

**PRZEMYSŁ 4.0
W PRZEDSIĘBIORSTWACH
Z BRANŻY MOTORYZACYJNEJ**

**STAN OBECNY
I PERSPEKTYWY ROZWOJU**

Komitet Inżynierii Produkcji PAN
Sekcja Cyfryzacji Produkcji

PRZEMYSŁ 4.0
W PRZEDSIĘBIORSTWACH
Z BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

STAN OBECNY
I PERSPEKTYWY ROZWOJU

Redakcja naukowa:
Ewa Dostatni
Izabela Rojek

Warszawa 2024

Wydawca:

Polska Akademia Nauk

Redakcja naukowa:

Ewa Dostatni, Izabela Rojek

Recenzja:

Krzysztof Kalinowski, Tomasz Sobczak

Redakcja językowa:

Sylwia Krajewska

Redakcja techniczna:

Anna Dudkowiak

© Copyright for this edition by Polska Akademia Nauk, 2024.

Pewne prawa zastrzeżone.



Tekst niniejszej publikacji jest dostępny na licencji Creative Commons CC BY.

Postanowienia licencji są dostępne pod adresem <https://creativecommons.pl/>

[poznaj-licencje-creative-commons](https://creativecommons.pl/).

ISBN 978-83-66847-91-0

DOI: 10.24425/147337

Przygotowanie do druku:

Justyna Grzymała-Łuszcz

Przemysł 4.0 w przedsiębiorstwach z branży motoryzacyjnej

Stan obecny i perspektywy rozwoju

red. E. Dostatni, I. Rojek

2024

Słowa kluczowe:

Przemysł 4.0, branża motoryzacyjna, przedsiębiorstwo, sztuczna inteligencja, cyfrowy bliźniak, big data, chmura obliczeniowa, system cyberfizyczny, cyberbezpieczeństwo, przemysłowy internet rzeczy, roboty przemysłowe, wirtualna i rozszerzona rzeczywistość, technologie przyrostowe, symulacja komputerowa, model dojrzałości cyfrowej, badania ankietowe

Autorzy

Waldemar Bojar	<i>Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Wydział Zarządzania</i>
Anna Burduk	<i>Politechnika Wroclawska</i>
Ewa Dostatni	<i>Politechnika Poznańska</i>
Jan Duda	<i>Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Mechaniczny</i>
Andrzej Jardzioch	<i>Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie</i>
Marek Macko	<i>Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy</i>
Przemysław Niewiadomski	<i>Uniwersytet Zielonogórski</i>
Sylwester Oleszek	<i>Transition Technologies PSC</i>
Krzysztof Pietruszewicz	<i>Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie</i>
Izabela Rojek	<i>Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy</i>
Krzysztof Santarek	<i>Politechnika Warszawska</i>

Spis treści

Autorzy.....	6
Wykaz skrótów i symboli.....	9
1. Wprowadzenie.....	13
2. Założenia Przemysłu 4.0.....	17
3. Charakterystyka wybranych technologii Przemysłu 4.0.....	27
3.1. <i>Big data</i> oraz analiza danych.....	27
3.2. Chmura obliczeniowa.....	29
3.3. Sztuczna inteligencja.....	32
3.4. System cyberfizyczny.....	34
3.5. Cyberbezpieczeństwo.....	37
3.6. Przemysłowy internet rzeczy.....	38
3.7. Roboty przemysłowe.....	40
3.8. Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość.....	42
3.9. Technologie przyrostowe.....	45
3.10. Symulacja komputerowa.....	46
4. Wdrożenie rozwiązań Przemysłu 4.0 na świecie.....	49
4.1. Inicjatywy międzynarodowe.....	49
4.2. Przykłady praktyczne.....	57
5. Metodyki oceniające poziom wdrożenia Przemysłu 4.0.....	63
5.1. Wybrane modele dojrzałości cyfrowej.....	63
5.2. Narzędzia Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości.....	64
5.2.1. Skaner ADMA.....	65
5.2.2. Weryfikator kompetencji cyfrowych.....	68
5.3. Program Cyfrowa Europa.....	69
5.3.1. Europejskie centra innowacji cyfrowych (EDIH).....	69
5.3.2. DMA Tool.....	71

6.	Ocena wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 w polskich przedsiębiorstwach sektora motoryzacyjnego.....	75
6.1.	Metodyka badań.....	75
6.2.	Wyniki badań i analiza.....	81
6.2.1.	Profil badanych przedsiębiorstw.....	81
6.2.2.	Analiza poziomu wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 w ankietowanych przedsiębiorstwach.....	83
6.3.	Nowoczesne technologie a kierunki rozwoju przemysłu motoryzacyjnego..	103
7.	Podsumowanie.....	115
	Słownik ważniejszych pojęć.....	119
	Bibliografia.....	125
	Indeks rzeczowy.....	133
	Spis rysunków.....	137
	Spis tabel.....	139
	Spis wykresów.....	141
	Załącznik 1.....	145

Wykaz skrótów i symboli

3DP	<i>3D Printing</i> – wytwarzanie przyrostowe przez łączenie proszku lepiszczem
ADMA	<i>Advanced Manufacturing</i> – koncentracja wytwarzania z uwzględnieniem zaawansowanych technologii i innowacyjnych strategii zarządzania
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i> – pojazdy sterowane automatycznie
AI	<i>Artificial Intelligence</i> – sztuczna inteligencja
AR	<i>Augmented Reality</i> – rozszerzona rzeczywistość
CAD	<i>Computer Aided Design</i> – komputerowo wspomagane projektowanie
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> – komputerowe wspomaganie prac inżynierskich
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> – komputerowe wspomaganie wytwarzania
CAP	<i>Computer Aided Planning</i> – komputerowe wspomaganie planowania procesów
CAQ	<i>Computer Aided Quality Assurance</i> – komputerowe wspomaganie sterowania jakością
CAX	<i>Computer Aided Technologies</i> – technologie komputerowego wspomaganiania
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i> – komputerowo zintegrowane wytwarzanie
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i> – komputerowe sterowanie urządzeń numerycznych
CPPS	<i>Cyberphysical Production Systems</i> – cyberfizyczne systemy produkcyjne
CPS	<i>Cyberphysical System</i> – systemy cyberfizyczne
CRM	<i>Customer Relationship Management</i> – zarządzanie relacjami z klientem
DESI	<i>Digital Economy and Society Index</i> – indeks gospodarki cyfrowej i społeczeństwa cyfrowego

DevOps	<i>Development and Operations</i> – metodyka zespolenia rozwoju i eksploatacji oraz zapewnienia jakości
DMA	<i>Digital Maturity Assessment</i> – szacowanie dojrzałości cyfrowej
EDIH	<i>European Digital Innovation Hubs</i> – Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – planowanie zasobów przedsiębiorstwa
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i> – kształtowanie plastycznym tworzywem
GPS	<i>Global Positioning System</i> – system nawigacji satelitarnej
GUS	Główny Urząd Statystyczny
IaaS	<i>Infrastructure-as-a-Service</i> – infrastruktura jako usługa technologii chmurowej
IIC	<i>Industrial Internet Consortium</i> – Konsorcjum Przemysłowego Internetu Rzeczy
IIRA	<i>Industrial Internet Reference Architecture</i> – referencyjna architektura przemysłowego internetu rzeczy IIoT
IMSA	<i>Intelligent Manufacturing System Architecture</i> – architektura inteligentnego system produkcyjnego
IoT	<i>Internet of Things</i> – internet rzeczy
IT	<i>Information Technology</i> – technika informatyczna, technika informacyjna
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> – Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny
IVRA	<i>Industrial Value Chain Reference Architecture</i> – architektura referencyjna przemysłowego łańcucha wartości
JM	<i>Jet Modelling</i> – modelowanie strumieniowe
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i> – wytwarzanie wyrobów przez laminowanie
MaaS	<i>Manufacturing as a Service</i> – wytwarzanie jako usługa
MBSE	<i>Model Based Systems Engineering</i> – inżynieria systemów oparta na modelach
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> – system komunikacji i informowania obszaru produkcji
ML	<i>Machine Learning</i> – uczenie maszynowe
MRP	<i>Material Requirement Planning</i> – planowanie zapotrzebowania materiałowego

MŚP	małe i średnie przedsiębiorstwa
OE	<i>Original Equipment</i> – oryginalne wyposażenie
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i> – producent oryginalnego wyposażenia
OEQ	<i>Original Equipment Quality</i> – części zamienne o jakości podobnej do oryginalnych
PaaS	<i>Platform-as-a-Service</i> – platforma jako usługa technologii chmurowej
PDM	<i>Product Data Management</i> – zarządzanie danymi produktu
PFR	Polski Fundusz Rozwoju
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i> – zarządzanie cyklem życia produktu
RAMI	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i> – model referencyjny architektury przemysłu czwartej generacji RAMI 4.0
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> – systemy (zdalnej) identyfikacji radiowej
SaaS	<i>Software as a Service</i> – oprogramowanie jako usługa technologii chmurowej
SCM	<i>Supply Chain Management</i> – zarządzanie łańcuchem dostaw
SDG	<i>Sustainable Development Goals</i> – cele zrównoważonego rozwoju
SI	sztuczna inteligencja
SLA	<i>Stereolithography</i> – stereolitografia
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i> – selektywne spiekanie laserowe proszków tworzyw i metali
SMU	<i>Smart Manufacturing Unit</i> – pojedyncze jednostki w systemach produkcyjnych
VE	<i>Value Engineering</i> – inżynieria wartości
VR	<i>Virtual Reality</i> – wirtualna rzeczywistość

1. Wprowadzenie

Branża motoryzacyjna w Polsce należy do jednej z najlepiej rozwijających się gałęzi gospodarki w kraju, i to mimo pewnych wahań, spowodowanych w pierwszej kolejności pandemią Covid 19, a później wybuchem wojny w Ukrainie. Obecnie wyraźne ożywienie w tej dziedzinie przemysłu wynika przede wszystkim z poprawy globalnych łańcuchów dostaw i zwiększenia dostępności komponentów, a wy miernym efektem tych zmian są zyski finansowe netto, które w ostatnim kwartale 2022 roku były zdecydowanie większe niż w poprzednich latach [1].

W Polsce produkowane są samochody osobowe, ciężarowe, autobusy miejskie i turystyczne, a także naczepy i przyczepy. Jedną z największych fabryk przemysłu motoryzacyjnego jest przedsiębiorstwo w Tychach, w którym wytwarza się modele: Fiat 500 Abarth 500, Lancia Ypsilon oraz Ford Ka. Niedaleko, bo w Gliwicach, mieści się General Motors Manufacturing Poland, czyli Fabryka Opla, w której powstają modele Astra i Cascada. Na Śląsku, tym razem Dolnym, zlokalizowana jest firma Jelcz-Laskowice, gdzie produkowane są samochody ciężarowe, a konkretnie pojazdy wojskowe o różnej ładowności.

Polskim zagłębiem motoryzacyjnym jest niewątpliwie także Wielkopolska. To tu znajduje się firma Volkswagen z zakładami w Poznaniu i Wrześni wytwarzającymi modele Caddy, Caddy Maxi, Transporter oraz Crafter. W Bolechowie i Środzie Wielkopolskiej swoją siedzibę ma natomiast firma Solaris Bus & Coach S.A., w której powstają autobusy miejskie, międzymiastowe i turystyczne, a także trolejbusy i tramwaje. Do przedsiębiorstw zajmujących się produkcją autobusów i samochodów dostawczych należą również MAN Truck & Bus AG, Volvo Bus Corporation, Scania oraz Kapena S.A. należąca do koncernu Iribus Iveco, zaś poznańska firma Modertrans produkuje tramwaje oraz przeprowadza remonty m.in. autobusów. Wykraczając poza Wielkopolskę, należy wspomnieć o firmie PESA Bydgoszcz SA, producencie pojazdów szynowych.

Myśląc o branży motoryzacyjnej, nie można pominąć firm wytwarzających komponenty i części zamienne do samochodów. Przedsiębiorstwa te zajmują się m.in. produkcją akumulatorów, silników, skrzyń biegów, elementów nadwozi i podwozi oraz wyposażenia samochodowego.

W najbliższych latach, zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej, przemysł motoryzacyjny czeka trudne zadanie związane z produkcją samochodów zeroemisyjnych. W 2030 r. redukcja emisji CO₂ w odniesieniu do samochodów osobowych musi wynieść 55%. Szacuje się więc, że w tym terminie połowa samochodów sprzedawanych w Europie będzie zeroemisyjna [2].

W związku z powyższym firmy będą musiały zmienić, zmodernizować i dostosować swój park maszynowy oraz organizację pracy do nowych wyzwań. Inwestycja w nowoczesne, innowacyjne rozwiązania stanie się koniecznością, szczególnie w obszarze pojazdów elektrycznych, autonomicznych oraz związanych z redukcją emisji dwutlenku węgla. W Polsce już dziś powstają przedsiębiorstwa specjalizujące się w produkcji komponentów dla samochodów zeroemisyjnych. Przykład stanowi firma LG Energy Solution, która jest światowym liderem, a zarazem jednym z największych producentów baterii litowo-jonowych dla przemysłu motoryzacyjnego. W Biskupicach Podgórnym (gmina Kobierzyce) wytwarza się wszystkie komponenty tych ogniw, uzyskując produkt gotowy do montażu w samochodzie.

Działania firm wpisują się w politykę polskiego rządu, dla którego e-mobilność jest zadaniem priorytetowym. Elementami tej strategii są ulgi i dofinansowania dla producentów (np. program „E-bus”), a także projekty wspierające rozwój infrastruktury na rzecz e-mobilności. W okresie najbliższych dziesięciu lat szacowana łączna wartość programów pomocowych w omawianej dziedzinie może wynieść ponad 19 miliardów złotych [3].

Równoległe z nowymi wyzwaniami dotyczącymi ograniczenia emisyjności, firmy z branży motoryzacyjnej znajdują się na etapie zmian związanych z wdrażaniem technologii Przemysłu 4.0. Intensywnie modernizują się i wprowadzają udoskonalenia polegające między innymi na cyfryzacji procesów i większej automatyzacji.

Nowoczesne rozwiązania Przemysłu 4.0 umożliwiają tworzenie inteligentnych fabryk i systemów produkcyjnych, które są w stanie produkować samochody bardziej efektywnie, osiągając jednocześnie lepszą jakość wyrobu. Dzięki zastosowaniu IoT, AI, robotyki, *big data* i innych technologii, producenci samochodów mogą monitorować i kontrolować cały proces produkcyjny w czasie rzeczywistym. Integracja cyfrowa pozwala na bezpośrednią komunikację między urządzeniami

i systemami produkcyjnymi, a co za tym idzie: szybszą reakcją na problemy techniczne oraz możliwość doskonalenia procesów. Sztuczna inteligencja i *big data* pozwalają na przetwarzanie dużych ilości danych produkcyjnych, które można użyć do analizy i optymalizacji procesów produkcyjnych, dzięki czemu minimalizuje się ryzyko podejmowania błędnych decyzji i osiąga lepszą jakość. W przemyśle motoryzacyjnym wiele procesów produkcyjnych jest zrobotyzowanych – dotyczy to szczególnie montażu i transportu. Automatyzacja i robotyzacja zwiększa wydajność, poprawia jakość i przyczynia się do redukcji kosztów produkcji. Inną korzyścią wprowadzenia technologii Przemysłu 4.0 jest możliwość szybszej reakcji na zmieniające się wymagania klientów i ciągłe doskonalenie procesów produkcyjnych zgodnie z trendami dynamicznie rozwijającego się rynku. Wszystko to przekłada się na zwiększenie konkurencyjności polskich przedsiębiorstw motoryzacyjnych w globalnym środowisku biznesowym.

Wymienione powyżej aspekty: szybki rozwój branży, priorytetowość dla polskiego rządu [3], konieczność wdrażania nowych rozwiązań Przemysłu 4.0, stały się przesłanką do podjęcia badań w obszarze oceny stanu zaawansowania wdrożenia tych technologii w branży motoryzacyjnej.

Zbieranie danych metodą sondażu diagnostycznego (ankieta w wersji on-line lub w formie papierowej) przeprowadzono w okresie od lutego do maja 2023 roku. W badaniu wzięły udział 22 przedsiębiorstwa z branży motoryzacyjnej – producenci samochodów osobowych, ciężarowych i autobusów, a także przedstawiciele firm produkujących komponenty i elementy wyposażenia pojazdów.

Badania, których wyniki przedstawiono w niniejszym opracowaniu, wykonano w ramach prac badawczych Sekcji Cyfryzacji Produkcji Komitetu Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk.

Monografia składa się z dziewięciu rozdziałów, w tym części teoretycznej omawiającej następujące zagadnienia: założenia Przemysłu 4.0, definicje Przemysłu 4.0 funkcjonujące w literaturze przedmiotu, istota podejścia strategicznego i analiza trendów w zakresie nowoczesnych procesów informacyjno-decyzyjnych w branży motoryzacyjnej oraz model referencyjny. W opracowaniu wskazano również zasady, których należy przestrzegać przy wdrażaniu w przedsiębiorstwie innowacji Przemysłu 4.0, a także opisano i krótko scharakteryzowano wybrane technologie, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań specyficznych dla przemysłu motoryzacyjnego.

Przejdźmy do części badawczej opracowania są rozdziały: czwarty – na temat wybranych wdrożeń Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach poza granicami Polski

oraz piąty, który zawiera analizę stosowanych podejść metodycznych do oceny stanu zaawansowania takich wdrożeń, w tym: skaner ADMA, weryfikator kompetencji cyfrowych, DMA dla Europejskich Hubów Innowacji Cyfrowych, narzędzia DMA przeznaczone dla małych i średnich przedsiębiorstw oraz dla jednostek sektora publicznego.

Zasadniczą część monografii stanowi rozdział szósty, w którym omówiono wybraną metodę zastosowaną do zebrania danych i informacji od przedstawicieli przedsiębiorstw (sondaż diagnostyczny) oraz omówiono narzędzie badawcze (ankieta), a następnie dokonano szczegółowej analizy pozyskanych danych. W pierwszej kolejności scharakteryzowano respondentów, a na podstawie zagregowanych wyników oceniono stopień wdrożenia w badanych przedsiębiorstwach technologii charakterystycznych dla Przemysłu 4.0.

Analiza danych badawczych umożliwiła także:

- określenie potencjalnych kierunków rozwoju przemysłu motoryzacyjnego w obszarze innowacyjności,
- wytypowanie potencjalnych działań intensyfikujących wdrożenie technologii Przemysłu 4.0. oraz
- scharakteryzowanie profili dostawców nowych technologii dla firm z branży motoryzacyjnej.

Autorzy niniejszej monografii, członkowie Sekcji Cyfryzacji Produkcji KIP PAN, serdecznie dziękują przedstawicielom przedsiębiorstw z branży motoryzacyjnej, którzy zechcieli wziąć udział w badaniu – bez Ich zaangażowania przeprowadzenie analiz, a w efekcie powstanie tej monografii nie byłoby możliwe.

Bardzo dziękujemy również mgr inż. Annie DUDKOWIAK z Politechniki Poznańskiej za pomoc w opracowaniu edycyjnym i statystycznym ankiet oraz dr. Mariuszowi PIECHOWSKIEMU za koordynację działań ankietowych i kontakt z przedsiębiorstwami.

2. Założenia Przemysłu 4.0

W czasach czwartej rewolucji przemysłowej wiele przedsiębiorstw, w tym małych i średnich, przyjmuje koncepcje wirtualnego wytwarzania, aby stawić czoła globalnej konkurencji i najważniejszym wyzwaniom przemysłu wytwórczego.

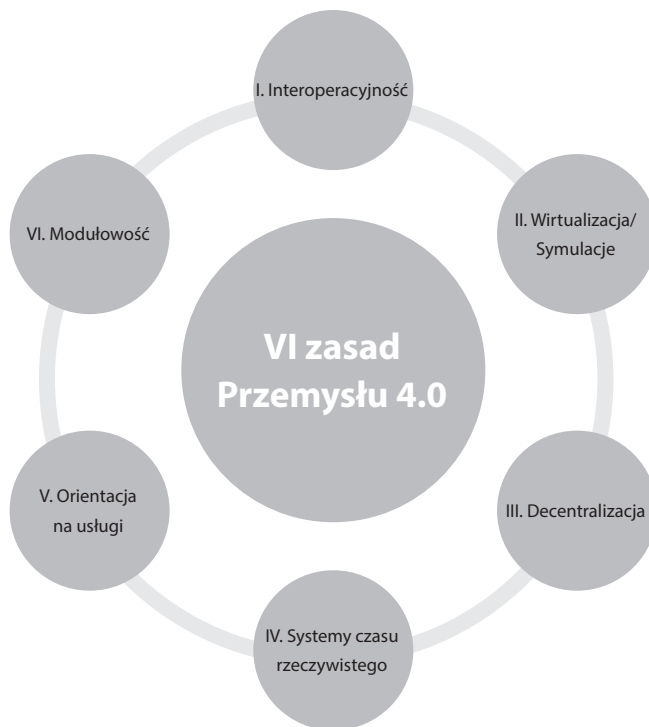
Celem tych działań jest poprawa jakości, skrócenie czasu dostawy wyrobów i zmniejszenie kosztów produkcji. Na czym polega rewolucyjność koncepcji Przemysłu 4.0? W literaturze przedmiotu poświęcono na ten temat wiele miejsca, zaś na potrzeby niniejszego opracowania wybrano najbardziej reprezentatywne definicje analizowanego pojęcia (tabela 2.1).

Tabela 2.1. Przykładowe definicje Przemysłu 4.0

Źródło	Definicja
Przewodnik po technologiach przemysłu [4]	Wielowymiarowa koncepcja wykorzystująca wiele technologii informacyjnych umożliwiających stworzenie autonomicznych inteligentnych systemów produkcyjnych mających możliwość samokonfiguracji, samokontroli, samonaprawiania i pozwalających na podniesienie efektywności i elastyczności wytwarzania.
	Postępująca integracja świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych z wirtualnym światem technologii informacyjnych i Internetu.
<i>Topological Approach for Mapping Technologies in Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)</i> [5]	Innowacja techniczna opierająca się na pionowej i poziomej integracji systemów produkcyjnych, ciągłej inżynierii cyfrowej przez cały cykl życia produktu, a wreszcie na decentralizacji zasobów obliczeniowych.

