe doskonalenie z kulturą Kaizen. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.

- [5] Łazicki A. i in. (2011), Systemy zarządzania przedsiębiorstwem. Techniki Lean Management i Kaizen. Wydawnictwo Wiedza i Praktyka, Warszawa.
- [6] Massaki I. (2007), Kaizen. Klucz do konkurencyjnego sukcesu Japonii. Kaizen Institute Polska i Wydawnictwo MT Biznes Sp. z o.o., Drukarnia Wydawnicza Anczyca, Kraków.
- [7] Michalski D. (2020), Kaizen and continuous improvement-trends and patterns over 30 years. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas – Zarządzanie, nr 3.
- [8] Piasecka-Głuszak (2014), Skuteczność działań lean w polskich przedsiębiorstwach – wybrane aspekty rozwiązań przy zachowaniu ducha Kaizen. Badania empiryczne, Int. Bys. GLOB. Econ.

### 6.3. *First Time Quality* – FTQ (Joanna Waga)

Jednym ze wskaźników jakościowych jest *First Time Quality* (FTQ), który jest tłumaczony jako jakość za pierwszym razem. Z definicji jest to „miernik, który wskazuje, w jakim stopniu części są produkowane prawidłowo za pierwszym razem, bez potrzeby kontroli, przeróbek lub wymiany” (Ou i in., 2020).

Jest to jedno z narzędzi systemu zarządzania jakością. Oznacza miarę liczby sztuk przyjętych za pierwszym razem w procesie produkcyjnym w stosunku do całkowitej liczby wyprodukowanych sztuk. Jest metodą umożliwiającą identyfikowanie błędów i problemów procesu montażu już na samym początku, czyli na stanowisku montażowym. FTQ wskazuje, w jakim stopniu jesteśmy w stanie wyprodukować wyrób pozbawiony wad, a w razie wychwycenia nieprawidłowości – jego naprawę bądź wymianę. Na linii produkcyjnej nie jest możliwe wyeliminowanie wszystkich możliwych błędów, dlatego każde przedsiębiorstwo ustala akceptowalny poziom wyrobów wadliwych (PPM-ów) (Ou i in., 2020).

Wskaźnik FTQ jest ważny, ponieważ (Ou i in., 2020):

- dzięki zastosowaniu *First Time Quality* można obniżyć koszty produkcji,
- pozwala zminimalizować marnotrawstwo przez zidentyfikowanie strumienia wartości,
- pozwala skrócić czas produkowania wyrobu,
- pozwala na lepszą identyfikację możliwości usprawniania procesów w celu zapewnienia wysokiej jakości i bardziej opłacalnego przedsięwzięcia,
- jeśli nie wyprodukuje się wyrobów bez błędów za pierwszym razem, będzie trzeba przeprowadzić kontrolę jakości.

Wskaźnik FTQ powinien być mierzony, ponieważ (Ou i in., 2020):

- jest to pierwszy sygnał oznajmiający, że proces przebiega niepoprawnie,
- jego zmierzenie pozwala na reakcję ze strony pracowników w momencie wykrycia błędu, tzn. zanim produkt dotrze do klientów i wygeneruje dodatkowe koszty, związane np. z wysyłką, dzięki niemu możemy ocenić skuteczność wdrożonych wcześniej usprawnień.

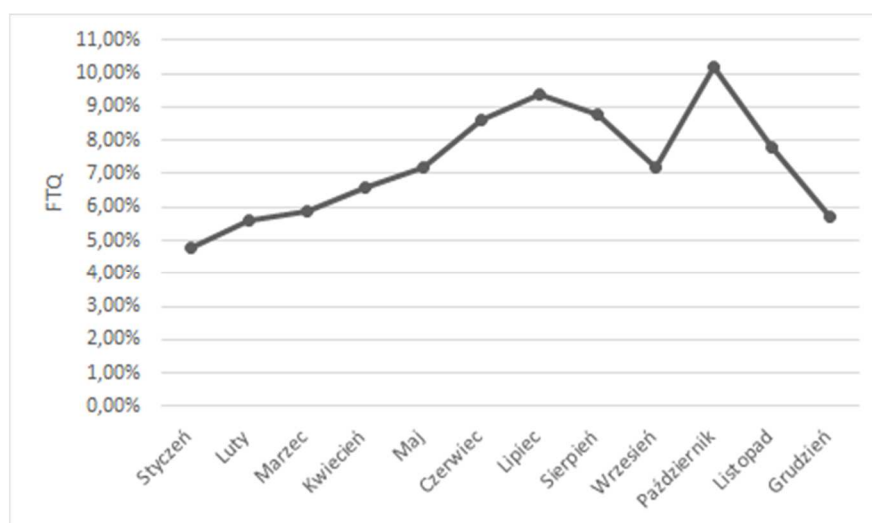
Przykład danych i ich analizy odnośnie do FTQ zawarto w tab. 6.1 i na rys. 6.3.

Tabela 6.1. Przykładowa tabela wskaźnika *First Time Quality*

Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień
4,8%	5,6%	5,9%	6,6%	7,2%	8,6%	9,4%	8,8%	7,2%	10%	8%	5,7%

Źródło: Opracowanie własne.

Samo wykonanie tabeli nie wystarczy do jej pełnej analizy, dlatego utworzony został wykres *First Time Quality* w postaci graficznej. Graficzna prezentacja danych na wykresach na osi poziomej ukazuje chronologicznie przedziały czasu (np. dni, miesiące, lata) w odniesieniu do osi pionowej, która ukazuje FTQ wyrażoną w % (rys. 6.3). Przedstawienie danych na wykresie umożliwi zidentyfikowanie niezgodności wykrytych w czasie trwania procesu. Podczas odczytu bieżącego wyniku w odniesieniu do poprzedzających go danych można łatwo zauważyć, czy odbiega on od pozostałych wartości, czy też jest do nich zbliżony.



Rys. 6.3. Przykładowa graficzna prezentacja danych

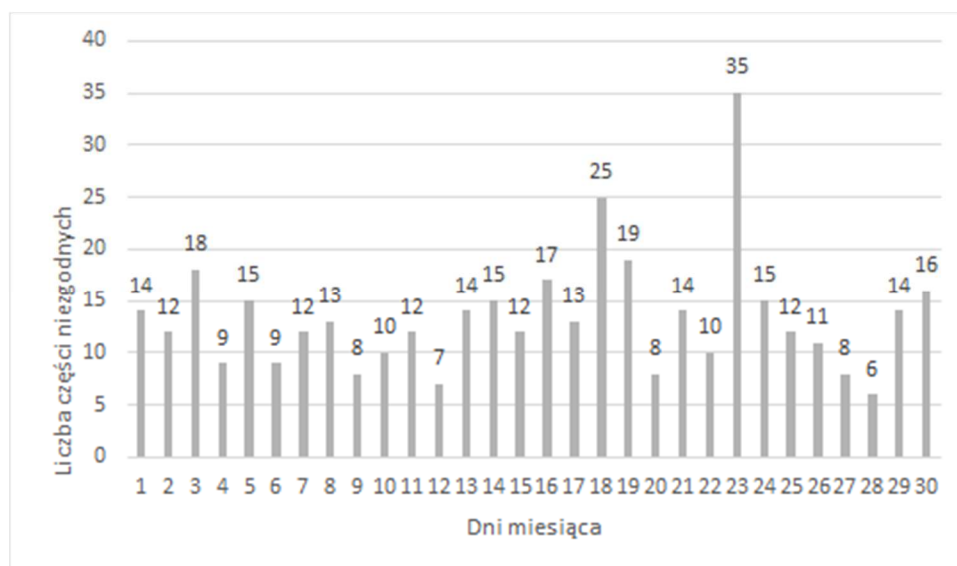
Źródło: Opracowanie własne.

W celu przedstawienia danych odnoszących się do *First Time Quality* można również użyć histogramu. Zbiera on poszczególne wyniki w pewnych przedziałach, a ich liczba w przedziale jest sumowana i ukazana na osi pionowej. Przykładowe dane pokazujące liczbę części niezgodnych dla każdego dnia miesiąca przedstawiono w tab. 6.2, następnie ich zależność zilustrowano na wykresie (rys. 6.4).

Tabela 6.2. Przykładowe dane do histogramu

Dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liczba części niezgodnych	14	12	18	9	15	9	12	13	8	10
Dzień	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Liczba części niezgodnych	12	7	14	15	12	17	13	25	19	8
Dzień	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Liczba części niezgodnych	14	10	35	15	12	11	8	6	14	16

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6.4. Przykładowy histogram ukazujący FTQ w odniesieniu do każdego dnia miesiąca

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym wskaźnikiem jakościowym jest RTY (ang. *Rolled Throughput Yield*). W dosłownym tłumaczeniu oznacza on rolowaną wydajność przerobową (Rolled Throughput..., [www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com)). RTY określa prawdopodobieństwo wytworzenia pojedynczej jednostki wolnej od defektów, po przejściu przez wiele etapów procesu. Dzielenie zaakceptowanych jednostek przez liczbę wyprodukowanych jednostek pozwoli oszacować wydajność danego etapu procesu. Mnożąc wydajność każdego etapu procesu, otrzymuje się wskaźnik RTY podawany w procentach.

Dalej przedstawiono przykładowy wzór na obliczenie wskaźnika RTY dla całego procesu (Jones, 2021):

$$RTY = (W_{E1} \cdot W_{E2} \cdot \dots \cdot W_{En}) \cdot 100\% \quad (6.1)$$

gdzie  $W_E [-]$  – wydajność określonego etapu procesu.

Wyniki obliczeń mieszczą się w zakresie od 0 do 100%. Należy dążyć do tego, aby wskaźnik RTY wynosił 100%. Jeśli RTY będzie zbyt niski, tzn. poniżej 90%, należy się zastanowić, w jaki sposób ulepszyć proces produkcyjny.

Mówiąc o wskaźnikach jakościowych, nie można nie wspomnieć o FTY (ang. *First Time Yield*), który oznacza zysk po raz pierwszy. FTY dotyczy tylko wyrobów, które przeszły przez całą linię produkcyjną bez żadnych wad, które należałoby poprawić. Jest on jednym z narzędzi służących do obliczania liczby poprawek w danym procesie (First Time..., [www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com); Overall Yield..., [www.sciometric.com](http://www.sciometric.com)).

Oblicza się go, dzieląc liczbę wyprodukowanych wyrobów bez wad przez liczbę wszystkich wyprodukowanych wyrobów w danym etapie procesu. Następnie mnoży się uzyskane wartości. Wzory do obliczenia RTY są następujące (Rolled Throughput..., [www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com)):

- RTY dla etapu  $n$  procesu

$$RTY_n = \frac{\text{Liczba wyprodukowanych wyrobów bez wad}}{\text{Liczba wszystkich wyprodukowanych wyrobów}} \quad (6.2)$$

- RTY dla całego procesu

$$RTY = RTY_1 \cdot RTY_2 \cdot \dots \cdot RTY_n \quad (6.3)$$

gdzie:  $RTY_1$  – zysk po raz pierwszy z 1. etapu procesu,

$RTY_2$  – zysk po raz pierwszy z 2. etapu procesu.

Wskaźniki jakościowe ukazują obraz tego, co się dzieje w przedsiębiorstwie. Pomagają w zidentyfikowaniu obszarów, w których należy usprawnić procesy, a tym samym zwiększyć wydajność.

## Bibliografia

- [1] First Time Yield (FTY). Dostępne na: <https://www.isixsigma.com/dictionary/first-time-yield-fty/> (dostęp: 31.01.2021).
- [2] Jones R.P. (2021), Understanding quality performance indicators. Dostępne na: <https://www.cabinc.com/blog/understanding-quality-performance-indicators> (dostęp: 31.01.2021).
- [3] Ou X., Huang J., Chang Q., Hucker S., Lovasz J.G. (2020), First Time Quality Diagnostics and Improvement through Data Analysis: A Study of a Crankshaft Line. *Procedia Manufacturing*, 49, 2-8.
- [4] Overall Yield vs. First Time Yield (FTY): Which Offers the Greatest Return? (2017). Dostępne na: <https://www.sciometric.com/blog/overall-yield-vs-first-time-yield-fty-which-offers-greatest-return> (dostęp: 31.01.2021).

#### 6.4. Metoda 8D (*Justyna Radomska*)

Metoda 8D, nazywana często raportem 8D, jest wykorzystywana do rozwiązywania problemów w systematyczny oraz standardowy sposób. Pozwala na ciągłe doskonalenie organizacji w różnych sektorach jej działalności, takich jak sprzedaż, reklamacje, produkcja czy magazynowanie. Metoda ta opiera się na ośmiu stałych i określonych krokach pozwalających na znalezienie przyczyny problemu oraz odpowiednich działań korekcyjnych niezbędnych do wyeliminowania znalezionej przyczyny (Wahjoedi, 2020). Metoda 8D to przede wszystkim działania wieloetapowe opierające się na pracy zespołowej, gdzie na każdym kroku metody mogą być wykorzystywane różne narzędzia oraz metody zarządzania jakością. Swoją popularność metoda ta uzyskała dzięki możliwości jej realizacji w logiczny i łatwy sposób, ze względu na jasno określone kroki. Użycie metody 8D pierwszy raz zostało udokumentowane w książce „Team Oriented Problem Solving” (TOPS) przez przedsiębiorstwo Ford w 1987 r. Ze względu na swoją prostotę raport 8D stał się główną metodą stosowaną do rozwiązywania problemów w tym przedsiębiorstwie i jest wykorzystywany do dzisiejszych czasów. Metoda 8D jest często stosowana w branży motoryzacyjnej, ponieważ to tam została zapoczątkowana (Sharma i in., 2020). Inną zaletą jest to, że gdyby klient potrzebował przedstawienia dokumentacji niezgodności oraz akcji korekcyjnych, będą one od razu zapisywane w raporcie 8D. Metoda 8D w szczególności ma swoje zastosowanie podczas wykrywania oraz eliminacji problemów związanych z jakością (Pacana i Czerwińska, 2017).

Metoda 8D składa się z następujących etapów (Wahjoedi, 2020):

- 1D – określenie grupy roboczej,
- 2D – opisanie problemu,
- 3D – podjęcie akcji natychmiastowych,
- 4D – znalezienie przyczyny źródłowej,
- 5D – określenie i weryfikacja działań korygujących,
- 6D – wdrożenie działań korygujących,
- 7D – podjęcie akcji zapobiegawczych,
- 8D – ocena i zamknięcie raportu 8D.

Pierwszym etapem realizacji raportu 8D jest 1D, w którym jest określana grupa robocza. Etap ten jest rozpoczynany zaraz po wykryciu danego problemu. W tym etapie należy utworzyć odpowiedni zespół do wdrożenia metody 8D. Zespół powinien się składać z niedużej grupy pracowników, którzy posiadają wiedzę na temat narzędzi niezbędnych do rozwiązywania problemów i działań korygujących. Aby efektywnie i poprawnie wykonać swoje zadanie, zespół powinien się składać z członków, którzy tworzą zespół interdyscyplinarny. Powinni pochodzić z różnych działów organizacji i posiadać odpowiednie doświadczenie. Zespołem powinien dowodzić lider. Członkowie wybrani do zespołu powinni posiadać

wiedzę z zakresu funkcjonowania całego przedsiębiorstwa. W zależności od wykrytego problemu członkowie zespołu powinni znać proces wytwórczy wyrobu oraz posiadać wiedzę na temat kwalifikacji dostawców, reklamacji, a także konserwacji maszyn i urządzeń.

Drugim krokiem jest 2D, czyli opisanie problemu. Jest to bardzo ważny etap, ponieważ należy w nim precyzyjnie i dokładnie opisać występujący problem, aby znaleźć się jak najbliżej jego ogniska, a nie otoczenia. W tym punkcie należy umieścić szczegółowe informacje opisu zdarzenia, miejsce jego wystąpienia, ustalenie, kiedy wystąpił problem oraz jego skali (np. liczba wyrobów). Do realizacji 2D może być wykorzystane narzędzie 5W2H, do którego realizacji może być wykorzystany przykładowy formularz przedstawiony w tab. 6.3.

Tabela 6.3. Proponowany formularz do zgłaszania problemów

Data zgłoszenia	Zgłaszający problem	Opis problemu	Wyrób/ część dotycząca problemu	Liczba niezgodności	Miejsce wykrycia problemu	Jak doszło do wykrycia problemu	Koszty związane z powstaniem problemu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Stadnicka, 2017).

3D dotyczy podjęcia działań natychmiastowych. Są to działania mające na celu zapobieganie pomnażaniu wykrytego problemu oraz zwiększaniu się kosztów związanych z tym problemem. Muszą być one tak dobrane, aby wyroby niezgodne nie trafiły do klienta zewnętrznego lub wewnętrznego. Do tego etapu może być wykorzystana kontrola 100%, aż do wyeliminowania problemu.

Kolejnym etapem jest identyfikacja przyczyn problemu (4D). Po wcześniejszym wprowadzeniu działań natychmiastowych należy teraz znaleźć przyczynę źródłową, ponieważ problem nie został jeszcze wyeliminowany. W tym kroku należy dokładnie przeanalizować wszystkie dane dotyczące wykrytego problemu i dotrzeć tam, gdzie problem miał swój początek. Do znalezienia przyczyny źródłowej problemu można zastosować diagram Ishikawy lub analizę FMEA wyrobu lub procesu (Pacana i Czerwińska, 2017). Innym sposobem może być zrealizowanie obserwacji procesu czy eksperymentów w celu zrozumienia, jak powstaje dany problem (Stadnicka, 2017).

Po zidentyfikowaniu przyczyny źródłowej problemu należy przystąpić do kroku piątego, oznaczającego określenie i weryfikację działań korygujących. Celem tego etapu jest znalezienie takich działań korygujących, które pozwolą wyeliminować przyczynę powstałego problemu. Należy znaleźć takie działania korygujące, które będą najbardziej korzystne pod względem kosztów ich wdrożenia oraz uzyskanych efektów czy możliwych skutków ubocznych. Na tym etapie można sprawdzić poprawność działań korygujących za pomocą wykonanych prób. Jeśli wyniki przeprowadzonych prób nie będą zadowalające, może to oznaczać, że została niepoprawnie zidentyfikowana przyczyna źródłowa problemu. W takiej



sytuacji należałoby ją ponownie zidentyfikować. Podczas określania działań korygujących można użyć metody „burzy mózgów” lub narzędzia zarządzania jakością, np. drzewa decyzyjnego. Do kolejnego etapu raportu 8D można przystąpić jedynie wówczas, gdy dane rozwiązanie może dać oczekiwany efekt (Stadnicka, 2017).

Wdrożenie określonych wcześniej działań korygujących znajduje się w kroku 6D. Na podstawie opracowanego harmonogramu należy wdrożyć działania korygujące, które będą nadzorowane przez cały czas realizacji wdrażania. Musi to być monitorowanie, by można było określić skuteczność wdrożonych działań. Gdyby skuteczność nie była zadowalająca, należy wrócić do wcześniejszych etapów metody 8D. W instrukcji lub dokumentacji technicznej należy opisać wdrożone zmiany, których skuteczność okazała się zadowalająca. W raporcie 8D również należy zapisać wdrożone działania korygujące (Łuczak i Matuszak-Flejszman, 2007).

Przedostatnim krokiem jest 7D, czyli wdrożenie działań zapobiegawczych. Polega to na wdrożeniu takich działań, które zapobiegą powstaniu w przyszłości podobnych problemów. Są to działania zastępujące wcześniej wprowadzone działania korygujące. Aby wdrożyć akcje zapobiegawcze, należy zrealizować przegląd wyników poprzednich analiz, takich jak analiza FMEA czy analiza stosowanych planów kontroli. Należy wprowadzić takie akcje zapobiegawcze, które pozwolą na wczesne i szybkie wykrycie możliwych zagrożeń. Wprowadzone działania mogą dotyczyć nie tylko zmiany technologii czy parametrów procesu, ale również zasad, procedur oraz stosowanych instrukcji.

Ocena i zamknięcie 8D jest ostatnim etapem tej metody. Przedstawione zostają wszystkie rezultaty otrzymane podczas realizacji raportu 8D na podstawie danych i uzyskanych wyników. Ocenę przeprowadzonej analizy metody realizuje lider wybranego zespołu. Podsumowanie powinno być przedstawione w formie raportu, gdzie należy ocenić skuteczność wszystkich wdrożonych działań za pomocą porównania stanu aktualnego w organizacji do opisu wykrytego problemu. Wszystkie zapisane informacje odnoszące się do opisywanego problemu powinny być zarchiwizowane. Ważnym punktem podsumowującym metodę 8D jest uznanie wysiłków włożonych przez zespół w trakcie analizy raportu 8D (Łuczak i Matuszak-Flejszman, 2007). Zespół powinien zostać nagrodzony za wysiłek oraz pochwalony za wkład w zmiany, które mają duże znaczenie w organizacji.

Metoda 8D jest często wykorzystywana podczas występowania problemów jakościowych w przedsiębiorstwie. Na rysunku 6.5 przedstawiono przykładowy formularz do rozwiązywania problemów za pomocą raportu 8D.

Narzędzie to, zawarte w normie ISO/TS 16949:2009, najefektywniej pomoże w analizie przyczyny źródłowej problemu i może być wykorzystane do każdego rodzaju problemu, z jakim przedsiębiorstwo ma obecnie do czynienia (Realyvásquez-Vargas i in., 2020). Metoda 8D jest wszechobecna w takich branżach, jak lotnicza lub motoryzacyjna, ze względu na wysoką skuteczność rozwiązywania skomplikowanych problemów. Jest to bardzo pomocne narzędzie, ponieważ można za pomocą nieskomplikowanego formularza przeanalizować przyczynę

<b>FORMULARZ RAPORTU 8D</b>		
<b>Data rozpoczęcia raportu</b>	<b>Nazwa wyrobu</b>	<b>Numer wyrobu</b>
<b>1D – Określenie grupy roboczej</b> Skład zespołu: 1) Lider zespołu: 2) 3)		
<b>2D – Opisanie problemu</b>		
<b>3D – Podjęcie akcji natychmiastowych</b>		
<b>4D – Znalezienie przyczyny źródłowej</b>		
<b>5D – Określenie i weryfikacja działań korygujących</b>  <i>Proponowany termin wdrożenia działań:</i>		
<b>6D – Wdrożenie działań korygujących</b>  <i>Termin wdrożenia działań:</i>		
<b>7D – Podjęcie akcji zapobiegawczych</b>  <i>Proponowany termin wdrożenia działań:</i> <i>Termin wdrożenia działań:</i>		
<b>8D – Ocena i zamknięcie 8D</b>  <i>Data spotkania zamykającego raport 8D:</i>		
<i>Do formularza dołączyć w załącznikach dokumenty, które były tworzone podczas realizacji raportu 8D.</i>		
Podpis osoby odpowiedzialnej za wykonanie raportu	Podpis osoby odpowiedzialnej za zatwierdzenie raportu	

Rys. 6.5. Przykładowy formularz raportu 8D

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Stadnicka, 2017).

źródłową problemu oraz wdrożyć działania, które zapobiegą jego ponownemu powstawaniu. Korzyściami wynikającymi z wdrożenia metody 8D jest większe zaangażowanie oraz odpowiedzialność pracowników niższego szczebla za wdrożone działania, brak powtarzania się problemu oraz wzrost ufności i zadowolenia klientów dzięki lepszej wydolności produkcyjnej przedsiębiorstwa.

## Bibliografia

- [1] Łuczak J., Matuszak-Flejszman A. (2007), Metody i techniki zarządzania jakością. Kompendium wiedzy Quality Progress, Poznań.
- [2] Pacana A., Czerwińska K. (2017), Wykorzystanie metody 8D do rozwiązania problemu jakościowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Zarządzanie, 2(28), 73-86.
- [3] Realyvásquez-Vargas A., Arredondo-Soto K.C., García-Alcaraz J.L., Macías E.J. (2020), Improving a manufacturing process using the 8ds method. A case study in a manufacturing company. Applied Sciences, 10(7), 2433.
- [4] Sharma M., Sharma S., Sahni S. (2020), Structured Problem Solving: combined approach using 8D and Six Sigma case study. Engineering Management in Production and Services, 12(1), 57-69.
- [5] Stadnicka D. (2017), Wybrane metody i narzędzia doskonalenia procesów w praktyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [6] Wahjoedi T. (2020), Adapted 8Ds methodology in manufacturing industries for securing customer's need. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 6(2). Dostępne na: [www.IJARIT.com](http://www.IJARIT.com) (dostęp: 15.01.2021).

### 6.5. Raport A3 (Natalia Ślęczka)

Raport A3 jest narzędziem Lean Management umożliwiającym poznanie istoty problemu. Tworzenie raportu rozpoczyna się od zdefiniowania problemu, następnie analizuje się przyczyny jego powstania, aby na końcu wprowadzić odpowiednie usprawnienia.

Raport A3 jest narzędziem, które może być wykorzystywane do niemal każdego rodzaju problemu zidentyfikowanego w przedsiębiorstwie. Rezultatem pracy nad raportem A3 jest zwięzłe podsumowanie problemu, a także jego rozwiązania. Jest on także metodą komunikacji dla pracowników, służącą do raportowania problemów, jak również proponowania usprawnień dla kierownictwa. Raport jest przede wszystkim potężnym narzędziem, pozwalającym na poszukiwanie skutecznych środków zaradczych opartych na sprawdzonych faktach. W rezultacie wszystkie firmy, które z sukcesem stosują raporty A3 przy podejmowaniu decyzji, planowaniu, ocenie propozycji czy rozwiązywaniu problemów, mogą pochwalić się uzyskaniem natychmiastowych, widocznych korzyści. Raport ten sprawdzi się również jako narzędzie do rozwoju kompetencji pracowników przedsiębiorstwa, którzy dzięki przeprowadzaniu analizy jakościowej wzbogacają swoją wiedzę oraz rozwijają własne umiejętności (Stadnicka, 2017).

Zadaniem raportu jest zainicjowanie konstruktywnego dialogu. Raport A3, jako powszechnie rozumiana i akceptowana forma dzielenia się faktami i omawiania ważnych kwestii, jest nośnikiem informacji wewnątrz organizacji. Jest to łatwy, przejrzysty oraz zrozumiały sposób dostarczania informacji, który narzuca pracę z faktami oraz danymi (Gaschi-Uciecha i Grabowska, 2018).

Powstał on na potrzeby przedsiębiorstwa Toyota, które wykorzystuje raport A3 jako narzędzie służące do rozpoznawania problemów, a także do ich rozstrzygnięcia (Lee i Kuo, 2009). Raport A3 przedstawia w ustrukturyzowany sposób problem i jego przyczyny oraz informacje o planowanych akcjach korekcyjnych.



Jest najprostszą oraz efektywną metodą prezentowania ważnych spraw w firmie. Pozwala na podejmowanie decyzji opartych na sprawdzonych faktach, wdrażanie skutecznych środków zaradczych, aby w efekcie nieustannie udoskonalać organizację. Prawdopodobnie wykorzystywany raport A3 może się stać narzędziem zarządzania w firmie (Gaschi-Uciecha i Grabowska, 2018).

Raport A3 jest narzędziem podobnym do 8D, opierającym się na prostej zasadzie PDCA. Głównym celem raportu A3 jest pierwszy element z koła Deminga – planuj. Inne zasadnicze cele to rozwiązywanie problemów, przedstawienie projektu, określenie osób odpowiedzialnych za dany projekt, jego monitorowanie i śledzenie statusu, a także podejmowanie decyzji. Sporządzenie takiego raportu pozwala na uczenie się organizacji oraz pracowników z większą efektywnością czy wydajnością, a co za tym idzie – wspólne wypracowywanie dobrych praktyk, jak również ciągłe poprawianie raportów.

Nazwa metody pochodzi od formatu kartki, na której wykonuje się raporty A3. Jej wymiary to 297 mm x 420 mm. Wielkość arkusza pozwala zmieścić na nim wszystkie potrzebne dane, opisy czy grafiki, jednocześnie nie dając możliwości umieszczania nadmiernej liczby szczegółów.

Głównym zaleceniem do stosowania tego narzędzia jest przede wszystkim rozwiązywanie problemów na miejscu ich występowania. Genchi Genbutsu (z jap. miejsce zdarzenia, prawdziwa rzecz) jest to znana zasada rozpowszechniona przez Toyotę. Cel Genchi Genbutsu to umiejętność wykorzystania danych czy informacji z miejsca zdarzenia. Raport A3 powinien być w miarę możliwości przeprowadzany na miejscu lub w pobliżu analizowanego problemu. Wystarczy, jeżeli będzie się w miarę blisko problemu, aby w każdej chwili móc podejść i zweryfikować pomysł z burzy mózgów.

Jednym z najważniejszych elementów niezbędnych do stworzenia wiarygodnego raportu jest dobrze dobrany zespół przeprowadzający analizę. Rozpoczynając pracę z narzędziem A3, należy w pierwszej kolejności wyznaczyć lidera analizy problemu, a także zespół wspomagający. W celu uzyskania najlepszych korzyści zaleca się wybranie zespołu złożonego z 5-7 osób. Zespół raportu A3 powinien być multidyscyplinarny oraz przede wszystkim musi posiadać dobrą wiedzę na temat produktu oraz procesu, którego dotyczy omawiany problem. Ważnym aspektem w innowacyjnym podejściu do rozstrzygnięcia jest rzeczowa dyskusja i dzielenie się swoimi spostrzeżeniami. Umożliwia to produktywniejsze wykorzystanie czasu oraz pieniędzy przeznaczonych na rozwiązywanie wyznaczonych problemów (Gaschi-Uciecha i Grabowska, 2018).

W przypadku gdy organizacja systematycznie używa narzędzia, jakim jest raport A3, występuje standaryzacja działań mających charakter innowacyjny, a także planowanie czy rozwiązywanie problemów. Z tego powodu raport A3 jest nazywany również sposobem zarządzania (Gaschi-Uciecha i Grabowska, 2018).

Wdrożenie narzędzia, jakim jest raport A3, wymaga świadomego wysiłku, poświęcenia czasu na rozwiązanie problemu, a także pokonanie wielu przeszkód. Podczas tworzenia raportu A3 należy opisać wagę problemu, odrzucić problemy błahe, które mogą zostać rozwiązane natychmiast w łatwy sposób. Ważne jest, aby

informacje były przekazywane w sposób zwięzły oraz zrozumiały dla każdego. Należy opierać się wyłącznie na faktach oraz danych, które powinno się przedstawić w sposób obrazowy, dzięki zastosowaniu wykresów czy tabel, pamiętając przy tym o czytelności wszystkich elementów. Przy tworzeniu takiego raportu warto zastosować odpowiednie narzędzia (5Why, diagram Ishikawy itp.), a także wykorzystać je w odpowiedni sposób przez zespół (Sobek i Jimmerson, 2004).

Podstawowymi danymi, które powinny się znaleźć w punktach początkowych raportu, są (Sobek i Jimmerson, 2004):

- tytuł raportu,
- data rozpoczęcia tworzenia raportu oraz pracy nad nim,
- planowana data zakończenia raportu,
- członkowie zespołu wraz z wybranym liderem,
- rodzaj przedstawianego problemu,
- numer porządkowy arkusza, który jest zgodny z przyjętą w przedsiębiorstwie numeracją.

W następnych punktach musi się znaleźć dokładny opis zaistniałego problemu, który powinien być wyrażony w sposób liczbowy na tyle, na ile to możliwe. Pracownicy powinni konsultować się z innymi pracownikami produkcyjnymi czy osobami w firmie w celu odpowiedniego nakreślenia problemu.

Kolejnym punktem raportu A3 jest cel, który powinien być ustalony wspólnie pomiędzy pracownikami a liderem/kierownikiem raportu. Istotne jest, aby był on jasno sprecyzowany oraz zrozumiały dla całego zespołu jeszcze przed rozpoczęciem burzy mózgów. Wszyscy członkowie będą wówczas mieli możliwość pełnego uczestniczenia w dalszych etapach tworzenia raportu, w których konieczne jest generowanie pomysłów. Prawidłowo określony cel powinien być dla zespołu wyzwaniem i powinien wymagać od niego nieszablonowego podejścia. Cel ma być SMART (ang. *Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound*), czyli specyficzny, mierzalny, osiągalny, istotny oraz określony w czasie. Powinien być również wyrażony przez jakiś wskaźnik, który w późniejszym etapie będzie monitorowany.

Analiza problemu i przyczyn źródłowych jest następnym krokiem w raporcie A3. Kluczowe jest tutaj pytanie „Dlaczego?”, ponieważ mając nakreślony problem, a także cel projektu, na tym etapie należy szukać odpowiedzi, aż do momentu znalezienia przyczyny źródłowej. Zespół rozwiązujący problem zadaje po prostu pytanie „Dlaczego?” pięć razy w serii i szuka odpowiedzi na każde z tych pięciu pytań. W tych punktach powinno się zastosować takie narzędzia, jak diagram Ishikawy czy metodę 5W2H (ang. *What, When, Where, Why, Who, How, How Much*).

Lista akcji korekcyjnych/działań zapobiegawczych to następny etap raportu A3. W tym celu do opisanych wcześniej przyczyn należy dobrać najbardziej prawdopodobną przyczynę problemu i określić działania, czyli środki zaradcze, które pozwolą ją wyeliminować. Dla wszystkich proponowanych rozwiązań ustalany jest koszt, a także czas wdrożenia i wpływ na omawiany problem.



Kolejnym punktem jest plan realizacji, wdrożenia akcji doskonalących, w którym – po ustaleniu prawdopodobnych działań – osoba odpowiedzialna za tworzenie raportu przygotowuje plan wdrożenia, zestawiający konsultowane już wcześniej z członkami zespołu kolejne działania, lecz tym razem uzupełnione o daty wykonania, jak również cele. Plan wdrożenia określa kroki, które należy przeprowadzić w celu zrealizowania stanu docelowego. Wskazuje się tutaj także pominięte wcześniej akcje, niezbędne do przeprowadzenia planu wdrożenia w spójny sposób, aby kierownik projektu cały ten zaproponowany plan zaakceptował i aby plan przyniósł maksymalne prawdopodobieństwo sukcesu.

Wdrażając plan, należy sprawdzać rezultaty, dlatego kolejnym punktem raportu A3 jest monitorowanie procesu. Określony wcześniej w celu projektu wskaźnik pozwala na śledzenie jego zmian w czasie. Karty kontrolne mogą się okazać pomocną metodą w gromadzeniu oraz dokonywaniu analizy informacji na temat określonej charakterystyki. Dzięki nim możliwe jest także monitorowanie wpływu przyjętego rozwiązania na koszty ogólne całego procesu. Pozytywny wpływ na określony wskaźnik oraz niepodnoszenie kosztów procesu pozwalają na uznanie rozwiązania za właściwe.

Zdarza się, że pomimo wykonania raportu A3 oraz wdrożenia ustalonych działań nie obserwuje się pozytywnych rezultatów. Z pomocą przychodzi kolejny etap, gdzie ustala się działania, po których sytuacja ma się znacznie poprawić. Takie rozwiązanie ma dać odpowiedź na pytanie, dlaczego mogło dojść do takiej sytuacji, a także czy problem jest dużo bardziej złożony, czy wynika po prostu z nieprawidłowego przeprowadzenia metody. Należy tutaj zwrócić uwagę na standaryzację przyjętego rozwiązania, jak również udoskonalanie czy zastosowanie tego rozwiązania w innych obszarach. Może się zdarzyć, że zaistnieje potrzeba ponownego rozpatrzenia przyczyn i akcji korekcyjnych, np. w przypadku wystąpienia skomplikowanych, trudnych do rozwiązania problemów. Jeśli w nowo zaproponowanym sposobie działania nadal pojawiają się problemy, to można wygenerować kolejny raport rozwiązywania problemów A3 (Sobek i Jimmerson, 2004).

Ostatnim punktem raportu A3 są uwagi, gdzie prezentuje się spostrzeżenia dotyczące sposobu realizacji projektu czy też problemy, które pojawiły się w trakcie pracy nad raportem lub wdrożeniem zaproponowanych działań (Matthews, 2018).

Raport A3 nie sprawdzi się w próbie rozwiązania dużych problemów firmy, ponieważ jest on narzędziem odpowiednim do eliminacji problemów, które pojawiają się na bieżąco na produkcji czy w usługach. Może się zdarzyć, że nieprawidłowe wykorzystanie diagramu Ishikawy czy metody 5xWhy oraz nieumiejętne określenie problemu bądź nieodpowiednie zdefiniowanie celu doprowadzi do straty czasu całego zespołu, który pracował nad stworzeniem takiego raportu. Należy pamiętać, że jest to narzędzie dotyczące problemów wymagających zaangażowania osób z kilku współpracujących działów.



## Bibliografia

- [1] Gaschi-Uciecha A., Grabowska J. (2018), Analiza i ocena przebiegu procesu zaopatrzenia dla wybranej kopalni węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska.
- [2] Lee T.S., Kuo M.H. (2009), Toyota A3 report: a tool for process improvement in healthcare. *Stud Health Technol Inform*, 143, 235-240.
- [3] Matthews D. (2018), *The A3 Workbook: Unlock Your Problem-Solving Mind*. CRC Press.
- [4] Sobek D.K., Jimmerson C. (2004), A3 reports: tool for process improvement. Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference. Dostępne na: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.515.4699&rep=rep1&type=pdf> (dostęp: 12.01.2021).
- [5] Stadnicka D. (2017), *Wybrane metody i narzędzia doskonalenia procesów w praktyce*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.

### 6.6. Six Sigma (*Alicja Paskart*)

Six Sigma to metoda służąca do zarządzania jakością w przedsiębiorstwach. Jej szczególną cechą jest fakt zmierzania do uzyskania niemal perfekcyjnej jakości przez rozpoznanie potencjalnych błędów zanim wystąpią one w procesie. Dopuszczalne granice błędu definiuje się na poziomie 3-4 niezgodności na milion możliwości ich wystąpienia. Jest to niezwykle istotne z punktu widzenia organizacji, ponieważ znaczna część kosztów wynika z konieczności usuwania usterek.

Metoda Six Sigma została opracowana w latach 80. i 90. ubiegłego wieku dzięki współpracy dyrektorów Motoroli – Billa Smitha i Boba Galvina (syna założyciela firmy Motorola) (Neuman, 2003). W 1988 roku rozwiązanie to zostało odznaczone prestiżową nagrodą – Amerykańską Nagrodą Jakości im. M. Baldridge’a. Filozofia Motoroli głosiła, że *jakość nie może kosztować*, a twierdzenie to zostało rozpowszechnione na całym świecie. Obecnie metoda Six Sigma zyskuje coraz większe uznanie światowej klasy koncernów oraz korporacji międzynarodowych (Karaszewski, 2003).

W celu zredukowania wydatków oraz pozyskania zadowolenia klientów należy wdrażać metodę Six Sigma wedle ściśle określonych etapów. Jest to proces długotrwały, trwający ok. 6 lat (Ingaldi, 2019), wymagający wysokich nakładów pracy przeznaczonych na kształcenie pracowników oraz zmianę infrastruktury procesów. Zastosowanie tzw. cyklu DMAIC, stanowiącego usystematyzowaną metodologię rozwiązywania problemów (Bendkowski i Matusek, 2013) precyzuje, na jakich etapach należy się skupić. Kolejność wdrażania została przedstawiona w dalszej części niniejszego rozdziału.

DMAIC stanowi akronim od pierwszych liter angielskich słów *Define – Measure – Analyze – Improve – Control*. Etap pierwszy, oznaczany literą „D”, polega na zidentyfikowaniu oraz dokładnym określeniu problemów. Działania te wiążą się przede wszystkim z zebraniem danych wysokiej jakości, a także stworzeniem jasnego obrazu sytuacji, jaka kształtuje się obecnie w przedsiębiorstwie. Wynikiem działań podjętych na tym etapie jest znalezienie odpowiedzi na pytania dotyczące sprecyzowania problemu, szansy lub obszaru, na którym należy się





skoncentrować oraz wyznaczenie celu SMART. Przykładami narzędzi i metod, jakie można zastosować na tym etapie, są:

- analiza FMEA,
- diagram Pareto,
- schemat przebiegu procesu,
- diagram pokrewieństwa.

Etap drugi, oznaczany literą „M”, stanowi dokonanie pomiaru. Celem tej niezwykle istotnej części cyklu jest ustalenie standardów wykonania na podstawie napływających z procesu informacji. Jest to najważniejsza faza podczas rozwiązywania problemu, ponieważ pomiar jest najbardziej obiektywnym sposobem poznania prawdy o procesie. Etap ten pozwala znaleźć odpowiedzi na dwa podstawowe pytania: jaki jest zakres problemu i jego cel w odniesieniu do pomiaru dokonanego podczas procesu i jego końcowych efektów oraz które z nich mogą pomóc podczas poszukiwania głównych przyczyn problemu. Przykładami narzędzi i metod, jakie można zastosować na tym etapie, są:

- SPC,
- histogram,
- arkusz kontrolny,
- wykres kontrolny,
- MSA.

Etap trzeci, oznaczany literą „A”, stanowi dokonanie analizy. Wynikiem tego etapu powinna być prawidłowa ocena rezultatów badań każdego z procesów na tle oczekiwań klientów. Konieczne jest tu dobranie przynajmniej jednej miary wykonania, która będzie powtarzalna. Wyodrębnione zostały trzy rodzaje miar: miary bazowe (polegające na ilościowej ocenie bieżących wyników), miary wydajności (polegające na oszacowaniu możliwości procesów względem oczekiwań) oraz systemy miar (stanowiące udoskonalone metody i zasoby, które pozwalają na dokonywanie nieustannych ocen przez pryzmat standardów zorientowanych na klienta) (Mydlarz, 2017). Przykładami narzędzi i metod, jakie można zastosować na tym etapie, są:

- metoda 5xWhy,
- diagram Ishikawy,
- histogram,
- analiza regresji,
- DOE (ang. *Design of Experiments*).

Etap czwarty, oznaczany literą „I”, stanowi doskonalenie oraz dokonywanie zmian w procesie. Polega on na identyfikacji wszystkich możliwości usprawnień procesu, a następnie na wprowadzeniu nowych rozwiązań w jak najbardziej efektywny sposób, ponieważ cały potencjał proponowanych zmian jest oceniany miarą wykonalności i możliwych skutków. Największy nacisk podczas całego etapu doskonalenia kładzie się na redukcję poziomu odchyleń. Wszystkie propozycje rozwiązań problemów powinny zostać nastawione na specyfikę przyczyn źródłowych, a kilkukrotne powtórzenie podjętych działań będzie gwarantować większą

skuteczność. Przykładami narzędzi i metod, jakie można zastosować na tym etapie, są:

- burza mózgów,
- diagram pokrewieństwa,
- Poka-Yoke,
- 5S,
- macierz działań korygujących.

Etap piąty, oznaczany literą „C”, stanowi kontrolowanie i nadzorowanie procesu. Następuje on po sfinalizowaniu wszystkich działań i charakteryzuje się koniecznością wprowadzenia kroków, które będą cyklicznie powtarzane. Do kroków tych należą: nadzór, pomiar oraz monitorowanie w celu podtrzymania działań usprawniających (Ingaldi, 2019). Monitoring działań musi być utrzymywany na odpowiednio wysokim poziomie jakości. Na tym etapie dobrą praktyką jest przygotowanie łatwej w odbiorze i zrozumiałej dla wszystkich instrukcji opisującej zmiany, które zostały wprowadzone w procesie. Przykładami narzędzi i metod, jakie można zastosować, aby wesprzeć proces, są:

- metoda FMEA,
- plan kontroli,
- standaryzacja pracy,
- metodyka SPC.

Poziom sigma jest szczególnym miernikiem skuteczności procesu, definiowanym następująco: „Miernik P\_Sigma nie stawia żadnych ograniczeń co do liczby branych pod uwagę wymagań (właściwości, cech). Określa wypadkową skuteczność spełniania wielu wymagań, teoretycznie wszystkich w danym obszarze zdefiniowanych (nawet dla całego przedsiębiorstwa). P\_Sigma = 6 oznacza, że na milion możliwych do popełnienia błędów (wszystkich niezgodności, jakie mogą w danym obszarze wystąpić) popełnia się średnio tylko 3, 4” (Hamrol, 2018).

Innymi słowy, poziom sigma oznacza zdolność procesu do wykonania danego zadania bez wad. Wadę natomiast definiuje się jako to wszystko, czego klient nie oczekuje i co powoduje jego niezadowolenie. W ujęciu matematycznym sigmę wylicza się jako odchylenie standardowe losowo pobranej próbki z populacji (a nie dla całej populacji) (Bendkowski i Matusek, 2013):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\bar{s}r})^2}{n - 1}}$$

gdzie:  $S$  – odchylenie standardowe losowo pobranej próbki z populacji,  
 $x_i$  – wynik pomiaru cechy  $i$ -tego produktu próbki,  
 $x_{\bar{s}r}$  – wartość średnia z  $n$  pomiarów,  
 $n$  – liczność próbki.

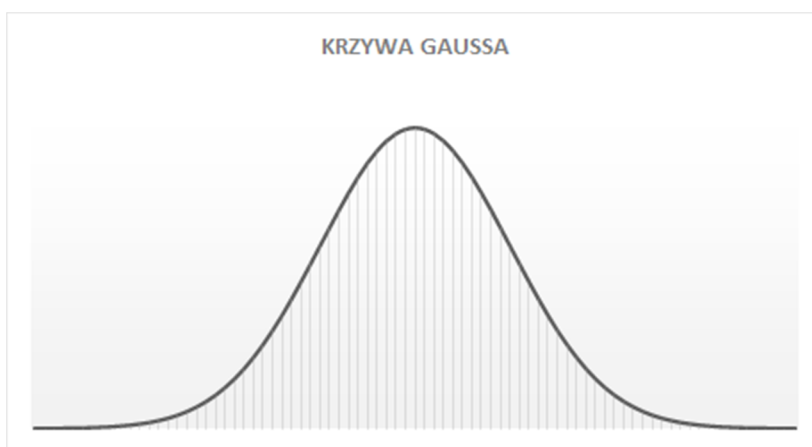


Posługiwanie się dostatecznie dużą liczbą pomiarów daje możliwość nanieśnięcia ich na wykres i zbudowania charakterystycznej linii, tzw. krzywej Gaussa (rys. 6.6), chociaż w praktyce dane nie zawsze układają się w krzywą Gaussa.