U podstaw koncepcji Przemysłu 4.0 leżą takie technologie, jak: systemy klasy PLM (*Product Lifecycle Management*), przemysłowy internet rzeczy (*Industrial Internet of Things*, IIoT), cyfrowe bliźniaki (*Digital Twin*, DT), rzeczywistość rozszerzona (*Augmented Reality*, AR) i wirtualna (*Virtual Reality*, VR), masowa

indywidualizacja, chmury obliczeniowe, sztuczna inteligencja, robotyka, czy też systemy cyberfizyczne. Przy wprowadzaniu rozwiązań Przemysłu 4.0 należy przestrzegać sześciu zasad, które w formie graficznej zaprezentowano na rys. 2.1 [6], a szczegółowo omówiono poniżej.



Rys. 2.1. Sześć zasad Przemysłu 4.0 [6]

- I. **Interoperacyjność** – wypracowanie przepływu informacji w przedsiębiorstwie przez automatyzację procesów i integrację systemów informatycznych; cecha produktu lub systemu, którego interfejsy funkcjonują w pełnej zgodności, czyli są zdolne do współpracy z innymi produktami lub systemami, które istnieją lub będą istnieć w przyszłości, bez ograniczenia dostępu lub możliwości implementacji. Interoperacyjność jest pojęciem szerszym od integracji odpowiedzialnej jedynie za wymianę informacji, bowiem traktowana jako właściwość systemów umożliwia zarówno sam przepływ danych, jak i wzajemne zrozumienie komunikatów. Koncepcja zintegrowanego przepływu informacji łączy wszystkie fazy produktu. Automatyzacja

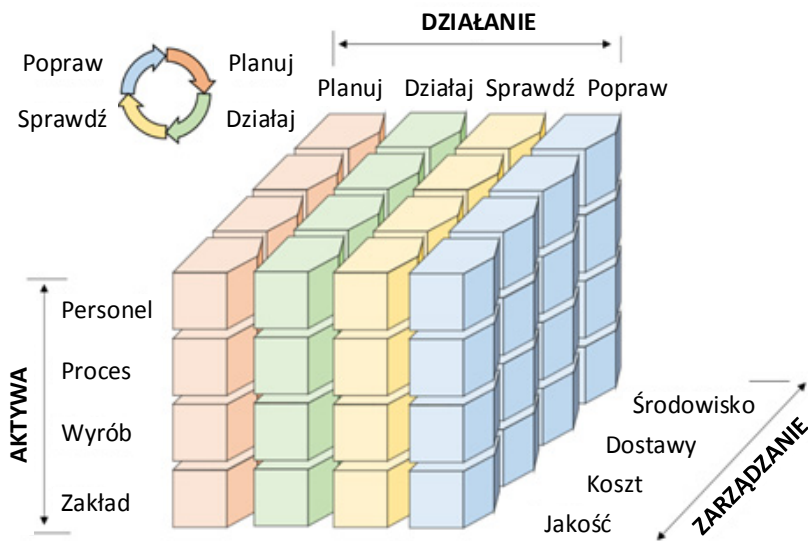
procesów rozwojowych związana jest z ewolucją systemów komputerowego wspomaganie w kierunku systemów inteligentnych stosowanych w realizacji faz rozwojowych.

- II. **Wirtualizacja** – proces, w którym tworzy się symulowane (wirtualne) środowisko, najczęściej komputerowe, wykorzystujące pewne ustalone zasoby fizyczne do budowania cyfrowego bliźniaka fabryki, maszyny lub produktu.
- III. **Decentralizacja** – koncepcja polegająca na odejściu od sekwencyjnej produkcji na rzecz budowy uniwersalnych gniazd wytwórczych. Rolą tej zmiany jest wyeliminowanie wąskich gardeł procesów, z którymi wiąże się dodatkowe koszty oraz ponadnormatywne wytwarzanie odpadów w przypadku awarii maszyny kluczowej w procesie produkcji. Budowa gniazd daje większą elastyczność i ułatwia przekazywanie danych o operacjach wykonywanych na konkretnych stanowiskach w systemie wytwórczym.
- IV. **Pobieranie danych z maszyn i linii produkcyjnych w czasie rzeczywistym** – proces ułatwiający pracownikom bieżący nadzór nad prawidłowością przebiegu procesu. Gromadzenie i wyciąganie wniosków z dużych zbiorów danych jest powszechną praktyką w wielu branżach. Kompletna wiedza dotycząca przeprowadzanego procesu pozwala korygować błędy, zapobiegać im i podejmować świadome decyzje co do strategii produkcyjnych i przyszłych produktów.
- V. **Inwestowanie w systemy produktowo-usługowe (*Product-Service System*)** – działania podejmowane w celu dopasowania oferty firmy do dobrze zidentyfikowanych potrzeb klientów.
- VI. **Modułowość** – takie projektowanie infrastruktury przedsiębiorstwa (zarówno w sferze architektonicznej, jak i procesów produkcyjnych), aby była możliwość zmiany lokalizacji, np. przeniesienie firmy bliżej kluczowego surowca lub klienta.

Globalna cyfryzacja branż i łańcuchów wartości wraz z zapotrzebowaniem na ustrukturyzowane badania i normy, spowodowała powstanie w USA, Chinach, Japonii i Niemczech czterech głównych inicjatyw dotyczących potencjału i wyzwań związanych z cyfryzacją. Ich kluczowym założeniem było wypracowanie i wdrożenie wspólnych standardów i norm, gwarantujących uzyskanie łączności i interoperacyjności między systemami i branżami, niezależnie od stosowanych technologii. Wiodące światowe platformy Przemysłu 4.0 opracowały architektury referencyjne, które pokrótce scharakteryzowano poniżej.

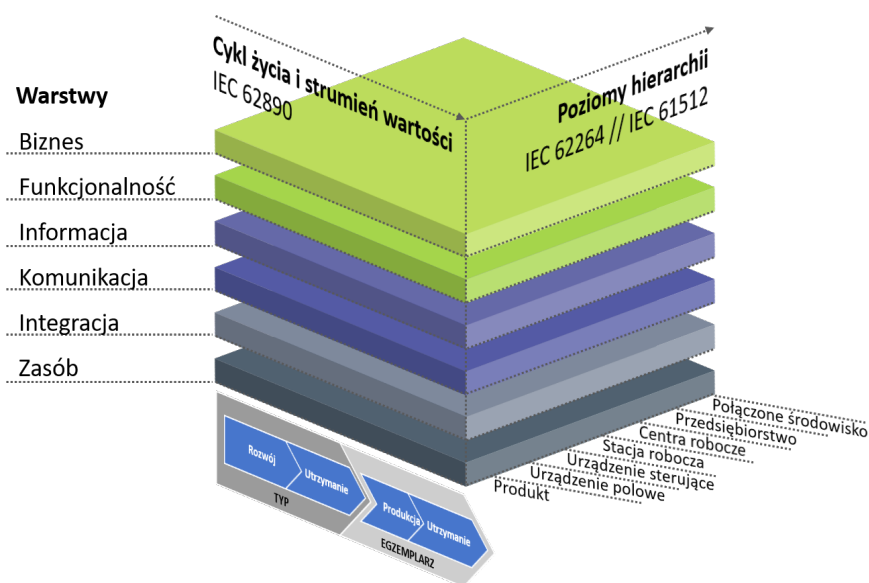
Japanese Industrial Value Chain Initiative (IVI) to platforma łącząca technologie produkcyjne i informatyczne oraz ułatwiająca współpracę między firmami. Założono ją w 2015 roku w celach zwiększenia potencjału procesów produkcyjnych zorientowanych na człowieka oraz budowy wzajemnie powiązanej architektury systemu. Japońska platforma IVI opublikowała w 2016 r. architekturę *Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA)*, której podstawowym zadaniem było wspieranie procesu rozpowszechniania tzw. *Smart Manufacturing Units (SMUs)*, czyli pojedynczych jednostek w systemach produkcyjnych. Wchodząc autonomicznie w integrację z innymi jednostkami poprzez wzajemną komunikację, poprawiają one produktywność i wydajność procesu produkcji.

Model analizuje SMU z trzech różnych perspektyw: aktywów, działań i zarządzania (rys. 2.2). Widok zasobów („Aktywa”) pokazuje to, co dla przedsiębiorstwa najcenniejsze: personel, proces, produkt i zakład, zaś widok „Działanie” odpowiada na pytanie, w jaki sposób inteligentna produkcja uzyskuje wartości, rozumiane jako wynik działań skorelowanych wspólnym Cyklem Deminga (planuj, działaj, sprawdź, popraw). Trzecia perspektywa („Zarządzanie”) obejmuje cele i wskaźniki istotne dla zarządzania, takie jak: jakość, koszt, dostawa i środowisko, które stosuje się do sterowania aktywami i działaniami [7].



Rys. 2.2. Trzy perspektywy inteligentnej jednostki wytwórczej SMU (Smart Manufacturing Unit) [7]

Niemiecka **Platforma Industrie 4.0** służy do badań w obszarze Industrie 4.0 oraz wspierania realizacji tej wizji w przedsiębiorstwach produkcyjnych. W tym celu identyfikuje wszystkie istotne technologie i zmiany w przemyśle wytwórczym oraz wdraża jednolite zrozumienie istoty Przemysłu 4.0. Kluczowym zadaniem jest zbudowanie wspólnej sieci badań i wiedzy oraz umiejętności i zasobów w zakresie przedsiębiorczości, dzięki której możliwe byłoby łączenie technologii oraz implementowanie tych rozwiązań do kolejnych projektów. Aby wesprzeć badania, procesy normalizacyjne, a także samych praktyków, platforma Industrie 4.0 opracowała w 2015 r. referencyjny model architektoniczny Industrie 4.0 (RAMI 4.0), który wizualizowany jest jako trójwymiarowa, warstwowa struktura opisująca wszystkie kluczowe aspekty Przemysłu 4.0 (rys. 2.3).



Rys. 2.3. Podstawowa struktura hierarchicznych poziomów wymiarów, sześciu warstw i cyklu życia oraz łańcucha wartości modelu referencyjnego RAMI 4.0 [8]

Analizując podstawową strukturę modelu z rys. 2.3, można zauważyć, że RAMI 4.0 integruje trzy wymiary – osie Przemysłu 4.0:

I. Poziomy hierarchii

Na prawej osi pn. „poziomy hierarchii” zaznaczono warstwy oparte na serii międzynarodowych norm dotyczących systemów informatycznych i stero-

wania przedsiębiorstwami (IEC 62264), które reprezentują różne funkcje realizowane w fabrykach lub obiektach. W celu integracji ze środowiskiem Industrie 4.0, funkcje te rozszerzono o elementy wytwarzane („produkt”) oraz kategorię połączenia z internetem rzeczy i usług („połączone środowisko”). Poziomy hierarchiczne składające się z siedmiu indywidualnych poziomów (od dołu do góry) obejmują kategorie [8, 9]:

- **produkt** – ze względu na swoją zdolność do komunikowania się są elementami aktywnymi w systemie produkcyjnym; dostarczają informacji na temat ich indywidualnych właściwości i niezbędnych etapów produkcji,
- **urządzenie polowe** – w tym czujniki i siłowniki, urządzenia sterujące poziomem,
- **urządzenie sterujące** – kontrolery i wbudowane kontrolery,
- **stacja robocza** – maszyny produkcyjne, roboty oraz inteligentne pojazdy logistyczne stacji,
- **centra robocze** – działy obejmujące wydzielone jednostki produkcyjne firmy,
- **przedsiębiorstwo** – firma jako całość,
- **połączone środowisko** – reprezentuje zewnętrzne sieci przedsiębiorstwa (np. współpraca z partnerami biznesowymi i klientami), a także usługi internetowe.

II. Cykl życia i strumień wartości

Kolejna oś opisuje cykl życia i łańcuch wartości komponentu Industrie 4.0, a jej struktura oparta jest na normie IEC 62890 i zakłada podstawowy podział na typ i egzemplarz.

„Typ” jest nieodłącznie związany z podstawową ideą produktu i obejmuje fazy od przyjęcia zamówienia, przez rozwój produktu do produkcji prototypu. Natomiast z „egzemplarzem” mamy do czynienia po pomyślnym zakończeniu wszystkich testów, jako wynik procesu produkcji. Zarówno w obszarze „typ”, jak i „egzemplarz” można wyróżnić dwie fazy, odpowiednio: „rozwój i utrzymanie” oraz „produkcja i utrzymanie”.

III. Warstwy

Sześć warstw na osi pionowej to wirtualne odwzorowanie maszyny, skupione na jej właściwościach. Takie reprezentacje wywodzą się z technologii informacyjnych i komunikacyjnych, gdzie dekomponuje się złożony system na warstwy odpowiadające danej cesze tegoż systemu.

W analizowanym przypadku każdy komponent składa się z sześciu warstw. Poczynając od najniższej, wyróżnia się kategorie: „zasób”, „integracja”, „komunikacja”, „informacja”, „funkcjonalność” i „biznes”. Co istotne: choć każda warstwa wyraźnie różni się od pozostałych, to elementy w obrębie każdej z nich powinny być jednorodne pod względem swoich atrybutów. Najniższą warstwą jest „zasób” – reprezentacja fizyczna rzeczywistości, która zawiera zarówno obiekty, takie jak maszyny, czujniki i dokumenty, jak i ludzi. Ponadto do tej warstwy przypisywane są obiekty niematerialne: modele, pomysły lub patenty. Każdy element lub funkcja zawarte w wyższych warstwach, muszą być przypisane do obiektu warstwy „zasób”. Warstwa „integracja” obsługuje dostarczanie informacji związanych z zasobami fizycznymi (geometria, sprzęt i oprogramowanie) do wyższych poziomów. Zawiera wszystkie elementy związane z IT, w tym interfejsy HMI i generuje zdarzenia na podstawie pozyskanych informacji. Warstwa ta jest zatem odpowiedzialna za ostateczną kontrolę procesów technicznych, zaś zadaniem kolejnej („komunikacja”) jest umożliwienie wymiany informacji pomiędzy różnymi elementami sieci na podstawie jednolitych protokołów komunikacyjnych i formatów danych oraz świadczenie usług kontroli integracyjnej warstwy.

W warstwie „informacja” odbywa się regułowe (wstępne) przetwarzanie zdarzeń odbieranych z niższego poziomu. Na tym etapie sprawdza się dane pod kątem integralności, sumuje w nowe dane o wyższej jakości i udostępnia warstwom nadrzędnym za pośrednictwem interfejsów.

Warstwa „funkcjonalność” reprezentuje środowisko wykonawcze usług i aplikacji. Jest platformą do poziomej integracji różnych funkcji, która generuje reguły oraz logikę aplikacji. Co istotne, zdalny dostęp oraz integracja odbywa się tylko tutaj, bez ingerencji w leżące poniżej warstwy. Zapewnia to integralność informacji, a także właściwy poziom techniczny. Najwyższa warstwa „biznes” obejmuje abstrakcyjne modele biznesowe i wynikającą z nich logikę procesu. Ponadto zapewnia ramy prawne i regulacyjne oraz integralność funkcji w całym łańcuchu wartości.

Omówione wyżej trzy osie odwzorowują wszystkie kluczowe aspekty Przemysłu 4.0, umożliwiając klasyfikację obiektów zgodnie z modelem. W ten sposób wysoce elastyczne koncepcje Industrie 4.0 da się opisać i wdrożyć za pomocą RAMI 4.0, choć zadanie to niesie ze sobą wiele wyzwań.

Największymi z nich są różnorodność systemów, a także coraz większa skala zastosowań technologii internetowych w obszarze produkcji oraz fuzja cyberfizycznych systemów produkcyjnych (CPPS) z internetem rzeczy, internetem usług i Internetem. W procesy te wpisane jest ryzyko przenoszenia przez dane zagrożeń związanych z wrażliwymi systemami informatycznymi i rozprzestrzenienia ich na wszystkie procesy zachodzące w zakładzie przemysłowym.

RAMI 4.0 jest wspólnym punktem odniesienia dla modelowania systemów w Industrie 4.0 i w dłuższej perspektywie musi uwzględnić bezpieczeństwo IT jako jedną z kluczowych cech projektu. Aby w pełni wykorzystać potencjał aplikacji Industrie 4.0, należy opracować odporne i godne zaufania komponenty na poziomie zasobów (*Security by Design*) oraz protokoły zabezpieczeń sieci, procesów, usług i danych adresowych na poziomie systemu. Omawiane podejście nie obejmuje jeszcze konkretnych rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa, ale można je rozszerzyć o dalsze wymiary, aby uwzględnić luki w zabezpieczeniach. Model pomaga klasyfikować i identyfikować obszary Przemysłu 4.0 oraz tworzy solidne podstawy do dalszego rozwoju technologii, niemniej jest dość abstrakcyjny i, w szczególności dla MŚP, jego zastosowanie w praktyce przemysłowej może być jak na razie zbyt skomplikowane. W tej chwili użycie RAMI 4.0 ogranicza się do instytucji badawczych i pierwszych indywidualnych przypadków użycia. Ostatecznie jednak przedsiębiorstwa będą musiały zaangażować znaczne środki w wypełnienie modelu określonymi technologiami, aby zastosować ten generyczny model w praktyce przemysłowej.

Podejście topologiczne opisane w pracy [5] zapełnia RAMI 4.0 odpowiednimi technologiami, które są szczególnie ważne w kontekście Przemysłu 4.0, w tym przede wszystkim: inżynieria 4.0 i inteligentna fabryka oraz rozwój w kierunku inteligentnych produktów i usług (rozdz. 3).

Strategia **Made in China 2025** jest częścią większej kampanii modernizacyjnej Chin. Podstawowymi elementami planu są: zwiększone zdolności wytwórcze, lepsza jakość i wydajność, a także zielony rozwój. Zakłada się, że do 2025 r. dojdzie do pełnej integracji przemysłu i technologii informacyjnych oraz znacząco zwiększy się poziom innowacji i wydajności produkcji [10]. Strategię oficjalnie zaprezentowano w 2015 roku, zakładając realizację planu na 10 lat. Głównym celem podejmowanych działań jest zmiana jakościowa: przejście od dużej skali produkcji do produkcji o dużej wydajności. Osiągnięcie tego zamierzenia wymaga realizacji pięciu zadań:

1. zbudowania sieci narodowych centrów do koordynowania innowacji produkcji, prowadzenia badań, przeprowadzania szkoleń oraz wdrożeń,
2. realizacji projektów w zakresie inteligentnego przemysłu stosującego transformację cyfrową i sztuczną inteligencję,
3. wzmocnienia bazy przemysłowej,
4. zwrócenia uwagi na projekty ekologiczne,
5. uzyskania wysokiego poziomu innowacji w zakładach produkcyjnych.

Do wsparcia realizacji tej inicjatywy zaproponowano strategię **Internet Plus** [11], która ma na celu unowocześnienie przemysłu przez użycie technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych. W ramach tego planu opracowano architekturę referencyjną IMSA – *Intelligent Manufacturing System Architecture* korzystającą z trójwymiarowego modelu referencyjnego (bardzo podobnego do tego, jaki stosuje RAMI 4.0), który obejmuje obszary:

- **cykl życia** – ciąg wzajemnie powiązanych działań związanych z tworzeniem wartości dodanej na wszystkich etapach cyklu,
- **hierarchia systemowa** dotycząca podziału struktury organizacyjnej związanej z działalnością przedsiębiorstwa,
- **inteligentne funkcje** obejmujące działania odnoszące się do integracji zasobów i informacji.

Omówione architektury referencyjne są przeznaczone dla obszaru produkcyjnego realizowanego przez przemysł; do tej samej kategorii można zaliczyć *Industrial Internet Reference Architecture* (IIRA), tj. architekturę opracowaną przez *Industrial Internet Consortium* (IIC) – porozumienie zawarte w 2014 roku przez największe firmy telekomunikacyjne i technologiczne w USA. Projekt ma na celu przyspieszenie rozwoju i wdrażania połączonych maszyn i urządzeń, a także inteligentnych narzędzi analitycznych, nie tylko w środowiskach produkcyjnych, ale także w obszarach takich jak energia, transport i inteligentne miasta. Jego celem jest identyfikacja i promocja najlepszych praktyk w tych obszarach, a jednocześnie integracja praktyków, badaczy i instytucji rządowych. Ramy IIRA obejmują: cztery perspektywy – biznesową, użytkownika, funkcjonalną i wdrożenia, proces cyklu życia (wyspecjalizowany dla każdego sektora przemysłowego) i sektory przemysłowe – wytwórczy, transportowy, paliwowo-energetyczny, farmaceutyczny i ochrony zdrowia [9].

Na poziomie krajowym (w ramach prac Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości) do oceny dojrzałości transformacyjnej przedsiębiorstwa w kierunku Przemysłu

słu 4.0 stosuje się model ADMA [12] omówiony w rozdziale 5. Ocena dojrzałości cyfrowej fabryk przeprowadzana jest za pomocą ustandaryzowanej metodyki ADvanced MAnufacturing w zakresie 7 obszarów transformacji:

- zaawansowane technologie produkcyjne,
- fabryka cyfrowa,
- fabryka ekologiczna,
- kompleksowa inżynieria zorientowana na klienta,
- organizacja skupiona na ludziach,
- inteligentne wytwarzanie,
- otwarta fabryka jako część łańcucha wartości.

Do najważniejszych celów wdrożenia wymienionej wyżej metody można zaliczyć:

- wskazanie dobrych praktyk w zakresie transformacji cyfrowej i promocja wdrażania innowacyjnych rozwiązań w przedsiębiorstwach produkcyjnych w Polsce,
- wsparcie fabryk w ich drodze do Przemysłu 4.0,
- inspirowanie transformacji cyfrowej małych i średnich przedsiębiorstw.

3. Charakterystyka wybranych technologii Przemysłu 4.0

3.1. *Big data* oraz analiza danych

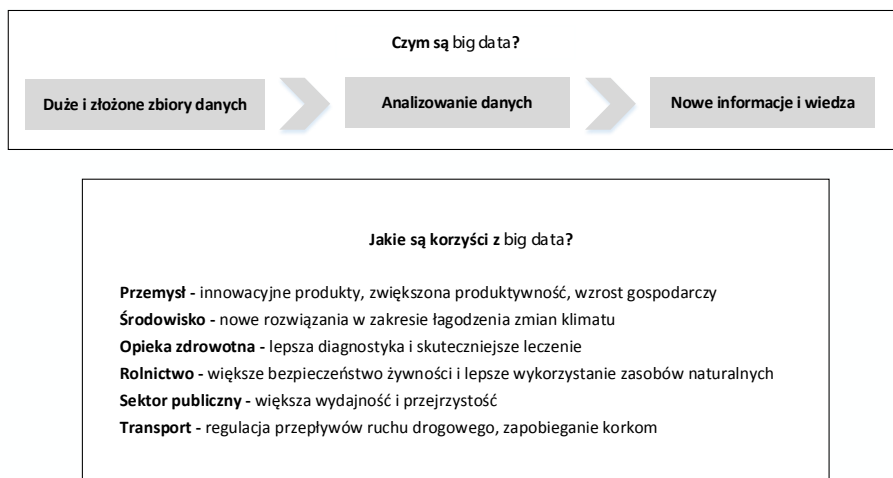
Obsługa aplikacji, które operują na ogromnych zbiorach danych, np. portali społecznościowych, przekracza możliwości zwykłych baz relacyjnych. Praca z takimi zasobami wymaga architektury obejmującej wielomaszynowe klastry, dzięki którym możliwe jest przechowywanie i przesyłanie informacji praktycznie dowolnej wielkości. Ponadto tego rodzaju architektura powinna cechować się prostotą użycia, niezawodnością i skalowalnością [13, 14].