Do oceny rzeczywistej miary stabilności procesu konieczne jest wyznaczenie wskaźników zdolności procesu. Przedstawia się je jako wynik pomiarów pojedynczej cechy produktu/procesu, a konkretnie jako średnią i odchylenie standardowe. Niezwykle istotne jest także założenie, że cecha rozpatrywana w danym przypadku, traktowana jako zmienna losowa, ma rozkład normalny. Analizowana zdolność procesu może być potencjalna lub rzeczywista. Pierwsza z nich jest oznaczana symbolem  $C_p$  i wyraża zgodność jakościową procesu z uwzględnieniem jego sterowania (Ingaldi, 2019). W tym przypadku występują ograniczenia wyznaczone dwiema liniami tolerancji, a samo pole tolerancji jest symetryczne.  $C_p$  oblicza się ze wzoru (Hamrol, 2018):

$$C_p = \frac{(GLT - DLT)}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

gdzie:  $GLT$  – górna linia tolerancji,  
 $DLT$  – dolna linia tolerancji,  
 $T$  – pole tolerancji,  
 $\sigma$  – odchylenie standardowe badanej cechy.



Rys. 6.6. Prawo Six Sigma

Źródło: Opracowanie własne.

Wskaźnik  $C_p$  określa, ile razy przedział naturalnej zmienności danej cechy mieści się w polu wyznaczonym granicami wymagań. Im wskaźnik ma większą wartość, tym większa jest szansa, że proces spełnia wymagania.

Wskaźnik zdolności rzeczywistej, oznaczany jako  $Cpk$ , uwzględnia dodatkowo średnią cechy. Do jego obliczenia używa się wzorów (Hamrol, 2018):

$$Cpk = \frac{(GLT - \bar{x})}{3\sigma}, \quad \text{jeśli } GLT - \bar{x} < \bar{x} - DLT$$

$$Cpk = \frac{(\bar{x} - DLT)}{3\sigma}, \quad \text{jeśli } GLT - \bar{x} > \bar{x} - DLT$$

gdzie:  $GLT$  – górna linia tolerancji,  
 $DLT$  – dolna linia tolerancji,  
 $T$  – pole tolerancji,  
 $\sigma$  – odchylenie standardowe badanej cechy,  
 $\bar{x}$  – wartość średnia badanej cechy.

Znacząca jest mniejsza z wyliczonych wartości  $Cpk$ , ponieważ będzie się ona odnosić do linii tolerancji, w kierunku której jest przesunięta średnia wartość procesu (Hamrol, 2018). Większość niezgodności będzie się pojawiać właśnie po tej stronie procesu.

W wypadku gdy  $Cp \neq Cpk$ , na proces działa stały czynnik powodujący, że średnia wartość badanej cechy różni się od wartości nominalnej. Wskaźnik  $Cpk$  można wykorzystać jedynie w sytuacji, kiedy jest określona jedna wartość tolerancji: maksymalna albo minimalna. Inaczej mówiąc, wskaźnik ten jest traktowany jako jednostronny (pravo- lub lewostronny) (Ingaldi, 2019).

Metoda Six Sigma jest jednym z najlepszych rozwiązań ze względu na charakter prewencyjny. Jej strategia pozwala na doskonalenie procesów na każdym etapie, ze szczególnym uwzględnieniem eliminacji wad już na poziomie projektowania wyrobu bądź usługi. Wprowadzenie DMAIC zmienia sposób myślenia liderów, jednocześnie ulepszając proces zarządzania przedsiębiorstwem przez rozwijanie umiejętności dowodzenia i komunikacji u pracowników.

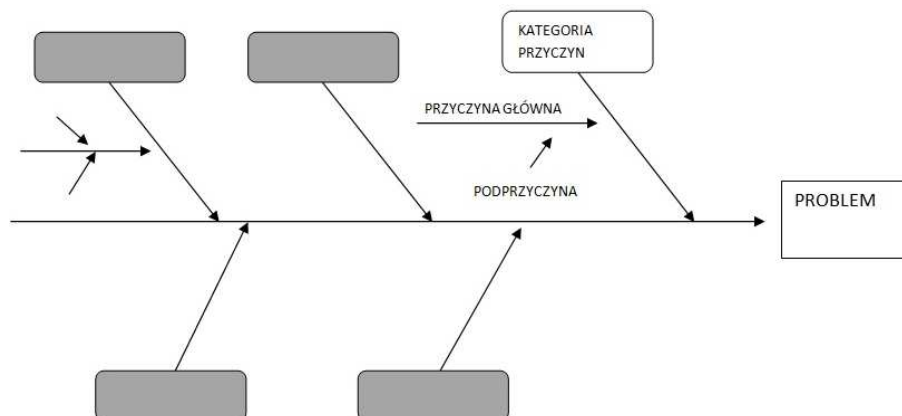
## Bibliografia

- [1] Bendkowski J., Matusek M. (2013), Logistyka produkcji, Praktyczne aspekty. Część 2. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [2] Hamrol A. (2018), Strategie i praktyki sprawnego działania. Lean, Six Sigma i inne. PWN, Warszawa.
- [3] Ingaldi M. (2019), Wprowadzenie do metody Six Sigma. Quality Production Improvement, 1(10).
- [4] Karaszewski R. (2001), Tylko dla liderów. Sześć Sigma. Problemy Jakości, (6), 9-11.
- [5] Mydlarz A. (2017), Narzędzia Six Sigma do zapewnienia jakości: <https://inzynieriakosci.pl/2017/11/six-sigma-zapewnienie-jakosci/> (dostęp: 13.11.2020).
- [6] Neuman R.P., Pande P.S., Cavanagh R.R. (2003), Six Sigma: Sposób poprawy wyników nie tylko dla firm, takich jak GR czy Motorola. K.E. Liber, Warszawa.



## 6.7. Diagram Ishikawy (Patrycja Bożek)

Diagram Ishikawy to metoda opracowana w XX w. przez absolwenta Uniwersytetu Tokijskiego Kaoru Ishikawę. Ze względu na prostotę i jasne zasady metoda ta szybko zdobyła popularność i stała się uniwersalnym narzędziem do analizy problemu. Powszechnie narzędzie to znane jest jako diagram rybiej ości (rys. 6.7). Po prawej stronie umieszczony jest problem. Stanowi on tzw. głowę ryby. Następnie od głowy odchodzi kręgosłup, który oznacza grupy przyczyn wpływających na pojawienie się problemu, oraz ości – potencjalnych przyczyn szczegółowych (Gołaś i Mazur, 2010).



Rys. 6.7. Diagram Ishikawy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Kowalska i Paździor, 2015).

Diagram Ishikawy jest stosowany przy badaniu problemów o różnych przekrojach i różnym stopniu szczegółowości. Najczęściej jest używany do rozwiązywania problemów jakościowych, w których jest rozbudowany łańcuch przyczyn. Pomaga dostrzec niezauważone dotąd związki między poszczególnymi przyczynami i przedstawić całą złożoność sytuacji. Dzięki analizie wyników grupa lub poszczególne osoby mogą odkryć źródło problemu (Borkowski, 2004). Istnieje kilka rodzajów diagramów Ishikawy, które różnią się od siebie kategoriami przyczyn. Do najczęściej stosowanych zalicza się 5M+3M, 8P i 4S.

Najbardziej popularnym w produkcji jest diagram 5M+3M zaczerpnięty z Toyota Production System. Przyczyny są podzielone na 5 kategorii, ale w zależności od sytuacji i problemu mogą zostać dodane jeszcze 3 kategorie (Mydlarz, 2017):

- Człowiek (ang. *Man*),
- Maszyna (ang. *Machine*),
- Metoda (ang. *Method*),
- Materiał (ang. *Material*),
- Pomiar (ang. *Measurement*),

- Środowisko (ang. *Mother nature*).
- Zarządzanie (ang. *Management*),
- Utrzymanie (ang. *Maintenace*).

Diagram 8P jest wykorzystywany w środowisku marketingowym w odniesieniu do problemów związanych np. z niską sprzedażą. Wyróżnia się następujące kategorie przyczyn (Mydlarz, 2017):

- Produkt (ang. *Product*),
- Cena (ang. *Price*),
- Promocja/reklama (ang. *Promotion*),
- Miejsce (ang. *Place*),
- Proces (ang. *Process*),
- Ludzie (ang. *People*),
- Fizyczne aspekty miejsc interakcji z klientem (ang. *Psychical evidence*),
- Wyniki w porównaniu z konkurencją (ang. *Performance*).

Diagram 4S składa się tylko z 4 następujących ości i jest stosowany w branży usługowej (Mydlarz, 2017):

- Umiejętności personelu (ang. *Skills*),
- Otoczenie, środowisko (ang. *Surroundings*),
- Dostawcy, poddostawcy (ang. *Suppliers*),
- Proces (ang. *System*).

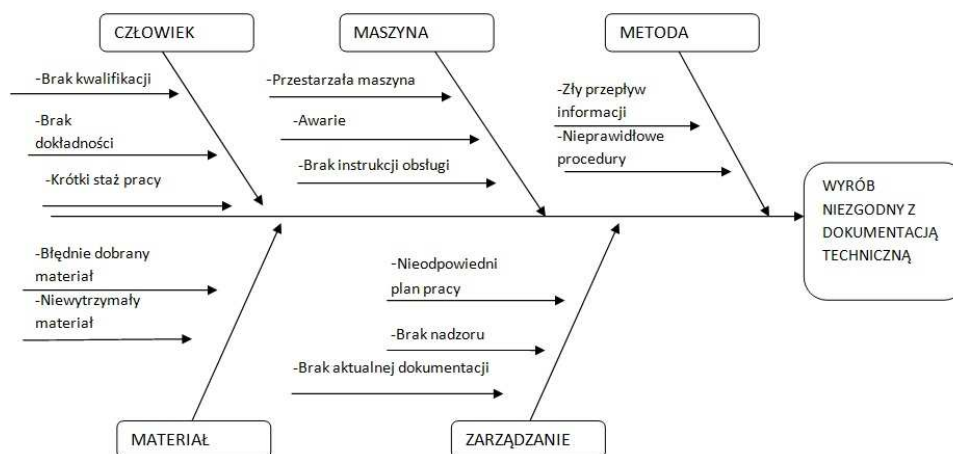
Sporządzenie takiego wykresu musi być wysiłkiem wielu pracowników, ponieważ zazwyczaj źródła niepowodzeń są zlokalizowane w różnych obszarach. W celu uzyskania zamierzonego rezultatu należy najpierw zidentyfikować problem. Najlepiej zastosować m.in. metodę burzy mózgów, analizę Pareto lub analizę kosztów i jakości. Następnie należy wybrać główną grupę przyczyn oraz je uszczegółowić. Po analizie diagramu należy wybrać 2-4 przyczyny, które mają najistotniejszy wpływ na powstały problem i sformułować działania naprawcze. Kierownictwo przedsiębiorstwa powinno zapewnić dostęp do tych danych swoim pracownikom, aby mogli oni czynnie brać udział w analizie (Gołaś i Mazur, 2010).

Na rysunku 6.8 przedstawiono przykład diagramu Ishikawy 5M dla analizy przyczynowo-skutkowej powstania wyrobów niezgodnych z dokumentacją techniczną.

Po przeprowadzeniu szczegółowej analizy okazało się, że do najistotniejszych źródeł problemu należą brak instrukcji obsługi maszyny na stanowisku pracy oraz brak aktualnej dokumentacji w przedsiębiorstwie. Kierownictwo powinno zadbać o to, by dokumentacja firmy była uporządkowana i aktualizowana, a także ogólnodostępna w wersji elektronicznej. Instrukcje powinny być przy każdym stanowisku pracy. Należy zadbać o to, by instrukcje były skonstruowane w sposób łatwy i szybki do zrozumienia.

Diagram rybiej ości należy stosować, gdy przyczyna powstałego problemu jest nieznaną lub może być ich kilka. Idealnie nadaje się do problemów związanych z jakością produktu lub usług. Narzędzia nie opłaca się stosować przy problemach, które się powtarzały i znane są ich źródła oraz gdy wyeliminowanie

problemu zajmuje mniej czasu niż przeprowadzenie analizy z wykorzystaniem diagramu Ishikawy (Mydlarz, 2017).



Rys. 6.8. Przykład diagramu Ishikawy 5M

Źródło: Opracowanie własne.

W celu usprawnienia procesu analizy przyczynowo-skutkowej zintegrowano diagram Ishikawy z metodą FHAP. Motywacją do tej integracji była poprawa procesu analizy z uwzględnieniem subiektywizmu decydenta. Metoda FHAP (ang. *Fuzzy Analytic Hierarch Process*) powstała przez połączenie metody AHP i logiki rozmytej. Połączenie to pozwala na precyzyjną i numeryczną identyfikację głównych przyczyn problemu oraz rozważenie subiektywizmu decydenta. Metoda ta jest przydatna w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych zawierających sprzeczne kryteria, obciążone niepewnością. Diagram Ishikawy jest narzędziem niewystarczającym, gdy problem wymaga precyzyjnego i jednoznacznego wskazania, natomiast w połączeniu z wynikami uzyskanymi dzięki FHAP możliwe jest matematyczne przedstawienie rezultatów przeprowadzonej analizy. W celu jeszcze skuteczniejszej analizy problemu do sekwencji Ishikawy i FHAP należy dodać 5xWhy. Dzięki temu zostanie zawężona lista potencjalnych przyczyn źródłowych (Pacana i Siwiec, 2020).

## Bibliografia

- [1] Borkowski S. (2004), Mierzenie poziomu jakości. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu, Sosnowiec.
- [2] Gołaś H., Mazur A. (2010), Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [3] Kowalska M., Paździor M. (2015), Zastosowanie diagramu Ishikawy jako narzędzia doskonalenia jakości produktów spożywczych. Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Radom.
- [4] Mydlarz A. (2017), Diagram Ishikawy – 3 rodzaje na rozwiązanie każdego problemu. Dostęp na: <https://inzynierjakosci.pl/2017/12/diagram-ishikawy/> (dostęp: 28.01.2021).



- [5] Pacana A., Siwiec D. (2020), Improving the Process of Analysing the Causes of Problem by Integrating the Ishikawa Diagram and FAHP Method. *Zeszyty Naukowe, Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska (143 Contemporary Management)*, 247-253.

## 6.8. 5xWhy (Roksana Żurawska)

Przyczyny powstania problemów w przedsiębiorstwie mogą być zidentyfikowane różnymi metodami. Jedną z metod wykorzystywanych w tym celu jest metoda 5xWhy, czyli 5xDlaczego. Metoda 5xWhy została opracowana przez Sakichi Toyoda (japoński wynalazca oraz przemysłowiec) i stała się częścią Toyota Production System (Serrat, 2017).

Metoda ta polega na zadaniu pięciu pytań „Dlaczego?”, w celu określenia przyczyny problemu. Należy pamiętać, że podczas jej stosowania ocenie nie podlegają ludzie, lecz systemy oraz procesy.

Analiza 5xWhy powinna się skupiać na dwóch podstawowych aspektach (Huber, 2006):

- 1) Dlaczego dany problem wystąpił? Należy zidentyfikować problem oraz zastanowić się, dlaczego w ogóle powstał.
- 2) Dlaczego nie zostało to zauważone? Należy określić, dlaczego wcześniej problem nie został zidentyfikowany oraz dlaczego stosowane metody oraz systemy kontroli bądź nadzoru nie wykryły go wcześniej.

Zastosowanie metody 5xWhy składa się z następujących kroków (Skotnicka-Zasadzień, 2013):

1. Zbieranie informacji. Na samym początku należy zidentyfikować problem oraz zebrać o nim jak najwięcej danych, dotyczących tego:
  - Kiedy dany problem się pojawił?
  - Czy zagraża to ogólnemu interesowi przedsiębiorstwa?
  - Czy generuje to straty dla przedsiębiorstwa oraz na jaką skalę?
  - Czy stwarza zagrożenie dla klienta?
2. Utworzenie grupy roboczej. Po zebraniu wystarczającej ilości danych na temat wystąpienia danego problemu należy utworzyć grupę, która pomoże w ustaleniu przyczyny jego powstania. Aby móc efektywnie ustalić źródła problemu, członkami zespołu powinny być osoby, które mają największą wiedzę z obszaru, w którym pojawił się problem.
3. Precyzyjne przedstawienie problemu. Po zebraniu członków oraz utworzeniu zespołu należy jasno scharakteryzować problem, ponieważ jest to ważny aspekt w tej metodzie. Im problem zostanie dokładniej scharakteryzowany, tym łatwiej będzie znaleźć źródło jego powstania. Skonkretyzowanie problemu pomaga grupie roboczej skoncentrować się na nim (Huber, 2006).

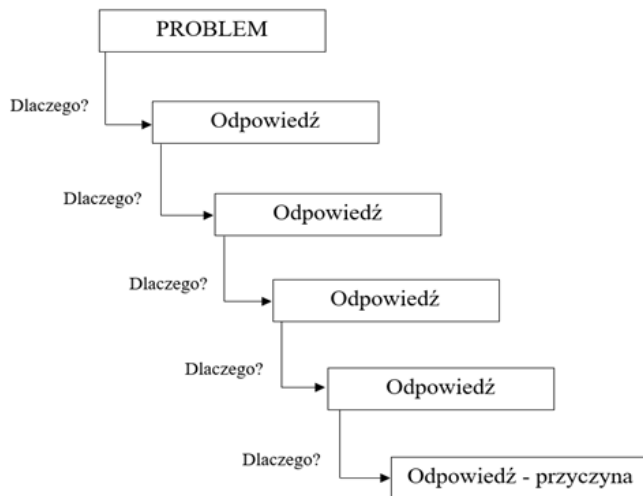
Do zalet metody 5xWhy można zaliczyć przede wszystkim (Skotnicka-Zasadzień, 2013):

- możliwość łatwego oraz szybkiego wdrożenia,
- łatwość w zastosowaniu metody w każdym przedsiębiorstwie,



- brak potrzeby znajomości narzędzi statystycznych,
- prostota stosowania.

Schemat postępowania w metodzie 5xWhy został przedstawiony na rys. 6.9.



Rys. 6.9. Schemat postępowania w metodzie 5xWhy

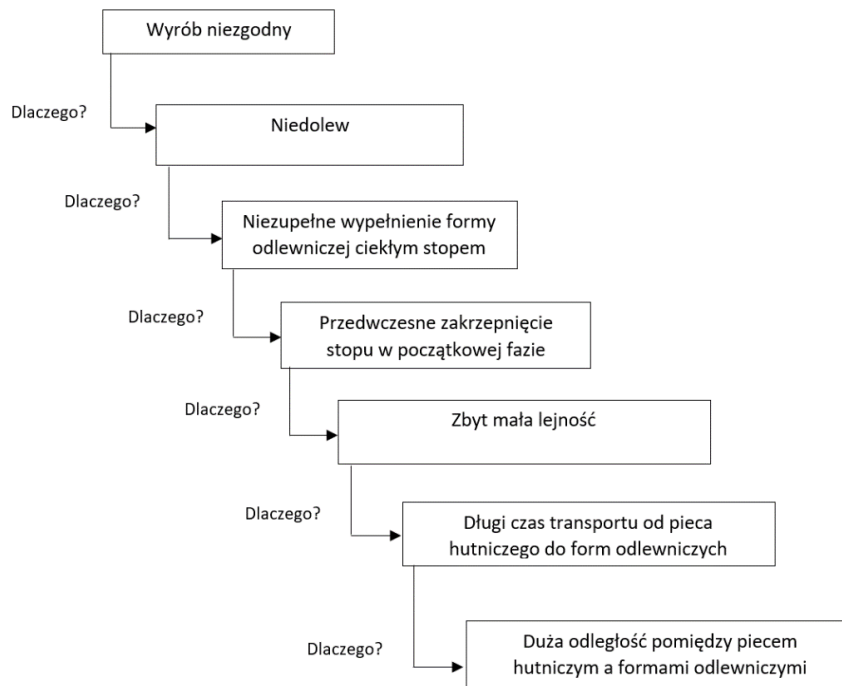
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Serrat, 2017).

W celu zaprezentowania metody 5xWhy przedstawiono przykładowe zastosowanie dla problemu pojawienia się wyrobu niezgodnego (rys. 6.10).

Jak widać w przedstawionym przykładzie, pytanie „Dlaczego?” zadano 6 razy, co pokazuje, że w niektórych przypadkach zadanie 5 pytań jest niewystarczające. Czasami może się zdarzyć, że już po 4. pytaniu przyczyna problemu zostanie zidentyfikowana, czasami jednak nawet 5 pytań nie pozwala na jej ustalenie. Można wówczas zadać kolejne pytanie „Dlaczego?”. Niekiedy nawet po zadaniu kolejnych dodatkowych pytań przyczyna nie zostaje zidentyfikowana. Może to oznaczać, że problem jest zbyt złożony i należy użyć innej metody.

Po przeprowadzeniu 5xWhy należy sprawdzić logiczność udzielanych odpowiedzi. W celu określenia logiczności odpowiedzi należy po kolei je przeanalizować oraz zweryfikować. Trzeba ustalić, czy otrzymana odpowiedź jest związana z problemem i opiera się na zasadzie przyczyna–skutek.

Po ocenie czy odpowiedzi są logiczne, można ostatecznie ustalić przyczynę wystąpienia problemu. Z przeprowadzonej analizy wynika, że źródłem defektu jest zbyt duża odległość od pieca hutniczego do form odlewniczych. Kiedy przyczyna została już ustalona, należy ją zlikwidować, wprowadzając działania korygujące polegające na zmianie rozmieszczenia. Formy odlewnicze powinny się znajdować w niedalekiej odległości od pieca hutniczego, dzięki czemu stop nie zdąży oddać ciepła i zapobiegnie to powstawaniu niedolewów.



Rys. 6.10. Schemat zastosowania metody 5xWhy dla problemu pojawienia się wyrobu niezgodnego

Źródło: Opracowanie własne.

Metoda 5xWhy jest prostym narzędziem i można ją stosować głównie w mniej złożonych problemach. Technika ta, jak sama nazwa wskazuje, opiera się na zadaniu 5 pytań „Dlaczego?”, odnosząc się kolejno do udzielanych odpowiedzi. Zazwyczaj przyczyna problemu zostaje zidentyfikowana przy 5. udzielanej odpowiedzi, ale nie zawsze, dlatego w niektórych przypadkach nie trzeba sztywno trzymać się tej zasady i można zadać kolejne dodatkowe 2-3 pytania (Helman i Rosienkiewicz, 2016).

## Bibliografia

- [1] Helman J., Rosienkiewicz M. (2016), Design Thinking jako koncepcja pobudzania innowacji. [W:] R. Knosala (red.), Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole.
- [2] Huber Z. (2006), Metoda 5Why. Dostępne na: <http://huber.pl/files/art-3.pdf> (dostęp: 16.01.2021).
- [3] Serrat O. (2017), Knowledge solutions: Tools, methods, and approaches to drive organizational performance. Springer Nature.
- [4] Skotnicka-Zasadzień B. (2013), Doskonalenie procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie przemysłowym z zastosowaniem metod projektowania jakości. [W:] R. Knosala (red.), Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole.



## 6.9. Analiza FMEA (Natalia Stec)

Metoda FMEA (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*) to taktyka, która jest stosowana niemal cały czas, nie tylko jeśli chodzi o funkcjonowanie przedsiębiorstwa, ale również w życiu codziennym. Służy ona do ustalania związków przyczynowo-skutkowych za pomocą określania i analizowania potencjalnych problemów, ich przyczyn, szukania sposobów ich uniknięcia oraz opracowywania działań zapobiegawczych w przypadkach, które tego wymagają, a więc właściwie w każdej dziedzinie i sytuacji. Metoda FMEA została opisana w normie PN-EN IEC 60812:2018-12, gdzie przedstawiono ważne zmiany w sposobie jej prowadzenia. Na podstawie normy zostały określone zasady, które dotyczą realizacji tej analizy. W sposób analogiczny rozpatruje się, jak można uniknąć pojawienia się potencjalnych problemów (Huber, 2006).

Celem analizy FMEA jest systematyczne i konsekwentne dążenie do zidentyfikowania potencjalnych wad produktów bądź błędów w procesach występujących na danym etapie produkcyjnym, a następnie na zminimalizowaniu ryzyka, które wiąże się z danym problemem, bądź jego całkowitym wyeliminowaniu. Aby proces bądź produkt był ciągle doskonały, można poddawać go kolejnym analizom, a dzięki uzyskanym wynikom możliwe jest wprowadzenie nowych rozwiązań, czy też naniesienie poprawek skutecznie eliminujących źródło wad. Ponadto dzięki analizowaniu produktów bądź procesów możliwe jest uzyskanie nowych pomysłów, które pozwolą ulepszyć właściwości i jakość wyrobu/procesu (Myszewski, 1996).

Analiza FMEA może być wykorzystywana do procesów bardzo złożonych, zarówno w produkcji jednostkowej, jak i masowej. W przedsiębiorstwach może być ona przeprowadzana dla całego wyrobu, dla całego procesu technologicznego bądź dowolnej operacji. Można wyróżnić dwa rodzaje analizy FMEA (Huber, 2006):

- analizę FMEA produktu,
- analizę FMEA procesu.

FMEA produktu jest ukierunkowana przede wszystkim na poprawę niezawodności i sprawności produktu. Dzięki niej są uzyskiwane informacje o słabych i silnych punktach produktu. Oprócz czynności prewencyjnych metoda ta pozwala określić działania, które powinny być podejmowane w sytuacji, gdy produkt opuszcza przedsiębiorstwo, np. podczas transportu czy serwisowania.

Metodę FMEA produktu można wykorzystywać w różnych fazach powstawania produktu (Huber, 1996):

- w trakcie opracowywania koncepcji produktu,
- przed wdrożeniem produktu do produkcji,
- w czasie wdrażania produktu na skalę przemysłową,
- podczas produkcji i eksploatacji.

Analiza FMEA może dotyczyć całego produktu, jego zespołów, podzespołów, a w wyjątkowych sytuacjach nawet części. Najczęściej wykorzystuje się analizę dotyczącą zespołów czy podzespołów produktu. Wynika to z dużej praco-

chłonności dotyczącej analizy całego produktu. Jest to główny powód, dla którego analiza FMEA jest ograniczana do określonych wcześniej segmentów.

W celu ustalenia wad produktu zwraca się dużą uwagę na aspekty, których wady mogą dotyczyć, jak na przykład (Skotnicka-Zasadzień, 2012):

- funkcji, jakie wyrób ma realizować,
- niezawodności wyrobu w ciągu eksploatacji,
- trudności/łatwości obsługi przez użytkownika,
- trudności/łatwości naprawy w przypadku uszkodzenia,
- technologii konstrukcji.

Analiza FMEA produktu jest zalecana w następujących sytuacjach: gdy wprowadza się nowy wyrób bądź technologię, podczas występowania dużego zagrożenia dla człowieka bądź otoczenia lub w przypadku trudnej eksploatacji produktu. Warto ją stosować, gdy występują trudne warunki produkcji danego wyrobu. Metoda FMEA procesu jest wykorzystywana do rozpoznawania czynników, które mogą skutkować ewentualnymi zakłóceniami procesów wytwarzania. Można wymienić następujące zakłócenia procesów wytwarzania (Skotnicka-Zasadzień, 2013):

- metody obróbki,
- parametry obróbki,
- środki pomiarowe i kontrolne,
- maszyny i urządzenia.

Analiza FMEA jest stosowana w fazie początkowej projektowania procesów technologicznych, najczęściej przed rozpoczęciem produkcji oraz w celu udoskonalania procesów w produkcji, które są niestabilizowane lub nie gwarantują uzyskania określonej wydajności.

Przeprowadzenie analizy FMEA przebiega według trzech kluczowych etapów. Pierwszy z nich jest związany ze wstępnym przygotowaniem badania, kolejny etap polega na przeprowadzeniu właściwej analizy, natomiast w trzecim etapie wprowadza się propozycje działań korygujących i zapobiegawczych. Analizę FMEA można podzielić na trzy etapy (Pałubicki i Kukielka, 2017).

**Etap I.** W pierwszej kolejności tworzony jest zespół, w którym znajdują się przedstawiciele różnych działów przedsiębiorstwa. Wyznacza się osobę odpowiedzialną za kierowanie i koordynowanie pracy zespołu, ze względu na duży nacisk na pracę zespołową w metodzie FMEA. W tym etapie analizy zespół ma wyznaczone zadanie, które polega na przygotowaniu założeń do przeprowadzenia analizy właściwej. Polega ono na określeniu podzespołu, części lub operacji, które trzeba przeanalizować. Analiza tworzona jest w sposób uogólniony i bardzo przejrzysty. Aby wymienione cechy analizy FMEA miały zastosowanie w praktyce, stosuje się podejście systemowe. Dzięki temu każdy wyrób jest systemem, do którego wchodzi podsystemy niższego rzędu. Dla elementów systemu są określone funkcje, podzielone na wewnętrzne, wyjścia oraz wejścia. Pierwszym z zadań zespołu jest określenie granic systemu oraz wyodrębnienie w nim liczby i stopni podsystemów. W zależności od złożoności rozpatrywanego obiektu wyznaczona

jest liczba poziomów. Po prawidłowo przeprowadzonej dekompozycji systemu można rozpocząć analizę dowolnego poziomu.

**Etap II.** Ten etap obejmuje zasadniczą część FMEA. Przeprowadza się ją dla całego wyrobu, jego pojedynczego elementu lub podzespołu, dla całego procesu technologicznego, jak również dla jednej z operacji. Pierwszym zadaniem realizowanym w tym etapie jest określenie potencjalnych wad lub błędów, których występowanie w wyrobie jest wysoce prawdopodobne. Przyczyną wady jest działanie podsystemu niższego rzędu niezgodnego z założeniami, a skutkiem – zakłócenie funkcjonowania systemu wyższego rzędu. Przyczynę określonej wady lub błędu można odnaleźć w wyrobie, konstrukcji lub w procesie technologicznym, dzięki któremu powstaje wyrób. Na tym etapie ważne jest określenie związków przyczynowo-skutkowych, w których niezgodność jest elementem. Następnie zadanie zostaje poddane ocenie zdefiniowanych w pierwszym kroku relacji przyczyna–wada/błąd–skutek, z uwzględnieniem trzech kryteriów: ryzyka, możliwości ujawnienia się przyczyny zanim pojawi się negatywny skutek oraz wielkości znaczenia wady/błędu dla użytkownika wyrobu/procesu.

**Etap III.** W tej części są prezentowane propozycje wprowadzenia działań zapobiegawczych oraz korygujących w celu zmniejszenia lub wyeliminowania ryzyka wystąpienia wad/błędów określonych jako krytyczne. Jeśli wyeliminowanie lub całkowite wykluczenie wady/błędu jest niemożliwe, to należy określić działania dążące do zwiększenia wykrywalności lub zminimalizowania niekorzystnych skutków ich występowania. Należy stale kontrolować i monitorować przebieg działań zapobiegawczych oraz korygujących, a wyniki poddawać ciągłej weryfikacji metodą FMEA.

**Etap IV.** Ostatni etap stanowią: opis wykonanych działań korekcyjnych oraz ponowna ocena liczb priorytetowych. W tym celu określa się działania, które zostały zrealizowane, aby obniżyć priorytet wad, ich skuteczność oraz wysuwa się wnioski określające skuteczność wprowadzonych zmian. Ponowna ocena liczb priorytetowych jest przeprowadzona tylko dla pozycji objętych wpływem działań korekcyjnych.

## Bibliografia

- [1] Huber Z. (2006), Analiza FMEA procesu. Internetowe Wydawnictwo Złote Myśli, Gliwice, 11.
- [2] Myszewski J. (1996), Warsztaty zespołu FMEA. OBJW ZETOM, Warszawa.
- [3] Pałubicki S., Kukielka K. (2017), Zarządzanie jakością w wybranym procesie produkcyjnym z zastosowaniem metody FMEA. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18, 7-8, 256-261.
- [4] Skotnicka-Zasadzień B. (2012), Analiza efektywności zastosowania metody FMEA w małym przedsiębiorstwie przemysłowym. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 2012, 2(2), 142-153.
- [5] Skotnicka-Zasadzień B. (2013), Doskonalenie procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie przemysłowym z zastosowaniem metod projektowania jakości. [W:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole.





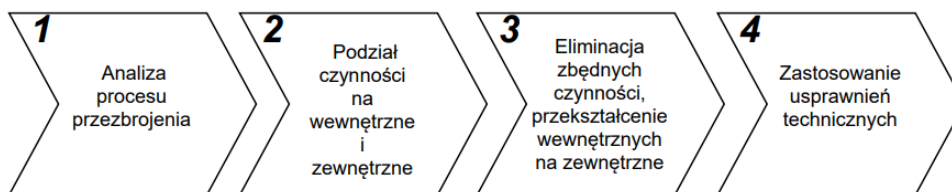
## 6.10. SMED (*Michał Adamczuk*)

SMED (ang. *Single-Minute Exchange of Die*) pozwala zredukować czasy przebrojenia maszyny do czasu krótszego niż 10 minut (Antosz i Pacana, 2017). SMED pomaga wykryć źródła marnotrawstwa czasu podczas przebrojeń maszyn technologicznych. Shigeo Shingo zaczął pracować nad metodą SMED już w latach 50. XX w. i przez wiele lat była ona dopracowywana. Do badania i normowania pracy są wykorzystywane takie narzędzia, jak wykres sznurkowy oraz chronometr. Ich zastosowanie pozwala sprostać oczekiwaniom związanym z szybką przebudową linii produkcyjnej (Salwin i in., 2019). Metoda SMED jest wykorzystywana przede wszystkim w przypadku złożonych i zmiennych linii produkcyjnych, a także w nowoczesnych sposobach organizacji produkcji (Szatkowski, 2014). Przebrojenie definiuje się jako przygotowanie maszyny do zrealizowania kolejnej operacji technologicznej. SMED daje możliwość zastosowania jak najmniejszej liczby narzędzi potrzebnych do operacji oraz skrócenia czasu przebrojenia danego stanowiska do pojedynczych minut. Nie we wszystkich przypadkach możliwe jest zastosowanie tej metody ze względu na rodzaj maszyny lub stanowiska (Hamrol, 2018). Wprowadzenie metody SMED powinno być poprzedzone szkoleniem teoretycznym, podczas którego pracownicy zostają zapoznani z założeniami metody oraz krokami działania.

Czynności wykonywane podczas przebrajania maszyn można podzielić na dwie grupy (Kaleta, 2015):

- czynności zewnętrzne są to czynności wykonywane podczas pracy maszyny. Należy wykonać jak najwięcej czynności, kiedy maszyna pracuje. Najczęściej są to czynności, które można zrealizować przed przystąpieniem do procesu przebrojenia, np. pobieranie form z miejsca odkładczego, podgrzanie formy, wymiana dyszy, transport narzędzi lub form do stanowiska,
- czynności wewnętrzne są to wszystkie czynności, które można wykonać dopiero po unieruchomieniu i wyłączeniu maszyny. Czynności te powodują największe przestoje oraz straty czasu, dlatego należy je eliminować lub skracać. Są nimi przykładowo: wyjęcie formy z maszyny, oczyszczenie maszyny po poprzednim procesie czy też odkręcenie wyrzutnika.

Na rysunku 6.11 został przedstawiony schemat postępowania podczas wdrażania narzędzia SMED.



Rys. 6.11. Schemat wdrożenia metody SMED

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Antosz i Pacana, 2017).



Pierwszym krokiem w narzędziu SMED jest utrwalenie procesu przezbrojenia. Najprostszym i najdokładniejszym sposobem rejestracji przezbrojenia jest wykorzystanie kamery lub aparatu, ponieważ nagranie można łatwo i szybko przeanalizować. Etap ten jest nazywany etapem zerowym, ponieważ dogłębnie analizuje się proces i nie dokonuje się jeszcze żadnych fizycznych usprawnień. Podczas nagrywania należy zwrócić szczególną uwagę na ruchy, które wykonuje operator, jakimi drogami się przemieszcza oraz jakich używa narzędzi. Analiza materiału powinna zostać przeprowadzona z udziałem osób pracujących na danym stanowisku, ponieważ mogą przedstawić swoje uwagi co do przebiegu przezbrojenia. Do zapisu przebiegu przezbrojenia należy wykorzystać arkusz obserwacji, na którym zapisuje się każdą wykonaną czynność, czas trwania czynności, informację o tym, czy dana czynność jest wewnętrzna czy zewnętrzna, oraz jakie narzędzie zostało wykorzystane w danej czynności. W celu zobrazowania ruchów operatora należy również opracować diagram spaghetti.

Jednym z kluczowych etapów SMED jest identyfikacja oraz dążenie do zmiany czynności wewnętrznych na zewnętrzne. Dzięki tym działaniom można zredukować czas przezbrojenia nawet o połowę (da Silva i Godinho Filho, 2019). Na tym etapie pomocne będzie wdrożenie arkuszy kontrolnych, które zawierają informacje o tym, jaki pracownik bierze udział w przezbrojeniu, jakich narzędzi lub przyrządów powinien użyć, oraz z jakich instrukcji i procedur należy korzystać. Należy dążyć do skrócenia czasów czynności wewnętrznych do minimum, dzięki czemu można rozpocząć produkcję następnego wyrobu jak najszybciej. Na tym etapie bardzo ważne jest ujednoczenie wykorzystywanego oprzyrządowania oraz sposobu montażu. W tym celu bardzo pomocne są dokumenty nastawcze maszyn, w których są zapisane wszystkie parametry, jakie należy ustawić w przezbrajanej maszynie. W dokumentacji powinno się zamieszczać także dokładne oznaczenia oraz zdjęcia poszczególnych etapów przezbrojenia, co pomoże osiągać pracownikom oczekiwaną powtarzalność. W ostatnim etapie metody SMED wdrażane są rozwiązania oraz narzędzia, które mogą się przyczynić do uproszczenia procesu przezbrojenia. Należy zidentyfikować, które elementy wykorzystywane podczas przezbrojenia mogą zostać zmodyfikowane lub wymienione na takie, które są mniej czasochłonne w użyciu. Na tym etapie możliwe jest uzyskanie średnio 10% redukcji czasu przezbrojenia maszyny.

Przykładowymi rozwiązaniami usprawnień technicznych stosowanych w metodzie SMED mogą być:

- zmiana podłączenia przewodów z połączenia śrubowego na szybkozłącza,
- wymiana tradycyjnych narzędzi na elektronarzędzia,
- zastosowanie zacisków zamiast konwencjonalnych śrub,
- rozwiązania eliminujące konieczność regulacji przyrządów.

Na etapie usprawnienia przezbrojeń należy także zidentyfikować, które czynności mogą być wykonywane równolegle z innymi czynnościami, co przynosi znaczne oszczędności czasowe. Bardzo istotnym aspektem jest również wyznaczenie oraz odpowiednie oznaczenie miejsc dla narzędzi i przyrządów wykorzystywanych podczas przezbrajania. Uniwersalność oraz prostota to podstawowe zalety

metody SMED. Redukcja czasu przebrojenia oraz widoczne efekty już na samym początku wdrożenia pokazują nie tylko kierownictwu, lecz także pracownikom, że warto korzystać z narzędzi Lean Manufacturing.

## Bibliografia

- [1] Antosz K., Pacana A. (2017), Ocena efektywności wdrożenia metody SMED dla wybranych stanowisk produkcyjnych – studium przypadku. [W:] Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, red. R. Knosala, 1, 313-321. Dostępne na: [http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk\\_pdf\\_2017/T1/t1\\_313.pdf](http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2017/T1/t1_313.pdf) (dostęp: 14.01.2021).
- [2] da Silva I.B., Godinho Filho M. (2019), Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9), 4289-4307.
- [3] Hamrol A. (2018), Strategie i praktyki sprawnego działania lean, six sigma i inne. Wyd. II, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [4] Kaleta A. (2015), *Nauki o Zarządzaniu*, 3(24), Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- [5] Salwin M., Lipiak J., Wałachowski P. (2019), Production improvement by using the smed method-case study. *Research in Logistics & Production*, 9(2), 137-152.
- [6] Szatkowski K. (2014), *Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

## 6.11. Koncepcja Gemba (*Mateusz Gorzynik*)

Znaczenie słowa Gemba wywodzi się z języka japońskiego, co oznacza „miejsce zdarzenia” lub „miejsce wykonywania pracy” lub „prawdziwe miejsce”. Gemba określa miejsce, gdzie wykonywane są czynności dodające wartość, np. (Imai, 1997):

- dla procesów produkcyjnych – hala produkcyjna,
- dla procesów składowania i załadunku – magazyn,
- dla usług hotelarskich – recepcja, apartamenty, jadalnie,
- dla usług bankowych – biuro.

W węższym zastosowaniu Gemba dla obszarów produkcyjnych powinno być źródłem wszystkich informacji i miejscem wszelkich ulepszeń dla kadry zarządzającej daną jednostką organizacyjną (dyrektorzy, kierownicy poszczególnych szczebli, inżynierowie, specjaliści). Kierownictwo powinno utrzymywać bliski kontakt z rzeczywistością w Gemba i pojawiającymi się tam problemami (Imai, 1997). Gemba Walk jest koncepcją zapoczątkowaną przez Taiichi Ohno uznawanego za ojca *Just in Time*. Gemba Walk jest istotne w filozofii Lean Management ze względu na zaangażowanie menedżerów i liderów w obserwacje procesów, zdobywanie wiedzy na ich temat oraz znajdowanie nowych rozwiązań. Przeglądy Gemba zostały zapoczątkowane przez japońskie kierownictwo w celu efektywniejszej eliminacji codziennych problemów. Taka weryfikacja może przynosić korzyści, np. (Imai, 1997):

- budowę stabilnych relacji z pracownikami,
- przyspieszoną identyfikację potencjalnych problemów,



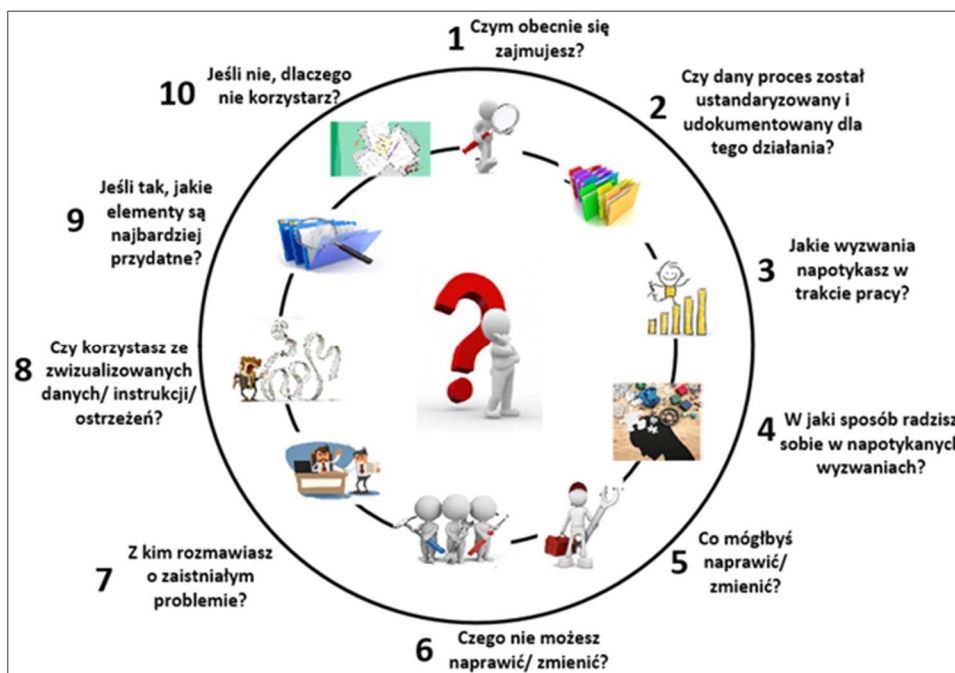
- sprawniejsze wykonywanie działań doskonalących, czyli Kaizen,
- przejrzyste ukazywanie celów i zadań,
- zwiększenie zaangażowania pracowników mających wpływ na wartość dodaną.

Gemba Walk stwarza realną szansę dla kierownictwa na opuszczenie codziennej rutyny i zaangażowanie się w bezpośrednie działania na produkcji. Należałoby zwrócić uwagę na 5 ważnych elementów tego narzędzia (Gemba, 2018).

1. Idź i zobacz – osobista obserwacja procesu i realnego miejsca pracy, a tym samym zaangażowanie się w wykrywanie marnotrawstwa.
2. Zaangażuj się i zrozum – próba rozwiązywania problemów w natychmiastowym tempie, analiza zauważonych danych związanych z danym problemem w celu znalezienia prawdziwej przyczyny źródłowej. W danym elemencie pomocną techniką jest 5xWhy.
3. 3M – identyfikacja obszarów, tzn. „Muda” – marnotrawstwo, „Muri” – nieprawidłowości w funkcjonowaniu procesu oraz „Mura” – nadmierne obciążenie pracą. Rozpoznane straty pozwolą na podjęcie działań zapobiegawczych.
4. Szanuj pracowników podczas współpracy z nimi – zrozumienie problemów wszystkich pracowników, spokojne podejście i nieobwinianie ludzi za ich błędy.
5. Działaj, aby unikać – próba standaryzacji obszarów, w których zostały zidentyfikowane problemy w celu uniknięcia wystąpienia ich w najbliższej przyszłości.

Wskazane zasady są bardzo ważne w ogólnym rozumieniu Lean Management, ukierunkowują kierownictwo na sposób postępowania z podwładnymi oraz sposób rozwiązywania problemów.

W wielu firmach na wzór japońskich filozofii stosuje się Gemba Walk. W wielu przypadkach kierownicy, inżynierowie, specjaliści spotykają się w Gemba, tzn. na hali produkcyjnej, o wyznaczonej godzinie i rozmawiają o zaistniałych problemach. W praktycznym zastosowaniu w przedsiębiorstwach wyznacza się „Kąciki spotkań”, zwane również pokojem Obeya, gdzie umieszcza się tablice z danymi, które powinny być na bieżąco aktualizowane. Pomocne jest użycie elementów zarządzania wizualnego. Kadra kierownicza spotyka się w takim miejscu i analizuje dane, w trakcie spotkania w bardzo łatwy i szybki sposób może się udać na daną linię produkcyjną, maszynę, stanowisko robocze i zweryfikować zaistniały problem. W tym samym momencie pracownik bezpośredniej produkcji może wyjaśnić przyczyny nieprawidłowości, a dany kierownik/inżynier – podjąć decyzję i w przyspieszony sposób rozwiązać problem. W trakcie Gemba Walk może zostać podjęty schemat pytań jak przedstawiono na rys. 6.12. Wskazane pytania powinny być pomocne w rozumieniu procesu, weryfikacji zastosowania ustalonych standardów, znalezieniu zbędnych czynności, poszukiwaniu trudności dla pracowników oraz poznaniu pracownika i jego pracy na konkretnym stanowisku roboczym (Bremer, 2015).



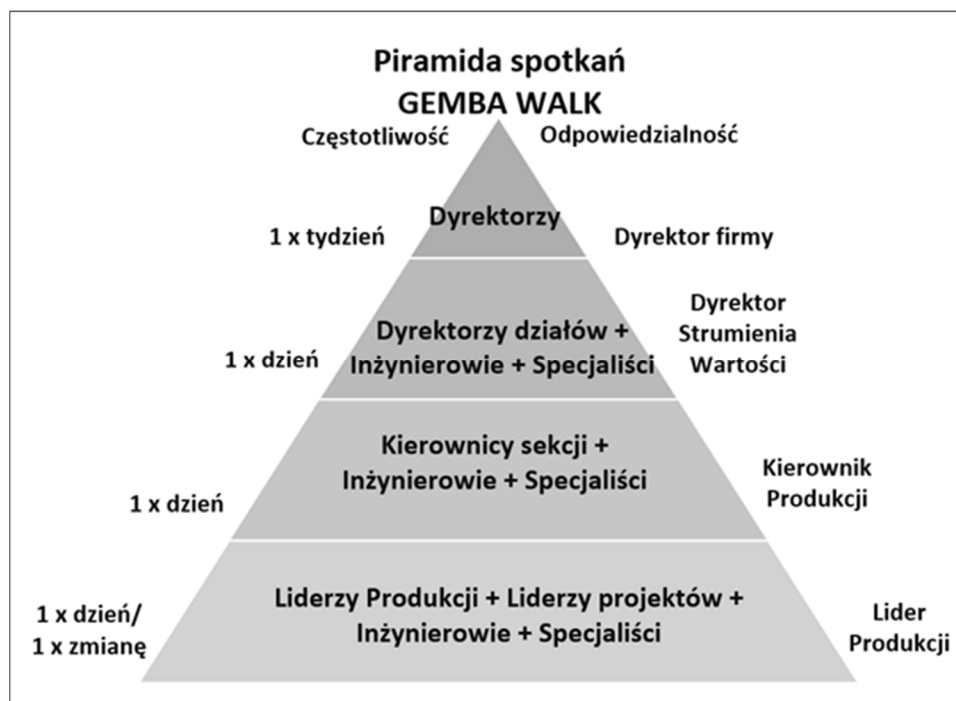
Rys. 6.12. Schemat pytań Gemba Walk

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <https://pl.pinterest.com/pin/383017143309467580/> (dostęp: 02.01.2021).

Spotkania Gemba Walk w przedsiębiorstwach przybierają różną strukturę i posiadają różne zasady związane z tematyką, częstotliwością i odpowiedzialnością tych przeglądów. „Spacery Gemba” mogą się odbywać nawet kilka razy dziennie lub tygodniowo i mogą gromadzić zróżnicowane grono osób. W wielu przedsiębiorstwach stosuje się spotkania na poszczególnych poziomach kadry zarządczej wraz z wybranymi specjalistami i inżynierami. Gemba Walk mogą mieć taką strukturę jak na rys. 6.13.

Na wskazanych spotkaniach Gemba powinny zostać omówione zagadnienia związane z najważniejszymi wydarzeniami w firmie, błędami produktów, problemami w procesach oraz planami wdrożeniowymi nowych wyrobów. Kierownicy oraz specjaliści mogą wspólnie omówić kwestie BHP, kontroli realizacji celów, np. OEE, tematy bieżącego dnia, najważniejsze problemy pracowników utrzymania ruchu. Liderzy wraz z innymi osobami w trakcie takich spotkań są w stanie planować krótkoterminowe działania naprawcze i wspólnie rozwiązać problem. W celu wizualizacji listy akcji, wyników produkcji, wyników jakościowych są stosowane tablice z wykresami i schematami (Imai, 1997). W trakcie takich spotkań warto wyrobić nawyki organizacyjne u osób uczestniczących, tzn.: wybrać temat, przygotować listę pytań, przygotować zespół na wizytę kadry kierowniczej, skupić się w głównej mierze na procesie, być obecnym w strumieniu wartości, wykony-

wać notatki z obserwacji, zapraszać na spotkania innych specjalistów, komunikować wyniki. Organizacja spotkań opiera się na cyklu Deminga – cyklu PDCA, według którego działania są planowane, wykonywane, sprawdzane oraz poprawiane. Spotkania Gemba są w stanie zapewnić ciągłe doskonalenie oraz rozwijać zadania z zakresu Problems Solving. Najważniejszym celem spotkania Gemba Walk jest otrzymanie możliwie największej liczby zróżnicowanych punktów widzenia (Soliman, 2020; Dana, 2015).



Rys. 6.13. Piramida spotkań Gemba Walk

Źródło: Opracowanie własne.

Przeglądy Gemba Walk są bardzo istotne w przedsiębiorstwach ze względu na szersze zaangażowanie kadry zarządczej w czynności na Gemba, większe możliwości Kaizen oraz minimalizowanie problemów. Ważnymi elementami są: praca zespołowa, zarządzanie wizualne, podnoszenie motywacji, samodyscyplina oraz standaryzacja. Działania wynikające z Gemba Walk powodują zwiększenie produktywności w procesach produkcyjnych ze względu na ciągły monitoring i wprowadzanie przemyślanych zmian (Soliman, 2020).

## Bibliografia

- [1] Boca G.D. (2015), The Gemba Walk – A Tool For Management and Leadership. Ovidius University Annals, Economic Sciences Series, Ovidius University of Constantza, Faculty of Economic Sciences, 0(1), May, 450-455.

- [2] Bremer M. (2015), Walk the Line. Dostępne na: <https://search.proquest.com/openview/7d427ccbaf6656475e76c98823f4eb91/1?pq-origsite=gscholar&cbl=34671> (dostęp: 21.01.2021).
- [3] Gemba (2018). Dostępne na: <https://www.system-kanban.pl/definicja/gemba/> (dostęp: 02.01.2021).
- [4] Masaaki I. (1997), Gemba Kaizen, Zdroworozsądkowe podejście do strategii ciągłego rozwoju. MT Biznes.
- [5] Soliman M. (2020), Gemba Walks the Toyota Way: The Place to Teach and Learn Management. Dostępne na: <https://ssrn.com/abstract=3727663> (dostęp: 11.01.2021).

## 6.12. Business Process Reengineering – BPR (Agata Zielonka)

Rosnący postęp organizacyjny oraz techniczny umożliwia przedsiębiorstwom nadążanie za zmianami przy wykorzystaniu nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie efektywnego zarządzania. Zasadniczym środkiem, za pomocą którego firmy mogą to osiągnąć, jest właściwe planowanie, organizowanie oraz kontrola procesów zapewniających ekonomicznie efektywny przepływ zasobów (Bitkowska, 2009).

Kolejnym z niezbędnych narzędzi szczupłej produkcji jest reengineering (ang. *Business Process Reengineering* – BPR), którego celem stanowi usprawnienie procesów w przedsiębiorstwie oraz usprawnienie jego funkcjonowania. Polega na modernizacji techniczno-organizacyjnej przedsiębiorstwa przez wykorzystanie m.in. technik informatycznych. Uzyskanie wysokiej pozycji na rynku i przewagi konkurencyjnej wśród przedsiębiorstw jest motywacją do ciągłego poszukiwania optymalnych rozwiązań w obszarze zarządzania (Martyniak, 2020).

Koncepcję reengineeringu opisali jako pierwsi M. Hammer oraz J. Champy w 1993 r., a korzyści z jej zastosowania odnotowały m.in. General Motors czy PepsiCo (Manganelli i Klein, 1998). Zdaniem M. Hammera reengineering jest to przemyślenie na nowo oraz przeprojektowanie procesów w organizacji, czego skutkiem jest przełomowa poprawa miar krytycznych, np. kosztu czy jakości, wzrastających nawet o 100%. Durlik twierdzi zaś, że BPR to projektowo-menedżerska koncepcja restrukturyzacji techniczno-organizacyjnej, której celem jest osiągnięcie efektów ekonomicznych. Jej realizacja polega na fundamentalnym przeprojektowaniu procesów możliwie jak najbardziej całościowych (Durlik, 2020).

Realizacja każdego nowo wprowadzonego systemu powinna się opierać na zasadach, dzięki którym możliwe jest osiągnięcie zamierzonych celów. Do głównych zasad BPR należą (Manganelli i Klein, 1998; Hammer, 1990):

Zasada 1. Organizacja działań powinna być skoncentrowana wokół wyniku, a nie wokół zadań. Zasada ta oznacza, że projektując działania w procesie, należy skupić się przede wszystkim na celu oraz powierzyć odpowiedzialność za ich wykonanie tylko jednemu podmiotowi.

Zasada 2. Proces powinien być organizowany przez użytkowników jego wyników, co oznacza, że należy angażować w organizację procesów osoby korzysta-





jące z ich efektów, co w rezultacie umożliwia skrócenie czasu realizacji i redukcję kosztów procesów.

Zasada 3. Koordynowanie procesów równoległych należy przeprowadzać w trakcie ich wykonywania, co umożliwia znaczne skrócenie czasu realizacji przedsięwzięcia.

Zasada 4. Decyzje dotyczące wykonywania procesu powinny być podejmowane w miejscu jego realizacji, przez odpowiedzialny podmiot wykonawczy. Przy takim założeniu można spłaszczyć strukturę organizacyjną i zredukować liczbę stanowisk kierowniczych, którym pozostanie prawo do kontroli podejmowanych decyzji.

Zasada 5. Rozproszone przestrzennie zasoby należy centralizować, a gromadzone informacje należy umieścić w ogólnodostępnej bazie danych, otwartej dla wszystkich użytkowników systemu.

Przedsiębiorstwa, które zdecydowały się podjąć działania dążące do zmiany i poprawy procesów, korzystają z BPR. Wprowadzenie zamierzonych usprawnień w miejscu pracy oparte na jasno zdefiniowanym celu, zaangażowaniu pracowników, określeniu poziomu ryzyka i stopniu zmiany, a także stworzeniu modelu i oszacowaniu kosztów, pozwala na usprawnienie radykalnie i całościowo procesów organizacji (Zaini i Saad, 2019). Realizacja reengineeringu procesów powinna się opierać na wszystkich tych aspektach funkcjonowania przedsiębiorstwa, które wymagają radykalnej poprawy. Należy zatem zidentyfikować wszystkie występujące w nim procesy. Wdrożenie BPR umożliwia redukcję kosztów, wzrost jakości wyrobów i usług oraz zwiększenie satysfakcji klienta. Nadrzędnym celem BPR jest uproszczenie działań podejmowanych przez organizację (Martyniak, 2002).

Każde przedsięwzięcie w organizacji składa się z elementów pozwalających na osiągnięcie zamierzonego celu. W szczególności wdrożenie nowego systemu wymaga realizacji odpowiednich etapów. Wyróżnia się następujące etapy implementacji systemu BPR (Manganelli i Klein, 1998; Gildingersh i Martynova, 2020):

**Etap I** – Przygotowanie. Szczególnym działaniem rozpoczynającym realizację BPR jest przygotowanie do wdrożenia systemu, na które składa się analiza obecnego stanu organizacji oraz stworzenie planu działania. W zakresie przygotowań znajduje się również bardzo istotna mobilizacja oraz motywacja do działania wszystkich członków zespołu odpowiedzialnych za BPR.

**Etap II** – Identyfikacja. Ten etap skupia się na identyfikowaniu działań przyczyniających się do tworzenia wartości dodanej. Procesy modeluje się, uwzględniając kolejność zmian stanów. Określa się wejścia i wyjścia procesu. Określani są dostawcy i ich wpływ na procesy oraz komórki organizacyjne i ich stopień zaangażowania w dany proces. Następnie szacuje się ilość zasobów przypadających na dany proces.

**Etap III** – W tym etapie szacowane są możliwości usprawnienia. Określone są czas i trudności w realizacji zmian. Bardzo ważnym działaniem tego etapu jest stworzenie opisowej wizji nowych procesów.



**Etap IV** – Celem tego etapu jest określenie strony technicznej modyfikowanych procesów pod względem następujących kategorii: przedstawienie technologii, procedur działania, standardów, systemów kontroli oraz wskazanie pozostałych działań, które zostaną wprowadzone w czasie wdrażania zmian. Niezbędne jest zbudowanie modelu relacji między tymi kategoriami. Analizuje się wpływ możliwych zmian oraz kolejności ich wdrażania na poprawę efektywności oraz redukcję wymiany informacji. Istotne jest zastąpienie skomplikowanych i złożonych procesów jednym lub kilkoma procesami prostymi. Ważniejsze od wykrywania błędów jest ich unikanie, stąd dokonuje się zmian procedur dotyczących zapobiegania błędom. W dalszym postępowaniu określony zostaje sposób użycia technologii w procesie oraz jej istota. Celem jest przygotowanie wstępnych planów wdrożenia technicznych aspektów.

**Etap V** – Określa się działania związane z wprowadzeniem nowego procesu, dotyczące polityki personalnej, w wyniku czego powstają opisy stanowisk pracy, personelu, elementów motywacyjnych oraz plany szkoleń. Personel otrzymuje uprawnienia decyzyjne w obszarze kontaktu z klientem. Występuje też modyfikacja granic między działami, mianowicie rozważane są zmiany w strukturze organizacyjnej, które umożliwią nowe, lepsze rozmieszczenie zespołów.

**Etap VI** – Ostatni etap koncentruje się wokół realizacji wizji usprawnionego procesu przez wdrożenie projektu, czego efektem są: pełna wersja przeprogramowanego procesu oraz programy ciągłego doskonalenia. Na tym etapie projektowane są systemy komputerowe i wprowadzane dane, a po uwzględnieniu części społecznej tworzona jest gotowa wersja nowego systemu. Przeprowadza się szkolenia, następuje wdrożenie zaprojektowanego systemu na pilotażowym obszarze, w celu określenia ewentualnych działań doskonalących.

Wdrażanie systemów usprawniających niesie ze sobą wiele wymiernych korzyści w zakresie zarządzania oraz funkcjonowania przedsiębiorstwa. Należy jednak pamiętać, że dobór odpowiednich metod oraz strategii implementacji zależy w dużej mierze od aktualnej kondycji danego przedsiębiorstwa. Zdarza się, że podejmowanie już najmniejszych działań doskonalących generuje korzystne zmiany, które mnożą się wraz z ich ciągłym, systematycznym wdrażaniem.

## Bibliografia

- [1] Bitkowska A. (2009), Zarządzanie procesami biznesowymi w przedsiębiorstwie. VIZJA PRESS & IT, Warszawa.
- [2] Durlik I. (2002), Reengineering i technologia informatyczna w restrukturyzacji procesów gospodarczych. WNT, Warszawa.
- [3] Gildingsh M.G., Martynova J.A., Sirotkin V.B. (2020), The Essence of Business Process Reengineering as an Effective Management Method. [In:] European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS, 647-654.
- [4] Hammer M. (1990), Reengineering work: don't automate, obliterate. Harvard Business Review, 68(4), 104-112.
- [5] Manganelli R.L., Klein M.M. (1998), Reengineering. Metoda usprawniania organizacji. PWE, Warszawa.



- [6] Martyniak Z. (2002), Nowe metody i koncepcje zarządzania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków.
- [7] Zaini Z., Saad A. (2019), Business process reengineering as the current best methodology for improving the business process. *Journal of ICT in Education*, 6, 66-85.



## Rozdział 7.

### Nowoczesne, cyfrowe metody wsparcia Lean Manufacturing

#### 7.1. Charakterystyka Przemysłu 4.0 *(Kamil Bober)*

Obecnie wiele przedsiębiorstw produkcyjnych skupia się przede wszystkim na wysokiej efektywności wytwarzania, bogatej ofercie asortymentu oraz niskich kosztach przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej jakości wyrobów. Rozwój różnych gałęzi przemysłu wymusza także poszukiwanie coraz to nowszych i bardziej innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Niektóre zachodzące przemiany społeczne, kulturalne i gospodarcze okazały się na tyle przełomowe, że przyczyniły się do zapoczątkowania rewolucyjnych zmian w przemyśle.

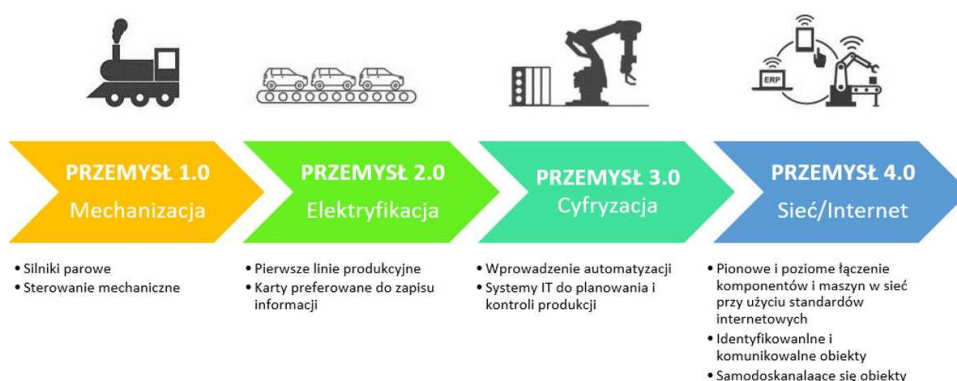
Na przestrzeni lat można było zaobserwować cztery rewolucje przemysłowe. Pierwsza z nich rozpoczęła się pod koniec XVIII w. i trwała do drugiej połowy XIX w. Głównym hasłem określającym tę rewolucję jest mechanizacja. Przełomowym wydarzeniem było wynalezienie w 1769 r. przez Watta maszyny parowej, którą wykorzystano do budowy parowozu i statków parowych. Innymi ważnymi wynalazkami były maszyny przędzalnicze i maszyny tkackie, umożliwiające rozwój i uruchomienie masowej produkcji w przemyśle włókienniczym. Pierwsza rewolucja przemysłowa cechowała się również szybkim rozwojem górnictwa i hutnictwa (Ratajczak i Woźniak-Jęchorek, 2020).

W drugiej połowie XIX w. rozpoczęła się druga rewolucja przemysłowa. Ideą tej rewolucji była elektryfikacja. Przełomem okazało się skonstruowanie silnika spalinowego przez Diesla oraz wynalezienie żarówki przez Edisona w 1879 r. Dzięki temu wykonano ogromny krok w kierunku elektryczności, co pozwoliło na oświetlenie pomieszczeń. W tym czasie także w fabryce samochodów Forda uruchomiono pierwszą linię montażową. Kolejnym ważnym wydarzeniem było opracowanie przed Łukasiewiczem w 1852 r. metod rafinacji ropy naftowej, co sprawiło, że zaczęto ją wykorzystywać jako paliwo. Ropa z czasem wyparła mniej użyteczny i mniej kaloryczny węgiel. Spowodowało to również rozwój hutnictwa aluminium i miedzi (Piątek, 2017).

Kolejna rewolucja, określana jako rewolucja cyfryzacji, rozpoczęła się w drugiej połowie XX w., kiedy to w przemyśle zaczęto powszechnie korzystać z komputerów (w 1981 r. zaprezentowano prototyp komputera osobistego). Przyczyniło się to do powstania bardziej wydajnych układów przetwarzania danych oraz większej automatyzacji przemysłu. Dzięki temu maszyny stały się bardziej wydajne i precyzyjne. Do najważniejszych osiągnięć naukowo-technologicznych trzeciej rewolucji przemysłowej można zaliczyć półprzewodniki, układy scalone, światło-

wody, a także rozwój biotechnologii i energii atomowej. Duży wpływ na przemysł ma dynamiczny rozwój Internetu, który zaowocował utworzeniem sieci globalnej, łączącej ze sobą różne dziedziny nauki i techniki (Litwin, Szymusik, 2020).

Obecnie trwa czwarta rewolucja przemysłowa, nazywana Przemysłem 4.0, która umownie zaczęła się w 2010 r. Skupia się ona na integracji systemów i tworzeniu sieci za pomocą technologii cyfrowej (rys. 7.1). Umożliwia tym samym automatyczną wymianę informacji w toku produkcji, między ludźmi, maszynami oraz systemami technologii informacyjnej IT (ang. *Information Technology*) w obrębie fabryki, bądź też w obrębie różnych działów IT działających w przedsiębiorstwie. Maszyny wykorzystywane w procesie produkcji wyrobów są powiązane zaawansowanym oprogramowaniem, które daje możliwość zbierania informacji na temat produkcji na bieżąco. W ten sposób można zapewnić korektę błędów w czasie rzeczywistym oraz uzyskać pełną synchronizację na poziomie biznesu produkcyjnego. Dzięki koncepcji Przemysł 4.0 właściciele firm mają lepszą kontrolę nad procesem produkcyjnym, a także dostęp do każdego aspektu ich działania, co pozwala na zwiększenie wydajności i usprawnienie procesów. Dużą zaletą jest również wzrost elastyczności produkcji, co jest możliwe przez zredukowanie do minimum czasu potrzebnego na dostosowanie maszyn do nowych wymogów. Narzędzia produkcyjne wychwytyją wszystkie przypadki obniżenia efektywności oraz marnotrawstwa, co umożliwia zwiększenie wydajności produkcji, a także zdobycie decydującej przewagi konkurencyjnej (Bieńkowski, 2020). Na rysunku 7.1 przedstawiono etapy rewolucji przemysłowych.



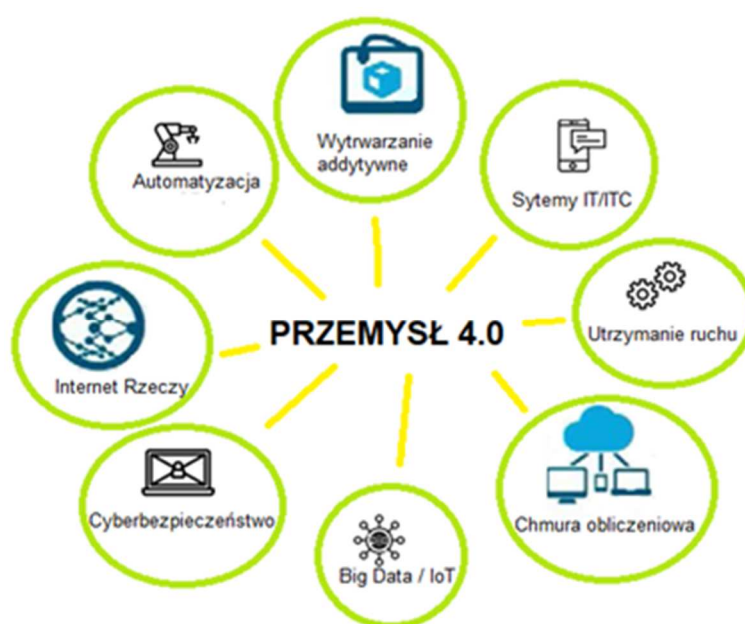
Rys. 7.1. Cztery rewolucje przemysłowe

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Piątek, 2017).

Wraz z rozpoczęciem się czwartej rewolucji przemysłowej pojawiły się nowe technologie i koncepcje, bez których przemysł 4.0 nie mógłby funkcjonować w takiej postaci, w jakiej jest obecnie znany. Pierwszą z tych koncepcji jest Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things – IoT*). Idea ta stanowi połączenie różnych przedmiotów, począwszy od tych nie tylko bezpośrednio kojarzących się z Internetem, jak komputery, smartfony czy tablety, ale także sprzęty AGD i RTV, np. lodówki,

telewizory, kończąc na dużych liniach produkcyjnych, maszynach i robotach wykorzystywanych w różnych gałęziach przemysłu. Zaletami takich rozwiązań jest oszczędność czasu, zmniejszenie kosztów oraz szybkość przepływu informacji i zwiększenie efektywności wykorzystania pracowników, co skutkuje zwiększeniem wydajności produkcji (Jaworowska i Piątek, 2017).

Wraz z rozwojem zaawansowanych technologii opierających się na komunikacji pomiędzy człowiekiem a urządzeniem oraz pomiędzy samymi urządzeniami pojawił się problem przesyłania ogromnych ilości danych oraz metod ich przetwarzania. W związku z tym rozwijane są techniki analizy dużych zbiorów danych (ang. *Big Data*) i chmury obliczeniowe (ang. *Cloud Computing*) (rys. 7.2). Duże zbiory danych mogą być przechowywane i analizowane w celu odkrycia nowych trendów, wzorców i możliwości. Z kolei chmury obliczeniowe to wirtualne przestrzenie, które gromadzą pliki i dane niemal w każdej postaci. Główną zaletą takiego rozwiązania są mniejsze koszty w porównaniu z zakupem nowego sprzętu lub oprogramowania oraz nieograniczona dostępność zasobów, ich przetwarzanie i magazynowanie (Kopterski, 2020).



Rys. 7.2. Koncepcja Przemysłu 4.0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Skorupka, 2020).

Przemysł 4.0, łącząc ze sobą obszary innowacji technologicznych oraz koncepcje organizacji łańcucha wartości, zmienia w rewolucyjny sposób właściwie wszystkie gałęzie przemysłu produkcyjnego. Wykorzystanie automatyki, robotyki i sztucznej inteligencji pozwala na rozwój i udoskonalenie współczesnych linii produkcyjnych. Motorem do zmian są również ludzie, posiadający świeże spojrze-

nie, interdyscyplinarną wiedzę techniczną, a także zdolności komunikatywne i umiejętność pracy zespołowej, która pozwala na wykorzystanie i wdrożenie nowych rozwiązań w celu utworzenia bardziej elastycznych linii produkcyjnych. Dzięki tym zmianom przedsiębiorstwa są w stanie osiągnąć rezultaty, jakie jeszcze niedawno były niemożliwe do zrealizowania. Zwiększa to konkurencyjność nawet małych firm i pozwala na pozyskanie nowych klientów.

## Bibliografia

- [1] Bieńkowski M. (2020), Przemysł 4.0 – od koncepcji do realizacji. Dostępne na: <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Przemysl-4.0/Przemysl-4.0-od-koncepcji-do-realizacji> (dostęp: 06.01.2021).
- [2] Jaworowska M., Piątek Z. (2017), Przemysł 4.0 technologie przyszłości. Dostępne na: <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/47534-przemysl-4-0-technologie-przyszlosci> (dostęp: 05.01.2021).
- [3] Kopterski W. (2020), Przemysł 4.0 – rozwój nowoczesnych technologii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole.
- [4] Litwin J., Szymusik A. (2020), Kształcenie inżynierów na potrzeby Przemysłu 4.0: wykorzystanie symulacji w inżynierii przemysłowej. Lublin.
- [5] Piątek Z. (2017), Czym jest przemysł 4.0? Część 1. Dostępne na: <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/> (dostęp: 04.01.2021).
- [6] Ratajczak M., Woźniak-Jęchorek B. (2020), Rewolucje przemysłowe i ich wpływ na rozwój ekonomii. Poznań.
- [7] Skorupka A. (2020), Filozoficzne i społeczne aspekty Przemysłu 4.0. Legnica.

## 7.2. Systemy MRP (Krystian Ziętek)

Systemy planowania potrzeb materiałowych (ang. *Material Requirements Planning* – MRP) mają na celu zapewnienie odpowiedniej ilości surowców i materiałów niezbędnych do realizacji planowanej produkcji i dostaw do klienta, utrzymanie możliwie najniższego poziomu zapasów oraz wspomaganie tworzenia harmonogramów dostaw oraz czynności montażowych.

Warunki, które musi spełnić system MRP, to (Pekarčíková i in., 2019):

- pilnowanie dostępności materiałów potrzebnych do produkcji i dla klientów,
- utrzymanie jak najniższego poziomu materiałów i produktów w przedsiębiorstwie,
- oparcie działalności produkcyjnej na harmonogramie dostaw i działań zakupowych.

Głównym celem MRP jest kontrola produkcji za pomocą informacji dostępnych w przedsiębiorstwie. Podczas planowania potrzeb materiałowych korzysta się z informacji zawartych (Sethi, 2020):

- w głównym harmonogramie produkcji (ang. *Master Production Schedule* – MPS),
- w zbiorze struktury wyrobu (ang. *Bill of Materials* – BOM),
- w głównym rejestrze zapasów (ang. *Inventory Master File* – IMF).

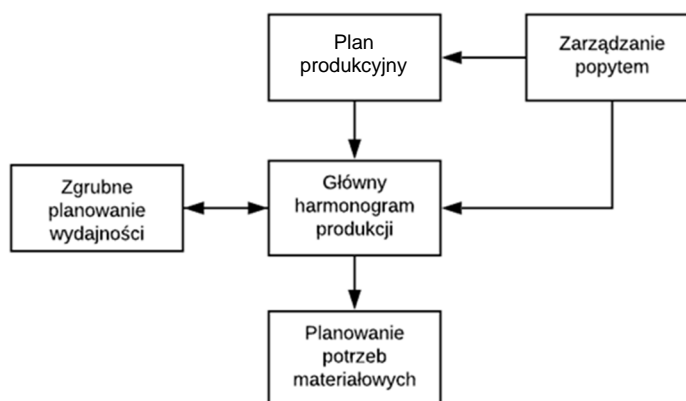
Do planowania potrzeb materiałowych konieczna jest również znajomość czasów realizacji zapotrzebowania przez kolejne stanowiska produkcyjne oraz czasów realizacji zamówień zleczanych dostawcom – czasy te określa tzw. cykl dostawy.

### **Master Production Schedule – MPS**

Jak sama nazwa wskazuje, MPS (czyli główny harmonogram produkcji) decyduje, jakie produkty są wytwarzane i kiedy. Wymagane surowce są identyfikowane za pomocą struktury BOM wyrobów gotowych, z których dane są następnie integrowane z bieżącymi danymi inwentaryzacyjnymi w celu utworzenia zlecenia dla zakupu surowców.

Główny harmonogram produkcji stanowi podstawę komunikacji między sprzedażą a produkcją. Używanie MPS jako umowy między sprzedażą a produkcją oznacza, że sprzedaż może składać zamówienia materiałów oraz wystawiać zlecenia produkcyjne. MPS nie jest sztywnym planem. MPS to plan dynamiczny, który można zmienić w przypadku zmiany zapotrzebowania lub wydajności.

Jako część w pełni zintegrowanego systemu ERP, MPS zazwyczaj zapewnia kluczową funkcję planowania, wydobywając rzeczywiste dane o podaży i popycie, a także prognozy, aby dostarczać dokładne i terminowe plany produkcji, które pomagają producentom osiągnąć cele produkcyjne i minimalizować koszty zaopatrzenia. W swoich obliczeniach MPS uwzględnia również zdolności produkcyjne zakładu. Po przeanalizowaniu i zatwierdzeniu zleceń produkcyjnych inicjowany jest proces MRP i można generować zamówienia zakupu. MPS zapewnia również ochronę przed niedoborami, nieoczekiwanymi błędami w harmonogramowaniu i nieefektywną alokacją zasobów.



Rys. 7.3. Schemat składników idealnego głównego harmonogramu produkcji

Źródło: Opracowanie własne.



MPS to szczegółowy plan, który spełnia następujące cele (Inventory Management 101..., www.optiproerp.com):

- osiąga pożądaną poziom obsługi klienta,
- wykorzystuje zasoby w najbardziej efektywny sposób,
- utrzymuje pożądaną poziom zapasów.

MPS w zarządzaniu operacyjnym musi równoważyć popyt zidentyfikowany przez sprzedaż i marketing z dostępnością zasobów. Na rysunku 7.3 przedstawiono schemat opisujący wymianę informacji oraz zestawienie składników idealnego harmonogramu produkcji.

Harmonogram MPS jest bardzo wartościowym elementem każdego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Główny harmonogram produkcji jest to ciągły proces optymalizacji, który firmy muszą przeprowadzić, określając liczbę gotowych towarów, jakie muszą wyprodukować, na podstawie nakładów i ograniczeń związanych z ich produkcją.

### **Bill of Materials – BOM**

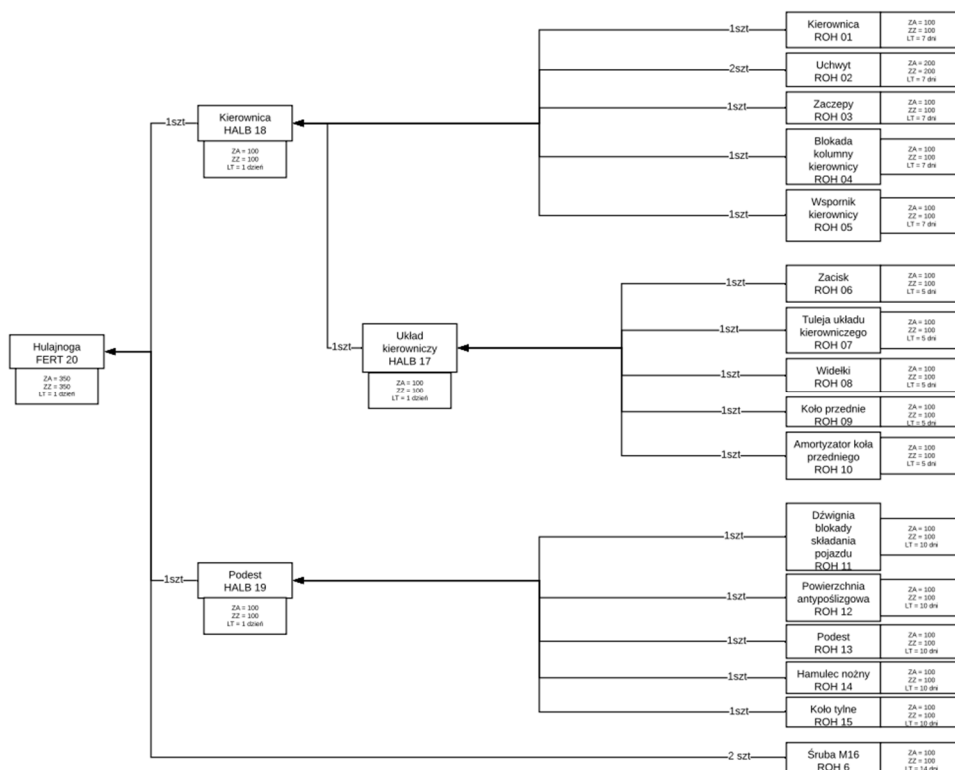
Zestawienie komponentów (BOM) to kompleksowa inwentaryzacja surowców, zespołów, podzespołów, części i komponentów, a także ilości każdego z nich potrzebnej do wytworzenia produktu. Krótko mówiąc, jest to pełna lista wszystkich elementów potrzebnych do zbudowania produktu. BOM jest niekiedy nazywany strukturą produktu, listą komponentów zespołu lub recepturą produkcyjną (w przemyśle przetwórczym). Na przykład producent rowerów, chcący zbudować 1000 rowerów, korzysta ze struktury BOM w celu zaplanowania produkcji konkretnych części, których mu brakuje lub też zamówienia brakujących materiałów. Zestawienie materiałów dla roweru będzie zawierało wszystkie części składające się na rower, takie jak siedzenia, ramy, hamulce, kierownice, koła, opony, łańcuchy, pedały i korby, w tym wymaganą ilość każdego komponentu i ich koszt.

Dobrze zdefiniowany BOM pomaga firmom w następujący sposób (Kakade, 2018):

- planowanie zakupów surowców,
- szacowanie kosztów materiałów,
- uzyskanie kontroli nad zapasami,
- śledzenie i planowanie wymagań materiałowych,
- utrzymanie dokładnych zapisów,
- zapewnianie solidności dostaw i zmniejszanie ilości odpadów.

Przykładowa struktura BOM została przedstawiona na rys. 7.4, gdzie można zobaczyć, z jakich elementów składa się hulajnoga, oraz ile wynosi zapas aktualny czy też zabezpieczający dla danych materiałów, półfabrykatów czy też wyrobu gotowego.

Struktura BOM jest bardzo potrzebnym elementem w procesie produkcyjnym, dzięki któremu można zauważyć, z jakich elementów składa się wyrób, ile sztuk wybranych części należy ze sobą połączyć, aby ostatecznie wyprodukować wyrób gotowy.



Rys. 7.4. Przykładowa struktura BOM

Źródło: Opracowanie własne.

### **Inventory Master File – IMF**

*Inventory Master File* (niekiedy nazywany „katalogiem pozycji”) zawiera informacje o pozycjach, które przedsiębiorstwo kupuje w sposób powtarzalny lub ma na stanie (w przypadku tych, które używają modułu kontroli zapasów).

Główny katalog pozycji jest jednym z „podstawowych” plików głównych wykorzystywanych w mapie wysyłek, ponieważ wiele pól w zamówieniach zakupu i innych dokumentach będzie domyślnie opartych na wybranej pozycji (np. opis, jednostka miary, cena). Za pomocą IMF można również śledzić historię zakupów i w inny sposób sortować, filtrować i wyszukiwać informacje w systemie według kodu pozycji (tj. numeru części). Nie jest wymuszone używanie pozycji z głównego zbioru pozycji w zamówieniach zakupu i innych dokumentach. Można tworzyć dokumenty dla towarów jednorazowych i ręcznie wpisywać szczegóły pozycji dla każdego dokumentu.

Dla każdego towaru dodanego do głównego zbioru pozycji jest tworzona odpowiednia karta historii pozycji, aby rejestrować wszystkie transakcje zakupu, przyjęcia, wykorzystanie zapasów, korekty i przeniesienia pozycji (nae.spend-map.net).



System MRP łączy opracowany harmonogram produkcji z zestawieniem materiałów niezbędnych do tworzenia produktu przez przedsiębiorstwo. Wykonuje analizę zapasów produkcyjnych oraz określa, kiedy należy rozpocząć produkcję i jakiej części. Ewentualnie wykazuje konieczność zamówienia potrzebnych materiałów wykorzystywanych do produkcji określonego zamówienia dla danego klienta, z uwzględnieniem już prowadzonych procesów produkcyjnych, zapasów oraz stanów magazynowych.

Najważniejszymi celami systemów MRP jest zmniejszenie zapasów oraz zwiększenie efektywności prowadzenia przedsiębiorstwa. Systemy MRP pomagają znacznie zmniejszyć ilość magazynowanych materiałów, części oraz produktów gotowych, dzięki czemu przedsiębiorstwo wykazuje znaczne zmniejszenie kosztów magazynowania.

## Bibliografia

- [1] Inventory Management 101 – The Master Production Schedule (MPS) Explained. Dostępne na: <https://www.optiproerp.com/blog/inventory-management-101-master-production-schedule-mps-explained/> (dostęp: 06.01.2021).
- [2] Item Master File. Dostępne na: [https://nae.spendmap.net/help/1450/itemmf\\_invent.html](https://nae.spendmap.net/help/1450/itemmf_invent.html) (dostęp: 06.01.2021).
- [3] Pekarčíková M., Trebuňa P., Kliment M., Trojan J. (2019), Demand driven material requirements planning. Some methodical and practical comments. *Management and Production Engineering Review*, 10, 50-59.
- [4] Sethi F. (2020), A Material Requirements Planning (MRP). Goods Replenishment Application For Demand & Inventory Planning Using Data and Analytic, *International Journal of Current Research*, 12, 10, 14251-14257.
- [5] Kakade S. (2018), Bill of materials (BOM). Dostępne na: <https://searcherp.techtarget.com/definition/bill-of-materials-BoM> (dostęp: 06.01.2021).

## 7.3. Systemy ERP (*Justyna Misiora*)

W obecnych czasach większość przedsiębiorstw korzysta z szerokiej gamy systemów i oprogramowań informatycznych, które oferuje rynek. Wdrożenie i stosowanie zintegrowanych systemów informatycznych w różnego rodzaju przedsiębiorstwach powoli stało się standardem, bez którego trudno wyobrazić sobie funkcjonowanie firmy. Na rozwój nowoczesnych systemów informatycznych miało wpływ wiele czynników. Organizacja przedsiębiorstw znacząco się zmieniła przez ciągłe ulepszanie technik wytwarzania, czy też wystąpienie zmian w rynkowym otoczeniu firmy. W ostatnich latach na rynku można było zaobserwować zwiększenie zróżnicowania wyrobów pod różnymi względami, co w sposób znaczący wpłynęło na skrócenie cyklu życia produktu. Różnorodność produktów spowodowała również, że klient zindywidualizował swoje potrzeby odnośnie do produktów. Zaczęto kłaść również nacisk na kwestie związane z terminowością i jakością dostaw. Wszystkie wymienione zjawiska spowodowały, że wzrosło zapotrzebowanie na nowoczesne systemy informatyczne, które są źródłem informacji oraz wsparciem w podejmowaniu decyzji, umożliwią szybką i dokładną realizację

celów przedsiębiorstwa, a także usprawnią jego funkcjonowanie (Galińska i Kopania, 2016).

Na początku warto wyjaśnić, czym jest zintegrowany system informatyczny. Zintegrowany system informatyczny można ogólnie zdefiniować jako system informatyczny, który został zaprojektowany i zorganizowany w sposób modułowy. Obejmuje on całość przedsiębiorstwa, a zatem wszystkie strefy jego działalności, takie jak: planowanie i zarządzanie zaopatrzeniem, produkcją, dystrybucją czy też zasobami ludzkimi, a także sprzedaż, marketing, finanse, księgowość. Czyni to zintegrowane systemy informatyczne systemami uniwersalnymi, czyli posiadającymi funkcje, które odpowiadają znacznej większości przedsiębiorstw. Główne cechy zintegrowanych systemów informatycznych przedstawiają się następująco (Gunia, 2019):

- każdy użytkownik systemu posiada dokładnie taki sam interfejs,
- każdy użytkownik za pomocą swojego komputera (na którym zainstalowany jest system) może posługiwać się jego dowolną funkcją,
- wszelkie dane i informacje, które zostały wprowadzone do systemu, aktualizują się w sposób automatyczny, dzięki czemu każdy użytkownik systemu widzi bieżące i aktualne dane,
- dzięki zastosowaniu zintegrowanych systemów informatycznych możliwe jest odzwierciedlenie procesów występujących w organizacji oraz monitorowanie ich przebiegu.

Systemy informatyczne wspomagające zarządzanie zaczęły się rozwijać w latach 60. XX w. Początkowo zastosowanie w przedsiębiorstwach znalazł system MRPI, czyli system wspomagający planowanie potrzeb materiałowych. Kolejnym z nich był system klasy MRP II, a więc planowanie zasobów produkcyjnych. Rozwój systemów polegał w głównej mierze na rozszerzaniu ich funkcji oraz dodawaniu kolejnych obszarów działalności przedsiębiorstwa, którymi system mógł zarządzać, czyli na ich unowocześnianiu. Rozszerzenie systemu MRP II nastąpiło w latach 90. XX w. Od czasu, gdy systemy MRP II zostały wzbogacone o funkcje związane z finansami i księgowością, umożliwiające tworzenie analiz finansowych, są one nazywane systemami klasy ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*), czyli systemami planowania zasobów przedsiębiorstwa (Dudziak i in., 2017).

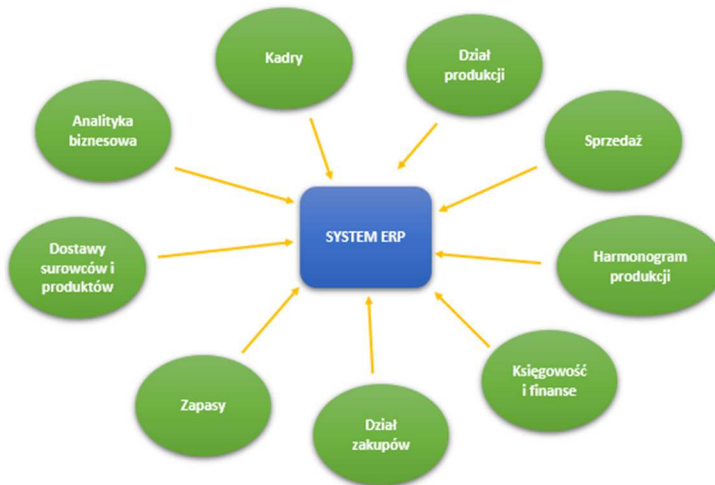
Jak już wspomniano, systemy klasy ERP należą do grupy zintegrowanych systemów informatycznych wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem. System ERP pozwala na zarządzanie organizacją w sposób kompleksowy, integrujący wszystkie szczeble zarządzania przedsiębiorstwem. Systemy te są niezwykle pomocne w planowaniu i interpretowaniu wszelkich procesów występujących w firmie. Podstawowy zakres systemu ERP obejmuje następujące obszary działalności przedsiębiorstwa (Mahar i in., 2020):

- produkcja,
- zapasy,
- zakupy,



- planowanie (harmonogramowanie) produkcji,
- finanse i księgowość,
- sprzedaż,
- analityka biznesowa,
- dostawy materiałów i produktów,
- zasoby ludzkie (kadry).

Na rysunku 7.5 przedstawiono skład klasycznego systemu ERP.



Rys. 7.5. Podstawowe elementy (moduły) systemu ERP

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Galińska i Kopania, 2016).

Głównymi zadaniami systemu ERP jest działanie w zakresie (Majewski, 2006):

- planowania, np. prognozowania popytu na dany produkt,
- zaopatrzenia i magazynowania, czyli ogólnie zarządzania łańcuchem dostaw,
- kontroli, czyli porównania założonych efektów, wyników z osiągniętymi przez przedsiębiorstwo,
- integracji systemu przedsiębiorstwa z systemami dostawców czy klientów,
- raportowania i dokumentacji,
- finansów,
- zarządzania zasobami ludzkimi.

System ERP jest zbudowany przede wszystkim z obszernej bazy danych, która warunkuje jego funkcjonowanie. Baza ta składa się z informacji i danych, które wprowadzają użytkownicy systemu, zazwyczaj pracownicy różnych działów, komórek organizacyjnych przedsiębiorstwa. Informacje są wprowadzane jednorazowo. Następnie system te dane przetwarza oraz automatycznie uaktualnia

inne dane, które w jakiś sposób są połączone lub powiązane z wprowadzoną informacją. Dane są widoczne dla użytkowników systemu. Umożliwia to zaplanowanie i interpretację większości procesów występujących wewnątrz organizacji. Dodatkowo kierownicy czy dyrekcja, przeglądając informacje zawarte w systemie, mogą przygotowywać różnorodne raporty czy też zestawienia. Nie jest jednak możliwe kontrolowanie zewnętrznych procesów odnoszących się np. do dostawców przedsiębiorstwa. Istnieje sposób na rozwiązanie tego problemu, a konkretnie wykorzystanie technologii internetowych, które pozwalają na dołączenie informacji o zewnętrznych podmiotach (Dudziak i in., 2017).