Big data odnosi się do zbiorów danych, które są tak duże i złożone, że do przetwarzania wymagają nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja. Co ważne, dane te pochodzą z wielu różnych źródeł – ludzie tworzą je w aplikacjach mobilnych i Internecie, w tym w mediach społecznościowych i transakcjach handlowych, rejestrach administracji elektronicznej itp. Generują je też urządzenia, a następnie gromadzą za pomocą czujników w obiektach podłączonych do internetu rzeczy, w tym chociażby w inteligentnych samochodach, fabrykach, satelitach GPS lub satelitach zbierających dane pogodowe.

Procesy produkcji w coraz większym zakresie podlegają cyfryzacji, co oznacza, że codziennie, zarówno w kontekście działalności gospodarczej, jak i prywatnej lub społecznej aktywności ludzi, powstają ogromne ilości cyfrowych danych. Komisja Europejska przewiduje, że do 2025 r. ich całkowita liczba w skali świata wzrośnie o 530% w porównaniu z 2018 rokiem. *Big data* można stosować w wielu obszarach, jak np. przemysł, środowisko, opieka zdrowotna, rolnictwo, sektor publiczny lub transport, co szczegółowiej przedstawia rys. 3.1.

Technologia *big data* jest istotna z punktu widzenia Przemysłu 4.0, gdyż umożliwia przedsiębiorstwom wprowadzanie innowacji, czy to przez precyzyjniejszą analizę potrzeb ludzi, czy to przez oferowanie zupełnie nowych produktów. Podczas gdy dane osobowe mają kluczowe znaczenie dla działania aplikacji i platform,

które stały się ważną częścią naszego życia i gospodarki, lepsze wykorzystywanie danych przemysłowych mogłoby wywołać nową falę innowacji w Przemysle 4.0. Dane mogą również zwiększyć produktywność i obniżyć koszty, na przykład dzięki przewidywaniu sprzedaży lub częstotliwości serwisów w inteligentnych fabrykach [15].



Rys. 3.1. Koncepcja *big data* (opracowanie własne na podstawie [15])

Zaawansowana analiza danych z zastosowaniem narzędzi klasy *Business Intelligence* powinna być dziś standardem w przedsiębiorstwach. Gromadzenie danych (w czasie zbliżonym do rzeczywistego) pomaga bowiem w przewidywaniu przyszłych zdarzeń i zachowań oraz w lepszym rozumieniu tego, co dzieje się w danej chwili w firmie i to w każdym dziale. Modele analizy danych mogą skutecznie wspierać przedsiębiorstwa w rozwiązywaniu problemów w ciągle zmieniającej się rzeczywistości. Duże zbiory danych stanowią precyzyjne narzędzie do pomiaru parametrów procesów, przewidywania i podejmowania właściwych decyzji oraz przeprowadzania skutecznych interwencji w obszarach, w których dotąd kierowano się tylko intuicją, a nie konkretnymi, wymiernymi wartościami.

Dzięki masowemu gromadzeniu danych coraz częściej stosuje się analizę dużych zbiorów danych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Różnice między *big data* a analizą danych to kwestia ilości, szybkości i różnorodności danych, które są zwykle zmienne i różnorodne, w tym pod względem formatu. W celu ich skutecznego interpretowania należy minimalizować szумы i dane odstające lub niekom-

pletne, dlatego też systemy do analizy *big data* zawierają narzędzia do wstępnego czyszczenia danych. Ponadto umożliwiają wizualizację wyników różnych analiz statystycznych i modeli uczenia maszynowego w czasie rzeczywistym w trzech wymiarach (3D), dzięki czemu ich zrozumienie jest intuicyjne. Wymienione wyżej funkcje wymagają integracji wszystkich istotnych wewnętrznych i zewnętrznych źródeł danych oraz możliwie szybkiego identyfikowania wzorców w bardzo dużych zbiorach danych i przełożenia ich na przydatne informacje biznesowe.

Analiza danych jest procesem przetwarzania danych w celu uzyskania na ich podstawie użytecznych informacji i wyciągnięcia wniosków. W procesie tym użyteczne są metody statystyczne lub eksploracyjne, a obecnie coraz częściej korzysta się z analityki danych – technologii wywodzącej się z analizy statystycznej i eksploracji danych, której istotą jest rozumienie informacji i identyfikowanie sposobów przekształcenia danych w praktyczne strategie biznesowe za pomocą zaawansowanych programów komputerowych. Widocznym trendem jest budowanie platform analitycznych, które zwiększają efektywność przetwarzania danych i są bardziej bezpieczne [16, 17].

3.2. Chmura obliczeniowa

Jeszcze parę lat temu udostępnienie dużej, popularnej aplikacji wiązało się z ogromnymi wydatkami na infrastrukturę. Konieczne było posiadanie własnej serwerowni lub wynajmowanie przestrzeni w centrum danych. Obecnie można otrzymać dokładnie tyle mocy obliczeniowej i przestrzeni dyskowej, ile w danej chwili jest nam niezbędne [18]. Decyzja o przeniesieniu zasobów informatycznych do chmury jest podejmowana najczęściej wtedy, gdy niezawodność i bezpieczeństwo systemu są dla firmy sprawą kluczową.

Dobrym przykładem rozwiązań opartych na chmurze obliczeniowej jest Azure firmy Microsoft. Platforma ta udostępnia usługi, które umożliwiają rozbudowę i monitorowanie aplikacji, baz danych oraz innych usług, a także zarządzanie nimi w sposób globalny. Ponadto zapewnia wirtualizację rozmaitych systemów, takich jak Windows i Linux, dystrybucje serwerowe, strony WWW, aplikacje ASP.NET, systemy CMS, bazy danych, a także rozproszone klastry obliczeniowe [19].

Definiując pojęcie chmury obliczeniowej (*cloud computing*), należy stwierdzić, że jest to nowoczesna technologia służąca do przechowywania, przetwarzania i zarządzania danymi, której działanie oparte jest na współdzielonych zasobach (oprogramowaniu i infrastrukturze) dostarczanych przez dostawcę z danej organi-

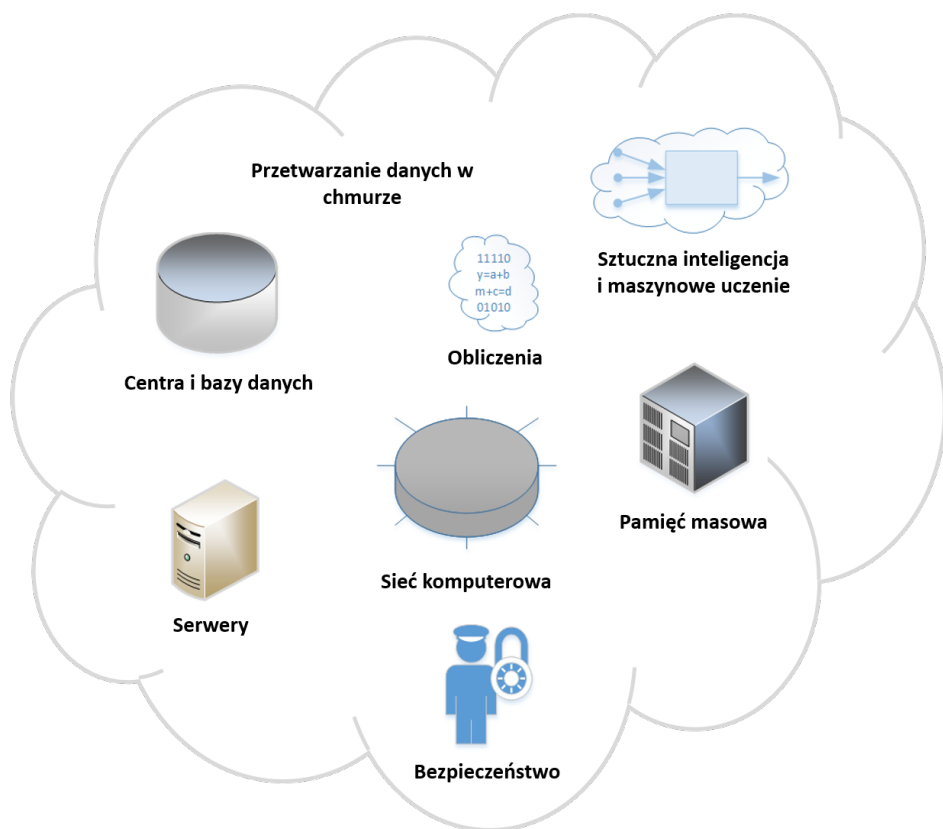
zacji lub spoza niej. Oczywiście dostęp do zasobów odbywa się przez Internet [20]. Chmura obliczeniowa jest najpopularniejszym i coraz powszechniejszym trendem ostatniej dekady. Zdaniem specjalistów niedługo będzie stosowana przez większość przedsiębiorstw na świecie, zwłaszcza że przynosi organizacjom wiele korzyści – od niższych kosztów po gwarancję bezpieczeństwa danych. Model chmury zakłada przechowywanie danych, plików oraz aplikacji na serwerach utrzymywanych przez administratora [21, 22], które są rozmieszczone na całym świecie, poza lokalną siecią firmową. Dzięki temu można zapomnieć o kosztach zakupu własnej infrastruktury, nic więc dziwnego, że chmura obliczeniowa jest coraz bardziej popularna i doceniana, nie tylko zresztą za oszczędność – także za mobilność, bezpieczeństwo i skalowalność. Narzędzie to stanowi bowiem połączenie oprogramowania pośredniczącego i programów służących do wykonywania skomplikowanych obliczeń, przetwarzania i analiz, a także do przechowywania danych, tworzenia sieci baz danych i innych usług świadczonych za pomocą Internetu.

Ważnym aspektem funkcjonowania chmury jest zindywidualizowanie aplikacji i usług przez dostosowanie ich do konkretnych wymagań i posłużenie się do tego celu odpowiednio dobranymi narzędziami.

Wśród najważniejszych obszarów usług oferowanych w chmurze można wyróżnić:

- **IaaS** (*Infrastructure-as-a-Service*) – infrastrukturę przetwarzania w chmurze, zapewniającą zasoby sieciowe, pamięci masowe i obliczeniowe, które są przekazywane za pośrednictwem Internetu w ramach skalowalnego modelu subskrypcji [23],
- **PaaS** (*Platform-as-a-Service*) – całościowe środowisko deweloperskie i wdrożeniowe w chmurze, które obejmuje zasoby pozwalające na dostarczanie dowolnego rozwiązania (od prostych po złożone aplikacje oparte na rozwiązaniach chmurowych) [24],
- **SaaS** (*Software-as-a-Service*) – model udostępniania oprogramowania w chmurze, w którym dostawca rozwija i utrzymuje aplikacje chmurowe, zapewnia ich automatyczne aktualizacje i udostępnia oprogramowanie swoim klientom za pośrednictwem Internetu w zależności od stopnia wykorzystania zasobów [25].

Na rys. 3.2 zwizualizowano składniki modelu przetwarzania w chmurze, w tym serwery, pamięć masową, centra i bazy danych, sieci komputerowe, sztuczną inteligencję wraz z maszynowym uczeniem oraz obliczenia wymagające odpowiedniego oprogramowania.



Rys. 3.2. Przetwarzanie w chmurze (opracowanie własne na podstawie [26])

Chmura obliczeniowa stanowi podstawę wszystkich innowacji wspomaganych przez Przemysł 4.0, ponieważ umożliwia wydajną komunikację w łańcuchu dostaw i daje możliwość uwolnienia pełnego potencjału pozostałych przełomowych technologii, czyli robotyki, sztucznej inteligencji (w tym uczenia maszynowego), internetu rzeczy, geolokalizacji i śledzenia przesyłek, a także kontroli technicznej na każdym etapie wytwarzania. Rozwiązania chmurowe harmonizują cały proces: od złożenia zamówienia i dostarczenia komponentów potrzebnych do produkcji, aż do wysyłki towaru oraz świadczenia usług posprzedażowych.

Połączenie informacji z działów planowania i rozwoju z danymi dotyczącymi łańcucha dostaw ułatwia fabrykom przygotowanie do produkcji i znacząco skraca drogę od pomysłu, koncepcji do gotowego produktu. Sam internet rzeczy zastępuje procedury wykonywane uprzednio przez ludzi komunikacją między maszynami, stosując przetwarzanie w chmurze do automatyzacji procesów obliczania stanów

magazynowych, czasów dostaw lub tras. Umożliwia to producentom i sprzedawcom śledzenie pojedynczych elementów w ich łańcuchach dostaw, a co za tym idzie, zarządzanie w czasie rzeczywistym wszystkimi elementami składającymi się na ten proces. Niezbędne do tego elementy, tj. zmienna w czasie moc obliczeniowa oraz narzędzia do obsługi i integracji danych, są dostępne w chmurze. W ten sposób uzyskuje się wysoką elastyczność procesu, bez strat w zakresie efektywności systemów zarządzania produkcją, a także sprawną komunikację między wszystkimi pracownikami odpowiedzialnymi za kolejne fazy produkcji.

Firmy tworzące łańcuchy mogą wykorzystać do komunikacji wspólną chmurę obliczeniową – taka jednoczesna dostępność do pełniejszej informacji w czasie rzeczywistym umożliwia lepszą znajomość aktualnej sytuacji i daje szansę szybszego reagowania na potencjalne problemy. Ułatwia także zapewnienie i poprawę wydajności przy zminimalizowanym ryzyku powtarzających się problemów, a także utrzymanie stałej łączności z dostawcami i klientami; dzięki chmurze można udostępniać na zewnątrz ważne dane bez obaw o ich bezpieczeństwo.

Narzędzie to zapewnia także skalowalną i elastyczną moc obliczeniową, która pozwala na przeprowadzanie dokładniejszych i szybszych analiz na większej liczbie danych, co przekłada się na precyzyjniejsze przewidywanie zmian oraz skuteczniejsze reagowanie na właściwie zidentyfikowane problemy i zagrożenia.

Możliwości, jakie technologia chmurowa oferuje systemom produkcji, odpowiadają idei samego Przemysłu 4.0, czyli całkowitej transformacji cyfrowej produktów, usług i modeli biznesowych [27].

3.3. Sztuczna inteligencja

Według Johna McCarthy'ego, twórcy terminu powstałego w 1956 r. na konferencji w Dartmouth, sztuczna inteligencja (AI) jest nauką, która obejmuje inżynierię tworzenia inteligentnych maszyn, a szczególnie inteligentnych programów komputerowych [28]. Obejmuje także tworzenie modeli i programów, które jedynie częściowo symulują zachowania inteligentne [29]. Andreas Kaplan i Michael Haenlein definiują AI jako *zdolność systemu do prawidłowego interpretowania danych pochodzących z zewnętrznych źródeł, nauki na ich podstawie oraz wykorzystywania tej wiedzy, aby wykonywać określone zadania i osiągać cele poprzez elastyczne dostosowanie* [30]. Praktycznie codziennie korzystamy z osiągnięć sztucznej inteligencji, a mimo to jej potencjał wciąż jest zagadką: nie wiemy, gdzie

leżą granice jej rozwoju i jakie jeszcze technologie przyniesie nam ta relatywnie młoda dziedzina nauki. Równocześnie niektóre zastosowania sztucznej inteligencji budzą niepokój i zmuszają do zadawania trudnych pytań. Próba odpowiedzi na te pytania wymaga jednak wiedzy o tym, czym w istocie jest ta dziedzina i jakie są jej ograniczenia [31, 32].

Sztuczna inteligencja leży u podstaw rozwoju Przemysłu 4.0, koncepcji, która w zależności od potrzeb i celu sięga po różne metody AI, w tym eksplorację danych (*data mining*) i maszynowe uczenie (*machine learning*). Narzędzia te odgrywają ogromną rolę w odkrywaniu wiedzy na podstawie istniejących baz danych. Wśród metod AI na szczególną uwagę zasługują:

- **systemy oparte na wiedzy** – systemy ekspertowe składające się z trzech głównych komponentów: bazy wiedzy, mechanizmu wnioskowania i interfejsu użytkownika; służą do rozwiązywania skomplikowanych problemów, dostarczając rozwiązań, zaleceń i diagnoz; wspomagają bądź zastępują ludzkich ekspertów,
- **metody logiki rozmytej** – umożliwiają podejmowanie decyzji w środowisku, w którym cele i ograniczenia są rozmyte,
- **sieci neuronowe** – programowe lub sprzętowe modele struktur matematycznych, realizujące obliczenia lub przetwarzanie sygnałów przez rzędy elementów przetwarzających, zwanych sztucznymi neuronami,
- **lasy losowe i drzewa decyzyjne** – podstawowa metoda (oparta na analizie przykładów) indukcyjnego uczenia się maszyn pozwalająca na generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych i umożliwiająca ich zwarty zapis, a także znacząco skracająca czas wnioskowania,
- **algorytmy genetyczne** – metoda optymalizacji złożonych problemów, rodzaj heurystyki przeszukującej przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu znalezienia najlepszych rozwiązań,
- **technologia inteligentnych agentów** – inteligencja rozproszona, która stanowi bardzo dobre narzędzie w projektowaniu i wdrażaniu wydajnych rozproszonych systemów inteligentnych.

Gałęzią sztucznej inteligencji jest **uczenie maszynowe (ML)**, zdefiniowane przez Petera Flacha, holenderskiego profesora sztucznej inteligencji, jako nauka o algorytmach i systemach ulepszających swoją wiedzę i wyniki wraz ze zdobywanym doświadczeniem. Z kolei Artur Samuel z IBM, popularyzator terminu zajmujący się m.in. programami do szkolenia szachistów, uważał uczenie ma-

szynowe za dziedzinę, która zajmuje się sprawianiem, żeby komputery mogły uczyć się bez zaprogramowania wprost. Najnowsze i najbardziej popularne określenie wprowadził Tom Mitchell – według niego ML polega na tym, że program komputerowy uczy się na podstawie doświadczenia (E – *experience*) w odniesieniu do pewnej klasy zadań (T – *tasks*) i miary efektywności (P – *performance*), przy czym im większa wartość E, tym lepsza efektywność wykonania zadania T (mierzona za pomocą P). A zatem algorytmy uczenia maszynowego uczą się jak ludzie: rozpoznają dany obiekt w innych, wcześniej nieznanach okolicznościach na podstawie wielu przykładów, tyle że za pomocą odpowiednich obliczeń. Tworzą model z listą instrukcji do wykonania na podstawie analizy danych uczących, a pojedynczym obiektem w gromadzonym i przetwarzanym zbiorze informacji jest próbka lub instancja, zwykle z atrybutami, czyli cechami używanymi do opisanego [33].

Wśród rodzajów procesów uczenia się przez komputery można wymienić: uczenie nadzorowane, częściowo nadzorowane, bez nadzoru, uczenie na bieżąco i ze wzmocnieniem. W pierwszym przypadku maszyny uczą się na podstawie danych wejściowych, a także żądanych wartości wyjściowych. Tak wytrenowane programy wypracowują funkcję, którą stosują w nowych przykładach obejmujących wyłącznie dane wejściowe. Uczenie bez nadzoru również wymaga szukania wzorców i relacji, ale bez informacji o zakładanym rezultacie. W procesie częściowym algorytmy dostają oba rodzaje danych i dla niektórych z nich muszą samodzielnie wskazać odpowiedzi. Na bieżąco (*on-line machine learning*) programy szkolą się z użyciem strumienia danych, których sekwencja ulega ciągłej zmianie, a modele ewoluują wraz z nowymi zestawami informacji. Po tego typu ML sięga się tam, gdzie analizowanie całego zbioru jest niemożliwe z powodu ograniczeń mocy obliczeniowej, bądź w sytuacjach, gdy trzeba szybko dostosować algorytm do nowych wzorców, np. przy przewidywaniu cen akcji na giełdzie. W typie wzmocnionym maszyna uzyskuje nie tylko dane uczące, ale także reguły i działania. Ilustracją może być koordynacja pracy robotów, która wymaga dostosowania ilości dostępnego surowca do wymagań wytwarzanego produktu [33].

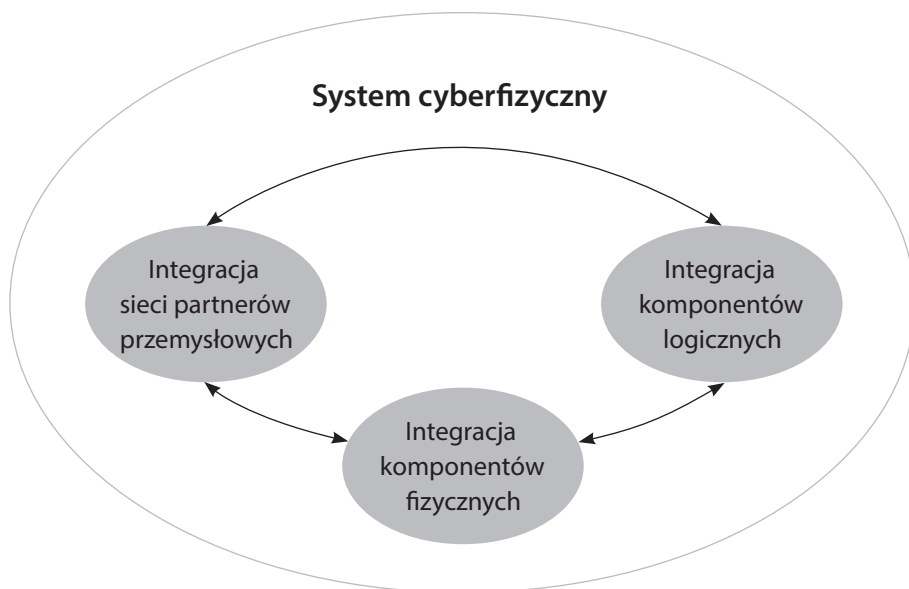
3.4. System cyberfizyczny

Systemy cyberfizyczne (*cyberphysical systems*, CPS) funkcjonują na granicy światów cyfrowego i fizycznego. Znajdziemy je w układach pojazdów autonomicznych i inteligentnych sieciach energetycznych oraz w licznych wielkoskalowych

technologiach o kluczowym znaczeniu w zakresie bezpieczeństwa. Można z całą pewnością stwierdzić, że systemy CPS będą definiować naszą przyszłość [34]. Stosuje się je do monitorowania i sterowania urządzeniami w świecie fizycznym oraz procesami. Dzięki nim możliwe staje się tworzenie pętli sprzężenia zwrotnego, które polega na naprzemiennym posługiwaniu się wynikami procesów fizycznych i obliczeń do sterowania procesami. CPS najczęściej funkcjonują jako systemy wbudowane w większą całość, pełniąc funkcję sieci monitorującej i kontrolującej procesy fizyczne stanowiące źródło danych do obliczania sygnału sterującego obiektami [35]. Internet rzeczy przekształca różne dziedziny, w tym inteligentne zarządzanie produkcją lub energią, umożliwiając integrację złożonych komponentów cyfrowych i fizycznych w rozproszonych systemach cyberfizycznych (DCPS).

Bezprzewodowy sieciowy system cyberfizyczny składa się z rozproszonych przestrzennie czujników, kontrolerów i siłowników. Czujniki próbują stany kontrolowanego systemu w celu wygenerowania instrukcji sterujących dla zdalnego kontrolera, podczas gdy siłowniki utrzymują stabilność systemu przez wykonywanie poleceń sterujących. Jako dane wejściowe przyjmuje się albo jedynie stan systemu, albo uwzględnia się także historyczne informacje o przeprowadzonych działaniach. W ten sposób uzyskuje się więcej informacji i zyskuje precyzyjniejszą kontrolę w przypadku opóźnień w komunikacji. Do tej pory projektowanie DCPS koncentrowało się na wymaganiach niefunkcjonalnych związanych z wydajnością, jednak wraz z rosnącym zużyciem energii i zwiększającymi się kosztami obliczeń, zrównoważony rozwój staje się ważnym aspektem koniecznym do rozważenia. Świadomość konsekwencji skutków ubocznych stosowania koncepcji DCPS spowodowało uwzględnienie w wymaganiach niefunkcjonalnych dodatkowych atrybutów zrównoważonego rozwoju, takich jak zużycie energii. Możliwe stało się opracowanie świadomych energetycznie modeli architektonicznych i technologii przetwarzania brzegowego (chmurowego) w celu zaprojektowania systemów DCPS nowej generacji, czyli samoświadomych DCPS rozszerzonych o IoT (głównie w aspekcie głębokiego uczenia się). Efektami tego podejścia są: modele i technologie architektoniczne *edge-to-cloud*, harmonizowane działania infrastruktury *edge-to-cloud*, abstrakcje i ujednolicone modele dla rozproszonych heterogenicznych zwirtualizowanych zasobów, innowacyjne algorytmy uczenia maszynowego do dynamicznej realokacji i rekonfiguracji zasobów energetycznych oraz zarządzanie społecznościami energetycznymi.

Unikalne wymagania i ograniczenia społeczności energii odnawialnej (REC; *Renewable Energy Communities*¹) oraz systemów DCPS uwzględniających energię powodują trudności we wdrożeniu wymienionych wyżej rozwiązań, niemniej pokonując te przeszkody, uzyskuje się elastyczny i wydajny system zasilania integrujący odnawialne źródła energii, mikrosieci i inne rozproszone zasoby energii. Systemy cyberfizyczne stanowią wyzwanie dla testerów, zwiększając złożoność i skalę do poziomu krytycznego dla bezpieczeństwa i środowisk współpracy. Wskutek sprzężenia między światem cyfrowym i fizycznym, cyfrowe bliźniaki zapewniają nową perspektywę w systemach cyberfizycznych [36]. Co istotne, systemy te można także rozpatrywać jako rozwiązania integrujące komponenty: fizyczne, logiczne oraz sieci partnerów przemysłowych (rys. 3.3) [37].



Rys. 3.3. System cyberfizyczny w perspektywie Przemysłu 4.0
(opracowanie własne na podstawie [37])

¹ REC; *Renewable Energy Communities* – organizacje obywateli, małych i średnich przedsiębiorstw, władz lokalnych, które decydują się na produkcję, udostępnianie i konsumpcję energii ze źródeł odnawialnych.

3.5. Cyberbezpieczeństwo

Cyberbezpieczeństwo (*cybersecurity*) definiowane jest jako zespół technik, procesów i praktyk stosowanych w celu ochrony sieci informatycznych, urządzeń, programów i danych przed atakami, uszkodzeniami lub nieautoryzowanym dostępem. Ponadto jest określane jako *bezpieczeństwo technologii informatycznych* [38].

Analizując to zagadnienie pod kątem systemów informacyjnych, należałoby je rozumieć jako odporność na działania naruszające poufność, integralność, dostępność i autentyczność przetwarzanych danych lub związanych z nimi usług oferowanych przez te systemy [39]. Pod pojęciem tym kryje się także ogół zagadnień związanych z zapewnianiem ochrony w zakresie cyberprzestrzeni, w tym przestrzeni przetwarzania informacji oraz interakcji zachodzących w sieciach teleinformatycznych [40].

Pojęcie cyberbezpieczeństwa coraz częściej pojawia się w kontekście zabezpieczenia działania przedsiębiorstw Przemysłu 4.0. Prawidłowa dbałość o ten aspekt organizacyjny przedsiębiorstwa to wyzwanie, przed jakim staje każdy podmiot w obliczu postępującej cyfryzacji. Nawet jeden cyberatak przeprowadzony z użyciem złośliwego oprogramowania może narazić firmę i powiązanych z nią partnerów biznesowych na ogromne straty finansowe, materialne i wizerunkowe. Wstrzymanie produkcji, utrata kontroli nad procesami, konieczność zapłacenia nawet milionowych okupów za odzyskanie dostępu do danych, zerwanie lub destabilizacja łańcuchów dostaw – to tylko część z długiej listy zagrożeń, na jakie narażone są systemy produkcyjne [41, 42]. Ważne jest zatem, aby koncepcje bezpieczeństwa defensywnego były znane nie tylko inżynierom do spraw bezpieczeństwa, ale także wszystkim specjalistom IT. Jedynie w ten sposób można skutecznie wdrożyć przemyślaną strategię bezpieczeństwa [41], szczególnie że kwestia bezpieczeństwa w systemach produkcyjnych Przemysłu 4.0 ma charakter wielowymiarowy. Nowe technologie wywołują nieznaną dotąd rodzaje zagrożeń, ale jednocześnie umożliwiają budowę bardziej efektywnych systemów zabezpieczeń.

We współczesnej działalności przedsiębiorstw coraz istotniejsze znaczenie mają nowoczesne przemysłowe systemy sterowania, które znacznie ułatwiają zarządzanie pracą maszyn i systemów oraz całych linii produkcyjnych. Pozwalają one jeszcze skuteczniej automatyzować procesy oraz minimalizować ryzyko błędów, a także kontrolować jakość produkcji i efektywniej zarządzać poborem energii. Coraz częściej stosuje się je więc w kluczowych ośrodkach przemysłowych: rafineriach,

elektrowniach lub zakładach uzdatniania wody. Niestety nowoczesny sposób sterowania produkcją, oprócz ogromnej liczby korzyści, przynosi także nowe zagrożenia. Ścisłe połączone systemy kontroli i akwizycji danych, programowalne sterowniki oraz rozproszone systemy sterowania stanowią furtki do cyberataków, czyli współczesnej formy przestępczości skierowanej przeciwko przedsiębiorstwom.

Potrzeba zagwarantowania bezpieczeństwa funkcjonowania systemów sterowania pociąga za sobą konieczność takiego ich projektowania, aby były odporne na uszkodzenia, a w przypadku wystąpienia usterki, aby ryzyko poważnych konsekwencji było jak najmniejsze. Niestety problem ochrony danych w komputerowych systemach sterowania maszynami często jest całkowicie pomijany przez ich projektantów, głównie ze względu na brak przystępnej metodyki oceny ryzyka [43]. Należy zaznaczyć, że tego rodzaju ocena powinna uwzględniać także możliwość niekorzystnego oddziaływania potencjalnych ataków na integralność systemu informatycznego maszyny, a zwłaszcza systemów sterowania odpowiedzialnych za bezpieczeństwo. Oznacza to, że przy stosowaniu rozwiązań konstrukcyjnych eliminujących lub zmniejszających zagrożenie oraz na etapie doboru technicznych środków bezpieczeństwa należy przeprowadzić analizę ewentualnych słabych punktów w odniesieniu do ataków (zagrożeń) związanych z bezpieczeństwem informatycznym [43].

Pierwszym dokumentem normalizującym aspekty bezpieczeństwa maszyn, uwzględniającym ataki na bezpieczeństwo informatyczne związane z bezpośrednim lub zdalnym dostępem do systemów sterowania i zagrożeniem manipulowania tymi systemami, jest przewodnik ISO/TR 22100-4:2018 [44]. Ponadto podstawowe zasady poprawy odporności układu sterowania maszyny na uszkodzenia podano w normie PN-EN IEC 62061:2021-12 [45], zaś dokumentem, w którym omówiono wpływ ataków na bezpieczeństwo informatyczne dokonywane za pomocą bezpośredniego lub zdalnego dostępu do systemów sterowania i manipulowania nimi w celu zamierzonego nadużycia jest norma ISO 13849-1:2023 [46].

3.6. Przemysłowy internet rzeczy

Jednym z kluczowych filarów Przemysłu 4.0 jest internet rzeczy, po raz pierwszy zdefiniowany w 1999 roku przez Kevina Asthona, współzałożyciela Auto-ID Labs [47].

Od tego czasu pojęcie to zyskało wiele różnych objaśnień, np. w raporcie Interactive Advertising Bureau pt. *Internet Rzeczy w Polsce* ujęto je jako ekosystem, w którym przedmioty wyposażone w sensory komunikują się z komputerami [47]. Porter i Heppelmann stwierdzają natomiast, że pojęcie to powstało, by wskazać

na rosnącą liczbę inteligentnych, połączonych urządzeń oraz podkreślić nowe możliwości, jakie wynikną z tej synergii [48]. W celu ujednoczenia definicji i nazewnictwa dotyczącego IoT Komisja Europejska w opracowaniu pt. *Internet of Things. Position Paper on Standardization for IoT Technologies* zdefiniowała IoT jako dynamiczną globalną infrastrukturę sieciową z samokonfigurującymi możliwościami, opartą na standardowych i interoperacyjnych protokołach komunikacyjnych, w których występujące fizyczne i wirtualne „rzeczy” mają tożsamość, cechy fizyczne oraz wirtualną osobowość, stosują inteligentne interfejsy i są płynnie zintegrowane z siecią informacyjną [49, 50].

Podsumowując, można stwierdzić, że internet rzeczy to sieć łącząca urządzenia, które samodzielnie zbierają, udostępniają i przetwarzają dane, dlatego do ich pracy niezbędne są komputery, urządzenia mobilne, sensory, czujniki, bezprzewodowa lub przewodowa łączność, oprogramowanie zarządzające systemem i jego bezpieczeństwem, a także usługi ułatwiające współpracę różnym strukturom [51].

Internet rzeczy znajduje przede wszystkim zastosowanie w sektorze produkcyjno-usługowym, należy jednak zauważyć, że urządzenia wpisujące się w koncepcję IoT można spotkać na przykład w gospodarstwach domowych – mowa m.in. o smartfonach, tabletach, TV, systemach bezpieczeństwa, a także samochodach, które wykorzystują różnego rodzaju inteligentne systemy i czujniki w celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkownika. Według International Data Corporation wydatki na internet rzeczy w 2023 roku wyniosą 227 miliardów dolarów, zaś w latach 2022–2027 będą średniorocznie rosły w tempie 11% (CAGR), osiągając poziom prawie 345 mld dolarów w 2027 roku [52].

Przemysłowy internet rzeczy (*Industrial Internet of Things*, IIoT) stanowi rozszerzenie koncepcji internetu rzeczy o sektor przemysłowy, bowiem odnosi się do sieci połączonych urządzeń, czujników, systemów oraz oprogramowania stosowanych w przemyśle w celu monitorowania, zbierania danych i automatyzacji procesów produkcyjnych. Takie rozwiązanie pozwala na bieżące wysyłanie, gromadzenie, archiwizowanie oraz przetwarzanie danych i informacji oraz zdalne kontrolowanie i monitorowanie procesów produkcji z jednoczesną szczegółową odpowiedzią zwrotną, uzyskiwaną w czasie rzeczywistym, na temat aktualnie wykonywanej operacji, wytwarzanego produktu lub też stanu magazynowego. Wprowadzenie przemysłowego internetu rzeczy w przedsiębiorstwach produkcyjnych może wpłynąć na poprawę efektywności, wydajności i bezpieczeństwa przez wykorzystanie połączonych w jedną sieć urządzeń i analizę danych.

Koncepcja IIoT może również znaleźć zastosowanie w logistyce i transporcie wewnątrz przedsiębiorstwa: kiedy dział sprzedaży przyjmuje zamówienie, odnotowując je w oprogramowaniu do zarządzania przedsiębiorstwem, dział magazynowania i środki transportu automatycznie dostają informację o konieczności załadunku produktów bez zbędnych przestojów, a dane przesyłane są automatycznie bez udziału operatora [53, 54].

Technologia przemysłowego internetu rzeczy zmniejsza także koszty związane z predykcyjnym utrzymaniem maszyn (*predictive maintenance*). Dane pochodzące z maszyn są zbierane i analizowane na bieżąco, co umożliwia wczesne wykrycie potencjalnej usterki i podjęcie prac serwisowych, nie dopuszczając do całkowitego uszkodzenia maszyn, a w efekcie do przestoju produkcji [53, 55].

Przemysłowy internet rzeczy nie jest możliwy do wprowadzenia bez rozwoju innych technologii powiązanych z Przemysłem 4.0, np. przetwarzania brzegowego (*Edge Computing*) i danych w chmurze, analizy dużych zbiorów danych, sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Technologie te zapewniają możliwość szerokiego zastosowania IoT w produkcji niezależnie od rodzaju prowadzonej działalności [56].

Coraz szersze zastosowanie IoT jest związane z możliwością wystąpienia wielu zagrożeń związanych z bezpieczeństwem danych, w tym tzw. luk w oprogramowaniu, ataków *Denial of Service* (DoS) i na tzw. słabe hasła oraz *cross-site scripting*, czyli osadzania w treści atakowanej strony kodu, który po aktywowaniu może doprowadzić do wykonania przez użytkowników niepożądanych akcji [57].

3.7. Roboty przemysłowe

W przemyśle motoryzacyjnym jedną z najczęściej wdrażanych technologii Przemysłu 4.0 są roboty przemysłowe, które stanowią ważny element wyposażenia przedsiębiorstw produkcyjnych, pełniąc istotną funkcję w różnych procesach technologicznych wymagających dokładności i powtarzalności. Roboty przemysłowe stanowiły postawę idei Przemysłu 3.0, zaś w dobie Przemysłu 4.0 stały się robotami współpracującymi, tzw. cobotami, które albo pomagają człowiekowi w jakichś pracach albo współpracując ze sobą, działają samodzielnie, bez udziału człowieka. W artykule pt. *6 examples of industrial robots in the automotive industry* [58] opisano najczęstsze zastosowania cobotów w przemyśle motoryzacyjnym, czyli sektorze, który stosuje roboty przemysłowe już od początku lat 60. ubiegłego wieku. Od tego czasu ich liczba znacznie wzrosła, a tradycyjne, nieelastyczne ro-

boty zastąpiono nowymi, współpracującymi systemami. Do głównych obszarów, w których wdrażane są nowoczesne roboty, należą: montaż, lakierowanie, spawanie, obsługa maszyn, obróbka wykańczająca, kontrola jakości.

Kolejnym etapem w rozwoju robotów przemysłowych jest zwiększenie ich funkcji w zakresie:

- szybkiego dostosowywania się do nowych warunków (szybka reakcja na zmiany), co związane jest z założeniami Przemysłu 4.0 w zakresie elastycznej produkcji,
- dzielenia się wiedzą (danymi i informacjami) z innymi elementami systemu.

Roboty Przemysłu 4.0 są częścią przemysłowego internetu rzeczy i mogą komunikować się zarówno ze sobą, jak i z innymi elementami systemu produkcyjnego, takimi jak maszyny, urządzenia pomiarowe i systemy zarządzania. Ponadto zapewniają wymianę danych i informacji w czasie rzeczywistym, co przekłada się na lepszą synchronizację procesów produkcyjnych. Gromadzą duże ilości danych dotyczących wykonywanych operacji, a stosując techniki analizy danych i sztucznej inteligencji, mogą je przetwarzać, wykrywać wzorce i anomalie oraz podejmować decyzje na podstawie zebranych informacji. W ten sposób są zdolne do dostosowywania swoich działań do zmieniających się warunków produkcyjnych, a co za tym idzie, można się je umieścić na dowolnym etapie produkcji.

Robotyzacja przyczynia się m.in. do wzrostu jakości produkcji i do poprawy konkurencyjności. Dodatkowo poprawia bezpieczeństwo pracy, głównie przez możliwość zastąpienia pracownika w czynnościach, które wiążą się z ryzykiem zagrożenia życia. Produkcja wsparta przez roboty daje szansę zdobycia nowej wiedzy przez pracowników oraz poszerzenia ich umiejętności zawodowych [59].

W ramach koncepcji Przemysłu 4.0 w logistyce wewnątrzzakładowej stosuje się przede wszystkim autonomiczne roboty mobilne (*Automatics Mobile Robots – AMR*), które poruszają się po wyznaczonych torach jazdy, dzięki uprzednio wgranej mapie (przestrzeni) hali i/lub magazynu. Za pośrednictwem osadzonych w robocie czujników oraz kamer eliminowana jest możliwość wystąpienia kolizji i wypadków, nie tylko z udziałem samych urządzeń, ale również pracowników. W razie pojawienia się przeszkody robot mobilny automatycznie koryguje i dostosowuje swoją trasę do zaistniałych warunków [60].

W przedsiębiorstwach stosowane są również inteligentne pojazdy sterowane automatycznie (*Automated Guided Vehicle – AGV*) i choć ich innowacyjność technologiczna jest mniejsza niż robotów AMR, to jednak oba typy urządzeń są

w stanie przewozić ładunki w wyznaczone miejsce. Pojazdy AGV wyposażone w czujniki pola magnetycznego poruszają się po wyznaczonych torach, czyli przewodach generujących pole magnetyczne, które są osadzone w podłodze budynku, np. w magazynie. W przypadku pojawienia się na trasie przeszkody robot automatycznie zatrzymuje się i czeka na usunięcie zatoru, po czym kontynuuje jazdę.

Zgodnie z ideą Przemysłu 4.0 pierwszy z omawianych robotów – AMR jest korzystniejszym wyborem, ponieważ możliwa jest jego integracja z oprogramowaniem służącym do zarządzania przedsiębiorstwem. Oznacza to większą kontrolę i monitorowanie procesów produkcyjnych, głównie dzięki płynniejszemu przepływowi informacji [60]. W rozwoju robotów przemysłowych przełomowa okazała się technologia głębokiego uczenia (*deep learning*), która umożliwia zaawansowaną analizę danych z takich źródeł jak obraz lub odczyt siły z czujników zamontowanych na robocie. Zastosowanie metod głębokiego uczenia ma szczególne znaczenie w rozwiązaniach stosowanych np. na liniach montażowych, do wykrywania i pobierania elementów, jak również w kontroli jakości. Wprowadzenie rozwiązań z obszaru sztucznej inteligencji do programowania robotów zwiększa ich dokładność, elastyczność i szybkość pracy.

3.8. Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość

Jednym z elementów Przemysłu 4.0 jest wirtualna rzeczywistość (VR), czyli zaawansowana technologia, która umożliwia użytkownikom odbieranie doznań i interakcję w immersyjnym, komputerowo generowanym środowisku. Dzięki specjalnym goglom, hełmom VR oraz kontrolerom, użytkownik może przenieść się do świata wirtualnego, który często jest wielowymiarowy i niezwykle realistyczny.

Rzeczywistość wirtualna generowana jest w różnych obszarach: wizualnym – konstruowanie realistycznych, stereoskopowych obrazów symulowanego środowiska; dźwiękowym – włączanie do kreacji świata doznań akustycznych; dotykowym – użycie siły fizycznej do poruszania się w symulowanym środowisku oraz przemieszczanie znajdujących się w nim obiektów.

Technologia wirtualnej rzeczywistości opiera się na zaawansowanych grafikach komputerowych, sensoryce i śledzeniu ruchu, osiągając w ten sposób dwa kluczowe efekty:

- **immersję** – poczucie zanurzenia w wirtualnym środowisku; gogle VR odcinające całe rzeczywiste pole widzenia oraz przestrzenny dźwięk wzmacniają u odbiorców poczucie przebywania w innym miejscu,

- **interakcję** – umożliwiającą użytkownikowi pełny odbiór bodźców symulowanych przez rzeczywistość wirtualną, tj.: poruszanie się, manipulowanie obiektami, wykonywanie gestów za pomocą kontrolerów lub specjalnych rękawic śledzących ruch.

Układ wizyjny stosowany w omawianej technologii to albo kaski mocowane na głowie, które są zaopatrzone w dwa ciekłokrystaliczne wyświetlacze umożliwiające widzenie stroboskopowe (ze względu na umieszczenie ich na wprost oczu), albo ekrany projekcyjne odwzorowujące układ zamkniętego pomieszczenia. Rozpoznanie położenia użytkownika odbywa się za pomocą śledzących układów elektromagnetycznych, mechanicznych lub optycznych, zaś urządzeniami sterującym mogą być rękawice i/lub kombinezony z czujnikami. Dźwięk w systemach wirtualnej rzeczywistości wytwarzają urządzenia akustyki przestrzennej i do syntezy mowy, stosowane w celu wydawania systemowi poleceń [61].

Wirtualna rzeczywistość znajduje zastosowanie w różnych, niekoniecznie przemysłowych, obszarach: w grach komputerowych zapewnia uczestnikom bardziej realistyczne odczucia; w medycynie może być użyta do symulacji operacji, treningu medycznego lub terapii, zaś w sferze edukacji staje się narzędziem do projektowania i przeprowadzania interaktywnych lekcji. Co oczywiste, VR znajduje także inne, bardzo liczne zastosowania, chociażby w architekturze, sztuce i turystyce.