Systemy ERP mogą być pogrupowane względem wymienionych dalej kryteriów. Systemy można podzielić ze względu na ich przeznaczenie i zastosowanie. Wyodrębnia się wówczas systemy zarządzania, systemy diagnostyczne, systemy gromadzenia informacji, dokumentów i wspomagające procesy zarządzające, a także systemy sterowania. Drugim podziałem jest podział systemów zróżnicowanych pod względem poziomu specjalizacji. W tym przypadku można wyróżnić systemy specjalizowane, a więc projektowane „od zera” na zamówienie konkretnego odbiorcy lub też systemy uniwersalne, które zawierają główne funkcje potrzebne w większości przedsiębiorstw (Galińska i Kopania, 2016).

Wdrożenie i stosowanie systemów klasy ERP niesie ze sobą wiele korzyści nawet dla najmniejszych organizacji. Podstawowe zalety systemu ERP można wymienić w kilku punktach [Kutnjak i inni, 2020]:

- gromadzenie danych i informacji w jednej, wspólnej dla całego przedsiębiorstwa bazie i ich automatyczna aktualizacja pozwalają na integrację procesów zachodzących w organizacji, informacje są łatwo dostępne, a praca jest lepiej zorganizowana,
- w przedsiębiorstwach produkcyjnych notuje się znaczny wzrost wydajności przez sprawne i efektywne harmonogramowanie,
- zapewniają efektywniejsze planowanie, co pozwala m.in. na lepszą organizację gospodarki materiałowej i redukcję zbędnych zapasów,
- pozwalają na szybką reakcję w przypadku pojawienia się braków materiałów czy surowców (dzięki stałej kontroli), a co za tym idzie – usprawniają proces realizacji zleceń i zwiększają terminowość, co korzystnie wpływa na relacje przedsiębiorstwa z klientami i wzrost sprzedaży,
- w znaczącym stopniu ulepszają procesy związane z finansami i księgowością przez ich zautomatyzowanie, a także szybką analizę i raportowanie, co pozwala na stałe monitorowanie stanu finansów przedsiębiorstwa,
- umożliwiają skuteczne zarządzanie zasobami ludzkimi, informacje o pracownikach są bezpieczne, wszelkie działania związane z kadrami, płacami czy też ewidencją czasu pracy są sprawnie prowadzone.

Na tej podstawie można zauważyć, jak wiele korzyści niesie ze sobą wdrożenie w organizacji systemów ERP. Jednak oprócz zalet systemy te posiadają pewne wady, które mogą zniechęcać do ich implementacji. Najważniejsze z nich przedstawiają się następująco (Galińska i Kopania, 2016):





- wysoki koszt instalacji – systemy ERP nie należą do najtańszych tego typu oprogramowań,
- konieczny zakup dodatkowego, nowoczesnego sprzętu komputerowego, co zwiększa wydatki,
- stosunkowo długi czas instalacji systemu, gdyż często pojawiają się problemy z poprawnym działaniem systemu w przedsiębiorstwie,
- w celu osiągnięcia założonych efektów, płynących z wdrożenia systemu ERP, potrzebna jest wyszkolona kadra, a co za tym idzie – szkolenia z obsługi systemu, co generuje kolejne koszty.

Mimo posiadania pewnych wad systemy ERP stały się niezwykle pomocnym narzędziem w zarządzaniu organizacją. Obecny rynek wymaga stosowania rozwiązań, które pomogą stawić czoła problemom zwiększającej się konkurencji i coraz to większym wymaganiom klientów, a także ułatwią szybkie i trafne podejmowanie decyzji. I właśnie do tego celu zostały stworzone systemy ERP, które gromadzą, przetwarzają i aktualizują dane, usprawniając procesy zachodzące w przedsiębiorstwie (Galińska i Kopania, 2016).

## Bibliografia

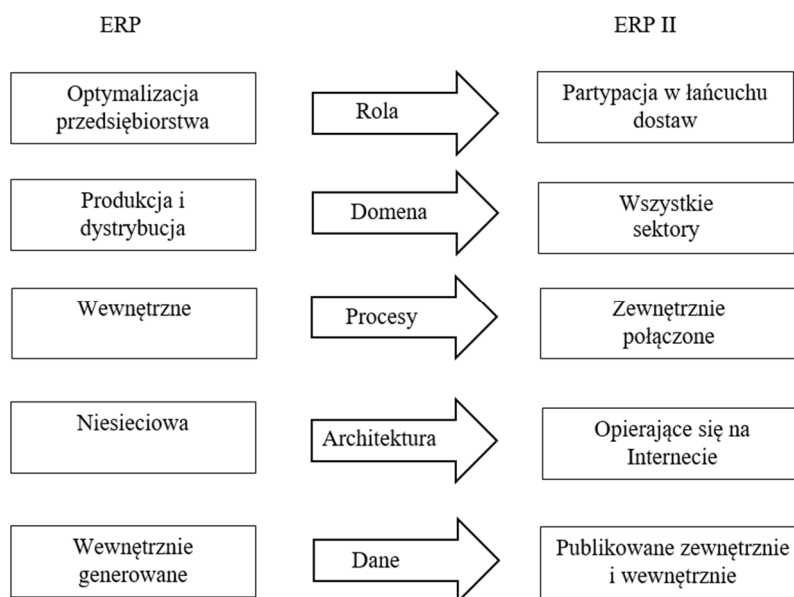
- [1] Dudziak A., Stoma M., Rydzak L. (2017), Narzędzia klasy ERP w strategii zarządzania systemem produkcyjnym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 113, 53-65.
- [2] Galińska B., Kopania J. (2016), Zastosowanie systemu ERP w przedsiębiorstwie logistycznym. Autobusy, 6.
- [3] Gunia G. (2019), Zintegrowane systemy informatyczne przedsiębiorstw w kontekście Przemysłu 4.0. Zarządzanie Przedsiębiorstwem, 22(2), 7-12.
- [4] Kutnjak A., Pihir I., Tomicic-Pupek K. (2020), Smart agriculture and erp benefits in the context of digital transformation. Economic and Social Development: Book of Proceedings, 21-33. Dostępny na: [https://www.researchgate.net/profile/Venelin\\_Terziev/publication/344157787\\_The\\_functions\\_of\\_the\\_Bulgarian\\_Prosecutors\\_Office\\_to\\_guarantee\\_compliance\\_with\\_the\\_law\\_during\\_investigations/links/5f5682aca6fdcc9879d623e3/The-functions-of-the-Bulgarian-Prosecutor-s-Office-to-guarantee-compliance-with-the-law-during-investigations.pdf#page=27](https://www.researchgate.net/profile/Venelin_Terziev/publication/344157787_The_functions_of_the_Bulgarian_Prosecutors_Office_to_guarantee_compliance_with_the_law_during_investigations/links/5f5682aca6fdcc9879d623e3/The-functions-of-the-Bulgarian-Prosecutor-s-Office-to-guarantee-compliance-with-the-law-during-investigations.pdf#page=27) (dostęp: 29.01.2021).
- [5] Mahar F., Ali S., Jumani A., Khan M. (2020), ERP System Implementation: Planning Management and Administrative Issues. Indian Journal of Science and Technology, 13(1), 1-22. Dostępny na: [https://www.researchgate.net/profile/Awais\\_Jumani/publication/338501731\\_ERP\\_System\\_Implementation\\_Planning\\_Management\\_and\\_Administrative\\_Issues/links/5e182051299bf10bc3a09fd9/ERP-System-Implementation-Planning-Management-and-Administrative-Issues.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Awais_Jumani/publication/338501731_ERP_System_Implementation_Planning_Management_and_Administrative_Issues/links/5e182051299bf10bc3a09fd9/ERP-System-Implementation-Planning-Management-and-Administrative-Issues.pdf) (dostęp: 29.01.2021).
- [6] Majewski J. (2006), Informatyka dla logistyki. Wyd. II, Biblioteka Logistyka, Poznań.

## 7.4. Systemy klasy ERP II (Paulina Murjas)

Postępujący rozwój technologii komunikacyjnych sprawił, że zintegrowane systemy informatyczne również się rozwijają i otwierają na nowe możliwości komunikacyjne. Tym samym systemy ERP poszerzyły swoje możliwości i powstały systemy klasy ERP II, które oprócz wszystkich cech systemów ERP posiadają



dotatkową opcję komunikacji internetowej. Rozwój systemu klasy ERP II i jego różnice pomiędzy systemem ERP zostały przedstawione na rys. 7.6.



Rys. 7.6. Porównanie architektury ERP do ERP II

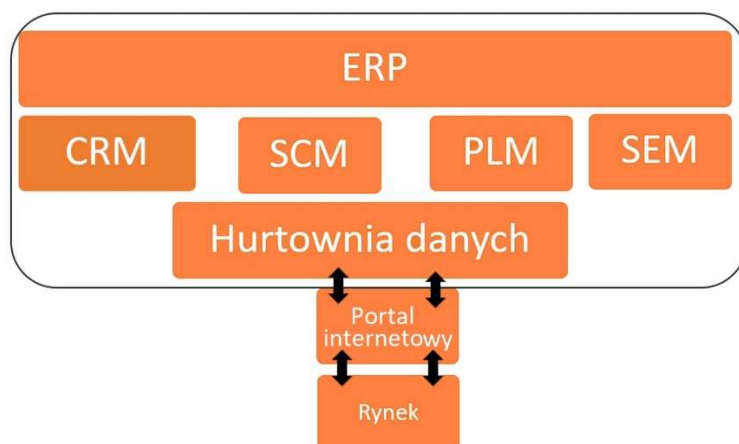
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Rzewuski, 2002).

Ewolucja systemu ERP sprawiła, że dane, które były generowane wewnątrz przedsiębiorstwa, w ERP II są publikowane również na zewnątrz. Jest to powiązane z architekturą systemu, która opiera się na Internecie, a nie tak jak w przypadku ERP jest niesieciowa, zamknięta. Wiąże się to również z tym, że procesy w przedsiębiorstwie mogą być zewnętrznie ze sobą połączone. Do systemu ERP II dołączono funkcjonalność zarządzania i elektroniczną komunikację z zakresu łańcucha dostaw partnerów biznesowych.

Rozwój systemów klasy ERP wiąże się z adaptacją systemu do różnorodnych obszarów biznesowych. Rodzaje działalności gospodarczej można określić jako cztery następujące obszary (Rzewuski, 2002):

- domena produkcji procesowej – wiąże się np. z produkcją żywności, tekstyliów i chemii,
- domena produkcji dyskretniej – wiąże się z produkcją dóbr materialnych,
- domena zasobochłonna – wiąże się z obszarem usług dostarczania energii, transportu i produkcji ciągłej,
- domena usługochłonna – wiąże się z usługami finansowymi, sektorem publicznym oraz korzystaniem ze źródeł zewnętrznych, tzw. outsourcing.

Architektura systemu ERP II, w której skład wchodziły moduły tradycyjnego systemu ERP, została rozszerzona o dodatkową gamę możliwości i przedstawiona graficznie na rys. 7.7.



Rys. 7.7. Architektura systemu ERP II

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Żyga, 2017).

Elementem centralnym w architekturze ERP II jest system ERP, który pod sobą ma zestaw dodatkowych systemów. System zarządzania relacjami z klientami (ang. *Customer Relationship Management* – CRM) rozszerzył funkcje modułu sprzedaży i dystrybucji. System łańcucha dostaw (ang. *Supply Chain Management* – SCM) wspiera moduł logistyki produkcyjno-zaopatrzeniowej. Rozszerzyło to wspomaganie procesów wewnątrz firmy o informacje pochodzące od partnerów biznesowych, co stanowi możliwość zarządzania zasobami nie tylko jednej firmy, ale również wszystkich współpracujących ze sobą partnerów w ramach łańcucha dostaw. PLM (ang. *Product Life Management*) jest to rozszerzenie przeznaczone do zarządzania cyklem życia produktu. W skład systemu wchodzi projektowanie i wytwarzanie produktów, zarządzanie jakością oraz rynkowa ocena produktów. Podsystem, którego zadaniem jest wspieranie strategiczne zarządzania przedsiębiorstwem, nosi nazwę SEM (ang. *Strategic Enterprise Management*). Do jego zadań należą: planowanie strategiczne, inwestycje kapitałowe i konsolidacja finansowa. W głównej mierze opiera się na hurtowni danych i zawartych w niej informacjach (Żyga, 2017).

Praca opierająca się na systemie ERP II odbywa się przy użyciu przeglądarki internetowej. Enterprise Resource Planning II umożliwia tworzenie portali internetowych, z których mogą korzystać pracownicy, klienci czy partnerzy. Portale dają możliwość bezpośredniej i szybkiej komunikacji użytkownika z systemem w przedsiębiorstwach. Z profilu klienta można przykładowo sprawdzić dostępność produktu czy monitorować stan swojego zamówienia. Pracownicy w firmie mają możliwość kontrolowania informacji dotyczących ich sektora przedsiębiorstwa,

korzystając z dostępu zdalnego online. Oprócz tego do najważniejszych cech systemu klasy ERP II można zaliczyć ([www.programyerp.com](http://www.programyerp.com)):

- dużą integrację – zapewnienie spójności danych,
- elastyczność – możliwość wprowadzania zmian w systemie bez konieczności zatrzymania procesu produkcji,
- swobodną architekturę – możliwość modyfikacji w procesach biznesowych w dowolnym momencie,
- możliwość przeprowadzania działań biznesowych nie tylko w kraju siedziby firmy,
- możliwość wkomponowania samodzielnych funkcji w system ERP.

Korzyści wynikające z zastosowania w przedsiębiorstwie systemu klasy ERP II są znaczące. Podstawą do udoskonalenia funkcjonowania procesów oraz działań są dane zbierane w systemie, które przynoszą największe korzyści, takie jak (Lech, 2003):

- lepsza współpraca pomiędzy komórkami, którą umożliwia dostęp do wspólnych danych,
- zmniejszone koszty operacji dzięki ułatwieniu procesów biznesowych,
- zmniejszone koszty zarządzania,
- zmniejszone koszty operacyjne,
- poprawa efektywności działania firmy,
- większa przejrzystość firmy dzięki raportom generowanym w czasie rzeczywistym.

Systemy klasy ERP II skupiają się na integracji zewnętrznej oraz partnerach biznesowych. Głównym celem zastosowania systemu jest osiągnięcie maksymalnego zysku oraz utrzymanie stabilnego i konkurencyjnego miejsca na rynku. W uproszczeniu, system ERP II to zintegrowany system zarządzania, który łączy ze sobą system CRM i ERP, dodatkowo wykorzystując komunikację internetową (Parys, 2006).

## Bibliografia

- [1] Lech P. (2003), Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Difin.
- [2] Parys T. (2006), System ERP II najwyższą formą zintegrowanego systemu informatycznego zarządzania. Prace Naukowe, Akademia Ekonomiczna w Katowicach. Systemy wspomagania organizacji SWO, 157-166.
- [3] Program ERP II. Dostępne na: <http://www.programyerp.com/erp/48.html> (dostęp: 6.01.2021).
- [4] Rzewuski M. (2002), ERP II – nowy stary gatunek. PCkurier, nr 20.
- [5] Żyga M. (2017), Systemy ERP II – zapanuj nad firmą i otoczeniem biznesowym. Dostępne na: <https://www.jcommerce.pl/jpro/artykuly/systemy-erp-ii-zapanuj-nad-firma-i-otoczeniem-biznesowym> (dostęp: 6.01.2021).



## 7.5. Systemy CRM (Piotr Rajchel)

System CRM (ang. *Customer Relationship Management*), czyli zarządzanie relacjami z klientem, to koncepcja zarządzania zwracająca pełną uwagę na zbudowanie długotrwałej relacji pomiędzy firmą a klientem, a także na wytworzenie pewnej sfery lojalności. Rozwijając definicję zarządzania relacjami z klientem – jest to ciągłe pogłębianie i wzrost powiązań z klientem. Budowa odpowiedniej biblioteki danych na temat historii współpracy z odbiorcą usług lub produktów jest nieocenionym źródłem wiedzy, którą w pełni może wykorzystywać dział marketingu czy sprzedaży w firmie. W założeniach systemu CRM utrzymanie klienta już współpracującego z firmą jest tańsze od pozyskania nowych kontrahentów. Zakłada się także, że każdy klient jest „opłacalny”, zatem pełną uwagę i koncentrację należy ukierunkować na klientów generujących maksymalny zysk. Koncepcja zarządzania relacjami z klientami polega na odnajdywaniu kluczowych klientów i wprowadzeniu odpowiedniej strategii współpracy, aby zachować największy wzrost zysku oraz zadowolenie klienta. Drugim założeniem, jakie można przypisać do systemu CRM, jest segregacja procedur i dostarczenie informacji skierowanych do klienta w każdym etapie jego współpracy z firmą. Pełna dokumentacja znajduje się w jednym miejscu i umożliwia zdefiniowanie opłacalności pozyskania klienta oraz koszty związane z jego pozyskaniem. System pozwala na monitorowanie efektywności projektów oraz kampanii w trakcie ich trwania ([www.gonetcrm.pl](http://www.gonetcrm.pl)).

W rzeczywistości najważniejsza funkcja systemów CRM to gromadzenie, zbieranie i uporządkowanie danych w jednym miejscu oraz zapewnienie odpowiedniej relacji oraz indywidualnego podejścia do klienta. W programach CRM swoje miejsce znajdują wszelkie informacje o klientach, partnerach, dostawach i wszystkich, którzy mają jakieś powiązanie z przedsiębiorstwem. Takie rozwiązanie umożliwia zarządzanie korespondencją, sprawdzanie historii klienta, przygotowanie ofert i selekcję klientów z wyszczególnieniem najbardziej dochodowych. Sama praca, opierająca się na systemach CRM staje się prostsza i usprawnia działania firmy. Oprócz przedstawionych zalet systemy są także ([craftware.pl](http://craftware.pl)):

- narzędziem do składania ofert,
- narzędziem do organizacji projektów,
- narzędziem umożliwiającym elektroniczną korespondencję,
- usprawnieniem telemarketingu,
- dostępne w dowolnym miejscu,
- dopasowane do potrzeb.

Nawiązanie odpowiednich relacji z klientem to serce każdego systemu CRM, dlatego każde oprogramowanie najbardziej skupia się na organizacji kontaktów z obecnymi, potencjalnymi i przyszłymi kontrahentami. Odpowiednie zarządzanie klientami zawiera (Dycha, 2002):

- dokumentowanie historii kontaktów z każdym klientem wraz z wszystkimi próbami nawiązania z nim współpracy, zawarcia umowy oraz zakupu produktów, łącznie z datami i informacjami o pracownikach,
- funkcjonalizacje komunikacji,

- poprawne przygotowanie dokumentacji,
- przypisanie statusu do klientów,
- grupowanie klientów z podziałem na różnorodność zamówień, branże czy region pochodzenia działalności,
- dostosowanie kalendarza do indywidualnych potrzeb klienta.

Ważną funkcją w zarządzaniu relacjami z klientem jest także możliwość dodawania komentarzy/notatek ze spotkań lub wiadomości. Funkcja ta udostępnia stały monitoring relacji i umożliwia szybkie dostosowanie się do kontekstu. W obecnych czasach trudno sobie wyobrazić obsługę klienta bez wewnętrznego systemu zapisu historii. Zastosowanie bazy CRM mocno wspomaga kontakt z klientem, także przez tworzenie bazy na podstawie (Dycha, 2002):

- danych rejestrowych,
- typów kontrahenta,
- danych adresowych.

Oprogramowanie jest uzbrojone w przeglądarkę z mnóstwem personalizowanych filtrów. Rezultatem tego jest fakt, że obsługujący je pracownik ma możliwość sprawnie wyszukać w danym regionie klientów, z którymi nie miało się kontaktu od dłuższego czasu. Przez zastosowanie filtrów może trafić do grupy docelowej, która będzie miała wysoki potencjał sprzedażowy.

CRM jest także wykorzystywany jako system sprzedażowy ukierunkowany nie tylko na wsparcie relacji, ale także bogatą bazę analityczną. W zależności od wykorzystanego oprogramowania można generować raporty finansowe z płaszczyzny ([www.gonectrm.pl](http://www.gonectrm.pl)):

- aktualnych wyników finansowych – globalne, jak i podzielone na konkretne grupy klientów,
- podziału produktów z największą sprzedażą,
- statystki, przekładające liczbę kontaktów na sfinalizowane transakcje, czyli wykorzystanie potencjału firmy.

Zastosowanie CRM w zakresie sprzedaży pozwala wypracować coraz lepsze metody komunikacji i indywidualne podejście do klienta.

Ocena efektywności pracowników może być także dokonywana przy użyciu systemów informatycznych CRM. Menedżer sprzedaży ma możliwość wygenerowania bazy danych, które dają możliwość oceny pracowników, a także przełożenia ich starań na mierzalne wyniki. System CRM dostarcza informacji m.in. (Dejanka, 2002):

- o skutecznych działaniach każdego klienta, przedstawiając indywidualne wyniki pracowników i zbiorowe wyniki dla całej komórki organizacyjnej,
- o statystykach zadań, z którymi uporali się poszczególni pracownicy w danym przedziale czasowym.

System ma możliwość odświeżenia relacji z klientem przez wygenerowanie informacji odnośnie do każdego klienta, z którym była podjęta współpraca w przeszłości (Dycha, 2002).



Do największych korzyści związanych z zastosowaniem systemu CRM zalicza się (www.gonetcrm.pl):

- zwiększenie efektywności transakcji. Systemy CRM zapewniają odpowiednią ilość czasu i regularny kontakt, co przekłada się na budowanie relacji z klientem,
- możliwość optymalizacji procesu sprzedaży przez zastosowanie systemu CRM związanego z automatyczną realizacją procedur, zapewniającą szybkie odnajdywanie informacji,
- zapewnienie odpowiedniej relacji z kupującym po dokonaniu zakupu, w celu zmaksymalizowania możliwości ponownej transakcji.

Systemy CRM i ERP są to systemy zbliżone do siebie, jednak ich zastosowanie wiąże się z osiągnięciem innego celu. W zależności od wyboru środowiska branżowego systemy CRM i ERP mogą się uzupełniać i być używane jednocześnie. W tabeli 7.1 zostały ukazane obszary przedsiębiorstwa, w których systemy się uzupełniają oraz te, w których mogą występować osobno.

Tabela 7.1. Obszary współpracy i samodzielności systemów CRM i ERP

Sektor samodzielności CRM	Sektor samodzielności ERP	Sektor współpracy CRM&ERP
Centrum telefoniczne	Finanse i fakturowanie	Automatyzacja działu sprzedaży
Usługa klienta	Zasoby ludzkie	Automatyzacja marketingu
Zarządzanie wspólnotą	Produkcja	
Zarządzanie zasobami społecznościowymi	Łańcuch dostaw	
	Zarządzanie projektami	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Dejanka, 2002).

Oprogramowanie ERP w głównej mierze stawia na to, co się dzieje wewnątrz firmy, natomiast działalność CRM obejmuje obszary związane z budowaniem relacji z klientem oraz marketingiem, czyli stawia na to, co widać na zewnątrz, czy nawet na to, co firma chce ukazać (odl.com.pl).

## Bibliografia

- [1] Definicja CRM. Dostępne na: <https://craftware.pl/co-to-jest-system-crm-i-czy-warto-z-niego-korzystac/> (dostęp: 6.01.2021).
- [2] Dejanka A. (2002), CRM – zarządzanie kontaktami z klientami. Wydawnictwo Helion.
- [3] Dycha J. (2002), CRM – relacje z klientami. Wydawnictwo Helion.
- [4] ERP a CRM. Dostępne na: <https://odl.com.pl/czym-sie-rozni-system-erp-od-crm/> (dostęp: 6.01.2021).
- [5] Funkcje CRM. Dostępne na: <https://www.gonetcrm.pl/crm> (dostęp: 6.01.2021).

## 7.6. Optymalizacja Przemysłu 4.0 (Konrad Bąk)

Dynamicznie rozwijająca się technologia sprawia, że na kwestię optymalizacji przemysłu trzeba spojrzeć z nowej perspektywy. Oddziałuje zarówno na procesy produkcyjne, jak i logistyczne, które stają się coraz bardziej złożone. Rosną wymagania klientów odnośnie do realizacji zamówień po najniższych cenach, o najwyższej jakości oraz możliwie najkrótszym czasie produkcji. Jeżeli do tego dołoży się ogromną konkurencję, to można sobie wyobrazić sytuację, która wymaga optymalizacji procesów. Dziś firmy nie tylko muszą działać sprawnie, ale muszą być również przygotowane na świadome i konsekwentnie wprowadzane zmiany, aby mogły funkcjonować wydajnie. Celem optymalizacji jest uzyskanie najlepszego wyniku (rozwiązania) przy zadanych warunkach i założonym kryterium optymalizacji. Najlepszy z uzyskanych wyników jest nazywany wynikiem optymalnym.

Jeden z wielu używanych podziałów wyróżnia optymalizację: statyczną, dynamiczną, jednokryterialną i wielokryterialną. Optymalizacja statyczna to proces poszukiwania optymalnych wartości zmiennych decyzyjnych (sygnałów sterujących) badanego obiektu stacjonarnego, spełniających postawione kryterium oceny – funkcję celu lub wskaźnik jakości. Optymalizacja dynamiczna to proces poszukiwania optymalnych przebiegów czasowych sygnału sterującego (zmiennych decyzyjnych), zapewniających uzyskanie założonej funkcji celu. Optymalizacja jednokryterialna (skalarna) opiera się na poszukiwaniu optimum tylko jednej funkcji celu. Optymalizacja wielokryterialna (wektorowa) to takie działanie, które aby znaleźć najlepsze rozwiązanie, analizuje kilka funkcji celu (Olejnik i in., 2015).

Wybór najlepszego rozwiązania ze zbioru rozwiązań optymalnych wymaga podjęcia decyzji charakteryzującej się pewnym kompromisem, wynikającym z przyjętego systemu wartości.

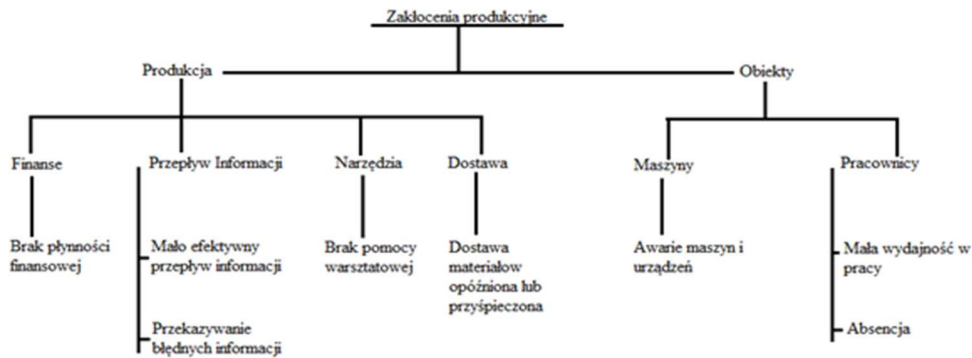
Aby podjąć jakiegokolwiek zmiany, należy sobie uświadomić wagę problemu. Optymalizacja procesów produkcyjnych i logistycznych jest rekomendowana wtedy, gdy istnieją powody do spekulowania, czy na pewno system wykorzystuje swój potencjał i czy mógłby być bardziej efektywny oraz bardziej sprawny. Również kiedy produkcja zajmuje zbyt dużo czasu lub firma ponosi coraz to większe koszty, skutecznym rozwiązaniem jest optymalizacja. Optymalizacja procesów produkcyjnych będzie najskuteczniejsza wtedy, kiedy poprzedzi ją odpowiednia analiza. Dzięki wnikliwej analizie systemu produkcji można dokładnie stwierdzić, co należy i można poprawić.

Wiele z obecnie realizowanych procesów produkcyjnych jest sterowanych automatycznie oraz monitorowanych, co pozwala na łatwy dostęp do danych dotyczących przebiegu produkcji. Dobrą praktyką jest, by analiza opierała się również na rozmowach z pracownikami i uwzględniała ich potrzeby oraz sugestie – w końcu to oni stanowią pierwszą linię kontaktu i najlepszych obserwatorów procesów produkcyjnych. Zresztą sposobów i metod wykorzystywanych przy optymalizacji produkcji jest kilka (Parkinson i in., 2013).

Na rysunku 7.8 przedstawiono zakłócenia produkcji (Kowalska i in., 2017).







Rys. 7.8. Zakłócenia produkcji

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Kowalska i in., 2017).

Metoda DMAIC (ang. *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*) jest stosowana podczas realizacji projektów Six Sigma. Jest skuteczną metodą, która może być wykorzystywana przy optymalizacji produkcji. Pierwszym etapem jest znalezienie odpowiedzi na pytania, jak długo trwa problem oraz czy skala problemu jest duża. Kolejny krok to przeprowadzenie analizy w celu zebrania danych. Należy pamiętać, aby zwrócić uwagę na dane, które są niezbędne do podjęcia kolejnych kroków. Nadmiar danych może spowodować, że wkradną się błędy, co spowolni cały proces. Następnie analiza polega na określeniu wpływu konkretnych czynników na proces produkcji oraz rozpoznanie głównych przyczyn występowania problemów. Kolejnym etapem jest projektowanie, testowanie oraz wdrażanie nowych rozwiązań pozwalających wyeliminować niechciane błędy. Ostatnim krokiem jest monitorowanie wprowadzonego procesu oraz jego kontrola, czy na pewno wszystko zachodzi zgodnie z zamierzeniami.

Optymalizację można prowadzić metodami doświadczalnymi lub matematycznymi. Metody doświadczalne należą do najstarszych i obok współczesnych są wykorzystywane w obecnych aplikacjach przemysłowych. Metodami doświadczalnymi można (Olejnik i in., 2015):

- bezpośrednio poszukiwać rozwiązań optymalnych,
- prowadzić doświadczenia w celu znalezienia parametrów niezbędnych do opracowania empirycznego modelu matematycznego optymalizowanego obiektu.

Ogólnie metody matematyczne można podzielić na analityczne, geometryczne i numeryczne. W każdym z tych przypadków do przeprowadzenia optymalizacji niezbędny jest model matematyczny.

Komputerowa optymalizacja oznacza działanie mające na celu używanie algorytmów komputerowych do wyszukiwania plików oraz przestrzeni projektowej modelu komputerowego. Zmienne projektowe są korygowane w kolejności przez algorytm, aby osiągnąć cele. Optymalizacja jest szansą na uzyskanie pewniejszej

i lepszej kontroli nad procesem produkcyjnym, zredukowanie wadliwych wyrobów oraz zmniejszenie kosztów.

Podsumowując, rynek charakteryzuje się prężnymi zmianami, a co za tym idzie – zamierzając wyprzedzić konkurencję oraz zadowolić klienta, trzeba osiągać lepsze wyniki, zwiększyć zyski i podążać za postępującymi zmianami. Zaufanie do nowych technologii musi być kluczową sprawą w optymalizacji procesów. Nie należy bać się zmian. Takie zmiany przyczyniają się do zwiększenia możliwości firmy i usprawnienia jej funkcjonowania.

## Bibliografia

- [1] Kowalska K., Sikora L., Hadaś Ł. (2017), Analiza zakłóceń procesu produkcyjnego na wybranym przykładzie. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Organizacja i Zarządzanie, 73, 145-158.
- [2] Olejnik P., Awrejcewicz J., Lewandowski D. (2015), Modelowanie i optymalizacja dyskretnych układów mechatronicznych. Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- [3] Parkinson A.R., Balling R., Hedengren J.D. (2013), Optimization methods for engineering design. Brigham Young University, 5(11).

## 7.7. Przemysłowy Internet Rzeczy (*Przemysław Misztal*)

Przemysłowy Internet Rzeczy (ang. *Industrial Internet of Things* – IIoT) zalicza się do technologii czwartej rewolucji przemysłowej. Jego głównym elementem jest tworzenie systemów połączonych sensorów oraz urządzeń wykonawczych, działających we wspólnej sieci. W fabrykach powstają instalacje Internetu Rzeczy, które m.in. zapewniają utrzymanie działania systemu oraz monitorują procesy przesyłania towarów. Aby móc w pełni zadowolić klientów, wiele firm z branży automatyki oferuje rozwiązania przygotowane specjalnie pod kątem aplikacji Internetu Rzeczy w przemyśle. IIoT jest więc doskonałym narzędziem umożliwiającym automatyzację i optymalizację produkcji (Barciński, 2017).

Dzięki IIoT można uzyskać dostęp do ogromnej ilości danych dużo szybciej i wydajniej niż dotychczas. Wiele innowacyjnych firm rozpoczęło wdrażanie IIoT, używając inteligentnych, połączonych urządzeń w swoich fabrykach. IIoT tworzy komunikację urządzeń z przedsiębiorstwem. Używa do tego czujników, zaawansowanych analiz i inteligentnego podejmowania decyzji. Przedsiębiorstwa naftowo-gazowe jako pierwsze rozwijały infrastrukturę, w której czujniki, zaawansowaną analitykę, obróbkę danych oraz automatykę wykorzystywano do ułatwienia produkcji, zapobiegania awariom, redukcji kosztów funkcjonowania i zwiększania kapitału. Najważniejszą różnicą między IoT a IIoT jest wyszukiwanie błędów lub awarii, która ma rozległe znaczenie w produkcji. IIoT umożliwia efektywne funkcjonowanie systemu dzięki automatyzacji i skali tysięcy czujników dostarczających informacje (Kobza, 2019).

W fabrykach wykorzystujących IIoT używa się sygnałów pochodzących z licznie instalowanych czujników połączonych z systemami operacyjnymi. Szczegółowe oprogramowanie korzysta z danych w celu usprawnienia procesów.



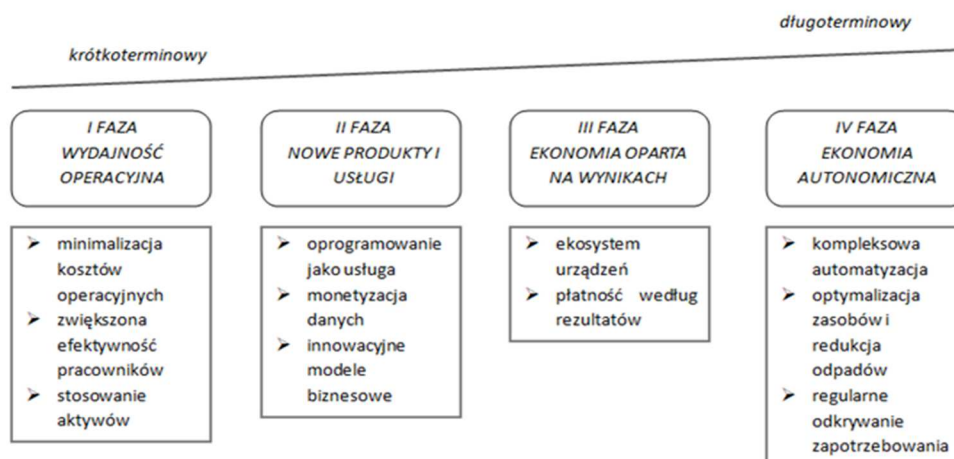
Do najważniejszych innowacyjnych systemów wpływających na jakość czujników IIoT można zaliczyć (Kobza, 2019):

- gwałtowny wzrost funkcji czujników (*smart city*, *smart grid*, transport, Przemysł 4.0 itd.),
- minimalizujące koszty jednostkowe czujników oraz koszty interfejsów,
- innowacyjne technologie wykonania oraz zwiększająca się inteligencja czujników, które wykrywają i analizują dane (wówczas przesyłają je dalej przez różnego rodzaju bramy komunikacyjne),
- system rozproszonego przetwarzania, ustawienie PLC (od ang. *programmable logic controller*, czyli programowalny sterownik logiczny) sterowników procesowych pętli bliżej maszyn, które nadzorują, redukują zatory oraz udoskonalają elastyczność i wydajność produkcji,
- możliwość dobrania optymalnych parametrów procesu produkcyjnego dzięki danym pochodzącym z czujników,
- integracja infrastruktury IIoT z nowymi technologiami, np. z robotyką, wirtualną rzeczywistością (VR), oprogramowaniem, sztuczną inteligencją, dronami itd. w ramach założeń Przemysłu 4.0.

Między IIoT a Przemysłem 4.0 są nieznaczne różnice i wiele osób uważa te koncepcje za współmierne. Można powiedzieć, że droga do Przemysłu 4.0 prowadzi przez IIoT, czyli że IIoT systematyzuje aplikacje czujnikowe, które stają się infrastrukturalną bazą dla większych aplikacji (systemów automatyki) związanych z Przemysłem 4.0. Niemniej granice między IoT a IIoT są tu bardzo nieostre (Przemysłowy Internet Rzeczy..., 2016).

Firma *Accenture* (jedno z największych na świecie przedsiębiorstw outsourcingowych i konsultingowych w dziedzinie zarządzania i technologii) zapowiada, że przyszłe rozwiązania w obszarze utrzymania ruchu będą w stanie przewidzieć awarie maszyn, eliminując nawet 70% przestojów w fabryce. *Accenture* szacuje również, że firmy wprowadzające IIoT zwiększą swoją wydajność nawet o 30%, same oszczędności o 12%, obniżając przy tym koszty utrzymania ruchu o 30% (*Accenture*, 2017). Z ostatnio przeprowadzonego kwestionariusza dla Światowego Forum Ekonomicznego spośród 1400 biznesowych liderów wynika, że 84% zarządzającej kadry zamierza wcielić plan wdrożenia IIoT, jednak 73% ankietowanych wciąż nie miało konkretnych pomysłów, jak to sprawić (Kobza, 2019). Na rysunku 7.9 przedstawiono cztery fazy rozwoju IIoT w przyszłości.

W pierwszej fazie firma wykonuje czynności, których celem jest stworzenie infrastruktury podstawowej do wprowadzenia IIoT w produkcji. Są to kolejno: szkolenie pracowników, analiza biznesowa oraz ukierunkowanie na wprowadzanie zmian. Fazę drugą stanowi stworzenie przez firmę modelu biznesowego, a także nowych usług i produktów, które wpłyną na wyniki fazy trzeciej. W rezultacie tego procesu możliwe będzie otrzymanie inteligentnych i automatycznych systemów produkcji oraz dostawy. W taki oto sposób powstanie gospodarka skupiona na kliencie, w której za pomocą nowych technologii można reagować na potrzeby klienta (w fazie czwartej).



Rys. 7.9. Przedstawienie faz transformacji IIoT w przyszłości

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Accenture, 2017).

Oczekuje się, że IIoT zmieni sposób, w jaki żyjemy, pracujemy i komunikujemy się. Wyzwaniem numer jeden, przed którym stoi Przemysłowy Internet Rzeczy, jest bezpieczeństwo i prywatność. Jeśli nie będziemy w stanie złagodzić wielu problemów związanych z bezpieczeństwem i prywatnością, które mają wpływ na Przemysłowy Internet Rzeczy, to nie będzie można w pełni wykorzystać jego potencjału. IoT i tendencja do większej łączności oznacza więcej danych gromadzonych w większej liczbie miejsc w czasie rzeczywistym, aby umożliwić natychmiastowe podejmowanie decyzji oraz zwiększyć przychody, produktywność i wydajność (Munirathinam, 2020).

IIoT jest narzędziem opierającym się na czwartej rewolucji przemysłowej. Możliwości z zastosowania IIoT są ogromne, a z czasem mogą się tylko poszerzać. W przyszłości złożone oprogramowanie autonomicznie ponownie dokona konfiguracji i analizy gniazd roboczych, tworząc przy tym otwarty rynek dla producentów komponentów i urządzeń. Zostanie dokonana integracja, np. systemu produkcyjnego z energetyką i transportem. Następnie systemy bezprzewodowe 5G będą kompatybilne z pojazdami autonomicznymi oraz będą współdziałać ze sterownikami ruchu bezkolizyjnego (ang. *freeway controllers*) (Nawigacja w kierunku przyszłości..., 2018).

## Bibliografia

- [1] Barciński A. (2017), Internet Rzeczy w przemyśle. Dostępne na: <https://automatyka-online.pl/Artykuly/Przemysl-4.0/Internet-Rzeczy-w-przemysle> (dostęp: 03.01.2021).
- [2] Kobza N. (2019), Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT). Fabryki przyszłości w dobie rewolucji przemysłowej. Wyd. 1, Instytut Innowacyjna Gospodarka. Dostępne na: [http://ingos.pl/public/userfiles/pdf/raport\\_przemyslowy\\_internet\\_rzeczy.pdf](http://ingos.pl/public/userfiles/pdf/raport_przemyslowy_internet_rzeczy.pdf) (dostęp: 03.01.2021).
- [3] Milojevic M. (2017), Smart Production. Finding a way forward: How manufacturers can make the most of the Industrial Internet of Things, Accenture. Dostępne na: <https://www.>

accenture.com/\_acnmedia/PDF-49/Accenture-Digital-Industrial-Transformation-with-the-Internet-of-Things.pdf (dostęp: 03.01.2021).

- [4] Munirathinam S. (2020), Industry 4.0: Industrial internet of things (IIOT). In *Advances in computers*, Elsevier, 117, 1, 129-164.
- [5] Nawigacja w kierunku przyszłości systemów IIoT (2018). Dostępne na: <https://www.controlengineering.pl/nawigacja-w-kierunku-przyszlosci-systemow-iiot> (dostęp: 05.01.2021).
- [6] Przemysłowy Internet Rzeczy i jego wpływ na projektowanie urządzeń (2016). Dostępne na: <https://elektronikab2b.pl/technika/28572-przemyslowy-internet-rzeczy-iiot-i-jego-wplyw-na-projektowanie-urzadzzen> (dostęp: 04.01.2021).

## 7.8. Symulacje pracy linii produkcyjnej (Damian Morawiec)

Wraz z pojawieniem się koncepcji Przemysłu 4.0 zaczęto zwracać uwagę na rolę symulacji w produkcji. Symulacje są ważnym elementem w opracowywaniu systemów produkcyjnych. Przewidując zachowanie operacji produkcyjnych na hali produkcyjnej, wspierają planowanie produkcji, harmonogramowanie i podejmowanie decyzji (Goodall, 2018).

W symulacjach komputerowych można rozróżnić symulację metodą dynamiki systemowej (ang. *System Dynamics Simulation* – SDS) oraz symulację zdarzeń dyskretnych (ang. *Discrete Event Simulation* – DES) (Stadnicka i in., 2018).

SDS jest to metoda symulacji, która pozwala uchwycić globalne połączenia pomiędzy elementami w systemie oraz jest odpowiednia przy podejmowaniu problemów strategicznych i taktycznych. Nie uwzględnia ona szczegółów poszczególnych maszyn, produktów czy też zdarzeń, dlatego można ją stosować bez ich znajomości. Koncepcją tej metody jest wzięcie pod uwagę sprzężeń zwrotnych między elementami. Pozwala to ustanowić pętle przyczynowo-skutkowe, które mogą ukazywać zależności zarówno w ramach jednej firmy, jak i w ramach wielu organizacji (Feliks 2018).

DES umożliwia odzwierciedlenie sekwencji zdarzeń, w tym realizacji procedur w sytuacjach nadzwyczajnych. Większość procesów ma naturę ciągłą, jednak można wyodrębnić w nich momenty w postaci dyskretnych zdarzeń następujących po sobie w odpowiedniej kolejności. DES w przeciwieństwie do SDS nie uwzględnia efektów sprzężeń zwrotnych. Głównymi zaletami są: zrozumienie działania systemu przed jego budową, wykrycie nieprawidłowości oraz przeprowadzenie różnych scenariuszy zdarzeń (Stadnicka i in., 2018).

Symulacja pracy linii produkcyjnej jest jednym z wielu sposobów zastosowań symulacji jako narzędzia do podejmowania decyzji. Powinna odgrywać znaczącą rolę przy podejmowaniu decyzji o wdrożeniu nowego produktu do produkcji lub przy usprawnieniach. Symulacja to cyfrowe odwzorowanie istniejących zjawisk. Buduje się ją po to, aby określić cechy każdego elementu oraz zbadać i zwizualizować skutki zmian przeprowadzonych podczas symulacji. Szerokie zastosowanie tego typu symulacji cieszy się dużą popularnością na świecie (Chlebus, 2008).

Decyzje podejmowane podczas symulacji dotyczą rzeczywistych procesów, maszyn, dróg transportowych czy też całej organizacji produkcji. Symulacja dostarcza rozwiązań do analizy rozpatrywanego przypadku. Pozwala na sprawdzenie

różnych możliwych do wystąpienia rozwiązań, prowadzenie eksperymentów i analizę uzyskanych wyników. Efektem tego jest zwiększenie wydajności całej linii oraz poszczególnych maszyn, obniżenie kosztów i skrócenie czasu cyklu. Symulacja pracy na linii daje możliwość poszerzenia wiedzy na temat mechanizmów, dynamiki oraz interakcji zachodzących pomiędzy poszczególnymi elementami układu (Yemane, 2020).

Celem symulacji może być także uniknięcie niechcianych zdarzeń, takich jak zbyt długi czas przebrożeń, zużywanie się maszyn i urządzeń współdziałających ze sobą w różnych odstępach czasu, blokowanie się dróg transportowych, braki materiału lub przepełnione magazyny.

Wśród wielu programów do modelowania symulacji pracy na linii produkcyjnej można wyróżnić FlexSim, GP4 oraz ProModel (Stadnicka i Mach, 2011). Ich główną zaletą jest to, że są kompatybilne z danymi w formacie CAD, posiadają wachlarze gotowych modeli typowych dla produkcji oraz prosty i przejrzysty interfejs. Istnieje możliwość zmiany parametrów, określenia rozmiarów elementów i zachowania pracowników podczas symulacji.

Na rysunku 7.10 przedstawiono przykład modelu do symulacji.



Rys. 7.10. Model do symulacji pracy linii produkcyjnej. Model wykonany w oprogramowaniu SolidWorks

Źródło: Opracowanie własne.

Należy wspomnieć o wadach i zaletach przeprowadzania symulacji pracy linii produkcyjnej. Do największych wad należą: duża strata czasu oraz pieniędzy potrzebnych do przygotowania rzetelnego i dobrze odzwierciedlającego rzeczywistość modelu do symulacji. Kolejną wadą jest to, że każdy element całości modelu symulacji jest w większości unikatowy, nie da się więc wykorzystać w późniejszym czasie. Główną zaletą symulacji jest to, że eksperymenty w symulacji dają możliwość modernizacji linii produkcyjnej oraz przeprowadzenia badań elementów posiadających wpływ na całość linii produkcyjnej (Jurczyk i Wzorek, 2018).