Biorąc pod uwagę funkcjonowanie wirtualnej rzeczywistości w przedsiębiorstwach, wśród licznych korzyści, jakie ta technologia ma do zaoferowania, należałoby wymienić chociażby te najistotniejsze:

- szkolenia – VR umożliwia symulację realistycznych scenariuszy szkoleniowych, np. z obszaru obsługi maszyn, bezpieczeństwa pracy, technik montażu lub procedur ratunkowych; pracownicy mogą ćwiczyć bez ryzyka i kosztów związanych z korzystaniem z prawdziwego sprzętu lub infrastruktury,
- projektowanie i wizualizacja – inżynierowie i projektanci mogą tworzyć wirtualne modele produktów, fabryk lub obiektów budowlanych, dzięki czemu w łatwy sposób są w stanie ocenić funkcjonalność, ergonomię, układ przestrzenny lub wygląd końcowy danego projektu, jeszcze przed etapem jego realizacji,
- prototypowanie – wirtualne prototypy produktów i komponentów umożliwiają dokładne testowanie ich wydajności, wyglądu lub zdolności w zakresie interakcji, a następnie szybkie wprowadzanie koniecznych zmian w projektach; w ten sposób zmniejsza się koszty związane z tradycyjnym tworzeniem fizycznych wzorców, pierwowzorów,

- dzięki wirtualnym instrukcjom i symulacjom pracownicy odpowiedzialni za obsługę, konserwację i naprawę skomplikowanych urządzeń i maszyn dysponują łatwiejszymi, bardziej efektywnymi procedurami ich obsługi oraz diagnozowania usterek,
- analiza danych i doskonalenie procesów – technologie VR umożliwiają wizualizację i analizę danych związanych z procesami produkcyjnymi, logistyką lub wydajnością systemów, co z kolei ułatwia identyfikację obszarów, które wymagają poprawy pod względem efektywności,
- zarządzanie projektami – w tym przypadku technologie VR służą wirtualnymi prezentacjami, wizualizacjami postępu prac lub spotkaniami online w wirtualnych środowiskach; narzędzia te w oczywisty sposób ułatwiają komunikację i współpracę podczas podejmowania decyzji na różnych etapach projektu.

Jak widać stosowanie VR w przemyśle może przynieść wiele korzyści, takich jak zwiększenie efektywności, poprawa jakości, redukcja kosztów lub skrócenie cyklu projektowego, dlatego w miarę doskonalenia tej technologii zwiększa się prawdopodobieństwo jej znaczącego rozpowszechnienia w różnych gałęziach przemysłu.

Rozszerzona rzeczywistość (AR) to kolejne pojęcie wpisujące się w koncepcję Przemysłu 4.0. W przeciwieństwie do wirtualnej rzeczywistości, gdzie użytkownik jest całkowicie zanurzony w cyfrowym środowisku, AR nakłada elementy wirtualne, np. obrazy, modele 3D lub tekst, na rzeczywiste widoki za pomocą urządzeń takich jak smartfony, okulary AR lub hełmy. Użytkownik widzi te elementy i wchodzi z nimi w interakcję w czasie rzeczywistym. W przemyśle AR stosuje się przede wszystkim w szkoleniach, procesie montażu i obsłudze urządzeń.

W literaturze przedmiotu można znaleźć liczne przykłady zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości w przemyśle motoryzacyjnym. Z VR korzysta się m.in. do opracowywania cyfrowych procesów montażowych, w tym całej infrastruktury, łącznie z budynkami i maszynami. Wszystkie procesy montażowe przetestowano i ulepszano w wirtualnych przestrzeniach, które dokładnie odwzorowywały ich strukturę. W światowych przedsiębiorstwach branży motoryzacyjnej technologia VR jest stosowana także do wspomagania pracy zdalnej i grupowej oraz prezentowania koncepcji nowych pojazdów [62].

Pomimo znaczących postępów wirtualna i rozszerzona rzeczywistość stają w obliczu pewnych wyzwań, w tym barier technologicznych (np. niewystarczającej

rozdzielczości ekranów i opóźnień reakcji negatywnie wpływających na jakość doświadczenia) lub ograniczeń innego typu, np. związanych z wygodą użytkownika i możliwościami poruszania się w przestrzeni wirtualnej.

3.9. Technologie przyrostowe

Wytwarzanie przyrostowe lub techniki addytywne (*additive manufacturing*) to bardzo dynamicznie rozwijające się technologie, które polegają na nakładaniu kolejnych warstw materiału budulcowego lub łączeniu przygotowanych wcześniej kawałków materiałów. Stanowią one jedną z technik wytwarzania, obok odlewnictwa i obróbki plastycznej stopów metali, obróbki ubytkowej, obróbki skoncentrowanymi strumieniami energii, przetwórstwa tworzyw sztucznych, obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej lub spiekania proszków. W przypadku omawianej techniki produkt powstaje w wyniku nakładania materiału budulcowego (płaskiego materiału, utwardzanej cieczy – żywicy, spiekanego proszku) warstwa po warstwie, aż do uzyskania litego, przestrzennego obiektu [63]. Metody wytwarzania przyrostowego dzielą się ze względu na rodzaj spajania materiałów (wiązania chemiczne, spiekanie oraz klejenie), a w katalogu najpopularniejszych technik znajdują się m.in. [63]:

- SLA (*Stereolithography*) – stereolitografia,
- FDM (*Fused Deposition Modelling*) – kształtowanie plastycznym tworzywem,
- JM (*Jet Modelling*) – modelowanie strumieniowe,
- 3DP (*3D Printing*) – drukowanie 3D przez łączenie proszku lepiszczem,
- SLS (*Selective Laser Sintering*) – selektywne spiekanie laserowe proszków tworzyw i metali,
- LOM (*Laminated Object Manufacturing*) – wycinanie laserem i sklejanie po kolei warstw z podawanego z rolki specjalnego papieru termozgrzewalnego lub folii.

Istotą stosowania przyrostowych metod wytwarzania jest budowanie rzeczywistego modelu (wyrobu) na podstawie wirtualnej geometrii zaprojektowanej przy użyciu specjalnego oprogramowania komputerowego 3D [64], np. Alibre Design, Autodesk Inventor, CATIA, Compas 3D, Creo Parametric, SolidWorks, Solid Edge, T-Flex, TopSolid, Siemens NX, ZW3D, SpaceClaim. Proces rozpoczyna opracowanie cyfrowego modelu, czyli zamkniętej polipowierzchni (geometria bryłowa zamknięta powierzchniami), a następnie aproksymuje się ściany obiektu siatką trójkątów. Zazwyczaj proces ten zachodzi automatycznie podczas zapisu pliku do formatu STL opracowanego przez firmę 3D Systems dla metody stereolitografii.

Następnie oprogramowanie dzieli geometrię siatkową na warstwy o określonej przez użytkownika grubości, tworząc model warstwowy. Na jego podstawie wyznacza się ścieżki robocze sterujące drukarką 3D.

W zależności od wybranej techniki przyrostowej etap ten wygląda nieco inaczej: w metodzie SLA i SLS polega na wytyczeniu ruchu zwierciadeł kierujących wiązką lasera; w FDM określa się ścieżki ruchów głowicy nakładającej materiał budulcowy; w technice 3DP ustala się miejsca nakładania lepiszcza lub żywicy, zaś w LOM – miejsca nanoszenia kleju i nacinania folii. Po wygenerowaniu ścieżek roboczych każdej warstwy można przystąpić do procesu wytwórczego i uzyskania gotowego wyrobu [64].

W Przemysle 4.0 technologia przyrostowa, a szczególnie druk 3D, odgrywa kluczową rolę w transformacji sposobu produkcji i otwiera wiele nowych możliwości. Przede wszystkim stosuje się ją do prototypowania, produkcji narzędzi i części zamiennych oraz personalizacji produktów. Dzięki omawianej technologii przedsiębiorstwa eliminują potrzebę magazynowania dużej liczby części, zyskują możliwość wykonywania nowych narzędzi w czasie rzeczywistym, a także są wyposażane w narzędzia dostosowujące produkty do indywidualnych potrzeb klientów. Ponadto możliwe jest eksperymentowanie z prototypami przed produkcją masową, w celu optymalizacji projektu pod kątem wydajności, trwałości i kosztów produkcji.

Podsumowując, stosowanie druku 3D i innych metod przyrostowych przyczynia się do skrócenia procesu produkcji, zwiększenia jego elastyczności i szybszego reagowania na zmieniające się potrzeby rynku.

3.10. Symulacja komputerowa

Wdrożenie koncepcji Przemysłu 4.0 wymaga podejmowania działań związanych z implementacją nowych technologii wytwarzania i sposobów funkcjonowania przedsiębiorstw, a co za tym idzie, korzystania z systemów cyberfizycznych integrujących elementy łańcucha produkcji (m.in. wytwarzanie, logistykę, magazynowanie i dystrybucję). W tym kontekście modelowanie i symulacja procesów stają się narzędziami weryfikacyjnymi i wspomagającymi wprowadzanie zmian [65].

Według Encyklopedii PWN [66] symulacja komputerowa to metoda wnioskowania o zachowaniu obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji wyników działania programów komputerowych naśladujących (symulujących) to zachowanie (tzw. modeli symulacyjnych). Wyróżnia się następujące modele symulacyjne:

- redukcyjne (w zmniejszonej skali),

- fizyczne w innym środowisku materialnym,
- numeryczne: układ równań matematycznych i relacji logicznych; zwykle modeli tych nie da się rozwiązać analitycznie.

Technika ta znajduje zastosowanie w przypadkach, gdy nie jest możliwa bezpośrednia obserwacja zachowania się obiektu (np. w procesie projektowania) lub jeśli przeprowadzenie eksperymentów wymaga zastosowania kosztownych urządzeń, długiego czasu, dużych nakładów finansowych lub ponoszenia ryzyka.

Jako jedna z technologii Przemysłu 4.0 symulacja komputerowa jest stosowana przede wszystkim za względu na możliwość precyzyjnego modelowania, analizy i doskonalenia procesów produkcyjnych. Przy zastosowaniu symulacji komputerowych można modelować i analizować całe procesy produkcyjne, począwszy od zaopatrzenia, poprzez produkcję, aż do dystrybucji. Dzięki temu możliwa jest identyfikacja potencjalnych problemów. Wirtualne środowisko testowe stanowi doskonałe narzędzie do analizy i weryfikacji zachowań systemów produkcyjnych przed ich wdrożeniem, co znacząco minimalizuje ryzyko powstania błędów i kosztownych awarii. Ponadto, co bardzo ważne, symulacje znajdują szerokie zastosowanie w optymalizacji procesów logistycznych, takich jak zarządzanie zapasami, wyznaczanie tras przejazdu oraz optymalizacja struktury magazynu według różnych kryteriów. Stosowane są również do tworzenia modeli cyberfizycznych, które integrują rzeczywiste systemy produkcyjne z wirtualnymi modelami, dzięki czemu proces produkcyjny jest monitorowany i kontrolowany w czasie rzeczywistym, w dodatku bez zakłócania rzeczywistych operacji. Wszystko to w oczywisty sposób wpływa na poprawę efektywności, konkurencyjności oraz elastyczności w dostosowywaniu się do zmiennych warunków rynkowych.

Symulacja komputerowa stanowi także podstawowe narzędzie do budowy cyfrowych bliźniaków, czyli połączenia fizycznego obiektu i jego cyfrowego odwzorowania w przestrzeni wirtualnej. Proces ten jest możliwy do realizacji dzięki przetwarzaniu danych w czasie rzeczywistym i stałej aktualizacji stanu obiektów i procesów [67].

4. Wdrożenie rozwiązań Przemysłu 4.0 na świecie

4.1. Inicjatywy międzynarodowe

Przemysł 4.0 uutorował drogę dla zmian społecznych i technologicznych, które wpłynęły na niemalże każdy aspekt życia ludzi na całym świecie. Nowoczesne technologie ułatwiają współpracę i integrację procesów biznesowych i produkcyjnych w skali globalnej, to znaczy niezależnie od lokalizacji, strefy czasowej lub różnic językowych i kulturowych [68].

Technologie i innowacje obecnej czwartej rewolucji przemysłowej, takie jak internet rzeczy, *big data*, przetwarzanie w chmurze obliczeniowej lub sztuczna inteligencja, rozprzestrzeniają się w znacznie szybszym tempie i na dużo większą skalę niż podczas poprzednich skoków cywilizacyjnych, jednak, co trzeba mieć na uwadze, dotyczy to przede wszystkim krajów wysoko rozwiniętych. Choć ostatni przełom technologiczny to koniec XX i początek XXI wieku, w pewnych częściach świata nadal toczą się rewolucje poprzednich generacji. Według Globalnych Statystyk GUS SDG (*Sustainable Development Goals* – cele zrównoważonego rozwoju) w 2020 roku ponad 10% mieszkańców globu nadal nie ma przyłącza do sieci elektrycznej, co oznacza, że blisko 800 milionów ludzi nie doświadczyło jeszcze skutków drugiej rewolucji przemysłowej [69]. Podążając dalej tym tokiem rozumowania, należy stwierdzić, że drastyczna nierównowaga dużo bardziej dotyczy trzeciego przełomu, gdyż według raportu Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (*International Telecommunication Union, ITU*) z 2022 roku 34% ludności Ziemi, czyli 2,7 miliarda ludzi, ciągle nie używa Internetu [70]. Wyznacznikiem postępu nie jest zatem sam fakt zaistnienia innowacji technologicznych i ogłoszenia ich na forum międzynarodowym, lecz przede wszystkim zakres, w jakim są one przyjmowane przez społeczeństwo [71].

Skuteczność oraz ciągłość rozwoju, a także wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w dużej mierze zależą od polityki oraz wsparcia rządów poszczególnych państw.

Z drugiej strony to właśnie rząd jest głównym beneficjentem efektów i korzyści wynikających ze skutecznego wdrożenia oraz stosowania nowoczesnych praktyk i innowacji. W związku z dostrzeżeniem toczących się zmian oraz uzmysłowieniem sobie ich ogromnego wpływu na sytuację globalnego rynku, wiele państw zainicjowało rządowe programy, których głównym celem było przyspieszenie i zintensyfikowanie procesu wdrażania nowych technologii w obszarze przemysłu, a także możliwie jak najszybsze dostosowanie gospodarki do nowych rozwiązań. Jednak z uwagi na fakt, że nie istnieje jeden standard określający, w jaki sposób należy wdrażać rozwiązania Przemysłu 4.0, każde państwo podjęło działania w tym zakresie na swój własny sposób, uwzględniając specyfikę przemysłu, uwarunkowań i potrzeb rynku oraz indywidualnych oczekiwań i wymagań.

Niemcy, jako jeden ze światowych liderów gospodarczych, były pierwszym krajem, który w 2011 roku podczas targów w Hanowerze ogłosił swoją strategiczną inicjatywę o nazwie *Industrie 4.0*. Jej zasadniczym założeniem było kompleksowe zbadanie, zrozumienie i wykorzystanie potencjału drzemącego w innowacyjnych technologiach, gwarantujące utrzymanie dotychczasowej pozycji Niemiec jako potentata przede wszystkim w obszarze przemysłu maszynowego i motoryzacyjnego [72].

Literatura przedmiotu dostarcza licznych przykładów strategii wdrażania Przemysłu 4.0 w wybranych państwach [73], zaś w tabeli 4.1 zebrano i krótko scharakteryzowano najważniejsze z nich.

W obszarze inicjatyw międzynarodowych należy także wymienić ramowe programy badawcze Unii Europejskiej, tj. zakończony w 2020 roku **Horyzont 2020** (*Horizon 2020*) oraz ogłoszony na lata 2021-2027 **Horyzont Europa** (*Horizon Europe*). Ich celem jest stymulowanie przemian systemowych w zakresie innowacji i ekologii, wspieranie badań naukowych i wzmacnianie potencjału technologicznego Europy [85].

Ważną inicjatywą europejską jest także **Indeks Gospodarki Cyfrowej i Społeczeństwa Cyfrowego** (*Digital Economy and Society Index, DESI*) wprowadzony przez Komisję Europejską (KE) w 2014 roku. Od tamtego czasu KE monitoruje poziom zaawansowania cyfrowego Unii Europejskiej, a coroczna analiza danych po pierwsze pozwala identyfikować priorytetowe obszary gospodarki cyfrowej wymagające konkretnych działań i inwestycji, a po drugie motywuje poszczególne państwa do podejmowania działań w związku z rozwojem i wdrażaniem nowych technologii [73].

Tabela 4.1. Przegląd najważniejszych strategii wdrożenia Przemysłu 4.0 w wybranych państwach (opracowanie własne na podstawie [73–84])

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Australia	2017 r.	Testlabs	<ul style="list-style-type: none"> • zbudowanie infrastruktury dla technologii Przemysłu 4.0 • zwiększenie konkurencyjności przemysłu • wspieranie współpracy jednostek naukowych z przemysłem • utworzenie sieci powiązań pomiędzy uczelniami i firmami
Belgia	2012 r.	Made Different	<p>zapewnienie przedsiębiorstwom doradztwa w zakresie oceny ich obecnej sytuacji oraz perspektyw transformacji cyfrowej w zakresie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • innowacyjnych technologii produkcyjnych • inżynierii obejmującej cały proces łańcucha wartości • cyfrowej fabryki • produkcji zorientowanej na ludzi • sieci produkcyjnych • produkcji ekologicznej i inteligentnych systemów wytwarzania
	2015 r.	Digital Belgium	<ul style="list-style-type: none"> • cyfryzacja ekonomii, infrastruktury, urzędów i opieki medycznej • rozwój kompetencji cyfrowych • cyfryzacja pracy • cyberbezpieczeństwo
Dania	2013 r. (uruchomienie w 2017 r.)	Manufacturing Academy of Denmark (MADE), MADE Digital	<ul style="list-style-type: none"> • wspieranie budowania współpracy między organizacjami i przedsiębiorstwami publicznymi i prywatnymi • promowanie Danii jako globalnego lidera w obszarze zaawansowanego wytwarzania • wspieranie badań i rozwoju oraz innowacji w kontekście cyfrowej transformacji

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Francja	2015 r.	Industrie du Futur	<ul style="list-style-type: none"> • wsparcie przedsiębiorstw finansowaniem badań, subsydiami oraz pożyczkami (<i>cutting-edge technologies</i>) • zapewnienie ponad 500 ekspertów dla małych i średnich przedsiębiorstw jako wsparcie identyfikacji projektów związanych z transformacją cyfrową (<i>business transformation</i>) • zwiększenie kompetencji personelu (<i>training</i>) • zawiązywanie współpracy międzynarodowej (<i>international cooperation</i>) • wzmacnianie na arenie międzynarodowej wizerunku Francji jako państwa innowacyjnego (<i>self-promotion</i>)
Niemcy	2013 r. (pierwsze działania w tym zakresie podjęto w 2006 r., w 2011 r. ogłoszono założenia Industrie 4.0)	Platform Industrie 4.0 (bazuje na założeniach inicjatywy Industrie 4.0)	<ul style="list-style-type: none"> • rozwój i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań • wsparcie rozwoju i cyfrowej transformacji przedsiębiorstw poprzez udzielanie im rekomendacji oraz dostarczanie informacji i przykładów praktycznych • włączenie pomysłów przedsiębiorstw do międzynarodowej debaty i udział w międzynarodowych procesach normalizacyjnych
Włochy	2016 r.	Impresa 4.0	<ul style="list-style-type: none"> • wsparcie cyfrowej transformacji i użycia innowacyjnych technologii, w celu zwiększenia konkurencyjności Włoch • rozwój hubów innowacji cyfrowej, centrów kompetencji, programów edukacyjnych, szkoleń i promowanie doktoratów wdrożeniowych

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Japonia	2015 r.	Industrial Value Chain Initiative (IVI)	<p>promowanie i wspieranie współpracy przemysłowej przez:</p> <ul style="list-style-type: none"> • budowanie środowiska dla społeczności rozwijającej i wdrażającej strategię połączonego wytwarzania (<i>Connected Manufacturing</i>) • wymianę doświadczeń i praktycznej wiedzy produkcyjnej • uczestnictwo w tworzeniu zasad partnerstwa
	2019 r.	Society 5.0	<ul style="list-style-type: none"> • podstawowe założenie: integracja ludzi, rzeczy i systemów w cyberprzestrzeni, w celu łatwiejszej analizy danych i dostosowywania informacji do indywidualnych, specyficznych potrzeb, a w efekcie do zapewnienia aktywnego oraz przyjemnego życia • obszary zastosowania nowych technologii: mobilność, opieka zdrowotna, produkcja, rolnictwo, żywność, przeciwdziałanie klęskom żywiołowym i sektor energetyczny • główny cel strategii – rozwój trzech obszarów: wspólne dane, przeciwdziałanie klęskom żywiołowym oraz inteligentne miasta
Holandia	2014 r.	Smart Industry (SI)	<p>zastosowanie modelu triple helix, tj. współpracy pomiędzy jednostkami naukowymi, przemysłem i rządem w trzech podstawowych obszarach:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wykorzystanie istniejących zasobów wiedzy • przyspieszanie wdrażania technologii teleinformatycznych (ICT) w firmach • wzmacnianie zasobów wiedzy, umiejętności i środowiska ICT

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Chiny	2015 r.	Made in China 2025 (MIC 2025)	<ul style="list-style-type: none"> • zredukowanie zależności Chin od zagranicznych technologii oraz zasobów i znaczące zwiększenie inwestycji w rozwój własnych innowacji, szczególnie w obszarze inteligentnej produkcji • promowanie chińskich marek • zmniejszanie wpływu przemysłu na środowisko i ludzkie zdrowie oraz powstrzymanie zmian klimatycznych • restrukturyzacja strategii produkcyjnych w celu dostosowania ich do konkurencji ze strony innych krajów o niskich kosztach pracy • założenie; wdrożenie i zastosowanie Internetu (w tym: mobilny Internet, sieci w chmurze, duże zbiory danych – <i>big data</i>, internet rzeczy) oraz innych technologii informacyjnych w konwencjonalnych gałęziach przemysłu • cel: wsparcie rozwoju biznesu w Chinach
Portugalia	2017 r.	Indústria 4.0	<ul style="list-style-type: none"> • kwalifikacje – dostosowanie systemu edukacji do przyszłych potrzeb przemysłu i włączenie kompetencji cyfrowych do programów nauczania; zachęcanie pracowników do szkoleń i doskonalenia umiejętności cyfrowych • współpraca w zakresie technologii – promowanie współpracy pomiędzy dostawcami technologii, środowiskiem naukowym i przemysłem • start-upy – zwiększenie roli Portugalii jako centrum start-upów, szczególnie w sektorze turystyki • zachęcanie do finansowania i inwestycji – promowanie Portugalii jako atrakcyjnego miejsca do rozwoju przemysłu i inwestowania • internacjonalizacja – wsparcie umiędzynarodowienia działalności małych i średnich przedsiębiorstw • standardy i regulacje – wspieranie zaangażowania przemysłu w celu określenia gotowości portugalskich regulacji dotyczących norm

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Singapur	start co 5 lat począwszy od 1995 r. obecny plan uruchomiony w 2020 r.	National Technology Plan 1995, Research, Innovation and Enterprise 2020 Plan	<ul style="list-style-type: none"> • zaawansowana produkcja i inżynieria • nauki o zdrowiu i biomedycynie • rozwiązania dla miast i zrównoważony rozwój • usługi i cyfrowa ekonomia • badania akademickie • siła robocza • innowacje i przedsiębiorstwa
	2014 r.	Smart Nation	<ul style="list-style-type: none"> • cyfrowe społeczeństwo – ułatwienie dostępu do technologii dla każdego mieszkańca Singapuru, rozwój kompetencji cyfrowych, wsparcie lokalnych społeczności i firm we wdrażaniu nowych technologii, projektowanie usług cyfrowych • cyfrowa ekonomia – przyspieszenie wzrostu gospodarczego przez cyfryzację branż i przedsiębiorstw, zbudowanie ekosystemu, który pomoże firmom zachować dynamikę rozwoju i konkurencyjność • cyfrowy rząd – zbudowanie strategii opartej na użyciu cyfryzacji jako narzędzia do pomocy obywatelom, w tym: projektowanie bezproblemowych, spersonalizowanych i powszechnych cyfrowych polityk i usług
Korea Południowa	2014 r.	Manufacturing Industry Innovation 3.0	<ul style="list-style-type: none"> • rozpowszechnianie inteligentnej produkcji • kreatywna ekonomia • inteligentne innowacje • reorganizacja biznesu

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Hiszpania	2014 r.	Industria Conectada 4.0	<ul style="list-style-type: none"> • usprawnienie poziomu uprzemysłowienia i zatrudniania w wybranych sektorach • wsparcie rozwoju hiszpańskiego modelu przemysłu • zwiększenie lokalnej podaży rozwiązań cyfrowych i pobudzenie hiszpańskiego przemysłu
Anglia	2017 r. (pierwsze działania w 2004 r.)	Higher Education and Research Act	<p>działania realizowane w ramach pięciu obszarów:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pomysły • infrastruktura • ludzie • środowisko biznesowe • miejsca
Stany Zjednoczone	2011 r.	DevOps (AMP) aktualizacja: Advanced Manufacturing Partnership 2.0 (AMP 2.0)	<ul style="list-style-type: none"> • budowanie krajowych zdolności produkcyjnych w krytycznych branżach • skrócenie czasu opracowywania i wdrażania zaawansowanych materiałów • robotyka nowej generacji • opracowywanie innowacyjnych, energooszczędnych technik produkcyjnych
	2014 r.	Industrial Internet Consortium zmiana nazwy w 2021 r.: Industry IoT Consortium (IIC)	<p>powołanie grupy – konsorcjum (AT&T, Cisco, General Electric, IBM oraz Intel) w celu zrzeszenia czołowych organizacji przemysłowych i rządowych oraz jednostek naukowych do przyspieszenia rozwoju, wdrażania oraz powszechnego użycia technologii związanych z przemysłowym Internetem</p>

Z punktu widzenia współpracy międzynarodowej istotna jest również inicjatywa o nazwie *Trilateral Cooperation* (Współpraca Trójstronna) zainicjowana w 2017 roku przez Francję, Włochy i Niemcy. Celem tego przedsięwzięcia jest przyspieszenie cyfryzacji przemysłu w całej Unii Europejskiej. Współpraca odbywa się w ramach trzech grup roboczych odpowiedzialnych za następujące obszary [73, 86]:

- standaryzację – identyfikacja istotnych norm i koordynacja działań normalizacyjnych w celu opracowania wspólnych standardów i integracji MŚP w dziedzinie normalizacji,
- zaangażowanie MŚP – rozpowszechnianie i promowanie z powodzeniem zrealizowanych scenariuszy użycia technologii Przemysłu 4.0,
- wsparcie w zakresie polityki – wymienianie się najlepszymi praktykami z obszaru regulacji i programów politycznych dotyczących skutecznego korzystania z cyfryzacji.

4.2. Przykłady praktyczne

Doskonałym przykładem praktycznego zastosowania technologii Przemysłu 4.0 są wdrożenia skupione wokół rozwiązań związanych z inteligentną produkcją (*Smart Manufacturing*). W szerszym kontekście, tj. uwzględniając inne technologie wspierające produkcję, mówi się o inteligentnych fabrykach (*Smart Factories*).

Z całą pewnością do najnowocześniejszych na świecie zakładów produkcyjnych, tzw. gigafabryk, w najszerszym zakresie stosujących innowacyjne rozwiązania, należy zaliczyć przedsiębiorstwa firmy Tesla, w których produkowane są zaawansowane pojazdy elektryczne oraz przeznaczone dla nich baterie. Obecnie istnieje pięć tego typu obiektów: Giga Nevada w Storey County (Nevada, USA), Giga New York w Buffalo (New York, USA), Giga Shanghai w Szanghaju (Chiny), Giga Berlin w Grünheide obok Berlina (Niemcy) oraz Giga Texas w Austin (Teksas, USA), przy czym najnowsze i najnowocześniejsze są dwa ostatnie z wymienionych.

Według założeń niemiecka fabryka Giga Berlin ma produkować rocznie 500 tysięcy samochodów elektrycznych. Zastosowano w niej zarówno innowacyjne technologie typu automatyzacja z użyciem algorytmów sztucznej inteligencji (*automating intelligently*), jak i rozwiązania wspierające ekologię i zrównoważony rozwój, np. panele solarne umieszczone na dachu fabryki [87]. Jednym ze znaków rozpoznawczych fabryki jest ogromnych rozmiarów (dł. 20 m, wys. 7,5 m, szer. 6 m, masa 400 ton) maszyna przeznaczona do ciśnieniowego odlewania

kompletnych elementów podwozia samochodu ze stopu aluminium, określana mianem Giga Press. Do niewątpliwych zalet tej technologii należy zaliczyć znaczące zmniejszenie liczby operacji, a co za tym idzie, ograniczenie nakładu pracy i skrócenie czasu koniecznego do wyprodukowania całego auta: pojedynczy element wytworzony przez to urządzenie odpowiada 70 komponentom powstałym przy użyciu tradycyjnego procesu. Maszyna obsługiwana przez roboty potrzebuje niespełna 100 sekund na cykl wytworzenia jednego elementu podwozia, a zatem jest zdolna do wyprodukowania 40–45 kompletnych komponentów na godzinę, co daje ok. 1000 dziennie.

Łącznie w berlińskiej fabryce pracuje ponad 600 robotów, na czele z Godzilla Robotem – największym takim urządzeniem produkcyjnym na świecie. Zrobotyzowane linie produkcyjne używane w fabryce Tesli wspierane są przez algorytmy sztucznej inteligencji oraz uczenie maszynowe, które umożliwiają uzyskanie wysokiej wydajności [88]. Natomiast dzięki sensorom i internetowi rzeczy w czasie rzeczywistym monitoruje się linie produkcyjne, błyskawicznie wykrywając błędy i problemy jakościowe oraz identyfikując miejsca o małej efektywności, które będzie można eliminować. Dane gromadzi się w ustrukturyzowany i ustandaryzowany sposób, w ten sposób mogą służyć do dalszych analiz i udoskonalania procesu. Dzięki zaawansowanym technologiom z taśmy produkcyjnej berlińskiej fabryki Tesli zjeżdża 4000 samochodów elektrycznych tygodniowo, a w niedługim czasie planuje się zwiększenie wydajności i osiągnięcie liczby 5 tysięcy. Długoterminowym celem jest coroczne zwiększenie efektywności istniejących fabryk o 50%.

Innym przykładem inteligentnej fabryki jest chińska firma Haier znajdująca się w Qingdao w Chinach, która wytwarza urządzenia domowe, w tym pralki, kuchenki mikrofalowe, lodówki i piekarniki. W 2019 roku przedsiębiorstwo to, wraz z chińskim operatorem telefonicznym China Mobile, firmą Huawei oraz M-Star, wzięło udział we wspólnym przedsięwzięciu pn. *5G Smart Factory*, którego celem było opracowanie zestawu zintegrowanych technologii i zaimplementowanie ich właśnie w fabryce Haier. Zastosowane rozwiązania dotyczyły m.in.: zapewnienia jakości z użyciem przemysłowych systemów wizyjnych (*machine vision*), utrzymania za pomocą systemu przemysłowej rzeczywistości rozszerzonej (*industrial AR*), współpracy maszyn (*inter-machine collaboration*), transportu materiałów wewnątrz fabryki z użyciem pojazdów bezzałogowych wyposażonych w układ

nawigacji (*automated guided vehicle*, AGV), zarządzania energią (*smart power*) oraz systemów bezpieczeństwa. Celem projektu było przede wszystkim znaczące zwiększenie efektywności fabryki przy jednoczesnej poprawie jakości wytwarzanych w niej produktów, a w efekcie – przejście na model zrównoważonej i mniej uciążliwej dla środowiska produkcji (*sustainable and green manufacturing*).

Innymi przykładami inteligentnych fabryk, jakie wymienia literatura przedmiotu [89], są dwie niemieckie firmy. Pierwsza z nich to BMW w Lipsku, która od 2013 r. produkuje elektryczne pojazdy BMW i3, szcycąc się wysokim poziomem integracji robotyzacji i automatyzacji. Druga zaś to Adidas – w fabrykach tego producenta obuwia i odzieży sportowej, dzięki odpowiedniej organizacji procesu rozwoju produktu, wysokiemu poziomowi robotyzacji oraz zastosowaniu innowacyjnych technologii, z powodzeniem realizuje się paradygmat masowej kustomizacji z jednoczesnym zachowaniem wysokiej wydajności i krótkich przestojów. Wśród innych przykładów inteligentnych fabryk często wymieniane są kolejne przedsiębiorstwa zlokalizowane w Niemczech: zakład produkcyjny firmy Infineon w Dreźnie, fabryka firmy Bosch w Blaichach (Bosch Connected Factory) oraz Siemens w Amberg (Siemens Elektronikwerk Plant).

Interesujący przykład cyfrowej transformacji w zakresie skutecznego wdrażania innowacyjnych i zaawansowanych rozwiązań informatycznych z obszaru Przemysłu 4.0 stanowi wspomniana wyżej firma BMW. W 2018 roku rozpoczęto w niej projekt wymiany systemu TAIS służącego do zarządzania danymi produktowymi, na nowy, zaawansowany, klasy PLM produkt firmy PTC o nazwie Windchill. Pierwszy z nich był opracowanym i przez wiele lat samodzielnie doskonalonym rozwiązaniem, jednak na pewnym etapie rozwoju firmy nie był w stanie sprostać stawianym mu wyzwaniom, głównie w związku z modyfikacjami linii produkcyjnych. Z tego też powodu sporym problemem okazał się proces efektywnego przestawiania się na produkcję samochodów hybrydowych i elektrycznych, a co za tym idzie – rozszerzania możliwości istniejącego systemu. Przeszarżałość technologiczna i brak wykwalifikowanych ekspertów, którzy odpowiedzialiby za utrzymanie i niezbędne aktualizacje, zdecydowały o wdrożeniu PLM.

Zgodnie z założeniami system ten miał być częścią złożonej, zautomatyzowanej architektury składającej się z wielu innych, powiązanych ze sobą systemów. Wdrożenie PLM było więc częścią większej inicjatywy – projektu PSMG HUB, a ten z kolei należał do jeszcze większego projektu iSpirit.

Pobocznym celem wszystkich tych działań była szeroko pojęta standaryzacja, m.in. metodyk realizacji projektów IT i zasad pracy w obszarze tzw. DevOps² (*Development and Operations*). Jej zadaniem było ułatwianie wdrożeń i samodzielnego rozwoju zaawansowanych systemów IT, a w efekcie – ulepszenie i usprawnienie działania różnych obszarów firmy.

Rolą systemu PLM miała być kompleksowa obsługa danych produktowych przekazywanych z działów inżynierskich, w tym wprowadzanie i przetwarzanie informacji o opcjach i wariantach, zamówieniach i informacjach związanych z łańcuchem dostaw. W założeniu ostatnim etapem procesu powinno być automatyczne wygenerowanie zindywidualizowanego obrazu fabryki (*plant specific view*) oraz dostosowanej do tego obiektu listy materiałowej.

Elementem PLM – systemu opartego na rolach, miało być także rozwiązanie PTC ThingWorx Navigate upraszczające i przyspieszające dostęp do danych produktowych użytkownikom pełniącym różne funkcje w fabryce i pracującym w różnych jej obszarach.

Zgodnie z założeniami nowy system stanowiłby wspólną, globalną cyfrową platformę danych produktowych (*product data backbone*) i umożliwiłby grupie BMW ustanowienie bardziej oszczędnego i wydajnego procesu planowania produkcji.

Zmiany społeczne i technologiczne określane mianem czwartej rewolucji przemysłowej zostały dostrzeżone w pierwszej dekadzie XXI wieku. W porównaniu z wcześniejszymi rewolucjami przebieg obecnych zmian jest dużo szybszy, a przez to bardziej odczuwalny. Poprzez swoją intensywność i gwałtowność wpływa na niemalże każdy aspekt życia ludzi, jednak zachodzące procesy nie są widoczne w każdej części świata w jednakowym stopniu. W największym zakresie rewolucja dotyczy krajów rozwiniętych, zaś w wielu częściach świata jej skutki są ledwo dostrzegalne, a w niektórych miejscach zachodzą przemiany zaliczane raczej do wcześniejszych przewrotów przemysłowych.

Większość krajów rozwiniętych, dostrzegając zachodzące przemiany, opracowało i wdrożyło krajowe programy, których celem jest zintensyfikowanie i przyspie-

2 DevOps jest metodyką zespołenia rozwoju (*development*) i eksploatacji (*operations*) oraz zapewnienia jakości (*quality assurance*), która kładzie nacisk na ścisłą współpracę i komunikację profesjonalistów z zakresu utrzymania IT (administratorów) oraz specjalistów od rozwoju oprogramowania (programistów). Uwzględnia współzależność rozwoju i utrzymania IT, co w efekcie skraca czas wdrożenia funkcji w oprogramowaniu [90].

szenie procesu cyfrowej transformacji oraz wsparcie najbardziej istotnych gałęzi przemysłu i gospodarki.

Niezależnie od tych inicjatyw, trendy transformacji cyfrowej skłaniają firmy przemysłowe z różnych branż do koncentrowania się na tworzeniu nowej generacji produktów i inteligentnych fabryk. Organizacje stoją więc przed wyzwaniem związanym z pracą zespołową w dużych, rozproszonych geograficznie i multidyscyplinarnych zespołach i zmuszone są stosować zintegrowane podejścia do rozwoju produktów i wytwarzania, z uwzględnieniem współpracy grup eksperckich integrujących różne dyscypliny, np. mechanikę, mechatronikę, automatykę i robotykę, wytwarzanie oprogramowania i wielu innych. Oczekuje się, że trend ten odegra znaczącą rolę we wdrażaniu zaawansowanych rozwiązań, takich jak IoT, systemy cyberfizyczne, duże zbiory danych, chmura obliczeniowa, wytwarzanie przyrostowe, rzeczywistość rozszerzona i wirtualna. Znaczącą funkcję w tym procesie pełnią również systemy klasy PLM przeznaczone do zarządzania danymi produktowymi w całym cyklu życia produktu, które coraz częściej traktowane są jako platformy do budowania złożonych rozwiązań informatycznych obejmujących całą organizację lub nawet integrujących wiele z nich. Systemy te umożliwiały dotąd zarządzanie danymi jedynie na etapie wdrożenia produktu, zaś obecnie integrowane są z innymi ważnymi systemami przedsiębiorstwa, jak ERP, MES, SCM lub CRM. Wielkiego znaczenia nabrały także aspekty środowiskowe związane ze zrównoważonym rozwojem produktów i gospodarką obiegu zamkniętego. Dostawcy oprogramowania, zauważając wymienione trendy, w coraz większym stopniu skupiają się na wyposażaniu dostarczanych przez siebie systemów w funkcje wspierające te koncepcje.

Dysponowanie kompleksową infrastrukturą, zarówno w obszarze systemów informatycznych, jak i produkcyjnych, stanowi niezwykle ważny wyróżnik zaawansowanych technologicznie organizacji, świadczący o tym, że poczyniły one znaczące postępy w ujednocinaniu danych produktów oraz procesów w różnych domenach i lokalizacjach, a tym samym osiągnęły wysoki poziom wdrożenia technologii Przemysłu 4.0.

5. Metodyki oceniające poziom wdrożenia Przemysłu 4.0

5.1. Wybrane modele dojrzałości cyfrowej

Ocena poziomu wdrożenia Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwie jest zagadnieniem bardzo trudnym, ponieważ obejmuje cały cykl życia produktu oraz pełny łańcuch dostaw, jak również projektowanie, wytwarzanie, sprzedaż, zarządzanie zapasami, planowanie produkcji oraz obsługę klienta. Jedną z najważniejszych koncepcji w tym zakresie jest ADMA – skrót od *Advanced Manufacturing* oznaczający fabryki przyszłości stosujące innowacyjne procesy produkcyjne, które dbają o zrównoważony rozwój oraz społeczny aspekt swojej działalności. Jest to inicjatywa Komisji Europejskiej skupiająca się na oferowaniu wsparcia przedsiębiorstwom produkcyjnym i przetwórczym, które chcą zastosować najnowsze rozwiązania usprawniające procesy produkcyjne oraz wspierające ochronę zasobów naturalnych. Jednym z takich rozwiązań jest skaner ADMA opracowany przez Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości, który stosuje się do weryfikacji kompetencji cyfrowych przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej (rozdz. 5.2).

Oczywiście istnieje wiele innych modeli oceny dojrzałości cyfrowej, które pomagają firmom zrozumieć, na jakim etapie rozwoju cyfrowego się znajdują i jakie kroki należy podjąć, aby osiągnąć wyższy poziom. Jednym z popularniejszych jest metodyka badania dojrzałości cyfrowej opisana w ramach projektu Google'a i Boston Consulting Group [91]. Model ten zakłada cztery etapy dojrzałości: 1. powstający (*medio-centric*), 2. zauważalny (*techno-centric*), 3. połączony (*data-centric*) oraz 4. multi-moment (*full data driven*). Ponadto każdy z tych etapów można rozpatrywać pod wieloma aspektami: rozwoju organizacji, zarządzania danymi, integracji technologii, automatyzacji działań lub stopnia zaawansowania w poszczególnych kanałach.

Konkurencyjnym modelem oceny dojrzałości cyfrowej jest rozwiązanie zaproponowane przez Engave [92], które opiera się na siedmiu wskaźnikach: kultura

organizacyjna przedsiębiorstwa, stopień cyfrowego przywództwa (*leadership*), możliwości finansowe (budżet wzrostowy) oraz zastosowania nowych technologii wytwarzania, poziom integracji technologii cyfrowych, wdrożenia cyfrowych procesów wymiany informacji oraz cyfrowej komunikacji.

Firma McKinsey & Company [93] proponuje natomiast model oceny bazujący na pięciu wymiarach cyfrowej zdolności przedsiębiorstwa: strategia cyfrowa, kultura organizacyjna, zdolności wykonawcze, zarządzanie talentami cyfrowymi oraz stopień rozwoju zarządzania procesami produkcyjnymi. Każdy z tych wymiarów ocenia się na podstawie skali od 1 do 4, gdzie 1 oznacza brak zdolności, a 4 ich najwyższy poziom.

Firma konsultingowa Deloitte proponuje swój własny model oceny dojrzałości [94], którego podstawą jest możliwość oceny pięciu obszarów: strategii cyfrowej przedsiębiorstwa, kultury i talentu cyfrowego, zdolności wykonawczych, działalności cyfrowej oraz technologii procesów produkcyjnych. Każdy z nich punktuje się w skali od 1 do 5, a oceny przyznaje się na podstawie kwestionariusza wypełnionego przez pracowników przedsiębiorstwa.

Ciekawym rozwiązaniem jest model oceny dojrzałości cyfrowej zaproponowany przez Polski Fundusz Rozwoju PFR wspólnie z Fundacją Digital Poland [95], który pozwala na poznanie mocnych i słabych stron przedsiębiorstwa oraz zwiększenie świadomości dotyczącej czynników wpływających na cyfryzację przedsiębiorstwa. W tym przypadku ocenianych jest aż dziewięć obszarów tematycznych związanych ze strategią cyfryzacji, kompetencjami cyfrowymi kadry, innowacyjnością procesów produkcyjnych, cyfrowych produktów, narzędzi, danych, infrastruktury ICT, cyberbezpieczeństwa i komunikacji z klientem.

5.2. Narzędzia Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości

Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości powstała na mocy ustawy z dnia 17 stycznia 2019 r. (Dz. U. 2019, poz. 229 [96]; Dz. U. 2022, poz. 807 [97]). Jej celem statutowym jest [...] *działanie na rzecz wzrostu konkurencyjności przedsiębiorców poprzez wspieranie ich transformacji cyfrowej w zakresie procesów, produktów i modeli biznesowych wykorzystujących najnowsze osiągnięcia z dziedziny automatyzacji, sztucznej inteligencji, technologii teleinformatycznych oraz komunikacji pomiędzy maszynami oraz człowiekiem a maszynami, z uwzględnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa tych rozwiązań.*

Aktualnie do najważniejszych zadań Platformy należą:

- uświadamianie – opracowanie systemowego *Słownika pojęć Przemysłu Przyszłości* dostępnego pod adresem: <https://elearning.przemyslprzyszlosci.gov.pl/sownik-przemyslu-przyszlosci/>,
- wspieranie zwiększania poziomu technicznego, technologicznego i organizacyjnego przedsiębiorców – informowanie o możliwych formach wsparcia ze strony Platformy: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/eksperci/>,
- realizacja działalności informacyjnej i szkoleniowej dla przedsiębiorców w zakresie cyfryzacji przemysłu – prowadzenie Szkoły Lidera, tj. stacjonarnego, kompleksowego kursu szkoleniowego skierowanego do kadry menadżerskiej wysokiego i średniego szczebla: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/szkola-lidera/>,
- promowanie i wspieranie stosowania przez przedsiębiorców inteligentnych systemów zarządczych, wytwórczych i dystrybucyjnych opartych na pozyskiwaniu, gromadzeniu, przesyłaniu i analizie danych – organizowanie konkursu „Fabryka Przyszłości”: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/fabryka-przyszlosci/>.