## Bibliografia

- [1] Chlebus T. (2008), Modelowanie symulacyjne linii produkcyjnej oraz optymalizacja produkcji pod względem wykorzystania środków transportu wewnętrznego. *Logistics and Transport*, 7, 7-16.
- [2] Feliks J., Karkula M., Majewska K. (2018), Wykorzystanie symulacji komputerowej do analizy odporności sieci logistycznych, AGH.
- [3] Goodall P., Scharpe R., West A. (2019), A data-driven simulation to support remanufacturing operations. *Computers in Industry*, 105, 48-60.
- [4] Jurczyk K., Wzorek A. (2017), Modelowanie i symulacja systemów produkcyjnych przy wykorzystaniu oprogramowania Flexsim – Studium Przypadku. *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, 84, 41-53.
- [5] Stadnicka D., Mach A. (2011), Symulacja pracy linii produkcyjnej na przykładzie praktycznym. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 14(2), 57-71.
- [6] Stadnicka D., Litwin P., Antonelli D. (2018), Multiple System Dynamics and Discrete Event Simulation for Manufacturing System Performance Evaluation, 178-183.
- [7] Yemane A., Gebremicheal G., Meraha T., Hailemicheal M. (2020), Productivity improvement through line balancing by using simulation modeling. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 13(1), 153-165.

## 7.9. Automatyzacja i robotyzacja przemysłu (Sara Wyskiel)

Koncepcja Lean Manufacturing i robotyzacja wzajemnie się wspierają i dają możliwość otrzymania stabilnego, optymalnego procesu produkcyjnego. Jest to osiągnięte przez eliminację zbędnych czynności i stabilizację czasu cyklu. Niezwykle ważny aspekt robotyzacji to fakt, że umożliwia proste uzyskanie kompletnej informacji o czynnościach realizowanych na każdym stanowisku oraz czasie ich trwania. Gdyby człowiek zajmował się tym zadaniem, byłoby to bardzo czasochłonne. Prowadzi to do dalszych usprawnień, eliminacji błędów oraz poprawy procesu produkcyjnego.

Automatyzacja procesów wytwórczych jest istotną kwestią. Stały monitoring realizowanych czynności, zużywanych materiałów i energii pozwala analizować parametry produkcji w celu bieżącej optymalizacji. Ważne są przewidywania potencjalnych awarii i aktywnego, automatycznego przeciwdziałania nieplanowanym przestojom. Wprowadzenie do przedsiębiorstwa produkcyjnego robotyzacji umożliwia (Siciliano, 2016):

- zwiększenie wydajności,
- zwiększenie jakości,
- poprawę skali produkcji,
- ciągłe usprawnianie procesów wytwórczych.

Pozwala to uciec przed konkurencją, dopasować się do zmiennych trendów i myśleć o budowaniu przewagi konkurencyjnej na rynku.

Robot przemysłowy, jeśli jest prawidłowo i poprawnie wdrożony, daje możliwość zaimplementowania koncepcji Lean. Najważniejszym aspektem jest sposób wdrożenia. Przez wykorzystanie robotów na stanowisku czy linii produkcyjnej utworzą się takie cechy, jak: wysoka dostępność, elastyczność i niezawodność.



Zminimalizowane będą wówczas braki produkcyjne. Wszystko to dzięki precyzji i powtarzalności, jaka cechuje roboty. Wykorzystanie robotów przy nieprawidłowo zaprojektowanym rozwiązaniu nie spowoduje zwiększenia efektywności procesów (Denyer, 2009).

Zastosowanie robotów przemysłowych na stanowiskach i liniach produkcyjnych bardzo często daje możliwość zaproponowania różnych koncepcji rozwiązań na etapie projektowania. Roboty przemysłowe są niezastąpione w obszarach, gdzie wprowadzenie zasad koncepcji Lean jest najbardziej uzasadnione, czyli w tzw. „wąskich gardłach” produkcji, w których liczy się przede wszystkim niezawodność i wysoce rozwinięta diagnostyka prewencyjna. Robotyzacja procesów produkcyjnych jest równoznaczna z przyjęciem koncepcji Lean Manufacturing, ponieważ pozwala uzyskać krótszy czas realizacji produkcji, powtarzalną jakość, zwiększa efektywność pracy, poprawia komunikację i przepływ informacji. Jest to możliwe pod warunkiem wkomponowania celi zrobotyzowanej w kompletny i harmonijnie współpracujący system. Sam robot stanowi element wykonawczy. Jego zadaniem jest pokazywać informacje z systemu firmy, a konkretnie dane o bieżącym zapotrzebowaniu w taki sposób, by unikać nadprodukcji. Robot przez powtarzalność, dokładność wytwarza produkt zgodny z wymaganiami klientów. Nie zwalnia to jednak z kontroli poprodukcyjnej wytwarzanych półwyrobów, przykładowo w postaci systemów wizyjnych czy umiejętnie wkomponowanych elementów Poka-Yoke (Siciliano, 2016).

Wdrożenie robotyzacji jest tożsame ([www.logistyczny.com](http://www.logistyczny.com)):

- ze wzrostem elastyczności produkcji dzięki możliwości pracy stanowiska w dowolnym czasie dnia oraz nocy,
- z zapewnieniem powtarzalności, jakości produktu,
- ze wzrostem umiejętności pracowników – przez ciągłe doskonalenie i uczenie się nowych rozwiązań technologicznych,
- z poprawą bezpieczeństwa, komfortu pracy – przez automatyzację procesów niebezpiecznych.

Za robotyzacją, poza korzyściami ekonomicznymi, przemawia również łańcuchowa organizacja produkcji i logistyki. Wprowadzenie do zakładu produkcyjnego koncepcji Lean lub robotyzacji pozwala na dalszy rozwój i ciągłe usprawnianie.

Coraz częściej do przemysłu wkraczają roboty współpracujące z człowiekiem, tzw. coboty. Technologia ta może zmienić nadchodzące dziesięciolecie. Roboty wspomagające człowieka stały się już jednym z najszybciej rozwijających się sektorów rynku odpowiadającego za maszyny przemysłowe. Ewolucja robotów, a zwłaszcza cobotów, była ogromna w ciągu ostatnich dziesięciu lat (Bloss, 2016).

Można zaobserwować odejście od tradycyjnych robotów przemysłowych, które działają oddzielnie od człowieka. Coboty są przeznaczone do bezpośredniej interakcji z ludźmi, obsługi wspólnego ładunku i bezpiecznego działania bez środków ochronnych. Ta współpraca łączy elastyczność, podejmowanie decyzji przez ludzi z siłą, powtarzalnością i wytrzymałością robotów. Większość cobotów jest lekka i może się przemieszczać między miejscami. To sprawia, że coboty świetnie



sprawdzą się jako brama do otwarcia automatyzacji fabryk (Peshkin i Colgate, 1999).

Coboty umożliwiają organizacjom wykorzystanie wytrzymałości robotów oraz wiedzy i umiejętności człowieka. W ten sposób można korzystać z zalet zarówno ludzi, jak i robotów (Hentout i Aouache, 2019).

Cobot musi mieć ulepszoną zdolność do zrozumienia celu zadania, działań oraz zamiarów jego ludzkich współpracowników. Podobnie człowiek musi być w stanie komunikować się z cobotem w intuicyjny sposób. Systemy produkcyjne muszą być elastyczne, otwarte, skalowalne, ponownie konfigurowalne, lekkie, mobilne. Coboty w połączeniu z umiejętnościami i elastycznością ludzi dokonują tego skuteczniej (Villani i Pini, 2018).

## Bibliografia

- [1] Bloss R. (2016), *Industrial Robot*, 463-468.
- [2] Denyer D. (2009), *Producing a Systematic Review*.
- [3] Hentout M. (2019), *Aouache, Human-robot interaction in industrial collaborative robotics*.
- [4] <https://www.logistyczny.com/biblioteka/kaizen-lean/item/2295-robot-na-stanowisku> (dostęp: 01.02.2021).
- [5] Peshkin M., Colgate J.E. (1999), *Cobots. Industrial Robot: An International Journal*, 335-341.
- [6] Siciliano B. (2016), *Springer Handbook of Robotics*, 463-468.
- [7] Villani V., Pini F. (2018), *Mechatronics. The science of intelligent mechanics*, 248-266.

## 7.10. Rzeczywistość rozszerzona (Rafał Węgrzyn)

Rzeczywistość rozszerzona (ang. *Augmented Reality* – AR) jest to połączenie elementów świata rzeczywistego oraz wirtualnego, generowanego komputerowo w jeden obraz. Stanowi podstawową technologię ułatwiającą integrację człowieka z systemami cyfrowymi. Zapewnia dostęp do interakcji maszyn ze światem cyfrowym inteligentnej fabryki. Jest to sposób na szybkie rozwiązanie problemów. Technologia ta wykorzystuje obraz z kamer urządzeń elektronicznych, takich jak tablety, specjalistyczne okulary bądź innych urządzeń inteligentnych. Następnie przez systemy cyfrowe na świat rzeczywisty jest nakładany obraz wirtualny, dostarczający specjalistycznych informacji oraz instrukcji. Dane te mogą być wykorzystywane z oprogramowaniem odpowiedzialnym za sterowanie wybranych procesów produkcyjnych. Technologia rzeczywistości rozszerzonej jest oparta na rzeczywistym systemie produkcyjnym, dzięki któremu istnieje możliwość analizowania wybranych elementów środowiska rzeczywistego (Egger i Masood, 2020).

W przemyśle technologia AR pozwala wdrożyć nowe procesy, jak również ulepszyć istniejące. Podstawową możliwością jest skrócenie czasów przestojów, które są spowodowane awariami lub innymi problemami występującymi podczas produkcji. Pracownik za pomocą systemów AR, po nałożeniu obrazu wirtualnego na rzeczywisty, jest w stanie natychmiastowo zauważyć usterkę, a także dzięki

instrukcjom ma możliwość przeprowadzenia natychmiastowej naprawy. W przypadku braku dostępnej instrukcji naprawy bądź serwisu pracownik może się połączyć ze specjalistą, który na bieżąco instruuje go w celu rozwiązania problemu. Taka pomoc może mieć miejsce nawet wtedy, gdy pracownik znajduje się w USA, a specjalista przebywa w Chinach. Dzięki stosowaniu rozszerzonej rzeczywistości otwiera się nowa droga serwisowania maszyn. Ma to na celu zminimalizowanie ryzyka popełnienia jakiegokolwiek błędu. Serwisanci mogą bardzo szybko zeskanować kod na części zamiennej, aby uzyskać kolejne instrukcje prowadzące do prawidłowego montażu. Dzięki takiej technologii serwisanci nie potrzebują odbywania specjalnych szkoleń, by dokonywać serwisowania oraz napraw maszyn (Capgemini, 2020).

Technologia AR może bardzo wspomóc funkcjonowanie szkoleń w przemyśle. Takie rozwiązania stosuje m.in. Mercedes-Benz. Są to zupełnie innowacyjne rozwiązania pomagające odpowiednio przygotować pracowników do obsługi maszyn albo w razie konieczności do ich naprawy. Uczestnicy takich szkoleń dzięki technologiom AR, przez wirtualny model na tablecie nałożony na obraz rzeczywisty otrzymują wskazówki oraz mogą sami dokładnie zobaczyć, co oraz jak powinni wykonać, np. podczas awarii. Takie szkolenia dokładnie ukazują każdą osobną część oraz omawiają wszystkie możliwe scenariusze mogące wystąpić podczas naprawy bądź składania tych elementów maszyny. Technologia ta może także nagrywać pracę wykonywaną przez pracowników i wykorzystać ją w celach szkoleniowych. Inną firmą, która stosuje szkolenia wykorzystujące rzeczywistość rozszerzoną, jest Bosch. Korzystała ona z samochodu specjalnie przygotowanego do demonstracji, na który nałożono wirtualne modele za pomocą urządzeń AR. Dzięki temu na jednym aucie można było wyszkolić dziesiątki tysięcy techników w kilkuset miejscach na całym świecie. Odbywały się szkolenia dotyczące układów hamowania oraz silników. Jest to bardzo duża oszczędność pieniędzy oraz czasu. Do przeprowadzenia szkolenia dla większej liczby osób tak naprawę wystarczą tylko sala oraz okulary AR (Piątek, 2017).

Technologia rzeczywistości rozszerzonej umożliwia tworzenie wirtualnych wyrobów zanim będą one produkowane. Daje to duży komfort, gdyż można już na etapie planowania produkcji ocenić, czy produkt ten jest prawidłowy oraz spełnia wszystkie wcześniej oczekiwane aspekty. Oszczędza to bardzo dużo czasu. W innej sytuacji, po wykryciu defektów należałoby nanieść poprawki oraz kolejny raz tworzyć prototyp. W przemyśle motoryzacyjnym inwestuje się olbrzymie pieniądze w systemy projektowania wykorzystujące technologie AR oraz VR. Umożliwiają one uzyskanie różnych danych, od symulacji wizualnych, akustycznych, doznań dotykowych do testowania prototypów wyłącznie przez systemy AR i VR. Daje to olbrzymie możliwości i pozwala przedsiębiorstwom tworzyć projekty nawet kilka lat w przód (Baroroh, 2020).

Technologia AR ma zastosowanie także w logistyce wewnętrznej przedsiębiorstwa. Za pomocą kodów kreskowych bardzo łatwo da się prześledzić drogę każdego półproduktu na hali produkcyjnej, od samego początku aż do umieszczenia gotowego produktu na magazynie. Jest to łatwe i szybkie rejestrowanie oraz

dokumentowanie drogi. Dzięki zastosowaniu kodów kreskowych pracownik bardzo szybko znajdzie lokalizację składowania produktów na magazynie. Celem jest zastąpienie powszechnie stosowanych skanerów. Przyspiesza to całkowicie funkcjonowanie przedsiębiorstwa wewnątrz magazynu oraz dostarcza informacji pracownikom biurowym, bez potrzeby osobistego sprawdzania.

Zapewnienie lepszej komunikacji wewnątrz firmy pomiędzy pracownikami na różnym szczeblu, a także z firmami zewnętrznymi powiązаныmi z produkcją lub zespołami serwisowymi pozwala zaoszczędzić mnóstwo czasu. W przypadku jakiegokolwiek awarii operator może udostępnić obraz na żywo serwisantom lub swoim przełożonym, co nie wymaga specjalnego wstrzymania produkcji, a w zamian otrzymuje natychmiastowe instrukcje postępowania.

Pomimo coraz większej popularności oraz ilości wdrażanych systemów rozszerzonej rzeczywistości do przedsiębiorstw są to dopiero nowatorskie rozwiązania. Jest jeszcze bardzo długa droga do stosowania technologii AR na porządku dziennym. Przede wszystkim głównym wymaganiem jest wybór odpowiednich narzędzi, sprzętu oraz całego systemu IT, który tak naprawdę jest podstawą korzystania oraz odpowiedniego przepływu informacji oraz danych w całym przedsiębiorstwie. Kolejną bardzo ważną sprawą jest prawidłowa adaptacja systemu przez pracowników, którzy muszą się przyzwyczaić do widoku jednocześnie rzeczywistego i wirtualnego, na który są nakładane kolejne informacje, instrukcje oraz dane. Cały ten sprzęt (np. gogle lub tablety) musi być na tyle wygodny i przyjazny, aby pomagał pracownikom podczas wykonywania czynności, a nie przeszkadzał. Wdrożenie tego systemu musi pozwolić realnie usprawnić pracę w przedsiębiorstwie, obniżyć koszty oraz podnieść wydajność w procesach przedsiębiorstwa (Wiązowski, 2017).

## Bibliografia

- [1] Baroroh D.K., Chu C.H., Wang L. (2020), Systematic literature review on augmented reality in smart manufacturing: Collaboration between human and computational intelligence. *Journal of Manufacturing Systems*.
- [2] Capgemini (2020), Trzy przykłady zastosowania rozszerzonej rzeczywistości w przemyśle. Dostępne na: <https://polskiprzemysl.com.pl/technologie/zastosowanie-rozszerzonej-rzeczywistosci/> (dostęp: 31.01.2021).
- [3] Egger J., Masood T. (2020), Augmented reality in support of intelligent manufacturing – a systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106195.
- [4] Piątek Z. (2017), Rzeczywistość rozszerzona w przemyśle. Dostępne na: <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/05/23/rzeczywistosc-rozszerzona-w-przemysle/> (dostęp: 31.01.2021).
- [5] Wiązowski M. (2019), Rozszerzona rzeczywistość w hali produkcyjnej. Dostępne na: <https://quantum-software.com/blog/rozszerzona-rzeczywistosc-w-hali-produkcyjnej> (dostęp: 31.01.2021).

## 7.11. Rzeczywistość wirtualna (Dagmara Bawor)

Wirtualna rzeczywistość (ang. *Virtual Reality* – VR) może być stosowana do planowania linii produkcyjnych oraz hal produkcyjnych, jak również do kontroli działania robotów. Wykorzystując wirtualne gogle oraz dane z systemu CAD/CAM, można zwiedzić fabrykę i sprawdzić pracę linii zanim będzie ona rzeczywiście wybudowana, a maszyny zostaną uruchomione. W ten sposób można wychwycić błędy związane z nieprawidłowym rozmieszczeniem maszyn, urządzeń lub innych elementów wyposażenia linii czy hali produkcyjnej. Łatwo również sprawdzić, czy wyznaczone drogi transportu oraz ciągi komunikacyjne są optymalne (Kryśkiewicz, 2018).

Technologia wirtualnej rzeczywistości wykorzystywana jest również do monitorowania linii produkcyjnych i całych fabryk. Specjalne systemy, tzw. cyfrowe bliźniaki, wykorzystuje się do monitorowania danych w czasie rzeczywistym i optymalizowania na podstawie tych danych procesów produkcyjnych. Jest to obecnie jedna ze standardowych technologii wykorzystywanych przez duże przedsiębiorstwa produkcyjne oraz firmy z branży motoryzacyjnej i lotniczej. Przykładem jest europejska filia Forda, która wdrożyła technologie wirtualnej produkcji w celu zaprojektowania bezpiecznego i wydajnego środowiska pracy. Wykorzystano technologię VR sprzężoną z techniką przechwytywania i cyfryzacji trajektorii ruchów ciała (ang. *motion capture*) oraz drukiem 3D. Pozwoliło to na zoptymalizowanie miejsc pracy i zmniejszenie liczby wypadków związanych ze zranieniem ludzi o 70%. Ograniczono także problemy ergonomiczne pracowników o 90% (Berbeka, 2016).

Technologia VR pomaga również obniżyć koszty prototypowania oraz pozwala ulepszyć proces analizowania projektów na podstawie uwag od potencjalnych klientów zebranych w trakcie wirtualnej prezentacji gotowego wyrobu. W ten sposób skraca się czas opracowania produktu i przyspiesza jego wprowadzenie na rynek (Bieńkowski, 2019).

Z wirtualnej rzeczywistości korzysta na przykład Toyota. Inżynierowie, zakładając wirtualne gogle, mogą się przyjrzeć prototypom wyrobów w wirtualnej rzeczywistości w naturalnej skali. Oprogramowanie pozwala przenieść gotowy model z programu CAD do świata VR i sprawdzić, jak prezentuje się on w wybranym rozmiarze. Technologia VR pozwala również przetestować samochód na wirtualnym torze, zanim w ogóle zleci się wykonanie jego fizycznej wersji (Bieńkowski, 2019).

VR może być potężnym narzędziem do testowania i oceny nowych produktów i pomysłów, skracając czas wprowadzania ich na rynek i obniżając koszty. Obecnie tylko duże firmy korzystają z technologii wirtualnych i czerpią korzyści z ich przewagi konkurencyjnej. Powszechne stosowanie i akceptacja VR będzie wymagać urządzeń i oprogramowania o wyższej jakości i niższych kosztach. Istniejąca technologia VR została zastosowana do rozwiązywania rzeczywistych problemów klientów, skróciła czas wprowadzania na rynek i zwiększyła bezpieczeństwo pracowników. Procesy produkcyjne i projekty można definiować,



modelować i weryfikować przed ich faktycznym wdrożeniem. Wirtualna rzeczywistość oferuje inżynierom nowe sposoby nie tylko wizualizacji problemów, ale także interakcji z otoczeniem w celu ich skutecznego i wydajnego rozwiązywania. Te wizualizacje w połączeniu z interakcją mogą pozytywnie wpłynąć na zdolność inżynierów do podejmowania decyzji, poprawiając w ten sposób jakość i skracając czas opracowywania nowych produktów. Jeśli technologie VR zostaną skutecznie wdrożone, może to skutkować ulepszonym projektem produktu, z najwyższą jakością, prowadząc do większego zadowolenia klienta (Mujber i in., 2014).

Rzeczywistość wirtualna jest również wykorzystywana jako nowoczesne narzędzie wsparcia w kształceniu inżynierów. Przykładowo podczas kształcenia inżynieria materiałowego wykorzystuje się wizualne laboratoria, które potrafią zobrazować procesy chemiczne, reakcje, strukturę materiałów, budowę cząstek chemicznych, a także pole magnetyczne i elektromagnetyczne i inne zagadnienia mechaniki, w tym zachowania materiałów. Interesujące możliwości w tym zakresie oferuje wirtualne laboratorium pod nazwą Ironmaking, które zostało opracowane na Uniwersytecie RWTH Aachen w Niemczech (Potkonjak i in., 2016). Za pomocą tego systemu możliwe jest wprowadzanie zagadnień dotyczących złożonych procesów technologicznych. System jest dedykowany zagadnieniom procesu wielkopiecowego. Uwzględnia on liczne, złożone zjawiska występujące w tym procesie, w szczególności zjawiska mechaniczne, hydrauliczne i fizykochemiczne. Kolejnym przykładem możliwości wsparcia procesu kształcenia jest system wizualizacji zagadnień z zakresu spawalnictwa, opracowany na Politechnice Krakowskiej (Korniejenko, 2016), wykorzystujący elementy laboratorium zdalnego.

Wirtualna rzeczywistość ma swoje zastosowanie także w szkoleniach pracowników. Dzięki użyciu urządzeń, takich jak HTC Vive, Leap Motion, Oculus czy kamery RGB-D, można bardzo wiernie odwzorować ruch i położenie użytkownika oraz układ jego rąk i dłoni. Interakcja z wirtualnym światem odbywa się za pomocą gestów. Istnieje również możliwość wykorzystania gamepada lub specjalnych kontrolerów, a wszystko w pełnej, 360-stopniowej swobodzie ruchu. Osoba szkolona dzięki okularom VR staje się częścią wirtualnego świata, zanurza się w nim, dzięki czemu ma wrażenie, że naprawdę się tam znajduje. Wszystkie procedury musi wykonywać zgodnie z rzeczywistością, a nad poprawnością ich wykonania czuwa komputer, który wynik szkolenia może wysłać do systemu centralnego (professor-why.com).

## Bibliografia

- [1] Berbeka J. (2016), Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość a zachowania konsumentów. *Studia Ekonomiczne*, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, *Ekonomia*, 7, 303, 84-101.
- [2] Bieńkowski M. (2019), Wirtualna rzeczywistość w przemyśle i biznesie. Dostępne na: <https://www.computerworld.pl/news/Wirtualna-rzeczywistosc-w-przemysle-i-biznesie,417381.html> (dostęp: 01.02.2021).
- [3] <https://professor-why.com/szkoleniavr> (dostęp: 29.01.2021).
- [4] Korniejenko K. (2016), Możliwości wykorzystania narzędzi nauczania dla studiów podyplomowych w zakresie spawalnictwa. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, 48, 41-46.



- [5] Korniejenko K. (2018), Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości jako nowoczesnego narzędzia wsparcia w kształceniu inżynierów. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki PG*, 58/2018.
- [6] Kryśkiewicz Ł. (2018), Co to jest wirtualna i rozszerzona rzeczywistość. Dostępne na: <https://di.com.pl/co-to-jest-wirtualna-i-rozszerzona-rzeczywistosc-59794> (dostęp: 10.01.2021).
- [7] Mujber T.S., Szecsi T., Hashmi M.S. (2004), Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155, 1834-1838.
- [8] Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl Ch., Petrovi V.M., Jovanovi K. (2016), Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309-327.

## 7.12. Cyfrowe bliźniaki *(Rafał Jędruch)*

Cyfrowa rewolucja nieustannie rodzi nowe terminy stające się stereotypami i ikonicznymi frazesami, często trwającymi tylko przez krótki czas. W ciągu ostatnich 10 lat terminy, takie jak przetwarzanie w chmurze, duże zbiory danych, platformy, uczenie maszynowe, inteligentne miasta, sztuczna inteligencja itd. zostały stworzone w celu opisanie najnowszych trendów w obliczeniach i komunikacji, automatyzując społeczeństwo coraz bardziej. Najnowszym terminem, który został dodany do tego arsenału stereotypów, jest „cyfrowy bliźniak”, który nagle zyskał nowe życie. Stworzony został prawie 20 lat temu, ale powszechną przychylnością znalazł znacznie później, gdy cyfrową infrastrukturę coraz bardziej osadzono w różnych firmach, społeczności oraz miastach (Datta, 2017).

Wirtualne repliki systemów, procesów lub fizycznych obiektów są nazywane cyfrowymi bliźniakami. Myśl wirtualnej budowy fizycznego świata narodziła się w 2002 r. w Michigan na miejscowym Uniwersytecie. Cyfrowa, dynamiczna replika fizycznego systemu, maszyny, urządzenia procesu produkcji, a także istoty żywej jest czymś więcej niż tylko symulowanym modelem. Wszystkie zmiany zachodzące w obiekcie rzeczywistym są zbierane przez czujniki i odzwierciedlone w jego cyfrowej replice. Umożliwia to zrozumienie procesów w trakcie rzeczywistego użytkowania obiektu, zdalne efektywne zarządzanie, przewidywanie zdarzeń, wykrywanie awarii na wczesnym etapie oraz monitoring zużycia elementów. Wnioski z analizy, która została przeprowadzona na cyfrowym bliźniaku, mogą być wykorzystane w obiekcie oryginalnym przy mniejszym ryzyku (Kowalczyk, 2016).

Technologie cyfrowych bliźniaków są wykorzystywane do testowania nowych produktów przez przedsiębiorstwa przed wprowadzeniem ich do produkcji seryjnej i użytkowania, co ułatwia rozwój i ich doskonalenie. Cyfrowe bliźniaki są tworzone dzięki rozwojowi Internetu Rzeczy i sensoryki. Zapewnia to przesyłanie pozyskanych danych w ilościach, które są liczone w eksabajtach. Przesyłane dane generują w czasie rzeczywistym informacje zwrotne pomiędzy fizycznymi obiektami i ich replikami cyfrowymi. W obszarze tym coraz częściej wykorzystuje się uczenie maszynowe i sztuczną inteligencję (Mazurek, 2019). Idea ta nie jest nowa i wywodzi się z czasów pierwszych projektów NASA, gdzie zostały tworzone repliki kosmicznych kapsuł, służące do testowania zamontowanego w nich sprzętu





i oprogramowania. Z czasem rozwój inteligentnej technologii przeniósł koncepcję cyfrowych bliźniaków z kopii fizycznej do modelu wirtualnego, który jest znany dzisiaj. Współcześnie idea ta szybko ewoluowała. Obecna technologia pozwala na tworzenie cyfrowych bliźniaków jako pojedynczych urządzeń oraz całych budynków, miast czy przedsiębiorstw (Steliński, 2019).

Proces powstawania cyfrowych bliźniaków jest bardzo skomplikowany, ponieważ na razie nie ma standardowej platformy do ich tworzenia. Co ciekawe, występuje nietypowa sytuacja w tym segmencie. W innych obszarach rynku innowacje, które są kluczowe, pochodzą zwykle od młodych, nowo utworzonych przedsiębiorstw. Przy tworzeniu cyfrowych bliźniaków najlepsze rezultaty osiągają największe przedsiębiorstwa. Dla nich właśnie wirtualne modele są najbardziej użyteczne. Taką firmą jest na przykład koncern General Electric, który technologię do tworzenia cyfrowych bliźniaków opracował samodzielnie i wykorzystuje ją m.in. do testowania i produkcji silników odrzutowych (Steliński, 2019). Cenione rozwiązania w tworzeniu kompleksowych modeli cyfrowych całych środowisk oferują np. Microsoft – platforma Azure (Steliński, 2019). Cyfrowe bliźniaki służą do analizowania zachowania swojego pierwowzoru i są budowane na podstawie dokładnego opisu urządzenia, rendera 3D oraz danych otrzymanych z sensorów. Tak stworzony cyfrowy bliźniak monitoruje stan bieżący urządzenia i sprawdza zachowanie podczas pracy codziennej. Bliźniaki predyktywne symulują przyszły stan urządzenia, zmiany w nim zachodzące, awarie, jakie mogą wystąpić oraz incydenty wymagające reakcji operatorów (van der Valk, 2020).

Cyfrowy bliźniak wykorzystuje dane na temat fizycznego przedmiotu lub otoczenia oraz systemu, aby potem symulować jego działania i udostępniać użytkownikowi dane na temat działania przedmiotu lub systemu w warunkach zdefiniowanych i warunkach zmiennych. Model jest zazwyczaj budowany przez specjalistów z dziedziny matematyki stosowanej lub inżynierii danych. Początkowo dokładnie analizują oni funkcjonowanie urządzenia fizycznego, poznają jego działanie, a później budują matematyczny model na podstawie zebranych informacji, systemu (urządzenia) działającego w cyfrowej przestrzeni, która odwzorowuje realne środowisko. Dane wejściowe z sensorów otaczających fizyczną wersję modelu wirtualnego pozwalają mu na pełne symulowanie zachowania obiektu, systemu lub urządzenia w czasie rzeczywistym. Dostarczają mu w tym samym momencie pełnych danych otoczenia, informacji o tym, jak się ono zmienia oraz o ewentualnych problemach. Jednak cyfrowy bliźniak nie musi być odpowiednikiem urządzenia już istniejącego. Opieranie się na jego prototypie będzie służyło do dostarczania niezbędnych informacji do udoskonalenia wersji próbnej. Coraz częściej zdarza się, że prototyp fizyczny powstaje na etapie prac późniejszych, a pierwszym prawdziwym prototypem jest model wirtualny. Cyfrowy bliźniak może być projektem lub modelem prostym, ale także złożonym. Przykładem są cyfrowe bliźniaki kontenerowców obsługujących ruch towarowy na oceanach i morzach, stworzone przez przedsiębiorstwo Eniram (Steliński, 2019). Efektywność i precyzja w dostarczaniu wiedzy o działaniu odpowiednika fizycznego zależy od informacji, które zostaną dostarczone do systemu (van der Valk, 2020).

Badania pokazują, że cyfrowe bliźniaki odmieniają pracę wielu organizacji już teraz, przewidyując awarie oraz umożliwiając stały wgląd w stan urządzeń. Porządkują i znacznie upraszczają zarządzanie infrastrukturą. Dzięki cyfrowym bliźniakom koszty obsługi systemów i urządzeń są zredukowane. Dodatkowo cyfrowe bliźniaki zapewniają, że używanie modeli wirtualnych w procesie wytworzenia nowych urządzeń pozwoli wykrywać szybciej potencjalne defekty i wady, a także skracać czas projektowania nowych produktów. Również niektóre firmy zastrzegają, że tej technologii nie należy traktować jako lekarstwa na wszystkie wyzwania produkcyjne oraz biznesowe. Przypominają, że używanie cyfrowych bliźniaków do operacji zbyt banalnych może być rozwiązaniem zbyt potężnym. Wszystko zależy od odpowiedniego oszacowania projektu oraz przeliczenia strat i zysków (van der Valk, 2020).

Liczba zastosowań potencjalnych modeli oraz bliźniaków do zbudowania jest nieograniczona. Używa się ich do testowania i tworzenia samochodów, pociągów, silników lotniczych, turbin czy platform wydobywczych (Steliński, 2019). Technicy mogą używać modeli do testowania oraz sprawdzania różnych sposobów wykrycia i usunięcia awarii, a gdy któryś z modeli testowych będzie skuteczny, to dopiero wtedy zostanie wdrożony w urządzeniu fizycznym. Wdrożenia cyfrowych bliźniaków w przemyśle są na etapie najbardziej zaawansowanym. W wielu przedsiębiorstwach używa się już modeli do testowania sprzętu i symulowania procesów. Używanie cyfrowych bliźniaków w branży motoryzacyjnej jest ułatwione, ponieważ nowoczesne samochody są pełne sensorów, mogą więc łatwo dostarczać odpowiednich danych do symulacji. Technologia ta wymaga jednak dalszego udoskonalania w autach, wraz z upowszechnianiem się samochodów autonomicznych. W służbie zdrowia tworzy się cyfrowe bliźniaki pacjentów, do których sensory wielkości plastra medycznego, zamocowane na ciele człowieka, dostarczają odpowiednich danych. Pozwala to na proste monitorowanie zdrowia (van der Valk, 2020).

Wnioski z systemów cyberfizycznych (CPS) w odniesieniu do synchronizacji czasu pracy mogą mieć kluczowe znaczenie dla niektórych form architektury cyfrowych bliźniaków. Bez otwartych repozytoriów proces tworzenia (budowania) cyfrowych bliźniaków i ich użycie może być ograniczone do oligopolu przemysłowego. Zdecydowana większość użytkowników nie może wysłać armii inżynierów do tworzenia cyfrowych bliźniaków niestandardowych dla ich ekskluzywnych eksperymentów (Tauber i Schmittner, 2018). Definicja z 2012 r. określa, że *Cyfrowy bliźniak to zintegrowana wielofizyczna, wieloskalowa, probabilistyczna symulacja pliku pojazdu lub system powykonawczy, który wykorzystuje najlepsze dostępne modele fizyczne, aktualizacje czujników, historii floty itp., aby odzwierciedlić życie jej odpowiedniego latającego bliźniaka. Digital Twin jest ultrarealistyczny [...] integruje dane czujnika [...] historię konserwacji i wszystkie dostępne uzyskane dane historyczne* (Batty, 2018).

Cyfrowy bliźniak ochrony systemu powinien nie tylko zawierać istniejące technologie dotyczące ochrony danych, ale także przewidzieć, jak dane technologiczne mogą się zmieniać. Łatwo można to zrobić przez pomiar właściwości fizycz-



nych, np. za pomocą czujników, trudniej jest uzyskać i przedstawić informacje dotyczące bezpieczeństwa czy ochrony. Zbadane zostały zależności dotyczące powiązanych przypadków użycia cyfrowych bliźniaków do modelowania środowiska pracy, a także do samodostosowania się w gałęziach przemysłu. Zależności takie posiadają potencjał, aby zapewnić wsparcie prawne dla Przemysłu 4.0. Przyjmowanie technologii i podejść z Internetu Rzeczy (IoT) wraz z elastyczną chmurą technologii wsparcia umożliwiły liczne i różnorodne digitalizacje, scenariusze i przypadki użycia – od inteligentnej produkcji po inteligentne budynki i inteligentne rolnictwo. Każda domena ma inne środowisko i aplikacja musi mieć możliwość reagowania na zmiany zachodzące w środowisku. Takie zmiany muszą być monitorowane i ważne jest, aby aplikacja nadal działała w sposób godny zaufania (Marak, 2018).

Firma Siemens zainicjowała strategię w zakresie wdrażania cyfrowej transformacji, która jest wizją cyfrowego przedsiębiorstwa opartego na procesach wzajemnie komunikujących się ze sobą zarówno wertykalnie, jak i horyzontalnie. Myślą rekomendującą Siemens jest wprowadzenie tzw. cyfrowych bliźniaków, tj. łączenie ze sobą świata rzeczywistego z jego cyfrowo stworzoną reprezentacją. Wprowadzenie koncepcji cyfrowych bliźniaków umożliwia efektywne połączenie celów biznesowych przedsiębiorstwa z nowoczesną technologią oraz przeanalizowanie ich wpływu na firmę (Marak, 2018).

Koncepcja Siemens przewiduje następujące rodzaje cyfrowych bliźniaków (Marak, 2018):

- cyfrowy bliźniak produktu – oferuje zestaw narzędzi umożliwiający stworzenie definicji, weryfikację produktu oraz jego budowy, biorąc pod uwagę dyscypliny inżynierii i kładąc nacisk na rozwiązania mechatroniczne, których udział jest rosnący,
- cyfrowy bliźniak produkcji – oferuje zestaw narzędzi, który umożliwia zaprojektowanie, symulację i wirtualne uruchomienie procesów technologicznych w kontekście cyfrowego bliźniaka produktu. Integrowane są ze sobą poziomy wytwarzania, tj. zakłady wytwórcze, sieć kooperacji, ręczne i zautomatyzowane linie produkcyjne, pojedyncze maszyny i narzędzia oraz gniazda, co zapewnia systemowe zarządzanie zasobami produkcyjnymi zarówno na etapie realizacji produkcji, jak i planowania,
- cyfrowy bliźniak eksploatacji – umożliwia wdrażanie mechanizmów adaptacji oraz predykcji w trybie rzeczywistym, w odniesieniu do zasobów produkcyjnych oraz produktów. Za każdym rodzajem tych cyfrowych bliźniaków stoi zaawansowana technologia – oprogramowanie oraz innowacyjne rozwiązania sprzętowe. Te trzy filary umożliwiają wzajemną komunikację oraz przesył danych przez zastosowanie wspólnego modelu wymienności danych.

Usługa Azure Digital TWINS to oferta platformy jako usługi (PaaS), umożliwiająca tworzenie wykresów zawierających konkretnie badaną wiedzę na podstawie cyfrowych modeli całego środowiska. Te środowiska mogą być fabrykami, budynkami, gospodarstwami, sieciami energetycznymi, liniami, stadionami itp.,

a nawet całymi miejscowościami. Otrzymane cyfrowe modele mogą służyć do uzyskiwania informacji, które zapewniają lepsze produkty, zoptymalizowane działania, przełomowe środowiska pracy dla klientów oraz zmniejszone koszty (Anderson, 2020).

Korzystając z Azure Digital Twins, można tworzyć dostosowane, połączone rozwiązania, które (Anderson, 2020):

- modelują dowolne środowiska i ich bliźniacze reprezentacje cyfrowe w sposób skalowalny i bezpieczny,
- łączą zasoby, takie jak urządzenia IoT (ang. *Internet of Things*, z pol. Internet Rzeczy) i istniejące systemy biznesowe,
- korzystają z niezawodnego systemu zdarzeń do tworzenia dynamicznej biznesowej logiki oraz przetwarzania danych,
- integrują się z usługami Azure Data, Analytics i AI, co ułatwia śledzenie przeszłości i prognozowanie przyszłości.

Cyfrowy bliźniak już dawno ugruntował swoją pozycję w przemyśle, gdzie rewolucjonizuje procesy w całym łańcuchu wartości. Jako wirtualna reprezentacja produktu, procesu produkcyjnego lub usprawnień wydajności umożliwia płynne połączenie poszczególnych etapów procesu. Jest to technologia stosunkowo nowa, co pokazuje, jak wiele jeszcze może zaoferować w różnych gałęziach przemysłu.

## Bibliografia

- [1] Anderson B. (2020), Co to jest usługa Azure Digital Twins? Dostępne na: <https://docs.microsoft.com/pl-pl/azure/digital-twins/overview> (dostęp: 01.02.2021).
- [2] Batty M. (2018), Digital twins. Dostępne na: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2399808318796416> (dostęp: 15.01.2021).
- [3] Datta S. (2017), Emergence of digital Twins. Dostępne na: <http://oastats.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/107989/04.Digital%20Twins.pdf?sequence=14&isAllowed=y> (dostęp: 15.01.2021).
- [4] Kowalczyk J. (2016), Robot na stanowisku. Dostępne na: <https://www.logistyczny.com/biblioteka/kaizen-lean/item/2295-robot-na-stanowisku> (dostęp: 15.01.2021).
- [5] Marak T. (2018), Świadoma cyfrowa transformacja przedsiębiorstwa wsparta rozwiązaniami Siemens. Przegląd Organizacji, 58-60. Dostępne na: <https://przegladorganizacji.pl/> (dostęp: 01.02.2021).
- [6] Mazurek J. (2019), Cyfrowe bliźniaki. Dostępne na: <https://www.cxo.pl/news/Cyfrowe-blizniaki,414217.html> (dostęp: 15.01.2021).
- [7] Steliński A. (2019), Cyfrowe bliźniaki, czyli prototypowanie w czasach internetu rzeczy. Dostępne na: <https://www.computerworld.pl/news/Cyfrowe-blizniaki-czyli-prototypowanie-w-czasach-internetu-rzeczy,413042.html> (dostęp: 15.01.2021).
- [8] Tauber M., Schmittner C. (2018), Enabling security and safety evaluation in industry 4.0 use cases with digital twins. ERCIM News. Dostępne na: [https://people.fh-burgenland.at/bitstream/20.500.11790/1108/1/EN115\\_Tauber.pdf](https://people.fh-burgenland.at/bitstream/20.500.11790/1108/1/EN115_Tauber.pdf) (dostęp: 31.01.2021).
- [9] van der Valk H., Haße H., Möller F., Arbter M., Henning J.L., Otto B. (2020), A Taxonomy of Digital Twins. [In:] Proc. 26th Americas Conference on Information Systems. Dostępne na: <https://www.researchgate.net> (dostęp: 31.01.2021).



### 7.13. Sztuczna inteligencja w analizie danych (Julia Furtak)

Postęp technologiczny, globalizacja, a także Przemysł 4.0 stawiają przed przedsiębiorstwami wyzwania. Czwarta rewolucja przemysłowa przyczynia się do rozwoju technologii. Firmy muszą reagować na zmieniające się otoczenie, wprowadzając udoskonalenia, a także strategie pozwalające na uzyskanie przewagi konkurencyjnej. Sztuczna inteligencja pozwala na konstruowanie i tworzenie inteligentnych maszyn mających wiele praktycznych zastosowań w analizie danych. Nowe technologie opierające się na robotyzacji, komputeryzacji oraz cyfryzacji mogą się przyczynić do sukcesu przedsiębiorstwa oraz wpłynąć na poprawę współpracy organizacyjnej. Inteligencja jest jednym z ważniejszych filarów strategicznych cech modelu innowacyjnego przedsiębiorstwa. Jest to zdolność do postrzegania, analizy i dostosowania się do zmian otoczenia. Inteligencja jest także postrzegana jako zaawansowane technologie: maszyny, roboty, komputery zmieniające sposób funkcjonowania społeczeństw. Obszary rozwoju sztucznej inteligencji przedstawia schemat na rys. 7.11 (Adamik, 2018).

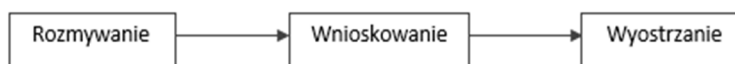


Rys. 7.11. Pięć najważniejszych obszarów rozwoju sztucznej inteligencji

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Purta i in., 2019).

Sztuczna inteligencję tworzą maszyny lub systemy, które wzorują się ludzką inteligencją podczas wykonywania czynności, zadań. Dzięki zbieraniu informacji i danych mogą się one na bieżąco udoskonalać. Sztuczna inteligencja ma na celu zwiększanie efektów i możliwości ludzi. Wpływa także na wzrost produktywności i wydajności firmy. Przyczynia się do automatyzacji procesów, zastępując czynnik ludzki. Wdrożenie sztucznej inteligencji do firm może być kosztowne, budowa systemów wymaga bowiem specjalistycznej wiedzy i jest bardzo złożona. Przedsiębiorstwa często nie wiedzą, gdzie i kiedy zastosować sztuczna inteligencję. Prawidłowo zastosowana skraca czas realizacji przedsięwzięć, co przyczynia się do zmniejszenia kosztów (Rowecka, 2019).

Jednym z zastosowań sztucznej inteligencji jest technologia oparta na logice rozmytej. Przydatna jest do sterowania przebiegiem procesów. System ten stosuje się tam, gdzie wiedza jest niewystarczająca, a wiedza o modelu matematycznym jest niekompletna. Odtworzenie modelu jest wtedy często niemożliwe. Nie zawsze można jednoznacznie ustalić kryteria danych spełniających je lub niespełniających. Funkcja przynależności w zbiorach rozmytych pozwala na określenie stopnia przynależności do klasy lub zbioru. Umożliwia modelowanie stanu rzeczywistego bez wprowadzania ścisłego podziału. Opiera się na pojęciach potocznych lub w wysokim stopniu niesprecyzowanych. Do przeprowadzenia analizy stosuje się regulator rozmyty. Pozwala on na uzyskanie dokładnej jakości regulacji. Jego zastosowanie polega na przyporządkowaniu obiektu do jednego ze zbiorów. Umożliwia to stwierdzenie, czy obiekt należy, czy nie należy do danego zbioru (Piegat, 1999). Strukturę regulatora rozmytego pokazano na rys. 7.12.



Rys. 7.12. Struktura regulatora rozmytego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Piegat, 1999).

W pierwszym bloku rozmywania następuje przypisanie funkcji przynależności do danej wartości wejściowej, następnie w bloku wnioskowania oblicza się wynikową funkcję przynależności. Ostatnim etapem jest wyostrzanie, które ma za zadanie określić wartość sygnału wyjściowego (Piegat, 1999).

Do analizy danych oraz pozyskiwania wiedzy służą sieci neuronowe. Są to systemy obliczeniowe przetwarzające informację na wzór zjawisk zachodzących w mózgu człowieka. Sieć neuronowa uczy się na podstawie przykładów i zdobytej wiedzy. Składa się z jednostek elementarnych, czyli neuronów, które przetwarzają informację. Proces uczenia sieci polega na wyznaczeniu odpowiednich wartości w możliwie najkrótszym czasie. Podstawową pamięcią sieci jest zestaw wag, czyli parametrów, które określają stopień wpływu wejść na wynik neuronu. Waga przyjmuje wartości z przedziału  $<0, 1>$ . Neurony z wynikiem 0 nie wpływają na wynik. Proces uczenia się jest powtarzany tyle razy, aż zadanie algorytmiczne nie uzyska najdokładniejszego i najlepszego rozwiązania. Sieci neuronowe mogą być wykorzystywane np. w prognozowaniu czasu projektowania części maszyn i oceny parametrów (Kamiński, 2019).

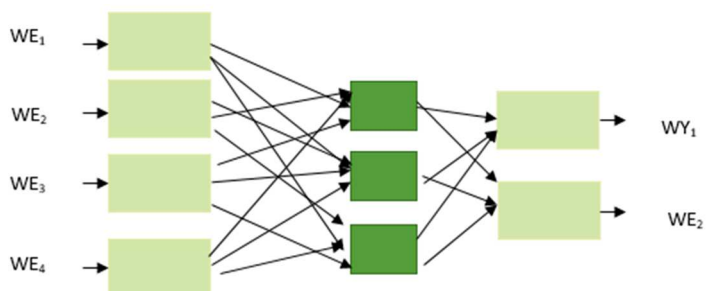
Rysunek 7.13 przedstawia przykładową sieć neuronową. Składa się ona z kilku neuronów oraz dwóch warstw. Pierwsza z nich posiada trzy neurony, druga jeden neuron wyjściowy. Każdy neuron składa się z tych samych elementów. Na rysunku 7.13 przedstawiono sieć neuronową dwuwarstwową.