Wszystkie wspomniane inicjatywy potrzebują wsparcia cyfrowych narzędzi, których pakiet opracowały zespoły robocze w ramach prac ekspertów Fundacji. Z perspektywy tematyki poruszanej w niniejszym opracowaniu interesującym rozwiązaniem badawczym jest oferowane przez Fundację darmowe narzędzie samooceny dostępne na stronie internetowej <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/skaner-adma-opis/>. Zgodnie z promowanym przez organizację modelem działalności firmy, każdy podmiot z branży produkcyjnej może dzięki niemu sprawdzić poziom gotowości do wdrażania założeń transformacji w kierunku Przemysłu 4.0.

5.2.1. Skaner ADMA

Jednym z narzędzi opracowanych i udostępnionych przez Fundację jest skaner ADMA, czyli oprogramowanie służące nie tylko do analizy poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa produkcyjnego, ale także tworzenia efektywnych planów jego rozwoju oraz motywowania do ciągłego doskonalenia w kierunku inteligentnej fabryki [98].

Zgodnie z koncepcją ADMA proces transformacji przedsiębiorstwa powinien objąć siedem kluczowych obszarów:

1. zaawansowane technologie produkcyjne,
2. fabryka cyfrowa,
3. fabryka ekologiczna,
4. kompleksowa inżynieria zorientowana na klienta,

5. organizacja skupiona na człowieku,
6. inteligentna produkcja,
7. otwarta fabryka skoncentrowana na łańcuchu wartości,

zaś weryfikacja dojrzałości przedsiębiorstwa musi uwzględniać samooceny przeprowadzone przez co najmniej 3-5 liderów głównych obszarów organizacyjnych: dyrektora zakładu, szefa produkcji, utrzymania ruchu, działu IT, zaopatrzenia, sprzedaży oraz działu HR.

Szczególnie ważny obszar transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa dotyczy kwestii wprowadzania nowoczesnych urządzeń produkcyjnych – mowa o transformacji technologicznej. W sytuacji dynamicznie zmieniających się warunków rynkowych oraz przy szybkim rozwoju nowych technologii wytwarzania (druk 3D, zrobotyzowane systemy produkcyjne, sterowanie procesem produkcyjnym z zastosowaniem sztucznej inteligencji) przedsiębiorstwa nie mogą działać za pomocą przestarzałych i mało wydajnych maszyn. W celu uzyskania przewagi konkurencyjnej konieczne jest wdrożenie nowoczesnych środków produkcji oraz opracowanie specjalnych urządzeń do użytku w kluczowych etapach produkcji.

W ramach drugiego obszaru transformacji badany jest poziom zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa, czyli analizowane jest kryterium fabryka cyfrowa. Istotnym elementem znacząco zwiększającym stopień wdrożenia analizowanych technologii jest budowa cyfrowych modeli realizowanych procesów produkcyjnych. Dysponując takimi narzędziami, można analizować efekty wprowadzanych zmian jeszcze przed podjęciem rzeczywistych działań.

Bardzo istotnym parametrem świadczącym o stopniu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa jest zrównoważona produkcja zdolna do optymalnego wykorzystania surowców i energii. Fabryka ekologiczna to taka, w której dąży się do redukcji zużycia energii oraz stosuje odnawialne źródła energii. Konieczne jest przy tym zwrócenie szczególnej uwagi na zarządzanie zasobami produkcyjnymi w celu ograniczenia niekorzystnego oddziaływania realizowanych procesów na środowisko. Obecnie procesy przemysłowe pochłaniają aż 15% globalnego zużycia energii oraz 35–40% surowców naturalnych [99], zatem każde działanie zmierzające do zmniejszenia tych wskaźników przyczyni się do poprawy kondycji środowiska naturalnego. W tym kontekście szczególnie preferowanym rozwiązaniem jest wytwarzanie przyrostowe, które wymaga tylko tyle materiału, ile potrzeba do wytworzenia produktu (w przeciwieństwie do obróbki ubytkowej polegającej na skrawaniu tzw. przygotówki), a nawet ma potencjał zmniejszania

masy materiału dzięki odpowiedniemu projektowaniu struktury wewnętrznej wyrobu (np. plaster miodu).

Zintegrowana produkcja zorientowana na klienta jest czwartym obszarem transformacji ocenianym metodą ADMA. Kompleksowa analiza wymagań klientów wspierana przez wirtualne modele procesów produkcyjnych (w tym też cyfrowe bliźniaki) oraz systemy wspomagające badania symulacyjne pozwala na optymalizację procesów produkcyjnych, a w konsekwencji maksymalizację korzyści w zakresie produkcji, użytkowania, serwisowania i utylizacji zużytych produktów.

Jednym z głównych czynników świadczących o wysokim poziomie zaawansowania cyfrowego jest wdrożenie elementów inteligentnej produkcji polegającej na efektywnym wspomaganie procesów produkcyjnych komputerowymi systemami wyposażonymi w algorytmy sztucznej inteligencji (uczenie maszynowe, sztuczne sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne, logika rozmyta). SI jest już dzisiaj uważana za technologię konieczną do zarządzania złożonymi procesami produkcyjnymi, o czym świadczą chociażby wyniki ankiety z udziałem 676 firm produkcyjnych z 16 uprzemysłowionych krajów [100]. Potwierdzają one pozytywny wpływ stosowania sztucznej inteligencji na jakość decyzji podejmowanych w zakresie *offshoringu* i *backshoringu*.

Kolejnym elementem oceny poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa jest kryterium pn. organizacja skupiona na człowieku. Przedmiotem weryfikacji jest stopień zaangażowania pracowników w rozwój firmy, a celem stworzenie jak najlepszych warunków do zwiększania kompetencji i umiejętności kadry. Organizacja powinna motywować i wspierać pracowników, m.in. oferując szkolenia, zapewniając coaching i mentoring (w zakresie planowej ścieżki rozwoju zawodowego, inspirowania do udziału w projektach ciągłego doskonalenia procesów itp.).

Ostatnim elementem oceny zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa jest sprawdzenie stopnia jego usieciowienia. W kontekście dynamicznego rozwoju technologii i ciągłych zmian rynkowych (wymagań klientów) innowacyjne firmy nie mogą polegać wyłącznie na własnych zasobach i zastrzeżonych rozwiązaniach. Konieczna jest stopniowa ewolucja od pojedynczych przedsiębiorstw do organizacji sieciowych, tzw. otwartych fabryk skoncentrowanych na łańcuchu wartości, które dzielą zarówno ryzyko, jak i kapitał. Szczególnie ceniona jest w tym przypadku współpraca i partnerstwo oraz zarządzanie rozproszoną wiedzą.

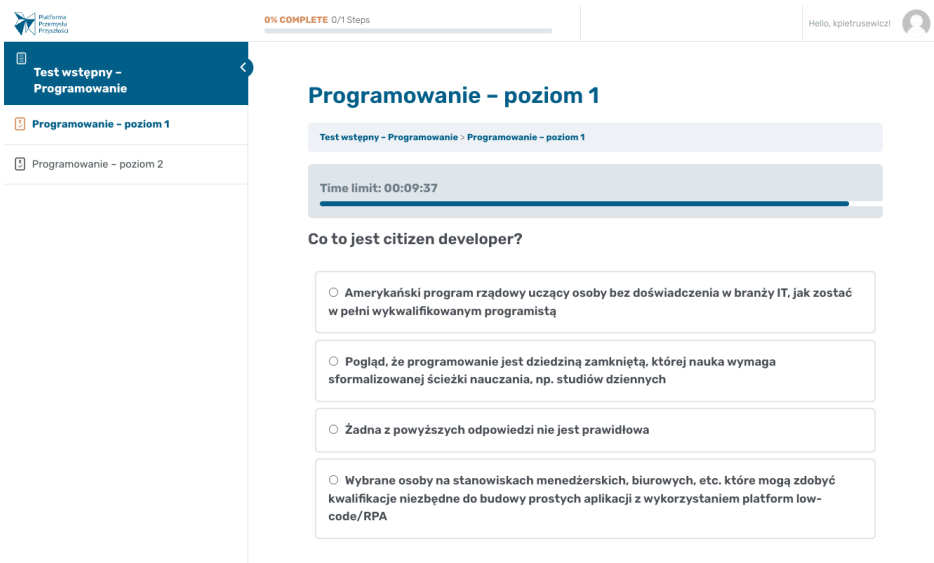
5.2.2. Weryfikator kompetencji cyfrowych

Jednym z najważniejszych aspektów, na które zwraca się obecnie uwagę w kontekście rozwoju przedsiębiorstwa jest konieczność przygotowania kadry na potrzeby gospodarki cyfrowej, w związku z tym w pierwszej kolejności należałoby dokonać oceny stanu wiedzy pracowników w takich obszarach jak: *big data*, wizualizacja i programowanie. Narzędziem do takiego rodzaju zautomatyzowanego procesu oceny stopnia zawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa jest aplikacja opracowana przez Fundację: Weryfikator kompetencji cyfrowych [101], która pomaga także w wyznaczeniu indywidualnej ścieżki rozwoju na podstawie zgromadzonych danych.

Użytkownik ma możliwość zapoznania się z opracowanymi materiałami na dwóch poziomach: podstawowym i zaawansowanym. W fazie początkowej zdobywa wiedzę o najważniejszych pojęciach z danego obszaru, co znacząco ułatwia mu współpracę z ekspertami i komunikację: potrafiąc posługiwać się terminami języka fachowego, może identyfikować potrzeby i przedstawiać swoje pomysły. Na etapie zaawansowanym pogłębia swoją wiedzę, tak by móc aktywnie uczestniczyć w działaniach związanych z przygotowaniem projektów z zakresu cyfryzacji produkcji, a po ukończeniu kursu i pozytywnym zdaniu testu uzyskuje odpowiedni certyfikat. Chociaż aplikację opracowano głównie z myślą o potrzebach pracowników biur koordynatorów klastrów, to może z niej skorzystać każda osoba zainteresowana zdobywaniem nowych kompetencji cyfrowych³ i wiedzy na temat technologii cyfrowych. Na rys. 5.1 przedstawiono przykładową stronę testu wstępnego dotyczącą programowania z pierwszego poziomu oceny kompetencji cyfrowych.

Po zdefiniowaniu stanu wyjściowego w zakresie omawianych kompetencji aplikacja prowadzi użytkownika przez cztery etapy procesu samokształcenia. W pierwszym pracownik zaznajamia się podstawowymi pojęciami, w drugim porządkuje zdobyte informacje, gruntując swoją wiedzę i umiejętności, zaś w trzecim poznaje bardziej skomplikowane koncepcje i definicje. Na koniec ma możliwość praktycznego, samodzielnego użycia zdobytej wiedzy i umiejętności [101].

3 Na potrzeby realizacji polityk publicznych termin „kompetencje cyfrowe” zdefiniowano jako kompozycję wiedzy, umiejętności i postaw umożliwiających życie, uczenie się i pracę w społeczeństwie cyfrowym, czyli społeczeństwie wykorzystującym technologie cyfrowe zarówno w pracy, jak i w życiu codziennym [101].



Rys. 5.1. Widok jednej z podstron testu dostępnego w aplikacji Weryfikator kompetencji cyfrowych [101]

5.3. Program Cyfrowa Europa

Cyfrowa Europa (DIGITAL – *The Digital Europe Programme*) to nowy unijny program finansowania skupiający się na udostępnianiu technologii cyfrowych przedsiębiorstwom, obywatelom i organom administracji publicznej.

5.3.1. Europejskie centra innowacji cyfrowych (EDIH)

W Polsce, w wyniku preselekcji na poziomie krajowym, a następnie w ramach konkursu Komisji Europejskiej „European Digital Innovation Hubs” (DIGITAL-2021-EDIH-01), wyłoniono 11 takich ośrodków wsparcia przedsiębiorców (EDIH) [102]:

- Mazovia EDIH (European Digital Innovation Hub of Mazovia),
- PDIH (Pomeranian Digital Innovation Hub),
- Smart Secure Cities (Creating Smart Secure Cities for EU Citizens),
- WAMA EDIH (WaMa Innovation Hub),
- TKDIH (Technopark Kielce DIH),
- EDIH-SILESIA (EDIH Silesia Smart SYstems),
- WRO4digITal (WRO4digITal European Digital Innovation Hub Wrocław),
- h4i (hub4industry),

- re_d (re_d: rethink digital – Central Poland Digitalisation Hub),
- HPC4Poland EDIH (HPC4Poland European Digital Innovation Hub),
- CyberSec (National Center for Secure Digital Transformation).

Kolejnymi trzema konsorcjami zostały tzw. Seal of Excellence: EDIH4CP-1 (European Digital Innovation Hub for North – Central Poland – 1), LUBDIGHUB (Establishment of European Digital Innovation Hub in Lubelskie Region Poland), FTCH (FinTech Copernicus Hub). W tabeli 5.1 zestawiono dane dotyczące liczby europejskich konsorcjów, które powstały w ramach omówionych wyżej ścieżek, dając wyobrażenie o skali analizowanego zjawiska.

Tabela 5.1. Zestawienie liczbowe europejskich konsorcjów zapewniających wsparcie MŚP oraz organizacji sektora publicznego [102]

Kraj	Liczba EDIH	Liczba Seal of Excellence
Niemcy	16	1
Francja	16	0
Włochy	13	24
Hiszpania	12	13
Polska	11	3
Rumunia	7	0
Holandia	6	0
Czechy	6	0
Belgia	6	0
Węgry	5	0
Dania	5	0
Bułgaria	4	8
Szwecja	4	7
Grecja	4	3
Słowacja	4	1
Austria	4	0
Chorwacja	4	0
Finlandia	4	0
Portugalia	3	13
Litwa	3	0
Irlandia	2	2
Słowenia	2	1

Kraj	Liczba EDIH	Liczba Seal of Excellence
Łotwa	2	0
Norwegia	2	0
Liechtenstein	1	1
Estonia	1	0
Luksemburg	1	0
Islandia	1	0
Cypr	1	0
Malta	1	0
SUMA	151	77

Narzędziem oceny dojrzałości cyfrowej stosowanym w ramach Programu jest tzw. *Digital Maturity Assessment (DMA) Tool* [103], czyli rozwiązanie zapewniające ustrukturyzowaną ścieżkę do cyfrowej transformacji i dojrzałości, które stosuje następujące kryteria szacowania:

- ogólny poziom dojrzałości cyfrowej,
- cyfrowa strategia biznesowa,
- gotowość cyfrowa,
- cyfryzacja zorientowana na człowieka,
- zarządzanie danymi,
- automatyzacja i sztuczna inteligencja,
- zielona cyfryzacja.

Każdy beneficjent Cyfrowej Europy co najmniej trzykrotnie podlega analizie dojrzałości. Zgodnie z przyjętym wzorcem następuje to w chwilach: To, czyli rozpoczęcia wsparcia (jednakże nie później niż 6 miesięcy po rozpoczęciu wsparcia ze strony EDIH), T1 – po roku od To, oraz T2 – po 2 lata od To [104].

5.3.2. DMA Tool

Program obejmuje także małe i średnie przedsiębiorstwa oraz jednostki sektora publicznego i dla tych adresatów opracowano osobne, ale analogicznie działające narzędzia przeznaczone do wstępnej analizy dojrzałości, które udostępniono na portalu Komisji Europejskiej pod adresem: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/guidance-documents/dma-tool-smes-guidance-material> [105].

Rozwiązania to zbierają i analizują dane w ramach dwóch modułów: dane klienta oraz dojrzałość cyfrowa, a ocena obejmuje następujące kryteria [106]:

- strategia biznesowa w zakresie cyfryzacji,
- gotowość cyfrowa,
- cyfryzacja zorientowana na człowieka,
- zarządzanie danymi i łączność,
- automatyzacja i sztuczna inteligencja,
- zielona cyfryzacja.

Odpowiedzi na pytania zawarte w pierwszym module służą przede wszystkim do określenia obecnego stanu transformacji badanej organizacji oraz ustalenia obszarów, w których przedsiębiorstwa te mogą potrzebować wsparcia ze strony EDIH. Wyniki oceny mają także znacznie szerszy, ponadjednostkowy zakres użycia, stanowiąc potencjalne źródło informacji potrzebnych do doprecyzowania polityki UE i instrumentów finansowych wspierających Program.

Standaryzacja podejścia do oceny poziomu wdrożenia założeń Przemysłu 4.0 jest niezwykle ważnym aspektem wsparcia przemysłu i jednostek sektora publicznego w zakresie cyfrowej transformacji MŚP. Standardization Council Industrie 4.0 co roku publikuje w swoim serwisie internetowym raporty, w których pojęcia „standard” i „referencyjny model architektury” odnawiane są przez wszystkie przypadki [107].

W najświeższym opracowaniu z 2023 r. zdefiniowano podstawy standardu oceny ekosystemu cyfrowego w przedsiębiorstwie, na które składają się cztery obszary:

- semantyka jako podstawa interpretacyjnych systemów cyfrowych przedsiębiorstwa,
- dane przemysłowe,
- projektowanie przyjaznych człowiekowi stanowisk pracy (odpowiedni sprzęt roboczy, odpowiednie środowisko pracy) oraz
- zrównoważony rozwój i aspekty ekologiczne przemysłu 4.0 obejmujące monitorowanie i redukcję emisji z instalacji przemysłowych, a także ochronę środowiska w odniesieniu do produktów i ich wpływu na to środowisko [107].

Dzięki wprowadzeniu standaryzacji, a tym samym metodycznego podejścia do oceny poziomu wdrożenia Przemysłu 4.0, zyskuje się pewność, że wszystkie strony procesu transformacji mówią jednym językiem – językiem przemysłu przyszłości.

Dokonując przeglądu stosowanych metod oceniających poziom wdrożenia Przemysłu 4.0, przede wszystkim zwrócono uwagę na dwa obecnie najważniejsze narzędzia, które stanowią wsparcie głównie dla małych i średnich przedsiębiorstw oraz organizacji sektora publicznego. Po pierwsze mowa o pakiecie narzędzi

oferowanych przez powołaną ustawą z 2019 roku Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości (skaner ADMA i Weryfikator dojrzałości cyfrowej), a po drugie o całkowicie nowych na europejskich rynkach rozwiązaniach, jakimi są Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych (EDIH) i ich weryfikatory dojrzałości cyfrowej – DMA Tool.

Wszystkie te instrumenty pozwalają na wszechstronną analizę poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa oraz tworzenie efektywnych planów jego transformacji w zakresie wdrożenia zaawansowanych technologii produkcyjnych i cyfrowych, rozwiązań proekologicznych, zorientowanych na zaspokojenie potrzeb klientów oraz efektywnego wspomagania procesów produkcyjnych algorytmami sztucznej inteligencji.

6. Ocena wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 w polskich przedsiębiorstwach sektora motoryzacyjnego

6.1. Metodyka badań

Rozwój technologii oraz dostępność różnorodnych elektronicznych kanałów komunikacyjnych sprawiły, że badania ankietowe są nadal jedną z częściej stosowanych metod pozyskiwania informacji. Wobec powyższego do zdiagnozowania, na jakim etapie przemysłowej rewolucji są polskie przedsiębiorstwa sektora motoryzacyjnego, przygotowano narzędzie badawcze właśnie w postaci kwestionariusza ankiety. Arkusz podzielono na dwie części: pierwsza, która dookreśla profil respondenta i przedsiębiorstwa z jakiego się wywodzi lub na rzecz którego działa oraz druga, zasadnicza, składająca się z 33 pytań (załącznik 1).

W poprzednich rozdziałach niniejszej monografii zwrócono uwagę na mnogość rozwiązań, które stanowią wyznaczniki Przemysłu 4.0. Większość z nich znalazła swoje odzwierciedlenie w konstrukcji przeprowadzonej ankiety, stając się kryteriami służącymi do wszechstronnej oceny wdrożenia innowacyjnych narzędzi przemysłu przyszłości.

Informacje definiujące przedsiębiorstwo i respondenta gromadzono na podstawie 13 charakterystyk, a wśród nich znalazły się i informacje dotyczące struktury właścicielskiej firmy i formy prawnej prowadzonej działalności gospodarczej. Segmentacji przedsiębiorstw dokonano także na podstawie liczby zatrudnionych pracowników, stażu funkcjonowania przedsiębiorstwa na rynku oraz przychodów ze sprzedaży produktów (dane za 2022 r.). Na tym etapie badań istotne było także dookreślenie charakteru produkcji, zdefiniowanie portfela produktowego, wyodrębnienie grupy wyrobów, w jakich specjalizuje się przedsiębiorstwo (kategoria dostawcy) oraz ustalenie zasięgu jego oddziaływania (rozpiętość rynku). Weryfikację respondentów i filtrowanie zgromadzonych informacji przeprowadzono

według kryteriów: zajmowane stanowisko, wiek oraz staż pracy ankietowanego w sektorze motoryzacyjnym.

Rozwój każdego przedsiębiorstwa jest oceniany na podstawie wskaźników efektywności, których wartość przede wszystkim determinują: jakość, wydajność oraz skuteczność wykorzystywanych zasobów. „Czym jest Przemysł 4.0?” oraz „czy pracownicy zatrudnieni w przedsiębiorstwie mieli okazję zapoznania się z tym pojęciem?” – to pierwsze z pytań zawartych w ankiecie. Co prawda definicja Przemysłu 4.0 nie jest bardzo precyzyjna, niemniej da się ją wyrazić jako koncepcję obejmującą działania, które za pomocą Internetu zmierzają do pełnej integracji ludzi, maszyn, procesów i usług w taki sposób, aby móc generować, przetwarzać i stosować informacje w celu zwiększania efektywności przedsiębiorstw. W kontekście powyższego w dalszej części ankiety poproszono respondentów o samoocenę poziomu wiedzy, jaką dysponują na temat Przemysłu 4.0.

Trwająca rewolucja przemysłowa pozwoliła na budowę nowego środowiska pracy, w którego centrum znajduje się człowiek wraz z jego potrzebami. Wskazuje się na ogromny potencjał racjonalizacji tkwiący w nowych technologiach, co skutkuje zwiększaniem wymagań wobec pracowników. W związku z powyższym w ramach realizowanych badań poproszono o weryfikację kompetencji pracowników, biorąc pod uwagę między innymi takie atrybuty jak: dostarczanie pomysłów, znajomość literatury branżowej, otwartość na nowości i zmiany, doświadczenie zawodowe.