Do programów wspomagających korzystanie z wiedzy oraz ułatwiających podejmowanie decyzji zalicza się systemy eksperckie. Służą one do diagnozy problemu, np. nieprawidłowe działanie urządzenia, wycena i kalkulacja kosztów, sterowanie robotami. W rozwiązywaniu złożonych problemów kluczową rolę odgrywają systemy eksperckie oparte na regułach. Trudno jest jednak przewidzieć



skutki dodawania nowej wiedzy podczas diagnozy. Ze względu na kategorie systemy ekspertowe można podzielić na (Mulawka, 1997):

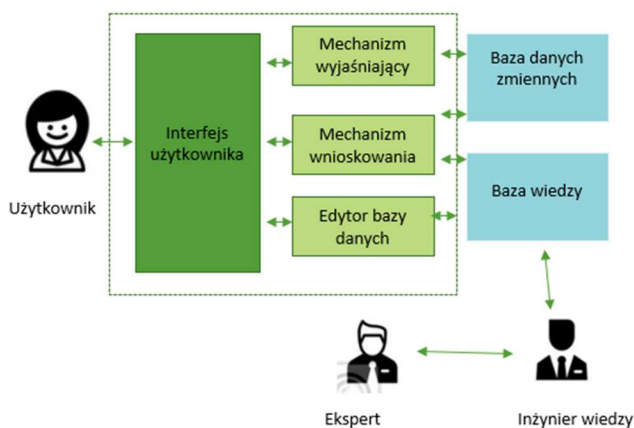
- systemy doradcze – użytkownik może weryfikować podjęte decyzje, odrzucić je i zażądać innego rozwiązania,
- systemy krytykujące – system analizuje problem i jego rozwiązanie, następnie komentuje je,
- systemy podejmujące decyzje – używane do sterowania obiektami, gdzie udział człowieka jest niemożliwy bądź utrudniony (do działania nie potrzebują kontroli człowieka).



Rys. 7.13. Przykład sieci neuronowej dwuwarstwowej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Tadeusiewicz i in., 2007).

System ekspertowy składa się z bazy wiedzy, czyli zbioru reguł oraz bazy danych. W skład szkieletu ekspertowego wchodzi mechanizm wyjaśniający, mechanizm wnioskowania oraz edytor bazy danych, będący procedurą umożliwiającą modyfikację wiedzy. Formułowanie zadań przez użytkownika i przekazywanie rozwiązania przez program zapewnia interfejs użytkownika (Mulawka, 1997). Składowe systemu ekspertowego zostały przedstawione na rys. 7.14.

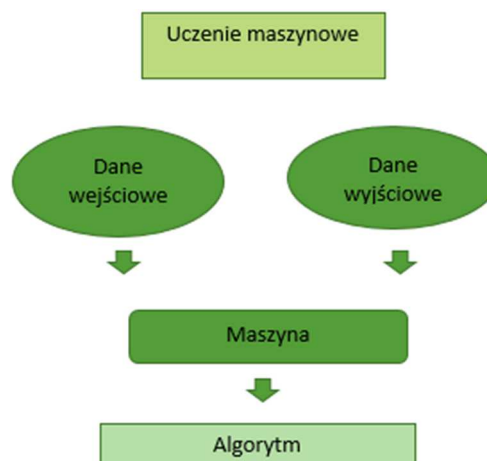


Rys. 7.14. Budowa systemu ekspertowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Flach, 2012).



Jedną z ważniejszych umiejętności, którą nabyły urządzenia technologiczne, jest zdolność uczenia się. Określa się ją mianem uczenia maszynowego. Jest to gałąź sztucznej inteligencji, w której programy samorzutnie mogą zmieniać swoją wiedzę, a także procedury, dzięki czemu zwiększa się ich wydajność. Programy działają, opierając się na przykładach ze szkoleń, doświadczeniu i instrukcji od nauczyciela. Zanim maszyna wykona zadanie, dostarcza się do niej losowe przykłady, na których się uczy, które przyswaja i do których dostosowuje swoje działania. Tworzy także strategię, by zrealizować zamierzone cele (Szeliga, 2019). Schemat uczenia maszynowego przedstawia rys. 7.15.



Rys. 7.15. Schemat uczenia maszynowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Flach, 2012).

Zbiór danych, który ze względu na swoją ogromną skalę nie może być analizowany za pomocą tradycyjnych narzędzi, jest definiowany jako Big Data. Składa się z czterech wymiarów, tzw. 4V. Pierwszy z nich to ilość danych (ang. *volume*) określająca gromadzenie danych pozyskiwanych z różnych źródeł. Druga wartość to szybkość (ang. *velocity*), odnosząca się do prędkości, z jaką dane muszą być przetwarzane i z jaką powstają. Trzeci wymiar to różnorodność (ang. *variety*) dotycząca wielości formatu, w jakim dane powinny zostać dostarczone. Ostatnim wymiarem jest wartość danych (ang. *value*). Ze wszystkich informacji Big Data wyodrębnia tylko te najważniejsze. Pozwala na analizę różnorodnych, istotnych i zawartych w dużych bazach informacji. Uzyskana wiedza pozwala podjąć najlepszą decyzję (Żyłkowska, 2020).

Analizą i tworzeniem tekstów w języku naturalnym zajmuje się jedna z dziedzin sztucznej inteligencji zwana Natural Language Processing, czyli przetwarzanie języka naturalnego. Dziedzina ta bada wykorzystanie komputerów do zrozumienia i przetwarzania języków ludzkich, czyli naturalnych. NLP łączy informatykę, językoznawstwo oraz sztuczną inteligencję. Jej celem jest opracowanie nowych aplikacji, które pozwalają na lepsze połączenie między komputerem a ludzkimi językami. Ma zastosowanie w tłumaczeniu maszynowym, rozpozna-

waniu mowy, systemach dialektycznych. Teraźniejsze metody głębokiego uczenia się wykorzystują sieci neuronowe (Deng i Liu, 2018).

Aby sztuczna inteligencja sprawnie i prawidłowo funkcjonowała, musi reagować na zmiany. Są one odzwierciedlane w algorytmach i kluczowe w dostosowaniu się do nowych możliwości.

Dostęp do materiałów, zyskanie klientów oraz wdrożenie technologii może być zrealizowane dzięki zastosowaniu programu SAP. Posiada on narzędzia wspomagające wykorzystanie sztucznej inteligencji. Platforma SAP Cloud Platform oparta na rozwiązaniach chmurowych pozwala na korzystanie z gotowych narzędzi w aplikacjach opartych na technologii uczenia maszynowego. Korzystanie z algorytmów jest łatwe i proste, nawet jeśli rozwiązania technologiczne użyte w ich budowie są skomplikowane (Purta i in., 2017).

## Bibliografia

- [1] Adamik A. (2018), Inteligencja organizacji w erze IR 4.0. Zeszyt Naukowy, Warszawa, 161, 81-97.
- [2] Brooking A. (2000), Corporate Memory. Strategies for Knowledge Management Fieldbook, Financial Time, Prentice Hall, London.
- [3] Deng L., Liu Y. (2018), Deep Learning in Natural Language Processing. Schmidhuber.
- [4] Flach P. (2012), Machine Learning: The Art and Science of Algorithms, United Kingdom.
- [5] Kamiński A. (2019), Analiza i ocena możliwości zastosowania systemów integralnych w diagnostyce procesów przemysłowych. Warszawa.
- [6] Kisielewicz A. (2011), Sztuczna inteligencja i logika. Warszawa.
- [7] Mulawka J. (1997), Systemy ekspertowe. Wydawnictwo WNT, Gdańsk.
- [8] Piegat A. (1999), Modelowanie i sterowanie rozmyte. Warszawa.
- [9] Purta M., Boniecki D., Marciniak T., Szarek G., Krok W. (2017), Rewolucja AI. Jak sztuczna inteligencja zmieni biznes w Polsce.
- [10] Rowecka K. (2019), Człowiek ustępuje pola maszynom. Do 2040 roku mogą nam dorównać inteligencją. Dostępne na: <https://businessinsider.com.pl/technologie/czym-jest-sztuczna-inteligencja/qzgz0wt> (dostęp: 12.12.2020).
- [11] Szelięga M. (2019), Praktyczne uczenie maszynowe. Warszawa.
- [12] Tadeusiewicz R., Gąciarz T., Borowik B., Leper B. (2007), Odkrywanie właściwości sieci neuronowych. Kraków.
- [13] Zawalich J. (2019), Regulator rozmyty o właściwościach regulatora trójpołożeniowego. Zeszyt Naukowy, Gdańsk, 68, 65-68.
- [14] Żyłkowska K. (2020), Big Data – co to jest i jak to wykorzystać. Dostępne na: <https://aibusiness.pl/big-data-co-to-jest-i-jak-to-wykorzystac/> (dostęp: 9.12.2020).

## 7.14. RFID (Jakub Żytniak)

Trudno sobie wyobrazić funkcjonowanie współczesnego świata bez możliwości identyfikacji obiektów. Duża różnorodność towarów zmusza do ich znakowania w celu szybkiej identyfikacji. Metodami służącymi automatycznej identyfikacji są np.: kody kreskowe, ścieżki magnetyczne, ORC (ang. *Optical Character Recognition*) oraz technologia RFID (ang. *Radio Frequency IDdentification*) (Gołemska, 2002), która została szeroko omówiona w tym rozdziale.

Skrót RFID oznacza metodę pozwalającą na bezprzewodową identyfikację obiektów z wykorzystaniem fal radiowych. Pierwsze prace nad identyfikacją obiektów za pośrednictwem fal radiowych rozpoczęły się w czasach II wojny światowej. W tamtym czasie tę technologię chciano wykorzystać do odróżniania samolotów wroga w strefie powietrznej od samolotów sprzymierzeńców. Badania nad rozwojem RFID kontynuowano. Przełomowy moment nastąpił w latach 90., kiedy to przedsiębiorstwa zaczęły wdrażać RFID w obszarze łańcucha dostaw. W 1994 roku został wynaleziony kod QR, pozwalający na zapis większej ilości informacji. Zaczęto się zastanawiać nad obniżeniem kosztów stosowania i możliwości wykorzystania metody RFID w obszarze globalnym. Mogły w tym pomóc jedynie rozpowszechnienie oraz ogólnoświatowa standaryzacja technologii. W 2003 roku organizacja EPC global, łącząca wiele firm handlowych, przesyłowych z całego świata podjęła prace i badania nad metodą RFID (Houé i Guimaraes, 2009).

Podstawowym elementem systemu RFID jest tag, zbudowany z układu scalonego i cewki antenowej. Tag jest nośnikiem danych. Może przybierać postać małych zawieszek, etykiet, kolczyków itp. Ze względu na sposób zasilania tagi można podzielić następująco (rfid.com.pl):

- tagi pasywne – bez zasilania, nie mogą zatem same emitować sygnału. Aktywacja chipa następuje w chwili pobrania energii z pola elektromagnetycznego wywołanego przez czytnik RFID. Ten rodzaj transponderów ma bardzo długą żywotność, ale również bardzo mały zasięg. Są to najtańsze znaczniki RFID,
- tagi półpasywne – połączenie transponderów pasywnych i aktywnych. Źródło zasilania stanowi bateria, która jest wykorzystywana tylko do zasilania chipa. Czułość tych znaczników jest znacznie lepsza od znaczników pasywnych, a bateria ma dłuższą żywotność niż w tagach aktywnych,
- tagi aktywne – ten rodzaj tagów ma wbudowane źródło zasilania, służące zarówno do zasilania chipa, jak i emitowania fal radiowych. Posiada większą pamięć i wykazuje bardzo dobre działanie w trudnych warunkach. Minusem jest krótka żywotność baterii.

Czytnik składa się z nadajnika, dekodera, anteny i odbiornika. Może posiadać dodatkowo umieszczony ekran, który wyświetla użytkownikowi dane. Taki czytnik przybiera różne formy (np. telefon komórkowy lub kolektor danych). Czytniki mają możliwość odczytu i przetwarzania bardzo dużej liczby etykiet znajdujących się w ich zasięgu (Mazur i Mazur, 2014).

Obecnie technologia RFID znajduje zastosowanie w procesach przemysłowych, logistyce, kontroli produkcji oraz w życiu codziennym. Głównym zadaniem technologii RFID jest identyfikacja i kategoryzacja danego obiektu. Technologie tę można najczęściej spotkać w takich obszarach, jak (rfid.com.pl):

- produkcja i przemysł – automatyzacja procesów, identyfikowanie wyrobów, narzędzi, maszyn, materiałów. Pozwala na sprawny przepływ, ułatwia procesy kontroli i zwiększa efektywność działań. Na system RFID składają się czytniki, etykiety, oprogramowanie monitorujące wyroby w czasie ich przemieszczania się między produkcją, magazynem a sferą

sprzedaży. Dzięki indywidualnemu numerowi powstaje możliwość odróżnienia etykiet, a tym samym produktów. Jest to metoda wspomagająca zarządzanie w różnych etapach procesu powstawania wyrobu (Lorino, 2003),

- logistyka i magazyny – kompletowanie towarów, usprawnianie realizacji zamówień i dostawy, zarządzanie rotacją towarów, kontrola opakowań zwrotnych,
- handel – zastosowanie bramek RFID oraz znaczników towarów pozwalające na zmniejszenie ryzyka kradzieży, ułatwienie podczas remanentów,
- budownictwo – opierając się na różnych właściwościach materiału i warunkach środowiskowych, można stosować różne tagi i systemy RFID, które dają możliwość monitorowania i pozycjonowania półfabrykatów. Ponadto, w końcowych etapach budowy odpowiednio zastosowana technologia RFID pozwala obniżyć koszty związane z zarządzaniem (Gan i in, 2020),
- kontrola dostępu – ułatwienie zarządzania ruchem, ograniczenie dostępu do wybranych pomieszczeń, organizacja systemu parkingowego, kontrola czasu pracy pracowników,
- urządzenia mobilne – zastosowanie standardu NFC (ang. *Near Field Communication*), który służy głównie do płatności zbliżeniowych.

Urządzenia RFID mogą funkcjonować na różnych częstotliwościach. Obecnie wykorzystuje się trzy główne częstotliwości ([www.rfidpolska.pl](http://www.rfidpolska.pl)):

- Standard LF (ang. *low frequency*) niskiej częstotliwości – zakres od 30 do 300 kHz, zwykle 125 lub 134 kHz, wykorzystanie do odczytu tagów z odległości do 10 cm,
- Standard HF (ang. *high frequency*) wysokiej częstotliwości – zakres od 3 do 30 MHz, ale według standardu ISO stosuje się 13,56 MHz, co umożliwia dokonanie odczytu danych w odległości do 1,5 m,
- Standard UHF (ang. *ultra-high frequency*) ultra wysokiej częstotliwości – zakres od 300 MHz do 3 GHz, w urządzeniach częstotliwość wynosi od 860 do 960 MHz, co umożliwia odczyt do 15 m.

Technologia RFID ma wiele zalet, m.in. nie wymaga bezpośredniego kontaktu etykiety z czytnikiem, możliwy jest odczyt wielu znaczników jednocześnie. Metoda ta jest wyjątkowo odporna na trudne warunki otoczenia, takie jak kurz, zabrudzenia, światło słoneczne i inne, co zapewnia jej długą żywotność. Jest elastyczna, etykiety można umieścić na różnych obiektach, powierzchniach, zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Bardzo dobrym odzwierciedleniem wymienionych zalet metody RFID jest zastosowanie jej w systemach bibliotecznych. Po pierwsze klient może samodzielnie wypożyczać i zwracać książki, po drugie inwentaryzacja przebiega znacznie szybciej, dzięki możliwości skanowania książek bez ich wyjmowania. Dzięki temu personel jest odciążony, a praca przebiega sprawniej. System RFID ułatwia zarządzanie zapasami, dzięki czemu na bieżąco pracownicy są w stanie ocenić stan magazynowy biblioteki. W konsekwencji wszystkie te usprawnienia pomagają podnieść jakość wykonywanych usług, zaoszczędzić pieniądze i zmniejszyć koszty pracy (Khan, 2020).

## Bibliografia

- [1] Gan Y., Yin H., Chen X. (2020), Application of BIM and RFID Technologies in Power Construction Industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 558, 5, 052069. IOP Publishing. Dostępne na: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/558/5/052069/pdf>.
- [2] Gołomska E. (2002), Kompendium wiedzy o logistyce. PWN, Warszawa–Poznań.
- [3] Houé T., Guimaraes R. (2009), Zastosowanie RFID w analizie niezgodności inwentaryzacyjnych w przemyśle samochodowym: rozpoznanie warunków i ograniczeń technologicznych. Integracja Systemów Logistycznych. Konferencja Naukowo-Techniczna, 18-19.06. 2009, Wrocław.
- [4] Lorino P. (2003), Metody i praktyki wydajności: Monitorowanie poprzez procesy i kompetencje. Editions d'Organisation, Paris.
- [5] Mazur Z., Mazur H. (2014), Technologia RFID w systemach automatycznej identyfikacji obiektów. Dostępny na: <https://www.elektro.info.pl/artukul/automatyka/57036,technologia-rfid-w-systemach-automatycznej-identyfikacji-objektow/> (dostęp: 28.12.2020).
- [6] Md. Milan Khan (2020), RFID technology: building a new environment in academic libraries. The Eastern Librarian, 25(1), 129-142. Dostępne na: <http://dspace.daffodilvarsity.edu.bd:8080/bitstream/handle/123456789/4163/RFID%20Article%20in%20Eastern%20Journal-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (dostęp: 31.01.2021).
- [7] Technologia RFID – co to jest? (2020), Dostępne na: <https://www.rfidpolska.pl/technologia-rfid-co-to-jest/> (dostęp: 28.12.2020).

## 7.15. Pozioma i pionowa integracja systemowa

(*Marcelina Zarzycka*)

Integracja pozioma i integracja pionowa – są to pojęcia, które mogą być rozumiane w wielu kontekstach. Ze strony systemowej przedsiębiorstwo zintegrowane poziomo skupia się na połączeniu sieci, których celem jest wprowadzenie nieszablonowego poziomu automatyzacji i wydajności operacyjnej do procesów produkcyjnych. Zasadniczo integracja pozioma zapewnia też płynne współdziałanie maszyn, urządzeń IoT (czyli urządzeń, które mogą komunikować się ze sobą i udostępniać dane użytkownikom przez Internet), procesów inżynierskich oraz oznacza tworzenie spójnej, opartej na danych sieci współpracy w całym łańcuchu dostaw.

W Przemysle 4.0 **integracja pozioma** rozwija się na trzech poziomach (Schuldenfrei, 2019):

1. Na hali produkcyjnej, gdzie połączone maszyny nieustannie dostarczają informacji o swoim stanie wydajności i wspólnie odpowiadają na wymagania produkcyjne.
2. W całym łańcuchu dostaw, zapewniając przejrzystość danych oraz zautomatyzowaną współpracę. Zewnętrzni dostawcy i usługodawcy muszą być bezpiecznie, ale ściśle powiązani poziomo z systemami kontroli produkcji i logistyki przedsiębiorstwa.
3. W wielu zakładach produkcyjnych, ponieważ zdarza się, że przedsiębiorstwo ma rozproszone zakłady produkcyjne. W takim przypadku zaleca się



stosować integrację poziomą w zakładowych systemach realizacji produkcji. Dane takie, np. poziomy zapasów, niespodziewane opóźnienia i przestoje są bezproblemowo udostępniane w całym przedsiębiorstwie, a jeśli istnieje możliwość, zapasy mechanicznie przenosi się między obiektami, aby jak najszybciej reagować na nieoczekiwane sytuacje.

**Integracja pionowa** w Przemysle 4.0 ma na celu powiązanie wszystkich warstw w organizacji (począwszy od warstwy terenowej, tj. hali produkcyjnej, po rozwój, jakość, IT, sprzedaż, marketing itd.). Informacje przepływają swobodnie i przejrzysto, dzięki czemu zarówno decyzje strategiczne, jak i taktyczne mogą być oparte na sprawdzonych danych. Przedsiębiorstwo, które zostało zintegrowane pionowo, zdobywa przewagę konkurencyjną i jest w stanie sprawnie reagować na sygnały rynkowe oraz nowe możliwości.

Niewątpliwie integracja pozioma i pionowa usprawnia produkcję oraz daje szansę na podejmowanie skuteczniejszych decyzji.

Efektami jej wprowadzenia są (Pérez-Lara i in., 2020):

- bardziej opłacalna produkcja,
- mniejsze koszty ogólne,
- lepszy nadzór nad wszystkimi warstwami w organizacji.

Wdrożenie integracji może jednak generować problemy, które są spowodowane następującymi czynnikami (www.copadata.com):

- brakiem komunikacji – aby rozpocząć integrację maszyn, należy być może nabyć nowy sprzęt zgodny z technologią IoT albo zmodyfikować obecne wyposażenie w sposób pozwalający na wspólną łączność,
- zarządzaniem zasobami – po zintegrowaniu maszyn oraz systemów danych konieczna jest dalsza praca z tymi zasobami, co przyczyni się do zapewnienia przyszłościowej produktywności. Dobór odpowiedniego oprogramowania przemysłowego i monitorowanie sieci może pomóc w zarządzaniu zasobami,
- zarządzaniem łańcuchem dostaw – aby integracja, zarówno pozioma, jak i pionowa, mogła mieć swój wpływ na wydajność i efektywność wykorzystania zasobów, należy uwzględnić zarządzanie łańcuchem dostaw w sieci,
- korzyścią skali – wprowadzenie integracji poziomej i pionowej musi być przeprowadzone indywidualnie, w zależności od budżetu, którym dysponuje przedsiębiorstwo. Brak korzyści skali oznacza, że będą musiały mieć miejsce wysokie inwestycje w technologie (w tym oprogramowanie do planowania, kontroli, wizualizacji, analizy operacyjnej),
- silosami (zbiornikami) wiedzy – tworzą się wtedy, gdy różne systemy w przedsiębiorstwie nie mogą współdzielić danych z innymi, przez co informacje są blokowane (np. w jednej części maszyn, procesów produkcyjnych lub organizacji).



## Bibliografia

- [1] Integracja pozioma i pionowa w Smart Factory. Dostępne na: <https://www.copadata.com/pl/przemyslowa/integracja-pozioama-pionowa/> (dostęp: 30.01.2021).
- [2] Pérez-Lara M., Saucedo-Martínez J.A., Marmolejo-Saucedo J.A. et al. (2020), Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Netw*, 26, 4767-4775. Dostępne na: <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1873-2> (dostęp: 15.01.2021).
- [3] Schuldenfrei M. (2019), Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0. Dostępne na: <https://www.mbtmag.com/business-intelligence/article/13251083/horizontal-and-vertical-integration-in-industry-40> (dostęp: 30.01.2021).

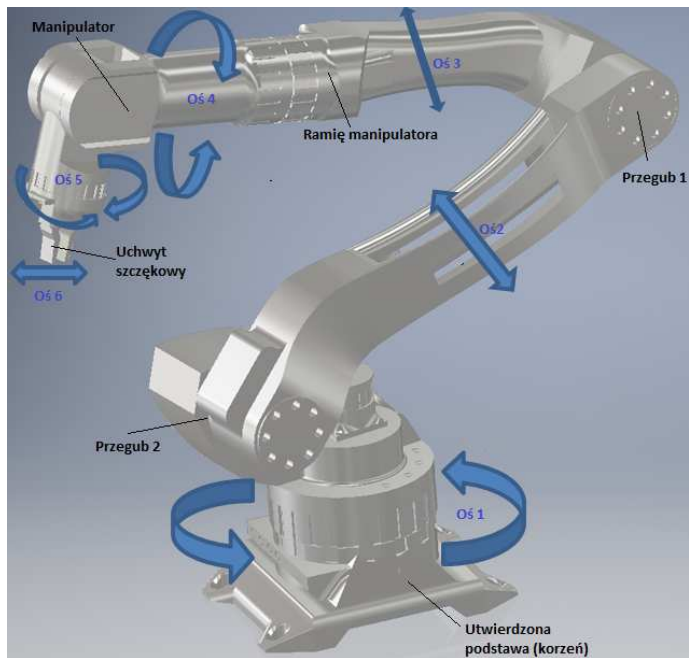
### 7.16. Przykład zastosowania robotyzacji w praktyce przemysłowej (Adam Pazdro)

Przez wdrażanie technologii zawartych w koncepcji Przemysłu 4.0 firmy produkcyjne starają się dążyć do uproszczenia procesu wytwarzania oraz skrócenia jego toku przy jak najmniejszych zasobach do tego potrzebnych. Na przestrzeni ostatniego stulecia przemysł wytwórczy bardzo się rozwinął, tak jak i cała technologia oraz przedmioty, które się produkuje. Postawiło to przed firmami poważne problemy. Przykładem jest firma zajmująca się produkcją poziomych znaków drogowych, takich jak progi zwalniające czy słupki ostrzegawcze. Proces produkcyjny takich wyrobów wygląda następująco. Granulat gumowy trafia do wtryskarki ciśnieniowej, która za pomocą matrycy formuje produkt. Można tu zaobserwować pierwszy problem, z którym firma musi się zmierzyć. Sam proces jest zautomatyzowany za pomocą wtryskarki i matrycy, lecz gotowy wyrób z matrycy odbiera człowiek, co powoduje straty czasowe, a w konsekwencji ekonomiczne. Pracownik musi wyciągnąć gotowy fragment progę i ułożyć go na palecie. Trzeba wziąć pod uwagę, że dziennie firma na jednym stanowisku wykonuje do 300 sztuk wyrobu, który waży około 20 kg. W takich przypadkach uzasadnione będzie zastosowanie rozwiązań Przemysłu 4.0. Odnosząc się do przykładu, najefektywniejszym rozwiązaniem jest zakup robota przemysłowego, którego schemat został przedstawiony na rys. 7.16. Takie usprawnienie pozwoli na wzmożoną szybkość produkcyjną, bez obawy o zdrowie pracownika.

Ponad oczywiste korzyści, takie jak zwiększenie produktywności stanowiska, otwierają się nowe możliwości. Do wspomnianego robota z ramieniem przemysłowym można zaimplementować kamery oraz sztuczną inteligencję. Specjalne oprogramowanie pozwoli wtedy na rozpoznawanie danego typu wyrobu, staje się on zatem narzędziem uniwersalnym w przypadku takiej produkcji. Dodatkowo taką maszynę łatwo powiązać z systemami ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) czy MES (ang. *Manufacturing Execution System*). Schemat połączenia relacji maszyna–system–człowiek został przedstawiony na rys. 7.17. Dzięki takiemu zabiegowi kierownictwo ma całkowitą kontrolę nad przebiegiem produkcji i jest ją w stanie monitorować w czasie rzeczywistym. Dodatkowo robot może przeprowadzać wstępną kontrolę jakości i od razu eliminować wyroby niezgodne. Kamery w połączeniu ze sztuczną inteligencją są w stanie wyłapywać defekty powierzch-

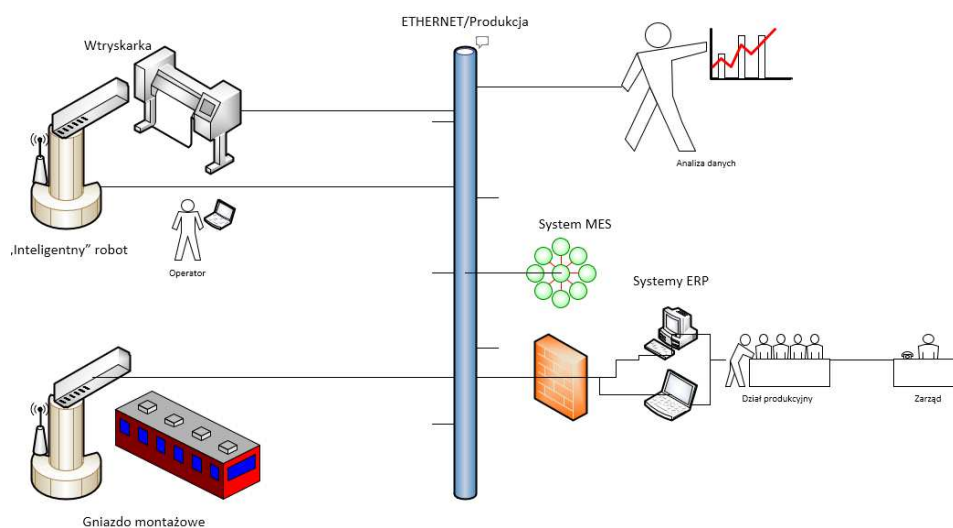






Rys. 7.16. Ramię robota przemysłowego do podnoszenia i układania podstaw gumowych

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 7.17. Schemat połączeń stanowisk produkcyjnych z systemami ERP oraz MES

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Szafranski, 2016).

niowe takich wyrobów, czyli dziury i ubytki, natomiast ciężar będzie świadczył o tym, czy wyrób był wyciśnięty przy odpowiednim ciśnieniu i uzyskał odpowiednią masę i objętość. Robot na podstawie zadanej gęstości materiału oraz jego masy oblicza ciężar produktu i porównuje z wartością nominalną. Waga ramienia robota od razu wyłapuje taki defekt i odkłada wyrób niezgodny. Pracownik realizujący kontrolę wizualną nie jest w stanie sprawdzić, czy struktura wewnętrzna ma odpowiednią gęstość. Dzięki takiemu usprawnieniu zmniejsza się liczba produktów niezgodnych oraz można określić, czy wtryskarka utrzymuje zadane parametry.

Przedsiębiorstwa produkcyjne, aby realizować założenia Przemysłu 4.0 i móc konkurować z liderami na rynku, nieustannie szukają rozwiązań pozwalających na zwiększenie wydajności, przy zachowaniu jakości i automatyzacji produkcji. Na rozwój robotyzacji wpływa brak odpowiednio wyszkolonej siły roboczej. W dzisiejszych czasach trudno jest znaleźć dobrze wykwalifikowanego pracownika. Społeczeństwo starzeje się, rodzi się coraz mniej ludzi i zmniejsza się zainteresowanie szkołami zawodowymi. Roboty przemysłowe uczące się i niewymagające skomplikowanego programowania stanowią więc rozwiązanie wielu problemów.

Roboty przemysłowe można sklasyfikować następująco (MRR, 2020):

- roboty przegubowe – ich budowa przypomina ramę człowieka, dlatego nazywane są też ramieniowymi. Posiadają przeguby i mają 6 osi obrotu, mogą podnosić i przenosić przedmioty od 1 kg do 2 ton,
- roboty kartezyjskie – poruszają się w 3 prostopadłych do siebie osiach, czyli lewo–prawo, przód–tył, góra–dół,
- roboty mobilne – są inteligentnymi pojazdami, które zwiększają wydajność w logistyce magazynowej, mogą przewozić palety lub paczki,
- roboty cylindryczne – posiadają ramię prostopadłe do podłoża, poruszające się góra–dół. Pracują na przestrzeni, która jest podobna do wydrążonego cylindra,
- roboty sferyczne – nazwa odnosi się do obszaru roboczego (ścięta z góry i dołu sfera), ramię robota potrafi wychylać się w górę i w dół,
- roboty współpracujące – zwane cobotami (ang. *collaborative robot* – corobot), mogą współpracować bezpośrednio z człowiekiem,
- roboty Scara 2 – posiadają przeguby wykonujące ruch osi góra i dół. Wykorzystywane są zwykle do operacji podnieś i postaw,
- roboty typu Delta – są wykorzystywane do montażu sufitowego. Składają się z bazy i ramion trzymających platformę oraz z chwytaka.

Zastosowanie robotów przemysłowych przy produkcji podstaw gumowych nie kończy się tylko na funkcjach podnieś–przenieś. Rozłożenie położenia progów na palecie przez robota zostało przedstawione na rys. 7.18.



Rys. 7.18. Robot przemysłowy przegubowy przystosowany do przenoszenia progów gumowych

Źródło: Opracowanie własne.

W przedstawionym przypadku w analizowanej firmie pojawił się problem małej wydajności przyklejania taśm odblaskowych. Jest to spowodowane następującymi czynnikami:

- pracownicy muszą przenosić duże gabarytowo przedmioty i układać je na stole do oklejania,
- klej jest mocno drażniący (na rynku nie istnieje substytut spełniający wymagania),
- nakładanie kleju odbywa się ręcznie z półlitrowych butelek „na oko”,
- nałożony klej trzeba rozsmarować, a nałożoną taśmę docisnąć z odpowiednią siłą,
- do oklejania przygotowanych jest kilkanaście różnych typów wyrobów o różnym rozłożeniu taśm. Rodzaje produktów można zobaczyć na rys. 7.19.

Dzięki rozwiązaniom Przemysłu 4.0 oraz komercjalizacji systemów sztucznej inteligencji zdecydowano się na zaimplementowanie inteligentnego robota przemysłowego do procesu klejenia.

Łańcuch roboczy kreuje się następująco: po dostarczeniu półfabrykatu na plac firmowy do palety zostaje przymocowany chip według rodzaju produktu. Zajmuje się tym magazynier. W połączonym z robotami systemie wpisuje numer palety. Następnie system wysyła sygnał do robota transportowego. Robot transportowy

przekierowuje paletę do pola montażowego maszyny oklejającej. Kamera zamontowana na stanowisku ma za zadanie przesłać informację do przetworzenia przez system sztucznej inteligencji i po jej przetworzeniu wysyła sygnał do ramienia przegubowego znajdującego się przy stanowisku nt. rodzaju półfabrykatu. Ramię przenosi półprodukt z palety na stół do oklejania. Nad stołem do oklejania znajduje się drugi robot, który za pomocą czujników laserowych rozpoznaje położenie na stole, dobiera rodzaj taśmy klejącej, dozjuje klej i przykleja taśmę. Wtedy ponownie ramię przegubowe po zakończonej operacji klejenia odbiera produkt finalny i odkłada na paletę. Tak przygotowany zestaw ponownie jest odbierany przez robot transportowy i zawożony na skład magazynowy, gdzie czeka do pakowania i wysyłki.



Rys. 7.19. Stanowisko do klejenia przed wprowadzeniem ulepszeń z rozwiązań Przemysłu 4.0 oraz produkty oferowane przez firmę z przykładu

Zasada współdziałania robota z systemami sztucznej inteligencji jest wdrażana na podstawie trójwymiarowego (3D) oszacowania prawdopodobnych punktów podstaw gumowych w przemysłowym procesie produkcyjnym. Nowatorskie podejście do pozycjonowania i chwytania z 6 stopniami swobody dla robotów przemysłowych opiera się na cechach brzegowych i łączeniu strukturalnej wizji 3D oraz sugerowania dopasowania chmury punktów. Proponowane podejście najpierw wykorzystuje kod Graya oraz algorytm przesunięcia fazowego siatki

punktów na półfabrykacie do rekonstrukcji informacji o powierzchni 3D obiektu. Następnie zaproponowano ulepszoną metodę lokalizacji dopasowania funkcji pary punktów (PPF), opartą na ekstrakcji granic chmury punktów, w celu uzyskania dokładnego oszacowania pozycji podstaw gumowych. W tej metodzie funkcja granicy chmury punktów jest wykorzystywana do optymalizacji algorytmu. Dzięki połączeniu z procesem wstępnego przetwarzania chmury punktów i ulepszonej metodzie lokalizacji dopasowania PPF zrealizowano pozycjonowanie odlewu przez roboty przemysłowe. Zaproponowane podejście pozwala dokładnie zakończyć pomiary pozycyjne i pozycjonowanie obiektów rozmieszczonych losowo w otwartym środowisku. Wyniki eksperymentalne pokazują, że proponowana metoda lokalizacji dopasowania PPF znacznie poprawia zarówno szybkość, jak i dokładność dopasowania w porównaniu z tradycyjnym algorytmem. Zasada działania została opisana na podstawie pracy (Wan i in., 2020).

Stanowisko do klejenia podstaw przed zainstalowaniem modernizacji w postaci robota przemysłowego 6-osowego, który należy do zakresu Przemysłu 4.0, przedstawiono na rys. 7.19. Dzięki zastosowaniu robotów przemysłowych, sztucznej inteligencji oraz automatyzacji firma maksymalizuje zysk, efektywność, wydajność i eliminuje błędy powstające podczas wszystkich procesów. W podanym przykładzie użyto takich technologii Przemysłu 4.0, jak czujniki, sztuczna inteligencja, roboty oraz maszyny (wtryskarki do tworzyw sztucznych, prasy hydrauliczne).

## Bibliografia

- [1] MRR (2020), Roboty przemysłowe – rodzaje i zastosowanie. Dostępne na <https://zrobotyzowany.pl/wiedza/3705/roboty-przemyslowne-rodzaje-i-zastosowanie> (dostęp: 20.03.2020).
- [2] Szafranski B. (2016), Nowoczesne systemy MES. Główny Mechanik, 6. Dostępny na: <https://glowny-mechanik.pl/2017/07/03/nawoczesne-systemy-mes/> (dostęp: 29.01.2021).
- [3] Wan G., Wang G., Xing K., Yi T., Fan Y. (2020), 6DOF Object Positioning and Grasping Approach for Industrial Robots Based on Boundary Point Cloud Features. *Mathematical Problems in Engineering*. Dostępne na: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2020/9279345/> (dostęp: 20.01.2021).

## Słownik pojęć

**5W2H** – narzędzie odpowiadające na siedem pytań – 5W: Who? (Kto?), What? (Co?), When? (Kiedy?), Where? (Gdzie?) Why? (Dlaczego?) oraz 2H: How? (Jak?) i How much? (Jak dużo?). 5W2H może być używane podczas opisu i analizy problemu. Pytania te będą wówczas bardziej skonkretyzowane, tzn. Who? (Kto zauważył problem?), What? (Na czym polega?), When? (Kiedy został wykryty?), Where? (Gdzie się pojawił?) Why? (Dlaczego się pojawił?) oraz 2H – How? (Jak został wykryty?) i How much? (Jak dużo może kosztować niwelacja problemu?) (Stadnicka, 2017). [Justyna Radomska]

**5xWhy** (z ang. pięć razy dlaczego) – metoda, która należy do dziedziny rozwiązywania problemów i polega na zadawaniu serii pytań, dzięki którym można poddać analizie związku przyczynowo-skutkowe odnoszące się do danego problemu. Celem tej techniki jest uzgodnienie pierwotnego źródła problemu (Aleksandrowicz, 2016). [Roksana Żurawska]

**ACE** (ang. *Achieving Competitive Excellence*) – osiągnięcie konkurencyjnej doskonałości – system składający się z wielu narzędzi, które łącznie tworzą warunki konkurencyjności organizacji. System ACE został opracowany przez United Technologies Corporation i przez niego jest też praktykowany (Sudoł, 2010). [Marta Wójtowicz]

**Andon** – kluczowe narzędzie pozwalające na realizację zasady Jidoka. Daje możliwość zatrzymania procesu produkcyjnego w momencie pojawienia się awarii. Jest przykładem wizualnego komunikowania się przy użyciu sygnałów świetlnych (Rutana i Lelakowska, 2021). [Robert Rębisz]

**AR** (ang. *Augmented Reality*) – rzeczywistość rozszerzona – system, który łączy obraz rzeczywisty z obrazem wirtualnym. Przez kamerę w urządzeniu (tablet, google) nakłada obraz wygenerowany komputerowo. [Rafał Węgrzyn]

**Automatyzacja procesów** – ograniczenie, zastąpienie fizycznej i umysłowej pracy ludzkiej pracą maszyn. Automaty działają bez udziału człowieka, na zasadzie samoregulacji i wykonują określone czynności (Siciliano, 2016). [Sara Wysocki]

**Big data** – duże zbiory danych ustrukturyzowanych lub nieustrukturyzowanych, które mogą być kompilowane, przechowywane, organizowane i analizowane w celu ujawnienia wzorców, trendów, skojarzeń itp. (Kopterski, 2020). [Kamil Bober]

**BRP** (ang. *Buisness Process Reengineering*) – metoda usprawnienia procesów w przedsiębiorstwie, polegająca na modernizacji techniczno-organizacyjnej przedsiębiorstwa przez wykorzystanie technik informatycznych (Antosz i in., 2017). [Agata Zielonka]

**Burza mózgów** – technika służąca do rozwiązywania problemów lub podejmowania decyzji w większej grupie osób. Pozwala każdemu na swobodne wyrażanie swoich pomysłów i doprowadza do wypracowania najlepszego rozwiązania. [Patrycja Bożek]

**Chaku-chaku** (jap. ładuj, ładuj) – metoda podziału pracy w przepływie ciągłym, w której jeden operator obsługuje gniazdo produkcyjne, zapewniając płynny przepływ wyrobu przez proces. Jej zastosowanie zmniejsza ryzyko wystąpienia błędów i pozwala na skrócenie czasu cyklu w gnieździe (Piotrkowski, 2018). [Ewelina Zygunt]

**CMS** (ang. *Compliance Management System*) – system zarządzania zgodnością w organizacji. Celem wdrożenia, a następnie utrzymania go w przedsiębiorstwie jest zmniejszenie ryzyka powstania niepożądanego zdarzenia, mogącego narazić organizację na konsekwencje z powodu podejmowania decyzji niezgodnych z obowiązującymi przepisami prawa (ISO 19600:2019-03). [Gabriela Ziomek]

**CRM** (ang. *Customer Relationship Management*) – system informatyczny, którego zadaniem jest wspomaganie i automatyzacja relacji pomiędzy organizacją a klientem, obejmujący zakres marketingu, obsługi klienta i sprzedaży (Dycha, 2002). [Piotr Rajchel]

**Cyfrowe bliźniaki** (ang. *digital twins*) – wirtualne repliki złożonych systemów lub urządzeń fizycznych. Bardzo często przed zbudowaniem, uruchomieniem i zaprogramowaniem tych urządzeń uruchamiane są symulacje ich pracy. Pozwala to na szybkie i wygodnie sprawdzenie ich możliwości, optymalizację sprzętu i oprogramowania oraz wykrycie potencjalnych problemów (Steliński, 2019). [Rafał Jędruch]

**Diagram Ishikawy** – narzędzie służące do graficznego zilustrowania głównych przyczyn pewnych zjawisk, które generują problem. Jest logiczną i uporządkowaną formą prezentacji powiązań między skutkiem a jego przyczynami. Diagram nazywany jest również wykresem przyczynowo-skutkowym. Stosowany jest najczęściej w pracy zespołowej w połączeniu z innymi narzędziami, np. FMEA czy burzą mózgów, stanowiącą integralne narzędzie znajdowania rozwiązań (Gołaś i Mazur 2010). [Patrycja Bożek]

**DMAIC** – (ang. *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) – metodyka, która znalazła swoje zastosowanie w projektach Six Sigma. Wykorzystuje analizę statystyczną, jest oparta na faktach oraz pomaga w racjonalnym spojrzeniu na problem oraz jego przyczynę (Metoda DMAIC, 2016). [Alicja Paskart]



**EDI** (ang. *Electronic Data Interchange*) – elektroniczna wymiana danych pomiędzy systemami komputerowymi przedsiębiorstwa, tj. wymiana wszelkich dokumentów handlowych i sprawozdań finansowych (np. potwierdzenie wykonywanych zleceń, faktura, faktura korygująca, awizo, harmonogram dostaw, lista zakupów materiałów) (Grabska, 2018). [Aleksandra Brzozowska]

**Elastyczny system produkcyjny** (ang. *Flexible Manufacturing System – FMS*) – zbiór zautomatyzowanych stanowisk technologicznych, a także stanowisk uzupełniających, ustawionych obok siebie z zachowaniem zasad przebiegu produkcji masowej. Elastyczność linii produkcyjnej charakteryzuje się łatwością dokonywania przebrojeń niezbędnych do produkcji różnych rodzajów produktów podobnych technologicznie (Honzarenko, 2008). [Ilona Utzig]

**ERP II** (ang. *Enterprise resource planning II*) – system klasy ERP rozwinięty o wykorzystywanie technologii internetowych (Lech, 2003). [Paulina Murjas]

**First Time Quality (FTQ)** – miernik wskazujący, w jakim stopniu części są produkowane prawidłowo za pierwszym razem, bez potrzeby ponownej kontroli, przeróbek lub wymiany (Polinik, 2016). [Joanna Waga]

**Gemba** (jap. miejsce zdarzenia lub miejsce wykonywania pracy) – w koncepcji Lean termin używany do oznaczenia miejsca, w którym bezpośrednio jest wykonywana praca lub dokładniej miejsca, w którym jest tworzona wartość dla konsumenta (Paweł, 2018). [Mateusz Gorzynik]

**Heijunka** – narzędzie poziomowania produkcji, odnoszące się do czynników mających wpływ na ciągłość przepływu: bilansowania obciążenia linii, poziomowania obciążenia oraz poziomowania zapotrzebowania (Pawłowski i in., 2010). [Aneta Greszta]

**Integracja pozioma** (ang. *horizontal integration*) – łączność sieciowa między poszczególnymi maszynami, elementami wyposażenia lub jednostkami produkcyjnymi (Integracja pozioma..., [www.copadata.com](http://www.copadata.com)). [Marcelina Zarzycka]

**Integracja pionowa** (ang. *vertical integration*) – połączenie między tradycyjnymi poziomami hierarchii produkcyjnej – od czujnika do poziomu biznesowego firmy (np. systemu ERP) (Integracja pozioma..., [www.copadata.com](http://www.copadata.com)). [Marcelina Zarzycka]

**Internet Rzeczy** (ang. *Internet of Things – IoT*) – koncepcja opierająca się na idei łączności między urządzeniami elektronicznymi podpiętymi do wspólnej (globalnej) sieci. Połączone przedmioty mogą wymieniać ze sobą dane bez pośrednictwa człowieka, dzięki uniwersalnym protokołom komunikacyjnym (Kobza, 2019). [Przemysław Misztal]

**Jidoka** – jeden z filarów TPS, oznaczający automatyzację połączoną z cechami człowieka. Jest to system lub urządzenie, zatrzymujące pracę maszyny w przypadku wystąpienia nieprawidłowości (Marchwiński i in., 2015). [Patrycja Potrawska]



**Just in Time (JIT)** (z ang. dokładnie na czas) – narzędzie logistyczne, według którego wszystkie niezbędne do procesu surowce bądź materiały są dostarczane do przedsiębiorstwa dokładnie wtedy, kiedy jest na nie realne zapotrzebowanie oraz w ilości, jaka jest obecnie potrzebna. Celem jest uniknięcie niekorzystnego z finansowego punktu widzenia zjawiska – magazynowania (Kidacka, Kanban.pl). [Aneta Pęziół]

**Kaizen** – zmiana na lepsze. W praktyce biznesowej jest to codzienne poprawianie procesów dzięki zaangażowaniu każdego pracownika firmy (Kaizen..., www.leancenter.pl). [Damian Pietrzyk]

**KPI** (ang. *Key Performance Indicators*) – kluczowe wskaźniki efektywności, jedno z narzędzi stosowanych w procesie zarządzania wieloma obszarami w przedsiębiorstwie. Pozwala na wnioskowanie na temat kondycji przedsiębiorstwa, identyfikację słabych punktów w przedsiębiorstwie, monitorowanie modyfikacji w czasie oraz ocenę wydajności osób zatrudnionych w przedsiębiorstwie. Umożliwia ocenę poziomu realizacji założonych celów przedsiębiorstwa (Grabowska, 2017). [Kinga Szewczyk]

**Layout** – plan oraz układ przestrzenny odnoszący się zarówno do rozmieszczenia maszyn, jak i przepływu materiałów (Sosnowski, 2019a). [Ewelina Zygmunt]

**Lean Management** – koncepcja zarządzania przedsiębiorstwem, zakładająca dostosowanie go do warunków gospodarowania panujących na rynku na drodze przekształceń organizacyjnych i funkcjonalnych. Powolny i ciągły proces racjonalizacji całej organizacji oraz jej stosunków z otoczeniem przez wprowadzenie licznych zmian w zakresie działalności, w strukturze majątku oraz sposobach zarządzania, ale także w dziedzinie przygotowania zawodowego oraz kształtowania postaw pracowników (Encyklopedia Zarządzania..., www.mfiles.pl). [Kinga Chajec]

**Lean Manufacturing** – sposób zarządzania organizacją, który najpierw pozwala przeanalizować, co się dzieje na poszczególnych polach operacyjnych, a później zredukować wszystkie zbędne nakłady (Burduk i in., 2018). [Marta Rejman]

**Linia produkcyjna** – zespół logicznie usytuowanych stanowisk stanowiących całość. Stanowiska są ustawione w kolejności wykonywania operacji produkcyjnych. Produkt, który jest wytwarzany, musi przejść przez określone stanowisko pracy na linii produkcyjnej (Borkowski, 2008). [Szymon Fitał]

**Łańcuch dostaw** – grupa współzależnych od siebie przedsiębiorstw, realizująca działania dążące do zaspokojenia popytu na konkretne produkty w całym łańcuchu przepływu dóbr – od dostawców do ostatecznych klientów (Wasiak i Jacyna-Gołda, 2016). [Paulina Warzocha]

**Mapa stanu aktualnego** – graficzna prezentacja działań, które są realizowane w procesie przy użyciu symboli graficznych. Mapa obejmuje przepływ materiałów i informacji, jest podstawą do analizy i identyfikacji marnotrawstwa (Antosz i Stadnicka, 2010). [Karolina Antonik]

**Mapowanie strumienia wartości** – metoda wykorzystywana do odwzorowania i późniejszej analizy przepływów materiałowych oraz informacyjnych w systemie produkcyjnym przedsiębiorstwa. Mapowanie można zastosować dla każdego procesu w przedsiębiorstwie, także dla nieprodukcyjnego. Polega na zebraniu informacji o procesie i przedstawieniu go w sposób graficzny (Mapowanie strumienia..., lean.org.pl). [Anita Długosz]

**Metoda 5S** – metoda, której głównym celem jest stworzenie efektywnego i uporządkowanego środowiska pracy. Składa się z pięciu zasad, tj. selekcja – usunięcie ze stanowiska pracy elementów nieprzydatnych; systematyka – wyznaczenie i oznakowanie stałych miejsc dla rzeczy potrzebnych; sprzątanie – zachowywanie czystego stanowiska pracy; standaryzacja – określenie zrozumiałych standardów utrzymywania porządku; samodyscyplina – zachowywanie samodyscypliny związanej z respektowaniem zasad 1-4 (Brajer-Marczak, 2015). [Agnieszka Cienka]

**Metoda Blocha-Schmigalli** – zwana również metodą trójkątów Schmigalli – metoda przybliżona, krokowa, punktowa, z nieograniczoną możliwością wyboru miejsca. Pozwala na przestrzenne organizowanie procesów pracy (Lis i Santarek, 1980). [Ewa Welcz]

**Metoda FMEA** (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*) – metoda służąca do ustalania związków przyczynowo-skutkowych za pomocą określania i analizowania potencjalnych problemów, ich przyczyn, szukania sposobów ich uniknięcia oraz opracowywania działań zapobiegawczych w przypadkach, które tego wymagają, czyli właściwie w każdej dziedzinie i sytuacji (Myszewski, 1996). [Natalia Stec]

**MRP** (ang. *Material Requirements Planning*) – system planowania zapotrzebowania materiałowego, narzędzie, które analizując główny harmonogram produkcji, pozwala na określenie zapotrzebowania produkcji na materiały potrzebne do wytwarzania produktów zamówionych przez klienta (Barcik, Owskiak, 2004). [Krzysztof Ziętek]

**Muda** (z jap. *Marnotrawstwo*) – pojęcie wykorzystywane w Lean Management, Lean Manufacturing oraz systemie produkcyjnym Toyoty. Oznacza wszelkie wykonywane czynności, które nie przynoszą korzyści dla przedsiębiorstwa (Brajer-Marczak, 2015). [Natalia Krzyżek]

**OEE** (ang. *Overall Equipment Effectiveness*) – całkowita efektywność wyposażenia – wskaźnik, dzięki któremu możliwa jest ocena efektywności wykorzystania maszyn. Jest liczony jako iloczyn trzech parametrów: jakości, wydajności i dostępności. Wynik przedstawia się najczęściej w wartości procentowej (Steuła, 2016). [Sławomir Miłek]

**One Piece Flow** (z ang. przepływ jednej sztuki) – rodzaj przepływu w procesie produkcyjnym, w którym wyroby są pobierane po jednej sztuce, poddawane procesowi obróbki po jednej sztuce, a następnie przekazywane bezpośrednio na kolejne stanowisko. W przepływie jednej sztuki nie występuje zapas większy niż



jeden, wielkość partii transportowej jest równa jeden (Łopatowska i Jarosiński, 2016). [Katarzyna Pawlarczyk]

**Optymalizacja** (ang. *Optimization*) – wyznaczanie najlepszego (optymalnego) rozwiązania (poszukiwanie ekstremum funkcji) z punktu widzenia określonego kryterium (Bednarek i Haiduk, 2020). [Konrad Bąk]

**PDCA** (ang. *Plan, Do, Check, Act*) – podejście do wdrażania rozwiązań w ramach nowych projektów lub rozwiązywania problemów. PDCA jest skrótem od słów (w polskim tłumaczeniu): Zaplanuj, Wykonaj, Sprawdź, Zastosuj i jest inaczej zwane kołem Deminga (Mydlarz, 2021). [Małgorzata Czachor]

**Poka-Yoke** – dotyczy zbudowania skutecznego systemu kontroli opartego na przewidywaniu potencjalnych błędów i zapobieganiu im dzięki zastosowaniu rozwiązań technicznych i organizacyjnych. Dzięki wdrożeniu Poka-Yoke dąży się do tego, aby nawet momenty dekoncentracji nie powodowały popełniania błędów (Narzędzia Lean..., www.tli.group). [Paulina Chmura]

**Przemysł 4.0** (ang. *Industry 4.0*) – odnosi się do nowej fazy rewolucji przemysłowej, skoncentrowanej głównie na połączeniach, automatyzacji, uczeniu maszynowym i danych w czasie rzeczywistym. Przemysł 4.0, nazywany także inteligentną produkcją, łączy fizyczną produkcję i operacje z inteligentną technologią cyfrową, uczeniem maszynowym i dużymi zbiorami danych, aby stworzyć bardziej całościowy i lepiej połączony ekosystem dla firm, które koncentrują się na produkcji i zarządzaniu łańcuchem dostaw (Jaworowska i Piątek, 2017). [Kamil Bober]

**Przemysłowy Internet Rzeczy** (ang. *Industrial Internet of Things – IIoT*) – technologia pozwalająca na komunikowanie się urządzeń, maszyn, narzędzi, produkowanych wyrobów z systemami przedsiębiorstwa w celu przetwarzania i analizowania danych z procesów, stanów urządzeń oraz monitorowania przepływu wyrobów (Szyszka, 2020). [Przemysław Misztal]

**Raport A3** – narzędzie do szybkiego i skutecznego doskonalenia procesów, opierające się na prostej zasadzie PDCA. Jego celem jest przede wszystkim rozwiązywanie problemów na miejscu ich występowania. Jest praktyką przedstawiania problemów, analiz, akcji korygujących, a także planów działań usprawniających. Nazwa pochodzi od kartki papieru formatu A3 (297 na 420 mm), na której powinien być przedstawiony raport (Sobek i Jimmerson, 2009). [Natalia Ślęczka]

**SCM** (ang. *Supply Chain Management*) – zarządzanie łańcuchem dostaw – podejmowanie wielu czynności związanych z prawidłowym zarządzaniem przepływem materiałów, towarów, informacji i środków finansowych, począwszy od chwili zakupu aż po dostarczenie wyrobu gotowego w wyznaczone miejsce (Waściński, 2014). [Aleksandra Brzozowska]

**Six Sigma** – metoda oznaczająca koncentrację na uzyskiwaniu prawie absolutnej jakości (Hamrol, 2018). [Alicja Paskart]

**SLP** (ang. *Systematic Layout Planning*) – systematyczne i zorganizowane podejście do planowania layoutu, zaliczane do konwencjonalnych technik analitycznych. Ukazuje krok po kroku projekt planowania rozmieszczenia zakładu na podstawie ilościowych (odległość, częstotliwość przepływu) oraz jakościowych (stopień powiązania czynności w poszczególnych etapach analizy) informacji wejściowych (Gozali i in., 2020). [Ewelina Zygmunt]

**SMED** (ang. *Single Minute Exchange of Die*) – technika stosowana w szczupłej produkcji, umożliwiająca przebrojenie i konfigurację maszyny w mniej niż dziesięć minut. Metoda opracowana w celu usprawnienia procesów rekonfiguracji maszyn oraz ustawienia narzędzia maszyn (Salwin i in., 2019). [Michał Adamczuk]

**SPC** (ang. *Statistical Process Control*) – metoda zarządzania jakością wykorzystująca narzędzia statystyczne, mająca na celu możliwie najszybsze wykrycie oraz korektę występujących odchyłeń oraz usprawnienie przebiegu procesu (Greber, 2005). [Mateusz Zając]

**Standaryzacja pracy** – podstawowe narzędzie Lean Manufacturing. Definiuje pożądaną sekwencję wykonywania czynności i innych parametrów zapewniających optymalny sposób wykonania zadania. Przyczynia się do zwiększenia produktywności, bezpieczeństwa i stabilności procesu (Szatkowski, 2014). [Aleksandra Chmiel]

**Strumień wartości** (ang. *Value stream*) – wszystkie działania (dodające i niedodające wartości), prowadzące do powstania wyrobu lub usługi (Antosz i in., 2015). [Aleksandra Wityk]

**Symulacja** – zbliżone odtworzenie zjawisk czy zachowań danego obiektu za pomocą symulacji działania jego modelu (Duran, 2020). [Damian Morawiec]

**System ERP** (ang. *Enterprise Resource Planning*) – planowanie zasobów przedsiębiorstwa – wielomodułowy system informatyczny, oprogramowanie, którego podstawowym zadaniem jest integracja wszystkich procesów zachodzących w organizacji. Umożliwia kompleksowe zarządzanie przedsiębiorstwem. Główną częścią systemu ERP jest wspólna baza danych, która gromadzi i przetwarza dane dostępne dla wszystkich użytkowników systemu. Pozwala to na sprawny przepływ informacji i jest wsparciem w podejmowaniu decyzji (Galińska i Kopania, 2016). [Justyna Misiora]

**System produkcyjny** – celowo zaprojektowany oraz zorganizowany układ materialny, informacyjny oraz elektryczny eksploatowany przez człowieka, służący do produkowania określonych wyrobów lub usług w celu zaspokojenia potrzeb konsumentów (Durlik, 1995). [Aleksandra Augustyn]

**System wytwarzania** – zbiór elementów w zorganizowanej przestrzeni wytwórczej, posiadający zdefiniowane powiązania kooperacyjne pomiędzy elementami w zakresie danego zbioru. Stanowi podstawowy podsystem systemu produkcyj-



nego, związany z wytwarzaniem części, podzespołów, zespołów, a także wyrobów gotowych z surowców i materiałów (Dudek, 2016). [Katarzyna Pawlarczyk]

**Sztuczna inteligencja** (ang. *Artificial Intelligence*) – system pozwalający na wykonywanie zadań wymagających procesu uczenia się. Uwzględnia nowe okoliczności w czasie rozwiązywania danego problemu oraz wchodzi w interakcję z otoczeniem w zależności od konfiguracji (Kasperski, 2003). [Julia Furtak]

**Ścieżka krytyczna** (ang. *Critical path*) – najdłuższa ścieżka następujących po sobie zadań w projekcie, chronologicznie ułożonych tak, że każde następne zadanie może rozpocząć się dopiero po zakończeniu poprzedniego. Długość ścieżki krytycznej jest sumą czasu trwania wszystkich zadań w projekcie znajdujących się na tej ścieżce. Ścieżka krytyczna kończy się wraz z zakończeniem projektu, czyli wyznacza najkrótszy czas potrzebny na realizację projektu. Zapas czasu na ścieżce krytycznej jest równy zero (Grześ, 2014). [Kamila Olech]

**TCR** (ang. *Total Closeness Rating* – TCR) – w metodzie CORELAP pozwalającej na optymalizację rozmieszczenia stanowisk roboczych jest to suma wartości przypisanych powiązaniom funkcjonalnym pomiędzy poszczególnymi stanowiskami roboczymi. [Paulina Trzeciak]

**APICS** (ang. *The Association for Operations Management*) – stowarzyszenie dla zarządzania operacyjnego założone w 1957 r. jako Amerykańskie Towarzystwo Kontroli Produkcji i Zapasów. Jest to organizacja non-profit, która zajmuje się standaryzacją metod sterowania produkcją (Hill i Fredendall, 2000). [Sonia Mieszowska]

**Therbligi** – 17 mikroruchów, które znajdują się w klasyfikacji ruchów elementarnych opracowanej przez Franka B. Gilbertha. Ich nazwa jest anagramem nazwiska twórcy (Sobkowiak, 2015). [Magdalena Kwiatek]

**TPM** (ang. *Total Productive Maintenance*) – kompleksowe utrzymanie maszyn i urządzeń w ciągłej sprawności, aby były gotowe do pracy w każdej chwili. Narzędzie koncepcji Lean Manufacturing, włączające wszystkich pracowników firmy w utrzymanie ciągłości procesów produkcyjnych, stosowane do eliminacji strat dotyczących maszyn technologicznych. Jest utożsamiane z hasłem „zero strat, zero awarii, zero wypadków” (Antosz i in., 2015). [Bartosz Rzeszutek]

**TPS** (ang. *Toyota Production System*) – system produkcyjny Toyoty, opierający się na uzyskaniu optymalnej wydajności przez ograniczenie marnotrawstwa (Lempicka, 2014). [Karolina Kolano]

**Transport wewnętrzny** – zespół środków zaliczanych do grupy transportu bliższego, mających na celu przemieszczanie materiałów, surowców i innych rzeczy niezbędnych podczas pracy na terenie całego zakładu pracy (Słownik Języka Polskiego PWN). [Aneta Pęziół]

**VMI** (ang. *Vendor Managed Inventory*) – technika polegająca na zarządzaniu przez dostawców zapasami organizacji. Daje możliwość uzyskania widocznej



redukcji kosztów w zakresie opracowywania i wysyłania zamówień oraz sterowania zapasami na poziomie przedsiębiorstwa (Baraniecka, 2010). [Elżbieta Wiglusz]

**WCM** (ang. *World Class Manufacturing*) – Produkcja Klasy Światowej – zintegrowany system zarządzania opracowany przez koncern Fiata oraz firmy partnerskie. Ma na celu osiągnięcie bezpiecznej i zrównoważonej produkcji, eliminując jednocześnie wszelkie straty, defekty, awarie oraz wypadki. Głównym założeniem jest ciągle doskonalenie systemu organizacyjnego przedsiębiorstwa w dążeniu do osiągnięcia światowego poziomu konkurencyjności (Piasecka-Głuszak, 2017). [Dominika Zaforemska]

**Wirtualna rzeczywistość** (ang. *Virtual Reality – VR*) – komputerowo skonstruowane trójwymiarowe środowisko, pozwalające użytkownikowi na poruszanie się i interakcję, czego wynikiem jest stymulacja jednego z pięciu zmysłów człowieka. Może mieć charakter statyczny lub dynamiczny. (Kryśkiewicz, 2018). [Dagmara Bawor]

**Zakłócenie produkcyjne** – niebędąca celowym działaniem zmiana właściwości obiektów powodująca zakłócenia przebiegu procesów (Kowaliski i in., 2017). [Konrad Bąk]

**Zintegrowany system informatyczny** – forma ujednoczonego przepływu informacji w przedsiębiorstwie dzięki ulokowaniu danych o firmie w bazie bądź w jednym systemie integracyjnym. Pozwala na wolną i swobodną wymianę informacji. System jest zorganizowany modułowo. Obsługuje wiele obszarów funkcjonowania organizacji (Gunia, 2019). [Małgorzata Syrek]

## Bibliografia do słownika pojęć

- [1] Aleksandrowicz J. (2016), Narzędzia metodologii Lean w procesach doskonalenia miejskiego transportu zbiorowego. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 17.
- [2] Antosz K., Stadnicka D. (2010), Doskonalenie procesu produkcji mieszadeł z wykorzystaniem mapowania strumienia wartości. Wydawnictwo SIGMA-NOT, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, 42-45.
- [3] Antosz K., Pacana A., Stadnicka D., Zielecki W. (2015), Lean Manufacturing. Doskonalenie produkcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [4] Baraniecka A. (2010), Przełomy strategiczne w kontaktach przedsiębiorstw z dostawcami – przyczyny i konsekwencje. Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów. Zeszyt Naukowy, 101, Warszawa.
- [5] Barcik R., Owsiak D. (2004), Zintegrowany system zarządzania materiałami produkcyjnymi. Logistyka, 1, 45-48.
- [6] Bednarek M., Haiduk T. (2020), Przemysł 4.0 i niskokosztowe metody optymalizacji procesów produkcyjnych. Dostępne na: <https://www.parp.gov.pl/attachments/article/61733/Przemys%C5%82%204.0%20i%20niskokosztowe%20metody%20optymalizacji%20proces%C3%B3w%20produkcyjnych.pdf> (dostęp: 10.01.2021).
- [7] Borkowski S. (2004), Mierzenie poziomu jakości. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu, Sosnowiec.





- [8] Brajer-Marczak R. (2015), Doskonalenie zarządzania jakością procesów i produktów w organizacjach. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.
- [9] Brajer-Marczak R. (2015), Doskonalenie zarządzania jakością procesów i produktów w organizacjach. UE, Wrocław.
- [10] Chyła D., Szybalska K., Lean Management. Encyklopedia zarządzania. Dostępne na [https://mfiles.pl/pl/index.php/Lean\\_management](https://mfiles.pl/pl/index.php/Lean_management) (dostęp: 23.02.2021).
- [11] Dudek M. (2016), Szczupłe systemy wytwarzania. Difin, Warszawa.
- [12] Durlik I. (1995), Inżynieria zarządzania. Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych. Agencja Wydawnicza „Placet”, Warszawa.
- [13] Dycha J. (2002), CRM – Relacje z klientami. Wydawnictwo Helion, Gliwice.
- [14] Encyklopedia Zarządzania, Lean management. Dostępne na: [https://mfiles.pl/pl/index.php/Lean\\_management](https://mfiles.pl/pl/index.php/Lean_management) (dostęp: 30.01.2021).
- [15] Fredendall L.D., Hill E. (2000), Basics of Supply Chain Management. CRC Press, Boca Raton.
- [16] Galińska B., Kopania J. (2016), Zastosowanie systemu ERP w przedsiębiorstwie logistycznym. Autobusy, 6.
- [17] Gołaś H., Mazur A. (2010), Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością. Politechniki Poznańska, Poznań.
- [18] Gozali L., Widodo L., Nasution S.R., Lim N. (2020), Planning the New Factory Layout of PT Hartekprima Listrindo using Systematic Layout Planning (SLP) Method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 847, 1, 012001.
- [19] Grabowska S. (2017), Kluczowe wskaźniki efektywności – studium przypadku. Zeszyty Naukowe, Organizacja i Zarządzanie, Politechnika Śląska, 108, 105-111.
- [20] Grabska A. (2018), <https://pefbroker.pl/czym-jest-edi-wszystkie-informacje-ktorych-potrzebujesz/> (dostęp: 30.01.2021).
- [21] Greber T. (2005), Statystyczne sterowanie procesami. Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- [22] Gunia G. (2019), Zintegrowane systemy informatyczne przedsiębiorstw w kontekście przemysłu 4.0, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, 22, 2, 7-12, Bielsko-Biała.
- [23] Hamrol A. (2018), Strategie i praktyki sprawnego działania lean, six sigma i inne. Wyd. II, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [24] Honczarenko J. (2008), Obrabiarki sterowane numerycznie, WMT, Warszawa.
- [25] Integracja pozioma i pionowa w Smart Factory. Dostępne na: <https://www.copadata.com/pl/przemyslowa/integracja-pozioama-pionowa/> (dostęp: 21.01.2021).
- [26] Jaworowska M., Piątek Z. (2017), Przemysł 4.0 – technologie przyszłości. Dostępne na: <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/47534-przemysl-4-0-technologie-przyszlosci> (dostęp: 05.01.2021).
- [27] Kasperski M. (2003), Sztuczna inteligencja. Wydawnictwo Helion, Gliwice.
- [28] Kaizen – czym jest i jak działa w polskich firmach. Dostępne na: <http://www.leancenter.pl/bazawiedzy/kaizen> (dostęp: 11.01.2021).
- [29] Kidacka D., JIT (Just in Time). Dostępne na: [Kanban.pl/nl45/](http://Kanban.pl/nl45/) (dostęp: 30.01.2021).
- [30] Kobza N. (2019), Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT). Fabryki przyszłości w dobie rewolucji przemysłowej. Wyd. 1: Instytut Innowacyjna Gospodarka. Dostępne na: [http://ingos.pl/public/userfiles/pdf/raport\\_przemyslowy\\_internet\\_rzeczy.pdf](http://ingos.pl/public/userfiles/pdf/raport_przemyslowy_internet_rzeczy.pdf) (dostęp: 03.01.2020).
- [31] Kopterski W. (2020), Przemysł 4.0 – rozwój nowoczesnych technologii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole.



- [32] Kowalski K., Sikora L., Hadaś Ł. (2007), Analiza zakłóceń procesu produkcyjnego na wybranym przykładzie. Dostępne na: <http://repozytorium.put.poznan.pl/Content/436062/Poznań> (dostęp: 04.01.2021).
- [33] Kryśkiewicz Ł. (2018), Co to jest wirtualna i rozszerzona rzeczywistość. Dostępne na: <https://di.com.pl/co-to-jest-wirtualna-i-rozszerzona-rzeczywistosc-59794> (dostęp: 10.01.2021).
- [34] Lech P. (2003), Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II. Wykorzystanie w biznesie, wdrażanie. Difin, Warszawa.
- [35] Lempicka A. (2014), System produkcyjny Toyoty jako przykład współczesnej metody zarządzania produkcją. *Ekonomia i Zarządzanie: Wiedza. Raporty. Diagnozy. Analizy. Przykłady*, 4.
- [36] Lis S., Santarek K. (1980), Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- [37] Łopatowska J., Jaroński J. (2016), Doskonalenie przepływu materiału w linii produkcyjnej. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 1, red. R. Knosala. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole.
- [38] Mapowanie strumienia wartości. Dostępne na: <https://lean.org.pl/mapowanie-strumienia-wartosci> (dostęp: 12.01.2021).
- [39] Marchwiński C., Shroeder A., Shook J. (2015), *Leksykon Lean*. Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław.
- [40] Metoda DMAIC (2016), Dostępne na: <https://lean-management.pl/six-sigma/metoda-dmaic/> (dostęp: 22.01.2021).
- [41] Myszewski J.M. (1996), Warsztaty zespołu FMEA. Prace uczestników warsztatów Szkolenia Podstawowego FMEA, BJW ZETOM, Warszawa.
- [42] Na czym polega zarządzanie łańcuchem dostaw? Dostępne na: <https://www.oracle.com/pl/scm/what-is-supply-chain-management/> (dostęp: 17.01.2021).
- [43] Narzędzia Lean Management, Poka Yoke (2018). Dostępne na: <https://www.tli.group/narzedzia-lean-management-poka-yoke/> (dostęp: 07.01.2021).
- [44] O EDI. Podstawowe informacje (2017), Dostępne na: <https://www.comarchedi.pl/o-edi/> (dostęp: 17.01.2021).
- [45] Paweł (2018). Gemba. Dostępne na: <https://www.system-kanban.pl/definicja/gemba/> (dostęp: 19.01.2021).
- [46] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzecieliński S. (2010), *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [47] Piasecka-Głuszak A. (2017), Implementacja world class manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym na rynku polskim. *Ekonomia XXI wieku, Economics of the 21st century*, 4(16), 52-65.
- [48] Piotrowski K. (2018), Lean Layout. Dostępne na: [www.kanban.pl/nl49/](http://www.kanban.pl/nl49/) (dostęp: 23.02.2021).
- [49] Polinik (2016), First Time Quality – FTQ, Dostępne na: <http://leanowisko.blogspot.com/2016/04/first-time-quality-ftq.html> (dostęp: 10.01.2021).
- [50] Salwin M., Lipiak J., Wałachowski P. (2019), Production improvement by using the smed method-case study. *Research in Logistics & Production*, 9.
- [51] *Słownik Języka Polskiego PWN*. Dostępny na: <https://sjp.pwn.pl/> (dostęp: 22.01.2021).
- [52] Sobek D.K., Jimmerson C. (2004), A3 reports: tool for process improvement. *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference*. Dostępne na: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.515.4699&rep=rep1&type=pdf> (dostęp: 12.01.2021).



- [53] Sobkowiak J. (2015), Krótka historia Lean Manufacturing. Dostępne na: <https://portal-przemyslowy.pl/utrzymanie-ruchu-produkcja/it-dla-przemyslu-erp-cmms-cad-druk-3d/krotka-historia-lean-manufacturing/> (dostęp: 02.01.2021).
- [54] Sosnowski A. (2019a), Jak zrobić beznadziejny layout zakładu. Dostępne na: <https://www.linkedin.com/pulse/jak-zrobi%C4%87-beznadziejny-layout-zak%C5%82adu-aleksander-sosnowski/> (dostęp: 19.12.2020).
- [55] Sosnowski A. (2019b), Jak zrobić wartościowy layout zakładu. Dostępne na: <https://www.linkedin.com/pulse/jak-zrobi%C4%87-warto%C5%9Bciowy-layout-zak%C5%82adu-aleksander-sosnowski/> (dostęp: 19.12.2020).
- [56] Stadnicka D. (2017), Wybrane metody i narzędzia doskonalenia procesów w praktyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- [57] Stecuła K. (2016), Wykorzystanie modelu OEE do wyznaczenia efektywności maszyn. Zarządzanie Przedsiębiorstwem, 19(2).
- [58] Sudoł S. (2010), Nauki o zarządzaniu. Węzłowe problemy i kontrowersje. TNOiK, Toruń.
- [59] System produkcji Toyoty. Maksymalizacja wydajności produkcji dzięki wyeliminowaniu nieefektywności. Dostępne na: <https://www.toyota.pl/world-of-toyota/system-produkcji> (dostęp: 11.01.2021).
- [60] Szatkowski K. (2014), Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [61] Wasiak M., Jacyna-Gołda I. (2016), Transport drogowy w łańcuchach dostaw. Wyznaczenie kosztów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [62] Waściński T. (2014), Procesy logistyczne w zarządzaniu łańcuchem dostaw. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, 103, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Siedlce.

## Załączniki

### Załącznik 1. Zastosowanie metody CORELAP do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk roboczych na hali produkcyjnej

(Paulina Trzeciak)

Niniejszy przykład prezentuje zastosowanie metody CORELAP do rozmieszczenia stanowisk roboczych na hali produkcyjnej. Dana jest symetryczna macierz powiązań funkcjonalnych pomiędzy ośmioma stanowiskami roboczymi (rys. Z1.1).

MPF =

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	5	2	3	4	2	1	1
2	5	0	4	3	2	3	3	1
3	2	4	0	6	2	3	2	2
4	3	3	6	0	6	2	2	2
5	4	2	2	6	0	4	2	2
6	2	3	3	2	4	0	4	4
7	1	3	2	2	2	4	0	5
8	1	1	2	2	2	4	5	0

Rys. Z1.1. Macierz powiązań funkcjonalnych

Źródło: Opracowanie własne.

W niniejszym przykładzie rozmieszczenie stanowisk będzie oparte na skali wzajemnego zbliżenia obiektów przedstawionej w tab. Z1.1.

Tabela Z1.1. Skala wzajemnego zbliżenia obiektów

Skala wzajemnego zbliżenia obiektów	Skala liczbowa
Bezwzględnie konieczna	6
Bardzo ważna	5
Ważna	4
Zwyczajna	3
Nieważna	2
Niepożądana	1

Źródło: Opracowanie własne.

W kolejnym etapie należy ustalić kolejność rozmieszczenia stanowisk przez utworzenie wektora rozmieszczenia. W tym celu należy zsumować wartości we wszystkich wierszach macierzy (rys. Z1.2).

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	$\sum TCR_i$
	1	0	5	2	3	4	2	1	
2	5	0	4	3	2	3	3	1	21
3	2	4	0	6	2	3	2	2	21
4	3	3	6	0	6	2	2	2	24
5	4	2	2	6	0	4	2	2	22
6	2	3	3	2	4	0	4	4	22
7	1	3	2	2	2	4	0	5	19
8	1	1	2	2	2	4	5	0	17

Rys. Z1.2. Obliczanie sumy wartości we wszystkich wierszach

Źródło: Opracowanie własne.

W celu ustalenia właściwej kolejności rozmieszczenia stanowisk, na wstępie wprowadza się trzy zbiory obiektów:

- zbiór  $c$  – obiekty do rozmieszczenia,
- zbiór  $v$  – obiekty pierwsze w kolejności do rozmieszczenia,
- zbiór  $w$  – obiekty już rozmieszczone.

Do poszczególnych zbiorów przypisuje się odpowiednie stanowiska. Na początkowym etapie wszystkie stanowiska zostają umieszczone w zbiorze  $c$ , natomiast zbiory  $v$  oraz  $w$  są zbiorami pustymi.

$$c = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

$$w = \{\emptyset\}$$

$$v = \{\emptyset\}$$

W kolejnym etapie należy wybrać maksymalną wartość  $TCR_i$  (rys. Z1.3).

W rozpatrywanym przykładzie maksymalna wartość  $TCR_i$  znajduje się w wierszu nr 4, co oznacza że stanowisko czwarte będzie rozmieszczone jako pierwsze. Do zbioru  $w$  została zatem włączona wartość 4, natomiast zbiór  $c$  pomniejszył się o wartość 4.

$$c = \{1, 2, 3, 5, 6, 7, 8\}$$

$$w = \{4\}$$

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	$\sum TCR_i$
1	0	5	2	3	4	2	1	1	18
2	5	0	4	3	2	3	3	1	21
3	2	4	0	6	2	3	2	2	21
MPF = 4	3	3	6	0	6	2	2	2	24 (max)
5	4	2	2	6	0	4	2	2	22
6	2	3	3	2	4	0	4	4	22
7	1	3	2	2	2	4	0	5	19
8	1	1	2	2	2	4	5	0	17

Rys. Z1.3. Wybór maksymalnej wartości  $TCR_i$

Źródło: Opracowanie własne.

Aby zdecydować, jaka wartość zostanie przypisana do zbioru  $v$ , należy opracować tabelę na podstawie macierzy powiązań funkcjonalnych pomiędzy stanowiskami. W pierwszym wierszu tabeli przepisuje się wiersz z macierzy odpowiadający wybranemu w poprzednim punkcie stanowisku. W analizowanym przykładzie będzie to wiersz 4. Kolumnę o numerze przepisywanego wiersza należy natomiast wykreślić. Z przepisanej wiersza należy wybrać wartość maksymalną. W analizowanym przypadku jest to wartość 6, przy czym występuje ona w dwóch polach, tj. w kolumnie 3. i 5. Stanowiska nr 3 i 5 zostają więc określone jako stanowiska mające przewagę, będące pierwsze w kolejności do rozmieszczenia, czyli należące do zbioru  $v$ . Dlatego do zbioru  $v$  wpisuje się 3 i 5 (rys. Z1.4).

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
				-	-			
				-	-			
				-	-			
				-	-			
				-	-			
				-	-			

Rys. Z1.4. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

$$v = \{3, 5\}$$

Aby wybrać kolejne stanowisko ze zbioru  $v$ , należy porównać wartości  $TCR_i$  dla stanowisk odpowiadających wartościom zapisanym w tym zbiorze. W analizowanym przykładzie wybrane zostanie stanowisko nr 5, ponieważ  $TCR_5$  jest większe niż  $TCR_3$ . W zbiorze  $w$  umieszczona zostaje zatem wartość 5, a zbiór zostaje o tę wartość pomniejszony.

$$c = \{1, 2, 3, 6, 7, 8\}$$

$$w = \{4, 5\}$$

Tak jak poprzednio, wiersz 5. zostaje przepisany do tabeli, a kolumnę 5. się wykreśla. Następnie należy odnaleźć maksymalną wartość w tabeli, pomijając te wartości, które wykorzystano już w poprzednim etapie. W badanym przykładzie maksymalna wartość znajduje się w kolumnie 3. Wartość zostaje zatem wpisana do zbioru  $v$  (rys. Z1.5).

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
				-	-			
				-	-			
				-	-			
				-	-			
				-	-			

Rys. Z1.5. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

$$v = \{3\}$$

W zbiorze  $v$  znajduje się tylko jedna liczba, zatem w tym przypadku można od razu przejść do kolejnego etapu. Wartość 3 zostaje przeniesiona do zbioru  $w$ , a zbiór  $c$  pomniejsza się o tę wartość. Do tabeli zostaje dopisany wiersz nr 3, a kolumna nr 3 zostaje wykreślona. W tabeli wyznacza się wartości maksymalne, które następnie będą wpisane do zbioru  $v$  (rys. Z1.6).

$$c = \{1, 2, 6, 7, 8\}$$

$$w = \{4, 5, 3\}$$



	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
3	2	4	-	-	-	3	2	2
			-	-	-			
			-	-	-			
			-	-	-			
			-	-	-			

Rys. Z1.6. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

$$v = \{1, 2, 6\}$$

Do zbioru  $w$  zostaje przeniesiona wartość 6, ponieważ  $TCR_6$  jest wartością maksymalną. Zbiór  $c$  pomniejsza się o wartość 6. Do tabeli dopisuje się wiersz nr 6, a kolumna nr 6 zostaje wykreślona. W tabeli zostają wyznaczone wartości maksymalne, które następnie będą wpisane do zbioru  $v$  (rys. Z1.7).

$$c = \{1, 2, 7, 8\}$$

$$w = \{4, 5, 3, 6\}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
3	2	4	-	-	-	3	2	2
6	2	3	-	-	-	-	4	4
			-	-	-			
			-	-	-			
			-	-	-			
			-	-	-			

Rys. Z1.7. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

$$v = \{1, 2, 7, 8\}$$

Do zbioru  $w$  zostaje przeniesiona wartość 2, ponieważ  $TCR_2$  jest wartością maksymalną. Zbiór  $c$  pomniejsza się o wartość 2. Do tabeli zostaje dopisany wiersz nr 2, a kolumna nr 2 zostaje wykreślona. W tabeli zostają wyznaczone wartości maksymalne, które następnie będą wpisane do zbioru  $v$  (rys. Z1.8).

$$c = \{1, 7, 8\}$$

$$w = \{4, 5, 3, 6, 2\}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
3	2	4	-	-	-	3	2	2
6	2	3	-	-	-	-	4	4
2	5	-	-	-	-	-	3	1
		-	-	-	-	-		
		-	-	-	-	-		
		-	-	-	-	-		

Rys. Z1.8. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

$$v = \{1\}$$

Wartość 1 zostaje przeniesiona do zbioru  $w$ , a zbiór  $c$  pomniejsza się o tę wartość. Do tabeli dopisany zostaje wiersz nr 1, a kolumna nr 1 zostaje wykreślona. W tabeli zostają wyznaczone wartości maksymalne, które następnie będą wpisane do zbioru  $v$  (rys. Z1.9).

$$c = \{7, 8\}$$

$$w = \{4, 5, 3, 6, 2, 1\}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
3	2	4	-	-	-	3	2	2
6	2	3	-	-	-	-	4	4
2	5	-	-	-	-	-	3	1
1	-	-	-	-	-	-	1	1
	-	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-		

Rys. Z1.9. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

$$v = \{7,8\}$$

Do zbioru  $w$  zostaje przeniesiona wartość 7, ponieważ  $TCR_7$  jest wartością maksymalną. Zbiór  $c$  pomniejsza się o wartość 7. Do tabeli zostaje dopisany wiersz nr 7, a kolumna nr 7 zostaje wykreślona. W tabeli zostają wyznaczone wartości maksymalne, które następnie będą wpisane do zbioru  $v$  (rys. Z1.10).

$$c = \{8\}$$

$$w = \{4, 5, 3, 6, 2, 1, 7\}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
3	2	4	-	-	-	3	2	2
6	2	3	-	-	-	-	4	4
2	5	-	-	-	-	-	3	1
1	-	-	-	-	-	-	1	1
7	-	-	-	-	-	-	-	5
	-	-	-	-	-	-	-	

Rys. Z1.10. Wyznaczenie kolejnego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.



$$v = \{8\}$$

Wartość 8 zostaje przeniesiona do zbioru  $w$ , a zbiór  $c$  pomniejsza się o tę wartość. Do tabeli zostaje dopisany wiersz nr 8. Tabela została wypełniona w całości, a zbiór  $w$  przyjmuje finalną wartość (rys. Z1.11).

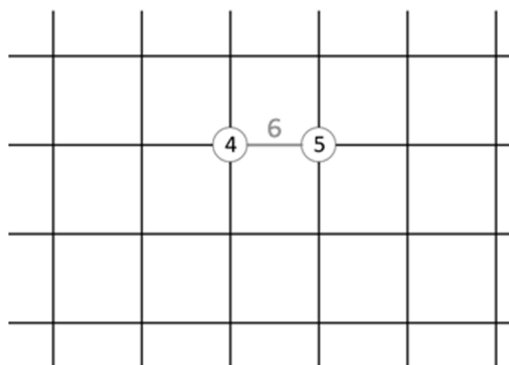
$$w = \{4, 5, 3, 6, 2, 1, 7, 8\}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	6	-	6	2	2	2
5	4	2	2	-	-	4	2	2
3	2	4	-	-	-	3	2	2
6	2	3	-	-	-	-	4	4
2	5	-	-	-	-	-	3	1
1	-	-	-	-	-	-	1	1
7	-	-	-	-	-	-	-	5
8	-	-	-	-	-	-	-	-

Rys. Z1.11. Wyznaczenie ostatniego stanowiska do rozmieszczenia

Źródło: Opracowanie własne.

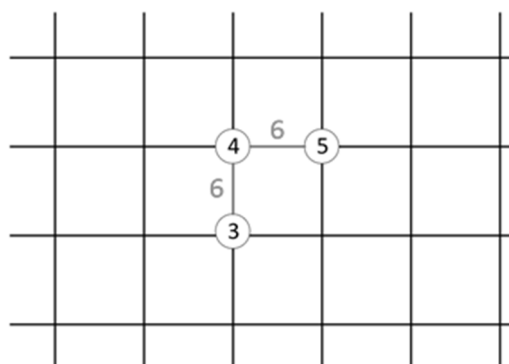
W kolejnym etapie należy rozmieścić stanowiska robocze w węzłach siatki. Odległość pomiędzy węzłami siatki to odległość jednostkowa równa bokom kwadratów tworzących siatkę. Wyznaczony wcześniej wektor rozmieszczenia  $w = \{4, 5, 3, 6, 2, 1, 7, 8\}$ . Pierwsze stanowisko ze zbioru  $w$  zostaje umieszczone w dowolnym węźle siatki. W analizowanym przypadku jest to stanowisko nr 4. Kolejnym rozmieszczanym stanowiskiem jest w tym przykładzie stanowisko nr 5. Zawsze w pierwszej kolejności należy sprawdzić, jakie powiązania ma obecnie rozmieszczane stanowisko ze stanowiskami rozmieszczonymi wcześniej. Według macierzy relacja rozmieszczanego teraz stanowiska nr 5 ze stanowiskiem nr 4 wynosi 6. Według przyjętej skali wymaganego zbliżenia lub oddalenia rozmieszczanych obiektów wartość 6 oznacza, że stanowiska bezwzględnie muszą być rozmieszczone obok siebie, tj. w najmniejszej możliwej odległości. Są zatem cztery możliwości rozmieszczenia stanowiska nr 5, zapewniające najmniejszą odległość. Wybrano dowolną z nich, umieszczając to stanowisko z prawej strony. Po umieszczeniu stanowiska na schemacie należy oznaczyć powiązanie (rys. Z1.12).



Rys. Z1.12. Rozmieszczenie stanowisk nr 4 i 5 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

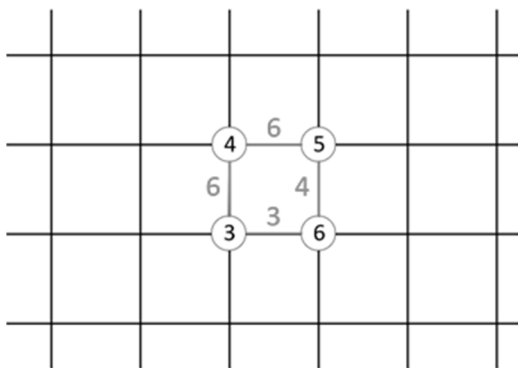
Kolejnym rozmieszczanym stanowiskiem jest w analizowanym przykładzie stanowisko nr 3. Według macierzy, stanowisko trzecie ma powiązanie ze stanowiskiem czwartym o wartości 6, natomiast z piątym o wartości 2. Na podstawie skali wartość 6 oznacza, że stanowisko trzecie musi sąsiadować ze stanowiskiem czwartym, natomiast relacja o wartości 2 pomiędzy stanowiskiem trzecim i piątym oznacza, że nieważne jest, czy będą one obok siebie, czy też nie. W związku z tym na schemacie umieszcza się trzecie stanowisko obok czwartego i zaznacza się relację pomiędzy nimi (rys. Z1.13).



Rys. Z1.13. Rozmieszczenie stanowiska nr 3 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

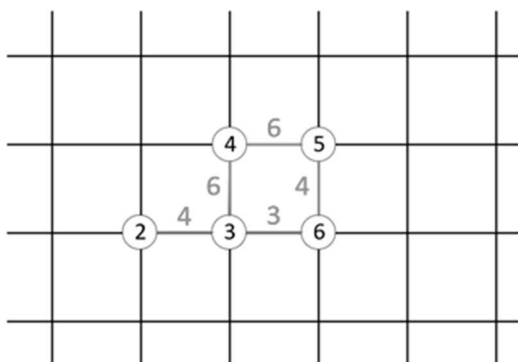
Kolejnym rozmieszczanym stanowiskiem jest w tym przykładzie stanowisko nr 6. Według macierzy stanowisko szóste ma powiązanie ze stanowiskiem piątym o wartości 4, ze stanowiskiem trzecim o wartości 3 oraz ze stanowiskiem czwartym o wartości 2. Relacja 2 zawsze oznacza „nieważne”, natomiast wartości od 3 do 5 oznaczają, że stanowiska powinny być obok siebie. Im wyższa wartość, tym jest to ważniejsze. Priorytetowo w tym przypadku należy więc zadbać o to, aby stanowisko szóste umieścić jak najbliżej piątego, natomiast (co mniej istotne) należy się przy tym starać, aby było w miarę możliwości blisko stanowiska trzeciego. W tym przykładzie udało się je umieścić zarówno w sąsiedztwie piątki, jak i trójki (rys. Z1.14).



Rys. Z1.14. Rozmieszczenie stanowiska nr 6 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

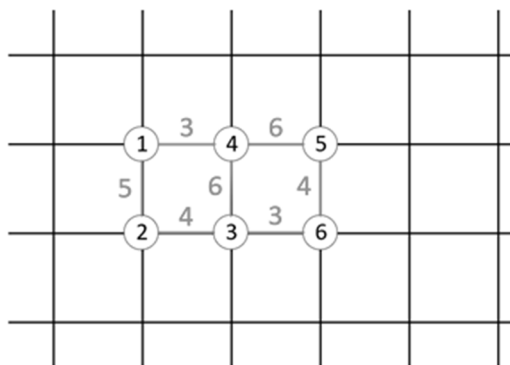
Kolejnym rozmieszczanym stanowiskiem jest w tym przykładzie stanowisko nr 2. Według macierzy stanowisko drugie ma powiązanie ze stanowiskami: trzecim o wartości 4, czwartym o wartości 3, piątym o wartości 2, szóstym o wartości 3. Patrząc na te relacje, wiadomo, że najważniejsze jest, aby stanowisko nr 2 umieścić jak najbliżej stanowiska nr 3. Należałoby przy tym zadbać, aby w miarę możliwości było ono blisko stanowisk czwartego i szóstego. W analizowanym przykładzie udało się zapewnić odległość jednostkową między drugim a trzecim stanowiskiem, natomiast odległość z drugiego do czwartego, a także szóstego wyniosła 2 (rys. Z1.15).



Rys. Z1.15. Rozmieszczenie stanowiska nr 2 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

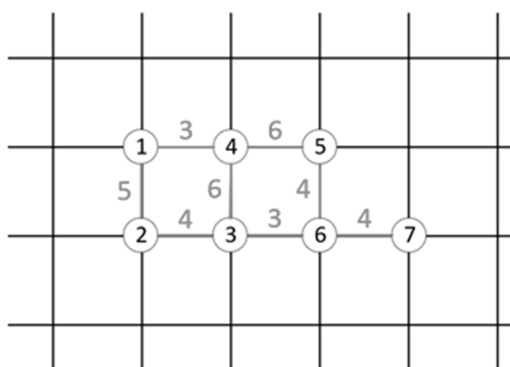
Kolejnym rozmieszczanym stanowiskiem jest w tym przykładzie stanowisko nr 1. Według macierzy stanowisko pierwsze ma powiązanie ze stanowiskami: drugim o wartości 5, trzecim o wartości 2, czwartym o wartości 3, piątym o wartości 4, szóstym o wartości 2. W tym przykładzie ustawiono stanowisko pierwsze jak na rys. Z1.16.



Rys. Z1.16. Rozmieszczenie stanowiska nr 1 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym rozmieszczanym stanowiskiem jest w tym przykładzie stanowisko nr 7. Według macierzy stanowisko siódme ma powiązanie ze stanowiskami: pierwszym o wartości 1, drugim o wartości 3, trzecim o wartości 2, czwartym o wartości 2, piątym o wartości 2, szóstym o wartości 4. Należy zwrócić uwagę, że pojawiła się charakterystyczna wartość, tj. 1. Skoro w relacji pomiędzy stanowiskami siódmym i pierwszym jest 1, to bezwzględnie nie mogą one być ustawione obok siebie. Im dalej od siebie będą zlokalizowane, tym lepiej. Poza tym należy zadbać, aby stanowisko siódme było jak najbliżej stanowiska szóstego, a przy tym w miarę możliwości blisko stanowiska drugiego (rys. Z1.17).

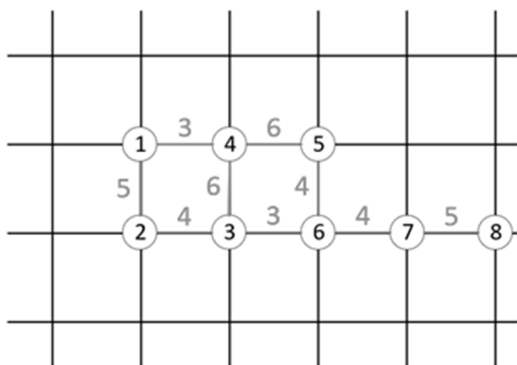


Rys. Z1.17. Rozmieszczenie stanowiska nr 7 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

Ostatnim stanowiskiem, które należy umieścić na siatce, jest stanowisko nr 8. Według macierzy stanowisko ósme ma powiązanie ze stanowiskami: pierwszym o wartości 1, drugim o wartości 1, trzecim o wartości 2, czwartym o wartości 2, piątym o wartości 2, szóstym o wartości 4 i siódmym o wartości 5. Podobnie jak poprzednio należy zwrócić uwagę na relacje o wartości 1, aby dane stanowiska nie były umieszczone obok siebie. Poza tym należy zadbać o to, aby „ósemka” była jak najbliżej „siódemki”, a przy tym możliwie blisko „szóstki” (rys. Z1.18).





Rys. Z1.18. Rozmieszczenie stanowiska nr 8 na węzłach siatki

Źródło: Opracowanie własne.

W kolejnym kroku należy dokonać oceny rozmieszczenia stanowisk. Skala stopni wymaganego zbliżenia lub oddalenia stanowisk roboczych stanowi wytyczne do procesu rozmieszczania. Po rozmieszczeniu stanowisk należy więc zweryfikować, czy wytyczne te zostały spełnione, a także określić jakość rozmieszczenia. Oceny rozmieszczenia dokonuje się w dwóch etapach. Etap pierwszy polega na sprawdzeniu spełnienia wymagań obligatoryjnych, natomiast etap drugi – na określeniu wskaźnika stopnia spełnienia wymagań fakultatywnych. Aby sprawdzić wcześniej założone warunki rozmieszczenia stanowisk, należy określić, czy wszystkie pary stanowisk, pomiędzy którymi wystąpiła wartość 6 (oznaczająca, że stanowiska bezwzględnie muszą być umieszczone obok siebie), zostały odpowiednio blisko umiejscowione. Podobnie sprawdza się stanowiska, pomiędzy którymi wystąpiła wartość 1 (oznaczająca, że stanowiska bezwzględnie nie mogą ze sobą sąsiadować). Weryfikacji dokonuje się na podstawie wcześniej wykonanego schematu. Aby sprawdzić umiejscowienie stanowisk, pomiędzy którymi wystąpiły relacje 3, 4 oraz 5, trzeba wyznaczyć wskaźnik stopnia spełnienia wymagań fakultatywnych. W tym celu należy utworzyć tabelę (tab. Z1.2).

Tabela Z1.2. Wyznaczenie stopnia spełnienia wymagań fakultatywnych

Stopień wymaganego zbliżenia	Rozwiązanie		Macierz powiązań	
	liczba	$\Sigma$	liczba	$\Sigma$
5				
4				
3				
	Suma		Suma	

Źródło: Opracowanie własne.

W kolumnie „Rozwiązanie–liczba” należy wpisać częstotliwość występowania na schemacie relacji o wartościach 3, 4 i 5. W kolumnie „Macierz powiązań–liczba” należy wpisać częstotliwość występowania danych relacji w macierzy powiązań. Aby uzupełnić kolumny „Rozwiązanie– $\Sigma$ ” oraz „Macierz powiązań– $\Sigma$ ”, należy obliczyć iloczyny stopnia wymaganego zbliżenia oraz liczby występowania

nia, a następnie zsumować te wartości w dolnej części tabeli. Wartości dla analizowanego przykładu przedstawiono w tab. Z1.3.

Tabela Z1.3. Wyznaczenie stopnia spełnienia wymagań fakultatywnych dla analizowanego przykładu

Stopień wymaganego zbliżenia	Rozwiązanie		Macierz powiązań	
	liczba	$\Sigma$	liczba	$\Sigma$
5	2	10	2	10
4	3	12	5	20
3	2	6	5	15
	Suma	28	Suma	45

Źródło: Opracowanie własne.

Odnosząc sumę z rozwiązania do wartości stanowiącej wytyczną zapisaną w macierzy, uzyskuje się wskaźnik stopnia spełnienia wymagań fakultatywnych  $WF$ .

$$WF = \frac{28}{45} \sim 0,622$$

Wskaźnik  $WF$  określa jakość otrzymanego rozwiązania. Im wynik jest bliższy wartości 1, tym wyższa jest jakość rozwiązania. Rozpatrując kilka wariantów rozmieszczenia stanowisk na siatce, można wybrać najkorzystniejsze rozwiązanie, porównując wskaźniki  $WF$  dla każdego z nich.

Na podstawie rozwiązania uzyskanego na schemacie rozmieszczenia można utworzyć finalny zarys hali produkcyjnej (rys. Z1.19).

1	4	5	Magazyn	
Droga transportowa				
2	3	6	7	8

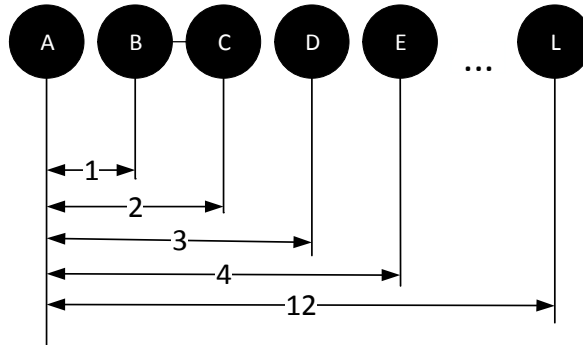
Rys. Z1.19. Schemat rozmieszczenia stanowisk roboczych na hali produkcyjnej

Źródło: Opracowanie własne.

Zaprojektowano optymalne ułożenie stanowisk roboczych na hali produkcyjnej z zastosowaniem metody CORELAP.



Kolejnym etapem jest wyznaczenie macierzy odległości dla wariantu linii jednorzędowej. Przed optymalizacją stanowiska zostały rozmieszczone po kolei w jednym rzędzie, w takich samych odstępach, które wynoszą 1. Przedstawiono to na rys. Z2.1.



Rys. Z2.1. Odległości między stanowiskami w linii jednorzędowej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Sęp i Zielecki, 2014).

Wartości podanych odległości zamieszcza się w macierzy dla wariantu jednorzędowego.

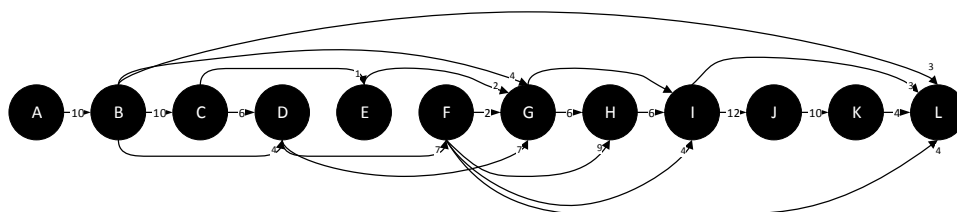
$$L_{ij}^{1Rz} = \begin{bmatrix} - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ & & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ & & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ & & & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ & & & & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & & & & & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 \\ & & & & & & & & - & 1 & 2 & 3 \\ & & & & & & & & & - & 1 & 2 \\ & & & & & & & & & & - & 1 \\ & & & & & & & & & & & - \end{bmatrix}$$

Posiadając nieukierunkowaną macierz powiązań transportowych oraz macierz odległości, należy obliczyć funkcję celu. Pozwoli to na porównanie, a zarazem udowodnienie, że warianty linii w układzie dwurzędowym i u-kształnym są korzystniejsze (wzór (Z2.1)).

$$F_C^{1Rz} = \sum S_{ij} * L_{ij} \quad (Z2.1)$$

$$F_C^{1Rz} = 10 * 1 + 10 * 1 + 4 * 2 + 4 * 5 + 3 * 10 + 6 * 1 + 1 * 2 + 7 * 2 + 7 * 3 + 2 * 2 + 2 * 1 + 9 * 2 + 4 * 3 + 4 * 6 + 6 * 1 + 4 * 2 + 6 * 1 + 12 * 1 + 3 * 3 + 10 * 1 + 4 * 1 = 236$$

Następnie trzeba utworzyć graf linii produkcyjnej jednorzędowej. Między poszczególnymi stanowiskami należy zaznaczyć w formie strzałek wszystkie powiązania z nieukierunkowanej macierzy powiązań transportowych. Dodatkowo, przy każdej strzałce umieszcza się odpowiednią wartość z macierzy. Przedstawiono to na rys. Z2.2.



Rys. Z2.2. Graf linii produkcyjnej jednorzędowej

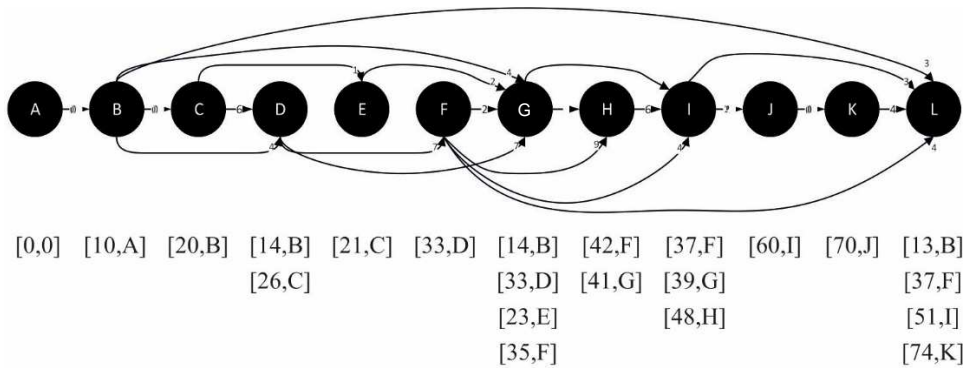
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Sęp i Zielecki, 2014).

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie ścieżki krytycznej z zastosowaniem metody Forda, która określa powiązania w linii o najwyższych wartościach przepływów. W pierwszej kolejności należy odpowiednio opisać utworzony graf linii jednorzędowej. Wykonuje się to, wypisując odpowiednie wektory pod każdym ze stanowisk. Zapis ogólny takiego wektora:

$$[a, b],$$

gdzie:  $a$  – wartość przepływu,  
 $b$  – źródło przepływu.

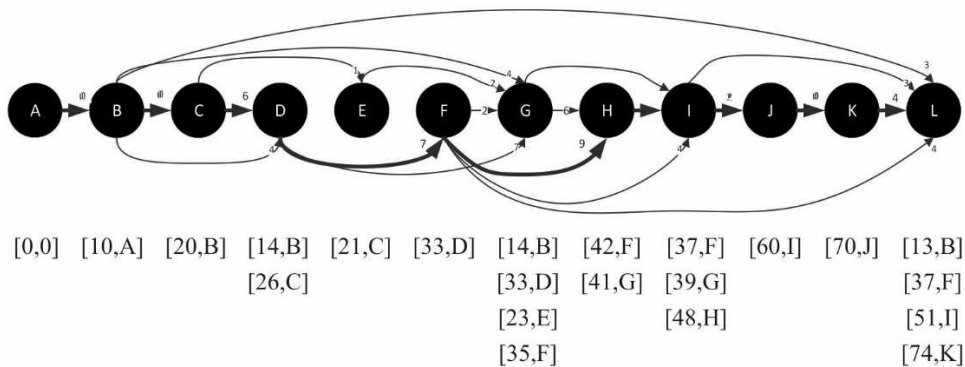
Opis rozpoczyna się od pierwszego wektora, który za każdym razem jest w postaci  $[0, 0]$  i zapisuje się go pod stanowiskiem A. Następnie przechodzi się do stanowiska B. Do stanowiska B jest skierowana jedna strzałka ze stanowiska A z wartością 10. Pod stanowiskiem B zapisuje się więc jeden wektor, który ma postać  $[10, A]$ . Do stanowiska C również jest skierowana tylko jedna strzałka ze stanowiska B. W tym przypadku oprócz wartości przy strzałce należy dodać wartość, która była przy stanowisku, z którego ta strzałka pochodzi. Wektor pod stanowiskiem C będzie miał zatem postać  $[20, B]$ . Analogicznie należy opisać wektory pod stanowiskami D i E. Przy stanowisku F wystąpił nowy przypadek. Skierowana jest do niego jedna strzałka ze stanowiska D, które zostało opisane przez dwa wektory. W takiej sytuacji, gdy pod stanowiskiem będącym źródłem znajduje się więcej wektorów niż jeden, wybiera się ten, który ma największą wartość. Tutaj należy wybrać wektor  $[26, C]$ . Do wartości z tego wektora dodaje się wartość zapisaną przy strzałce (czyli  $26 + 7$ ), co daje wektor  $[33, D]$ . Pozostałe stanowiska należy opisać analogicznie, według omówionych zasad. Gotowy opisany graf przedstawiono na rys. Z2.3.



Rys. Z2.3. Graf linii jednorzędowej opisany wektorami

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Sęp i Zielecki, 2014).

W pełni opisany graf posłuży do wyznaczenia ścieżki krytycznej. Należy zacząć od ostatniego stanowiska. Wybiera się z odpowiadających mu wektorów ten, który ma największą wartość [74, K]. Wybrany wektor wskazuje kolejne stanowisko na ścieżce krytycznej (K). W przypadku stanowiska K jest tylko jeden wektor, dlatego ścieżka krytyczna przechodzi do stanowiska J. Postępując analogicznie, otrzymuje się ścieżkę krytyczną dla całej linii produkcyjnej przedstawioną pogrubionymi strzałkami na rys. Z2.4.



Rys. Z2.4. Graf linii jednorzędowej z wyznaczoną ścieżką krytyczną

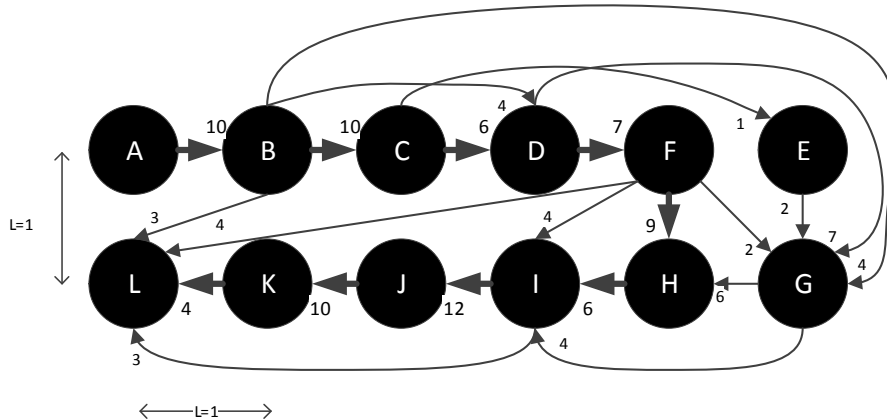
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Sęp i Zielecki, 2014).

W analizowanym przykładzie ścieżka krytyczna ma przebieg:

$$A - B - C - D - F - H - I - J - K - L.$$

Kolejnym etapem będzie analiza linii produkcyjnej U-kształtnej. W tym celu buduje się graf złożony ze stanowisk znajdujących się na ścieżce krytycznej. Ustawa się je w kształt litery U. Odległość pomiędzy stanowiskami nie ulega zmianie

–  $L = 1$ . Następnie należy dorysować pozostałe stanowiska na końcu, poza zasadniczą linią U-kształtną. Ustawia się je odpowiednio tak, aby były najbliżej powiązanych ze sobą stanowisk. Należy nanieść wszystkie pozostałe powiązania wraz z wartościami. Finalna wersja została przedstawiona na rys. Z2.5.



Rys. Z2.5. Graf linii U-kształtnej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Sęp i Zielecki, 2014).

Na podstawie grafu linii U-kształtnej należy wyznaczyć macierz odległości pomiędzy stanowiskami. Odległości są mierzone w pionie i w poziomie.

$$L_{ij}^U = \begin{bmatrix} - & 1 & 2 & 3 & 5 & 4 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ & - & 1 & 2 & 4 & 3 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 2 \\ & & - & 1 & 3 & 2 & 4 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ & & & - & 2 & 1 & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ & & & & - & 1 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ & & & & & - & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & & & & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & & & & & & & - & 1 & 2 & 3 & 4 \\ & & & & & & & & - & 1 & 2 & 3 \\ & & & & & & & & & - & 1 & 2 \\ & & & & & & & & & & - & 1 \\ & & & & & & & & & & & - \end{bmatrix}$$

Następnie na podstawie macierzy powiązań oraz utworzonej macierzy odległości należy obliczyć wartość funkcji celu dla wariantu linii U-kształtnej zgodnie ze wzorem:

$$F_C^U = \sum S_{ij} * L_{ij}^U \quad (Z2.2)$$



$$F_C^{1Rz} = 10 * 1 + 10 * 1 + 4 * 2 + 4 * 5 + 3 * 2 + 6 * 1 + 1 * 3 + 7 * 1 + 7 * 3 + 2 * 1 + 2 * 2 + 9 * 1 + 4 * 2 + 4 * 5 + 6 * 1 + 4 * 2 + 6 * 1 + 12 * 1 + 3 * 3 + 10 * 1 + 4 * 1 = 189$$

Optymalizacja oznacza minimalizację funkcji celu. Im jej wartość jest mniejsza, tym korzystniejsze jest to rozwiązanie. Dokonując porównania wartości funkcji celu dla linii jednorzędowej i U-kształtnej, można zauważyć, że dla drugiego rozwiązania wartość ta jest mniejsza. Świadczy to o znacznym zmniejszeniu pracochłonności operacji związanych z transportem wewnętrznym.

### Załącznik 3. Zastosowanie metody Blocha-Schmigalli do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk linii produkcyjnej (Ewa Welcz)

Zaprezentowany przykład pokazuje, jak należy wykonać zadanie za pomocą metody Blocha-Schmigalli, potocznie nazywanej metodą trójkątów Schmigalli. Na wejściu dana jest macierz ukierunkowana powiązań transportowych (tab. Z3.1) pomiędzy ośmioma stanowiskami roboczymi  $\vec{S}_{ij}$ .

Tabela Z3.1. Macierz ukierunkowana

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0	8	0	0	13	2
2	0	-	0	8	0	0	0	5
3	0	2	-	0	0	0	13	0
4	0	0	2	-	1	0	0	0
5	0	0	0	0	-	1	0	8
6	13	0	12	0	0	-	1	8
7	0	0	0	0	0	0	-	0
8	0	0	0	12	0	0	4	-

Źródło: Opracowanie własne.

Macierz zawiera informacje o powiązaniach transportowych pomiędzy stanowiskami roboczymi. Przykładowo, jeśli w polu 2-4 macierzy jest wartość 8, oznacza to, że w ciągu zmiany produkcyjnej ze stanowiska drugiego do czwartego transportowanych jest 8 sztuk części/wyrobów. Tak samo odczytuje się informacje dla każdego przypadku. Komórki z zerami w określonych polach oznaczają brak przepływów pomiędzy stanowiskami, a komórki z minusem (-) pokazują, że dane stanowiska się nakładają, tzn. są to te same maszyny.

Głównym celem w tej metodzie jest doprowadzenie do sytuacji, gdzie stanowiska mające największe powiązania transportowe zostaną zlokalizowane możliwie najbliżej siebie, co powinno gwarantować minimalizację kosztów logistycznych. Należy więc wyznaczyć kolejność, w jakiej stanowiska powinny być

ustawione. Najpierw konieczne trzeba rozmieścić stanowiska mające największe powiązania, a następnie stanowiska o najmniejszych powiązaniach.

W kolejnym etapie należy przekształcić macierz ukierunkowaną w bardziej ogólną formę macierzy, która będzie zawierała informacje o wielkościach przepływów pomiędzy stanowiskami, jednak bez informacji, w którym kierunku są to przepływy.

Aby przekształcić macierz ukierunkowaną w macierz nieukierunkowaną, należy dodać do siebie pola odpowiadające sobie względem przekątnej, np. pole 6-1 zawiera wartość 13, a pole 1-6 wynosi 0. Sumę tych dwóch pól zapisuje się w obu polach: 6-1 i 1-6. W wyniku takiego przeliczenia wszystkich komórek otrzymuje się macierz symetryczną (nieukierunkowaną) przedstawioną w tab. Z3.2.

Tabela Z3.2. Macierz nieukierunkowana

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>2</b>
2	<b>1</b>	-	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
3	<b>0</b>	<b>2</b>	-	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>0</b>
4	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	-	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
5	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	-	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
6	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	-	<b>1</b>	<b>8</b>
7	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	-	<b>4</b>
8	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	-

Źródło: Opracowanie własne.

Celem wskazania optymalnej kolejności rozmieszczenia stanowisk, czyli wektora rozmieszczenia, należy narysować tabelę (tab. Z3.3), której górną część stanowią wartości z macierzy nieukierunkowanej. Poniżej należy pozostawić puste miejsca na wypełnienie czternastu wierszy, ponieważ jest osiem stanowisk. Gdyby było na przykład o jedno stanowisko więcej, należałoby dopisać kolejne dwa puste wiersze, a w przeciwnym wypadku zmniejszyć liczbę pustych wierszy o dwa.

W pierwszym etapie trzeba wybrać największą wartość z macierzy (w przypadku dwóch lub większej liczby wartości maksymalnych należy wybrać dowolną z nich) przedstawiającą parę stanowisk roboczych, pomiędzy którymi jest największe powiązanie transportowe. Dane stanowiska należy ustawić jak najbliżej siebie. W rozwiązywanym przykładzie maksymalna wartość wynosi 13. Zostaje oznaczona jako „max1”. Następnie należy określić, w którym polu znajduje się ta wartość. W tym przykładzie jest to pole 1-6 (wiersz pierwszy, kolumna szósta), 1-7 lub 3-7. Oznacza to, że stanowiska nr 1 i 6 muszą być rozmieszczane jak najbliżej siebie, tak samo jak stanowiska nr 1 i 7 oraz nr 3 i 7. Należy jednak zacząć od stanowiska nr 1 i 6, co z kolei przekłada się na wektor rozmieszczenia przedstawiony wzorem:

$$R = \{1, 6, \_, \_, \_, \_, \_, \_ \} \quad (Z3.1)$$

Tabela Z3.3. Początkowa tabela

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0	8	0	13	13	2
2	1	-	2	8	0	0	0	5
3	0	2	-	2	0	12	13	0
4	8	8	2	-	1	0	0	12
5	0	0	0	1	-	1	0	8
6	13	0	12	0	1	-	1	8
7	13	0	13	0	0	1	-	4
8	2	5	0	12	8	8	4	-

Źródło: Opracowanie własne.

Następnie należy się zająć wypełnianiem dolnej części tabeli (tab. Z3.4). W dwóch pierwszych wierszach pod macierzą nieukierunkowaną należy wpisać wiersze odpowiadające dwóm wybranym w tym kroku stanowiskom (w tym przypadku wiersz 1. i 6.).

Ponieważ wybrane stanowiska nie mogą być powtórzone w dalszych krokach, wykreśla się kolumny odpowiadające wybranym stanowiskom (w tym przykładzie 1. i 6.).

Następnie należy zsumować dwa ostatnie wiersze, które zaznaczono klamrą w tab. Z3.4 i zapisać ich sumę w wierszu niżej (zapis w tab. Z3.5). Z nowego wiersza należy wybrać wartość maksymalną oraz oznaczyć jako „max2”. Kolejno trzeba określić, w której kolumnie jest drugie maksimum. Znajduje się ono w kolumnie siódmej, co oznacza, że następnym stanowiskiem, które trzeba umieścić w wektorze rozmieszczenia, jest stanowisko nr 7. Postać wektora rozmieszczenia wygląda więc następująco:

$$R = \{1, 6, 7, \_, \_, \_, \_, \_ \} \quad (\text{Z3.2})$$



Tabela Z3.4. Tabela po wykonaniu pierwszego kroku

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0	8	0	13	13	2
2	1	-	2	8	0	0	0	5
3	0	2	-	2	0	12	13	0
4	8	8	2	-	1	0	0	12
5	0	0	0	1	-	1	0	8
6	13	0	12	0	1	-	1	8
7	13	0	13	0	0	1	-	4
8	2	5	0	12	8	8	4	-
1	-	1	0	8	0	-	13	2
6	-	0	12	0	1	-	1	8

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela Z3.5. Tabela po zsumowaniu pierwszych wierszy i znalezieniu max2

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0	8	0	13	13	2
2	1	-	2	8	0	0	0	5
3	0	2	-	2	0	12	13	0
4	8	8	2	-	1	0	0	12
5	0	0	0	1	-	1	0	8
6	13	0	12	0	1	-	1	8
7	13	0	13	0	0	1	-	4
8	2	5	0	12	8	8	4	-
1	-	1	0	8	0	-	13	2
6	-	0	12	0	1	-	1	8
Σ	-	1	12	8	1	-	14	10

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym krokiem jest przepisanie wiersza, który odpowiada ostatnio wybranemu stanowisku (jest to stanowisko nr 7). Należy od razu wykreślić do końca kolumnę siódmą, tak jak poprzednio.

Następnie trzeba zsumować dwa ostatnie wiersze, tj. wiersz sumy 1-6 oraz wiersz ze stanowiskiem nr 7 i tak samo zapisać go w następnym wierszu. Ponadto należy wybrać z nowo utworzonego wiersza wartość maksymalną i oznaczyć ją jako „max3” – tę sytuację pokazuje tab. Z3.6.

W tym przykładzie trzecia wartość maksymalna znajduje się w kolumnie 3., co oznacza, że następnym stanowiskiem wpisanym do wektora rozmieszczenia jest stanowisko nr 3:

$$R = \{1, 6, 7, 3, \_, \_, \_, \_ \} \quad (Z3.3)$$

Tabela Z3.6. Tabela po wypisaniu wiersza siódmego oraz znalezieniu max3

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0	8	0	13	13	2
2	1	-	2	8	0	0	0	5
3	0	2	-	2	0	12	13	0
4	8	8	2	-	1	0	0	12
5	0	0	0	1	-	1	0	8
6	13	0	12	0	1	-	1	8
7	13	0	13	0	0	1	-	4
8	2	5	0	12	8	8	4	-
1	-	1	0	8	0	-	13	2
6	-	0	12	0	1	-	1	8
Σ	-	1	12	8	1	-	14	10
7	-	0	13	0	0	-	-	4
Σ	-	1	25	8	1	-	-	14

max3

Źródło: Opracowanie własne.

Od tej chwili należy postępować zgodnie z następującymi zasadami:

- należy przepisać wiersz odpowiadający wybranemu ostatnio stanowisku,
- należy zsumować dwa ostatnie wiersze (suma i wybrane ostatnie stanowisko),
- z ostatniego wiersza sumy należy wybierać kolejne maksima.

Taki proces jest powtarzany do momentu, aż zostanie uzyskany ośmioelementowy wektor rozmieszczenia. Wszystkie wiersze macierzy nieukierunkowanej przedstawia tab. Z3.7.

Ośmioelementowy wektor rozmieszczenia ma następującą postać:

$$R = \{1, 6, 7, 3, 8, 4, 2, 5\} \tag{Z3.4}$$

Dla otrzymanego ośmioelementowego wektora rozmieszczenia R należy rozmieścić stanowiska robocze w kolejności wynikającej z wektora. Siatka, w której należy rozmieszczać stanowiska robocze, jest stworzona przez przecinające się linie, które tworzą trójkąty równoboczne. Punkty przecięcia linii, czyli wierzchołki trójkątów, stanowią węzły siatki. Stanowiska robocze należy umieszczać wyłącznie w takich węzłach, w których nie może być umieszczone więcej niż jedno stanowisko. Najkrótszy możliwy dystans pomiędzy węzłami (pomiędzy rozmieszczonymi stanowiskami) to długość boku trójkąta. Odległość takiego jednego boku nazywa się odległością jednostkową. Przyjmuje się umownie, że wynosi 1. Dystans pomiędzy węzłami mierzy się wyłącznie po bokach trójkątów.

Tabela Z3.7. Tabela po wypisaniu wszystkich wierszy i znalezieniu wszystkich elementów do wektora rozmieszczenia

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0	8	0	13	13	2
2	1	-	2	8	0	0	0	5
3	0	2	-	2	0	12	13	0
4	8	8	2	-	1	0	0	12
5	0	0	0	1	-	1	0	8
6	13	0	12	0	1	-	1	8
7	13	0	13	0	0	1	-	4
8	2	5	0	12	8	8	4	-
1	-	1	0	8	0	-	13	2
6	-	0	12	0	1	-	1	8
Σ	-	1	12	8	1	-	14	10
7	-	0	13	0	0	-	-	4
Σ	-	1	25	8	1	-	-	14
3	-	2	-	2	0	-	-	0
Σ	-	3	-	10	1	-	-	14
8	-	5	-	12	8	-	-	-
Σ	-	8	-	22	9	-	-	-
4	-	8	-	-	1	-	-	-
Σ	-	16	-	-	10	-	-	-
2	-	-	-	-	0	-	-	-
Σ	-	-	-	-	10	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-

Źródło: Opracowanie własne.

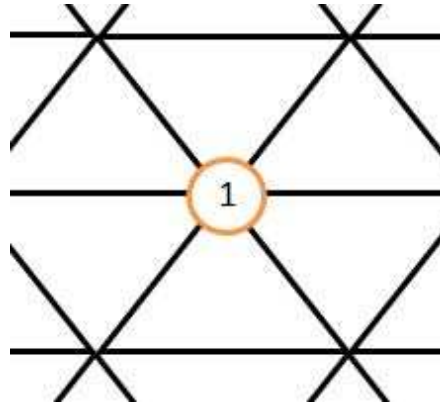
W etapie pierwszym następnego kroku na początku zostaje rozmieszczone stanowisko znajdujące się na pierwszym miejscu wektora (pogrubioną czcionką zaznaczono stanowisko, które będzie rozmieszczane w danym kroku). Wektor rozmieszczenia jest następujący:

$$R = \{\mathbf{1}, 6, 7, 3, 8, 4, 2, 5\} \quad (Z3.5)$$

Pierwsze stanowisko można ulokować na dowolnym węźle siatki. Zaleca się jednak, aby było to raczej na środku siatki (jak na rys. Z3.1). W kolejnym etapie lokuje się na węzłach następnego stanowisko z wektora rozmieszczenia R, a więc stanowisko nr 6 (zaznaczone pogrubioną czcionką we wzorze (Z3.6)).

Wektor rozmieszczenia:

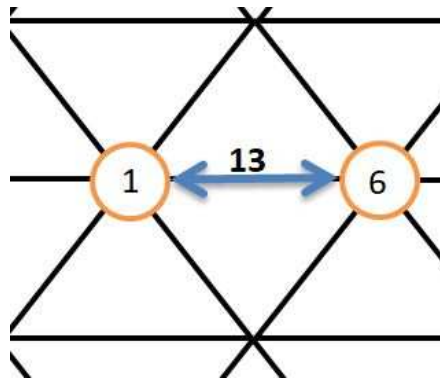
$$R = \{1, \mathbf{6}, 7, 3, 8, 4, 2, 5\} \quad (Z3.6)$$



Rys. Z3.1. Rozmieszczenie pierwszego stanowiska z wektora R

Źródło: Opracowanie własne.

Według macierzy nieukierunkowanej stanowisko nr 6 ma powiązanie z poprzednio rozmieszczonym stanowiskiem nr 1 o wartości 13 (macierz  $S_{ij}$ , pole 1-6). Na węzłach siatki należy umieścić stanowisko nr 6 w jak najmniejszej odległości od stanowiska nr 1 (jak na rys. Z3.2). Dodatkowo zaznacza się na schemacie powiązanie pomiędzy danymi stanowiskami w postaci strzałki wraz z wartością powiązania.



Rys. Z3.2. Rozmieszczenie drugiego stanowiska z wektora R

Źródło: Opracowanie własne.

Od tego momentu liczy się w każdym następnym kroku funkcję celu według wzoru:

$$Q = \mathbf{S} S_{ij} * l_{ij} \quad (Z3.7)$$

gdzie:  $S_{ij}$  – wartość z macierzy nieukierunkowanej,  
 $l_{ij}$  – dystans pomiędzy stanowiskami według schematu.



Po rozważeniu zaprezentowanej sytuacji funkcja celu będzie wyglądała tak jak we wzorze:

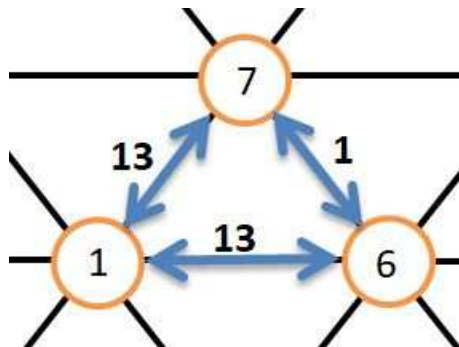
$$Q_{1-6} = S_{16} * l_{16} = 13 * 1 = 13 \quad (Z3.8)$$

Należy pamiętać, że dystans pomiędzy stanowiskami na schemacie zawsze mierzy się po bokach trójkątów, idąc po najkrótszej możliwej drodze. Następnie należy rozmieścić stanowisko nr 7, oznaczone we wzorze (Z3.9) pogrubioną czcionką.

Wektor rozmieszczenia:

$$R = \{1, 6, 7, 3, 8, 4, 2, 5\} \quad (Z3.9)$$

Według macierzy nieukierunkowanej stanowisko nr 7 ma powiązanie z poprzednio rozmieszczonym stanowiskiem nr 1 o wartości 13 (macierz  $S_{ij}$ , pole 1-7), a także ze stanowiskiem nr 6 o wartości 1 (macierz  $S_{ij}$ , pole 7-6). Na węzłach należy koniecznie umieścić stanowisko nr 7 w możliwie najmniejszej odległości od stanowiska nr 1. W stosunku do stanowiska nr 6 ma ono niską wartość i nie musi być w bliskiej odległości, priorytetem jest więc powiązanie ze stanowiskiem 1, ponieważ występuje tutaj znacznie większa relacja, tj. 13, podczas gdy relacja ze stanowiskiem nr 6 jest równa 1 (rys. Z3.3). Podobnie jak wcześniej, należy wszystkie powiązania umieścić na schemacie, oznaczając je strzałkami. Jeśli dane stanowiska mają powiązania z następnymi stanowiskami, to także należy dorysować strzałki, które będą oznaczały powiązania między nimi. Należy także pamiętać o opisaniu wartości na strzałkach z macierzy  $S_{ij}$ .



Rys. Z3.3. Rozmieszczenie trzeciego stanowiska z wektora R

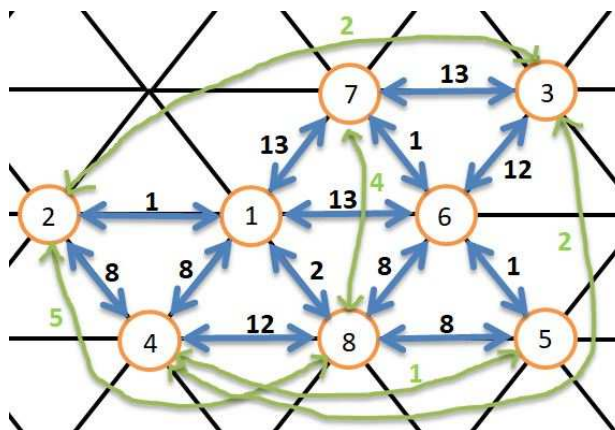
Źródło: Opracowanie własne.

W każdym następnym kroku funkcja celu będzie obliczana w ten sam sposób, czyli najpierw dodaje się wartość funkcji celu bezpośrednio z poprzedniego kroku, następnie zapisuje się relacje obecnie rozmieszczonego stanowiska (tutaj stanowisko nr 7) ze stanowiskami, które były rozmieszczone w poprzednich krokach (stanowiska nr 1 i 6). Mówiąc o pojęciu relacje, należy rozumieć iloczynny wartości powiązań (z macierzy) oraz odległości, które uzyskano na schemacie.

W tym etapie funkcja celu będzie wyglądała następująco:

$$Q_{1-6-7} = Q_{1-6} + S_{17} * l_{17} + S_{67} * l_{67} = 13 + 13 * 1 + 1 * 1 = 26 \quad (Z3.10)$$

Analogicznie postępuje się z resztą stanowisk z wektora rozmieszczenia R. Ostatecznie można zobaczyć na rys. Z3.4 rozmieszczenie wszystkich ośmiu stanowisk oraz jak wygląda na końcu funkcja celu.



Rys. Z3.4. Rozmieszczenie wszystkich stanowisk z wektora R  
Źródło: Opracowanie własne.

Ostatecznie funkcja celu po rozmieszczeniu ośmiu stanowisk wygląda następująco:

$$\begin{aligned} Q_{1-6-7-3-8-4-2-5} &= Q_{1-6-7-3-8-4-2} + S_{15} * l_{15} + S_{56} * l_{56} + S_{57} * l_{57} + S_{35} * l_{35} + \\ &+ S_{58} * l_{58} + S_{45} * l_{45} + S_{25} * l_{25} = 120 + 0 * 2 + 1 * 1 + \\ &+ 0 * 2 + 0 * 2 + 8 * 1 + 1 * 2 + 0 * 3 = 131 \quad (Z3.11) \end{aligned}$$

Zgodnie z wynikiem planu rozmieszczenia na siatce trójkątów, należy jeszcze nanieść dane rozmieszczenia na „layout” hali produkcyjnej. Dla wykonanego przykładu hala będzie wyglądała tak jak przedstawiono na rys. Z3.5. Jeśli pojawi się więcej rzędów, to należy również „layout” hali zrealizować z większą liczbą rzędów, a także większą liczbą dróg transportowych. Na schemacie rozmieszczenia stanowisk roboczych na hali produkcyjnej kończy się przykład.



Rys. Z3.5. Rozkład stanowisk roboczych na hali produkcyjnej.

Źródło: Opracowanie własne.

Trzeba zaznaczyć, że nie jest to jedyne rozwiązanie, ponieważ można dane stanowiska rozmieścić w inny sposób. Aby określić najlepsze rozmieszczenie, trzeba rozpisać wszystkie możliwe rozmieszczenia oraz policzyć ich funkcje celu. Należałoby wybrać wówczas rozwiązanie, którego funkcja celu na końcu przypadku byłaby najmniejsza. Wówczas dane rozwiązanie byłoby optymalne.

# Lean Manufacturing. Kompendium wiedzy

## Streszczenie

Niniejsze kompendium wiedzy prezentuje zagadnienia powiązane z Lean Manufacturing, począwszy od prostych metod ułatwiających analizę problemów czy organizację pracy na stanowisku produkcyjnym po wyrafinowane narzędzia do zarządzania całymi liniami produkcyjnymi.

Praca składa się z siedmiu rozdziałów oraz słownika ułatwiającego zrozumienie prezentowanych zagadnień. W pierwszym rozdziale zaprezentowano historię Lean Manufacturing, podkreślając przyczyny, które były czynnikami wymuszającymi konieczność rozwoju nowych koncepcji i metod. Rozdział drugi omawia zagadnienia dotyczące organizacji stanowiska pracy. Prezentuje różne metody i narzędzia, które zastosowane na stanowisku pracy ułatwiają pracownikowi wykonywanie jego zadań, jednocześnie minimalizując różnego rodzaju straty. Rozdział trzeci porusza zagadnienia związane z organizacją pracy na liniach produkcyjnych. Prezentuje metody ułatwiające rozmieszczenie stanowisk pracy, a w trzech załącznikach do kompendium – przykłady praktycznego zastosowania metod. Omówione zostały również metody wykorzystywane do analizy i usprawnienia przepływu na liniach produkcyjnych. W rozdziale czwartym przedstawiono zagadnienia związane z zarządzaniem łańcuchem dostaw. Pokazano między innymi, jak narzędzia informatyczne mogą być wykorzystywane w tym obszarze. Rozdział piąty prezentuje systemy wspierające Lean Manufacturing. Zaprezentowane systemy wspierają procesy zarządzania produkcją w korporacjach globalnych, dzięki wdrożeniu odpowiedniego podejścia do identyfikacji i eliminacji marnotrawstwa oraz otwartości pracowników na wdrażanie nowoczesnych technologii. Rozdział szósty omawia realizację procesów ciągłego doskonalenia z wykorzystaniem różnych metod i narzędzi. Ostatni, siódmy rozdział prezentuje nowoczesne, cyfrowe metody wsparcia Lean Manufacturing. Zaprezentowane metody oraz systemy informatyczne wspierają różne obszary funkcjonowania przedsiębiorstwa, ułatwiając procesy zarządzania i podejmowania decyzji.

Niniejsze opracowanie jest próbą kompleksowego ujęcia tematyki Lean Manufacturing z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć technicznych, które są już stosowane w praktyce przemysłowej, chociaż niekiedy jeszcze w bardzo ograniczonym zakresie.

Niniejsze kompendium może być wykorzystywane przez praktyków jako pomoc we wdrażaniu systemów Lean Manufacturing w przedsiębiorstwach oraz przez przedstawicieli nauki, do poszukiwania obszarów prowadzenia badań i poszukiwania rozwiązań ułatwiających funkcjonowanie przedsiębiorstw na konkurencyjnym rynku.

**Słowa kluczowe:** Lean Manufacturing, straty w przedsiębiorstwach produkcyjnych, narzędzia Lean Manufacturing, organizacja pracy, zarządzanie łańcuchem dostaw, ciągłe doskonalenie, systemy informatyczne, cyfryzacja przedsiębiorstw



# Lean Manufacturing. Compendium of knowledge

## Summary

This compendium of knowledge presents issues related to lean manufacturing, starting from simple methods that facilitate a problem analysis or organization of work at the workstations to sophisticated tools for managing entire production lines.

The work consists of seven chapters and a dictionary facilitating the understanding of the presented issues. The first chapter presents the history of Lean Manufacturing, highlighting the reasons that forced the need to develop new concepts and methods. The second chapter discusses the issues related to the organization of a workplace. It presents various methods and tools that, when used at the workplace, make it easier for an employee to perform their tasks while minimizing various types of wastes. The third chapter deals with the issues related to the organization of work on production lines. It presents the methods that facilitate the arrangement of workstations, and in three appendices to the compendium, the examples of the practical application of these methods. The methods used to analyse and improve the flow on production lines were also discussed. Chapter four presents the issues related to supply chain management. It shows, among others, how IT tools can be used in this area. Chapter five presents systems supporting Lean Manufacturing. The presented systems support production management processes in global corporations thanks to the implementation of an appropriate approach to the identification and elimination of waste as well as the employees' openness to the implementation of modern technologies. Chapter six discusses the implementation of continuous improvement processes with the use of various methods and tools. The last, seventh chapter, presents modern digital methods of Lean Manufacturing support. The presented methods and IT systems support various areas of the company's operation, facilitating management and decision-making processes.

This study is an attempt at a comprehensive approach to the subject of Lean Manufacturing, taking into account the latest technical achievements that are already used in industrial practice, although sometimes to a very limited extent.

This compendium can be used by practitioners as an aid in the implementation of Lean Manufacturing systems in enterprises and by the representatives of science to search for the areas of research and for the solutions facilitating the functioning of enterprises in a competitive market.

**Keywords:** Lean Manufacturing, wastes in production companies, Lean Manufacturing tools, work organization, supply chain management, continuous improvement, IT systems, digitization of enterprises

Prezentowane kompendium wiedzy omawia zagadnienia powiązane z Lean Manufacturing, począwszy od prostych metod ułatwiających analizę problemów czy organizację pracy na stanowisku produkcyjnym po wyrafinowane narzędzia do zarządzania całymi liniami produkcyjnymi.

Jest to próba kompleksowego ujęcia tematyki Lean Manufacturing, z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć technicznych, które są już stosowane w praktyce przemysłowej, chociaż niekiedy jeszcze w bardzo ograniczonym zakresie.

Niniejsze opracowanie może być wykorzystywane przez praktyków jako pomoc we wdrażaniu systemów Lean Manufacturing w przedsiębiorstwach oraz przez przedstawicieli nauki, do poszukiwania obszarów prowadzenia badań i rozwiązań ułatwiających funkcjonowanie przedsiębiorstw na konkurencyjnym rynku.

W przygotowaniu niniejszego kompendium wykorzystano rezultaty projektu TIPHYS, a mianowicie metodę zespołowego współtworzenia opracowania. W przygotowaniu kompendium uczestniczyli studenci kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji.

Sposób cytowania: *Lean Manufacturing. Kompendium wiedzy*. Pod red. Doroty Stadnickiej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2021.