Ważnym wyzwaniem przedsiębiorstw sektora motoryzacyjnego jest stworzenie odpowiednich warunków sprzyjających innowacjom. Zadanie to powinno znaleźć się w strategiach rozwoju i dotyczyć zarówno zasobów technologiczno-organizacyjnych, jak i samych pracowników z ich wcześniejszymi osiągnięciami, unikalnym potencjałem rozwojowym oraz istniejącymi i możliwymi przewagami kompetencyjnymi. Potencjał przedsiębiorstw w zakresie trwałego i zrównoważonego rozwoju wynikającego z innowacyjnych rozwiązań, jest zatem przedmiotem kolejnego pytania ankietowego.

W obecnych warunkach funkcjonowania przedsiębiorstw cyfryzacja stała się nieodłączną częścią strategii rozwoju. Firmy, które wszechstronnie stosują narzędzia cyfrowe, zyskują przewagę konkurencyjną, osiągają lepszą efektywność operacyjną i są w stanie dostosować się do dynamicznie zmieniającego się otoczenia biznesowego. Kolejny fragment ankiety odnosi się właśnie do powyższych kwestii – ankieterzy poprosili o ocenę obecnego poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa, w tym m.in. o wdrożenie zarządzania procesami biznesowymi.

Kolejne pytania szczegółowej weryfikowały stan wyjściowy badanych firmy w zakresie rozwoju koncepcji Przemysłu 4.0. Wytypowano 24 kryteria oceny (deskrypty – atrybuty innowacyjności), a ocenę przeprowadzono za pomocą pięciostopniowej skali Likerta. W pytaniach zastosowano nieparzystą liczbę odpowiedzi, tak by środkowa pozostała neutralna dla respondenta.

W dobie Przemysłu 4.0 zwraca się uwagę na konieczność przekazywania całości funkcji kierowania procesem wytwórczym specjalistycznym urządzeniom, dlatego tak ważne jest wdrożenie rozwiązań techniczno-biznesowych bazujących na technologiach internetowych. W kolejnym pytaniu zwrócono zatem uwagę na zdolność i poziom stosowania rozproszonych czujników, urządzeń oraz innych elementów sieci lub oprogramowania do przetwarzania i analizy danych w czasie rzeczywistym.

Chcąc ocenić poziom zaawansowania technologicznego przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej, należy ustalić, czy organizacje te stosują oprogramowanie do przetwarzania i analizy danych w czasie rzeczywistym oraz określić dostępność bieżących informacji produkcyjnych na poziomie zarządczym. W tym celu w ankiecie zastosowano kilka pytań szczegółowych, na przykład o poziom optymalizacji produkcji oraz wdrażania metodyki predykcyjnego utrzymania ruchu.

Z perspektywy oceny dojrzałości przedsiębiorstwa zasadne było także określenie możliwości tworzenia systemów cyberfizycznych (CPS) łączących układy mechatroniczne, elektroniczne oraz komunikacyjne, i tym kryteriom poświęcono kolejne pytania ankietowe.

W kontekście całościowej oceny zdolności cyfrowych przedsiębiorstwa bardzo ważne było ustalenie, czy firma dokonuje integracji systemów produkcyjnych z warstwami IT i obszarem biznesowym oraz czy wdraża środki bezpieczeństwa w celu minimalizacji zewnętrznych i wewnętrznych zagrożeń cybernetycznych – zagadnieniom tym poświęcono kolejną sekwencję pytań ankietowych.

Konsekwencją rozwoju idei sztucznej inteligencji i metod ich praktycznego wdrażania jest uczenie się – proces ściśle związany z rozwojem oprogramowania stosowanego zwłaszcza w innowacyjnych technologiach i produkcji. Odpowiednie algorytmy decyzyjne i systemy uczenia się mają pozwolić oprogramowaniu na zautomatyzowanie procesu pozyskiwania i analizy danych do ulepszania i rozwoju własnego systemu. W związku z tym zapytano, czy badana organizacja dysponuje strategią obejmującą metodykę projektowania systemów przemysłowych oraz stosowania technologii umożliwiających uczenie się maszyn.

Następna część ankiety służyła ocenie zaawansowania przedsiębiorstw w zakresie struktury obliczeniowej umożliwiającej zdalne przechowywanie i przetwarzanie danych. Zapytano o możliwość skalowania systemów i o obawy związane z bezpieczeństwem danych i cyberprzestępczością.

Współczesne wytwarzanie to działania oparte na modelowaniu wiedzy, danych i rozwijaniu algorytmów oraz dużych mocy obliczeniowych, co przy obecnym stanie techniki pozwala osiągnąć względnie zautomatyzowany system produkcji. Analitykę danych uznaje się zatem za kierunek priorytetowy i inwestuje się w nią znaczne środki. Konstruując ankietę, zwrócono zatem uwagę na możliwości analizy dużych i różnorodnych zbiorów danych z zastosowaniem zaawansowanej analityki oraz algorytmów sztucznej inteligencji. Zapytano o możliwość użycia narzędzi do optymalizacji procesów, wykrywania nieprawidłowości i interpretacji danych produkcyjnych.

Kolejne kryterium oceny dotyczyło poziomu wsparcia inżynierów i techników podczas realizacji prac projektowych oraz serwisowych. Między innymi badano zakres stosowania gogli lub innych urządzeń wirtualnej oraz rozszerzonej rzeczywistości oraz zwrócono uwagę na wirtualne szkolenia zmniejszające koszty wdrażania nowych pracowników do pracy.

Następny etap badań dotyczył oceny zautomatyzowania powtarzalnych i manualnych procesów. Dzięki takim usprawnieniom, w tym wdrożeniu robotów współpracujących, następuje minimalizacja wystąpienia ryzyka wynikającego z ludzkich błędów. W ankiecie zwrócono także uwagę na autonomiczne pojazdy w intralogistyce zakładowej oraz możliwość zastąpienia nimi tradycyjnych transporterów. Jako że redukcja czasów przebrojeń wpływa znacząco na cały proces produkcyjny, poprawiając jego efektywność i produktywność oraz eliminując zbędne zapasy, na kolejnym etapie badań zapytano o sam proces przebrojenia i przeprogramowania maszyny. Tym samym przyjęto, że poziom realizacji postulatów Przemysłu 4.0 jest wypadkową wdrażania metod, technik i narzędzi, które umożliwiają skrócenie czasu wymienionych wyżej procesów.

Następnie zwrócono uwagę na przechowywanie danych – zadanie, które stało się bardzo ważnym aspektem działalności każdego przedsiębiorstwa. Istotny jest nie tylko sam proces gromadzenia, ale przede wszystkim dbałość o bezpieczeństwo tego zasobu i respektowanie przepisów RODO. W celu uniknięcia kradzieży należy zastosować specjalistyczne oprogramowania antywirusowe i zapory sieciowe (*firewall*), a także tworzyć kopie zapasowe. Ważnym czynnikiem bezpiecznego przechowywania danych jest także sama ochrona przed nieuprawnionym dostę-

pem. Powyższe rozwiązania pozwalają zapewnić odpowiedni poziom bezpiecznego przechowywania danych w formie cyfrowej i o te właśnie aspekty zapytano respondentów w kolejnych pytaniach ankietowych.

Wdrożenie funkcjonalnego i dostosowanego do potrzeb organizacji systemu zarządzania jest fundamentem na drodze do zwiększenia efektywności procesów produkcyjnych i ciągłego doskonalenia w kierunku idei Przemysłu 4.0. Nowoczesny, niezwykle intuicyjny i łatwy w obsłudze system pozwala lepiej zarządzać produkcją, głównie dzięki monitorowaniu pracy maszyn, opomiarowaniu kluczowych procesów, identyfikacji wąskich gardeł oraz dostępowi do danych w czasie rzeczywistym. W kontekście powyższego, dokonując pomiaru zaawansowania badanych przedsiębiorstw, zapytano o narzędzia do komunikacji z systemami zarządzania produkcją i magazynem oraz zwrócono uwagę na możliwość tworzenia inteligentnych produktów, które są wyposażone w takie właśnie mechanizmy komunikacyjne.

Dla twórców ankiety istotna była odpowiedź na pytanie, czy przedsiębiorstwa stosują urządzenia przenośne zapewniające możliwości dostępu do informacji produkcyjnych oraz sterowania maszynami i systemami.

Firmy sektora motoryzacyjnego potrzebują nowoczesnych rozwiązań, które zaspokoją rosnące wymagania klientów. Coraz więcej odbiorców oczekuje produktów, które będą spersonalizowane, a w dodatku będzie je można nabyć po atrakcyjnych cenach porównywalnych do wyrobów standardowych. Wyzwaniem przed jakim stają producenci sektora motoryzacyjnego, jest zaoferowanie produktów dostosowanych do indywidualnych potrzeb klientów z zachowaniem relatywnie niskich kosztów produkcji. Odpowiedzią na te oczekiwania może być zastosowanie technologii szybkiego prototypowania elementów i wytwarzania części o nietypowych kształtach oraz funkcjach – rozwiązania te stanowią jedno z kryteriów oceny uwzględnionych w ankiecie. Kolejna część badania diagnozowała więc poziom wyposażenia respondentów w oprogramowanie umożliwiające tworzenie wirtualnych reprezentacji fizycznych systemów oraz symulowanie ich działania.

Celem następnej sekwencji pytań było ustalenie, w jakim stopniu przedsiębiorstwa stwarzają możliwość zawierania tzw. *smart contracts* pomiędzy podmiotami bez istnienia gwaranta w postaci firmy trzeciej lub instytucji. Ankieta objęła także kwestie technologii rozproszonych rejestrów przechowujących informacje o transakcjach oraz diagnozowała, czy przedsiębiorstwo zarządza rozproszonymi aktywami, flotą pojazdów oraz zdalnymi zespołami pracowników i określa położenia geograficzne z zastosowaniem GPS lub adresu IP.

Unikatowe tożsamości cyfrowe, które umożliwiają pełną identyfikację i lokalizację danego obiektu, zapewniają czujniki RFID. Jednym z założeń przyjętych przez ankietujących, było uznanie tych rozwiązań za jeden z wyznaczników wydajności operacyjnej w sektorze motoryzacyjnym, dlatego też w kwestionariuszu zapytano respondentów o zakres stosowania tej technologii w ich przedsiębiorstwie.

Kolejne pytania dotyczyły innego kluczowego procesu wpisanego w koncepcję Przemysłu 4.0 – mowa o automatyzacji, czyli rozwiązaniu szczególnie pożądanym w przypadku produkcji wielkoseryjnej lub masowej charakterystycznej dla sektora motoryzacyjnego.

Szybsze i bardziej efektywne wykorzystywanie danych firmy oraz sprawniejszy ich obieg wymaga skorzystania z oprogramowania opartego na chmurze. Chmurowe systemy ERP poprawiają komunikację i zwiększają wydajność organizacji bez dodatkowych zasobów i wydatków potrzebnych do spełnienia wysokich wymagań wdrożeniowych, stąd ich posiadanie uznano za istotny czynnik, który należy uwzględnić w badaniu ankietowym.

Do utrzymania opłacalności realizowanego zlecenia niezwykle istotne jest optymalne planowanie zasobów. W motoryzacji ma to szczególne znaczenie w przypadku wytwarzania złożonych części i podzespołów występujących w wielu różnych wariantach lub wykonywanych na indywidualne zlecenie. Narzędziem wspierającym racjonalne zarządzanie zapasami są systemy Enterprise Resources Planning, których implementacja, i to w jak najszerszym zakresie, gwarantuje eliminację dodatkowych kosztów i zapewnia rentowność produkcji. W ankiecie pytano także o ten aspekt działalności przedsiębiorstwa, jako że kryjące się w skrócie ERP planowanie zasobów obejmuje kontrolę i zarządzanie najważniejszymi zasobami i procesami w niemal każdym obszarze biznesowym (sprzedaż, finanse, księgowość, magazyn, kadry, zaopatrzenie, produkcja itd.).

Kolejnym kryterium oceny beneficjenta był zakres wykorzystania systemu Manufacturing Execution System (MES) – technologii informatycznych, oprogramowania, urządzeń elektronicznych i elementów automatyki, umożliwiających efektywne zbieranie informacji w czasie rzeczywistym wprost ze stanowisk produkcyjnych i ich transfer na obszar biznesowy. Poproszono o dookreślenie zakresu, w ramach którego dane pozyskiwane z procesu produkcyjnego pozwalają na analizę kluczowych wskaźników efektywności produkcji i uzyskanie prawdziwego obrazu wykorzystania zdolności wytwórczych.

W dalszej części kwestionariusza zapytano o zdolność do tworzenia modeli procesów i systemów operacyjnych oraz symulowania ich zachowania w warunkach quasi-rzeczywistych. Tego typu rozwiązania umożliwiają analizę wyników ekonomicznych (np. kosztów, rentowności, płynności finansowej i zapotrzebowania na kapitał obrotowy) oraz operacyjnych (np. produktywności, sprawności, niezawodności, poziomu wykorzystania zasobów), jeszcze przed podejmowaniem decyzji biznesowych, dlatego powyższy obszar uwzględniono jako kryterium oceny.

Podsumowując, głównym celem badania ankietowego było uzyskanie wszechstronnej, kompleksowej wiedzy na temat wszystkich aspektów działalności przedsiębiorstw sektora motoryzacyjnego, które wpisują się w koncepcję Przemysłu 4.0. Docelowo chodziło nie tylko o uzyskanie odpowiedzi na pytanie, jakie komponenty czwartej rewolucji przemysłowej wdrożono w ankietowanych firmach, ale przede wszystkim o określenie zasięgu, poziomu wprowadzonych rozwiązań.

Zgromadzone dane poddano następnie dogłębnej analizie (rozdz. 6.2), a uzyskane wyniki posłużyły do sformułowania wniosków, rekomendacji i oceny stopnia zaawansowania technologii przyszłości w polskiej rzeczywistości gospodarczej.

Zebrany za pomocą kwestionariusza ankiety materiał umożliwił zweryfikowanie poziomu realizacji poszczególnych determinant oraz sformułowanie wniosków i rekomendacji, przeznaczonych szczególnie dla przedsiębiorstw przemysłu motoryzacyjnego.

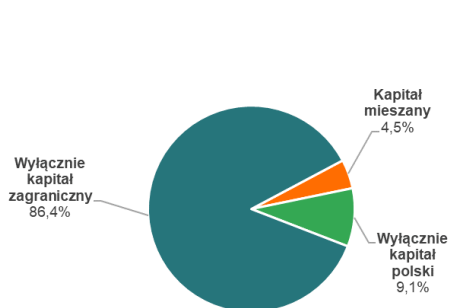
6.2. Wyniki badań i analiza

W badaniu wzięły udział 22 przedsiębiorstwa produkujące samochody osobowe i ciężarowe oraz autobusy, a także wytwarzające komponenty i elementy wyposażenia pojazdów. Każdy z respondentów został poinformowany o celu ankiety i możliwych formach jej wypełnienia (on-line, w wersji papierowej), a samo badanie w większości przypadków odbywało się bez osoby nadzorującej i bez uprzedniego omówienia kwestionariusza. Formularz wypełniali reprezentanci firm wybrani ze względu na ich znajomość procesów zachodzących w przedsiębiorstwie.

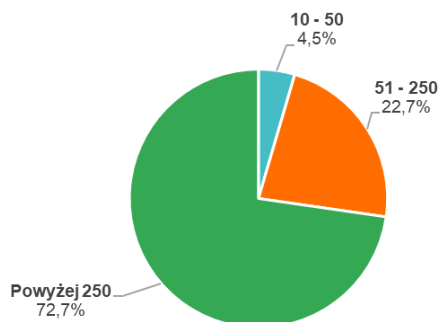
6.2.1. Profil badanych przedsiębiorstw

Jak już wspomniano, pierwsza część ankiety służyła zebraniu informacji związanych z działalnością przedsiębiorstw i danych na temat reprezentantów firmy.

Większość beneficjentów stanowiły przedsiębiorstwa duże, zatrudniające ponad 250 pracowników, dysponujące głównie kapitałem zagranicznym (wykres 6.1 i 6.2). Pod względem formy organizacyjnej prawie wszystkie (za wyjątkiem jednego przypadku) funkcjonują jako spółki z ograniczoną odpowiedzialnością.

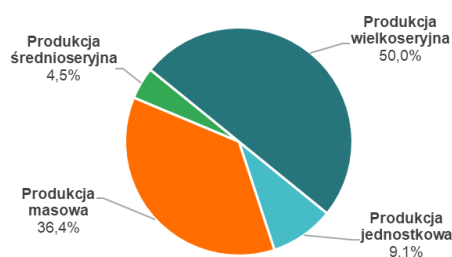


Wykres 6.1. Struktura właścicielska ankietyowanych przedsiębiorstw

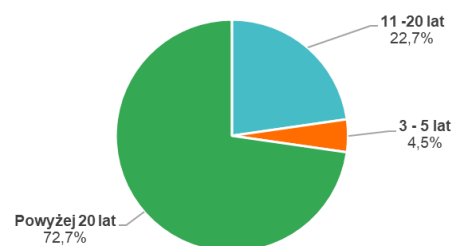


Wykres 6.2. Wielkość zatrudnienia w ankietyowanych przedsiębiorstwach

W przeważającej większości (77%) respondentami byli przedstawiciele wyższej lub średniej kadry kierowniczej, rzadziej zarządu (18%), w wieku 36-54 lat (80%), działający w branży *automotive* ponad 10 lat (70%).



Wykres 6.3. Charakter produkcji badanych przedsiębiorstw

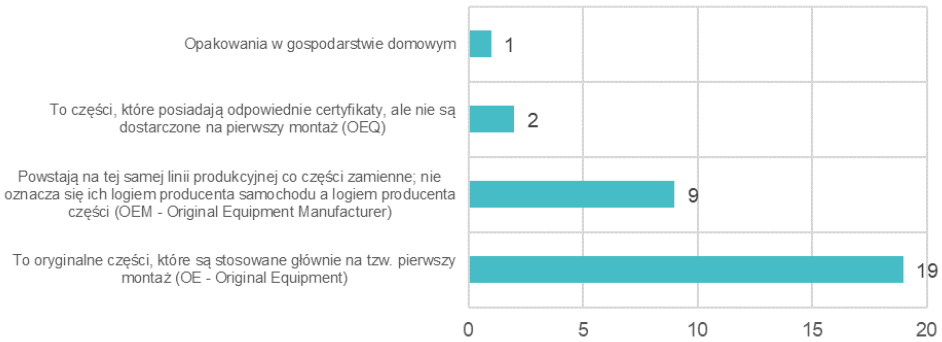


Wykres 6.4. Okres funkcjonowania badanych przedsiębiorstw na rynku

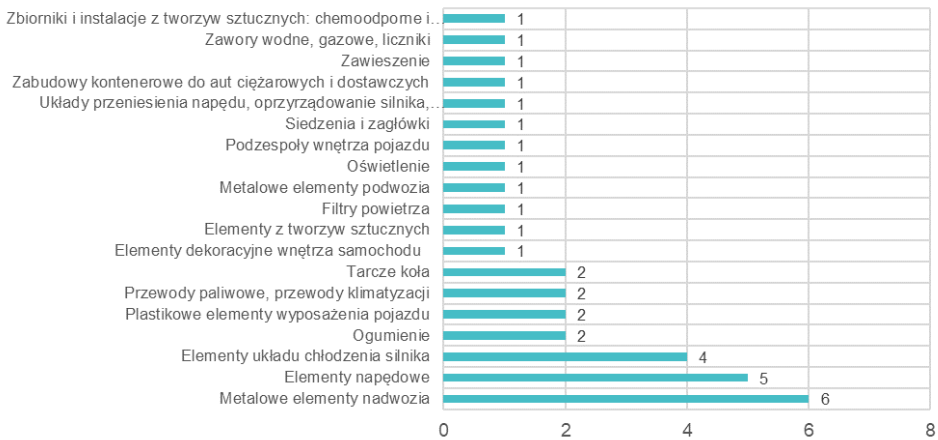
Połowa ankietyowanych przedsiębiorstw charakteryzuje się produkcją wielkoseryjną (wykres 6.3), a aż 73% funkcjonuje na rynku od ponad 20 lat (wykres 6.4), przy czym wszystkie z nich działają na rynkach zagranicznych.

Z wykresu 6.5 wynika, że w większości przypadków części produkowane są na tzw. pierwszy montaż (OE – *Original Equipment*), a przedsiębiorstwa specjalizują

się głównie w produkcji metalowych części nadwozia, elementów napędowych oraz układu chłodzenia silnika (wykres 6.6).



Wykres 6.5. Rodzaje wyrobów produkowanych przez ankietowane przedsiębiorstwa

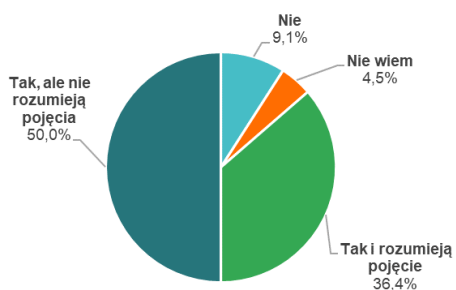


Wykres 6.6. Grupy produktów, w których specjalizują się ankietowane przedsiębiorstwa

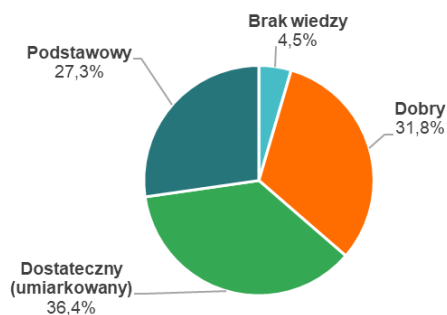
6.2.2. Analiza poziomu wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 w ankietowanych przedsiębiorstwach

W drugiej części kwestionariusza gromadzono dane dotyczące zasadniczego badania, czyli weryfikacji poziomu wdrożenia idei Przemysłu 4.0 (zarówno w obszarze produkcji, jak i świadomości kadry) na podstawie kryteriów – wyznaczników technologii przyszłości.

Spośród ankietowanych przedsiębiorstw blisko 36% zadeklarowało, że pracownicy znają i rozumieją definicję Przemysłu 4.0, natomiast połowa z nich przyznała, że jakkolwiek kadra miała okazję zapoznać się z tym pojęciem, to jednak jego znaczenie jest niezrozumiałe (wykres 6.7). 68% firm deklaruje, że poziom wiedzy na temat Przemysłu 4.0 jest dostateczny bądź dobry, ale żadne nie wybrało odpowiedzi: „bardzo dobry” (wykres 6.8).



Wykres 6.7. Odpowiedzi na pytanie: „Czy pracownicy przedsiębiorstwa mieli okazję zapoznania się z pojęciem koncepcji Przemysłu 4.0?”

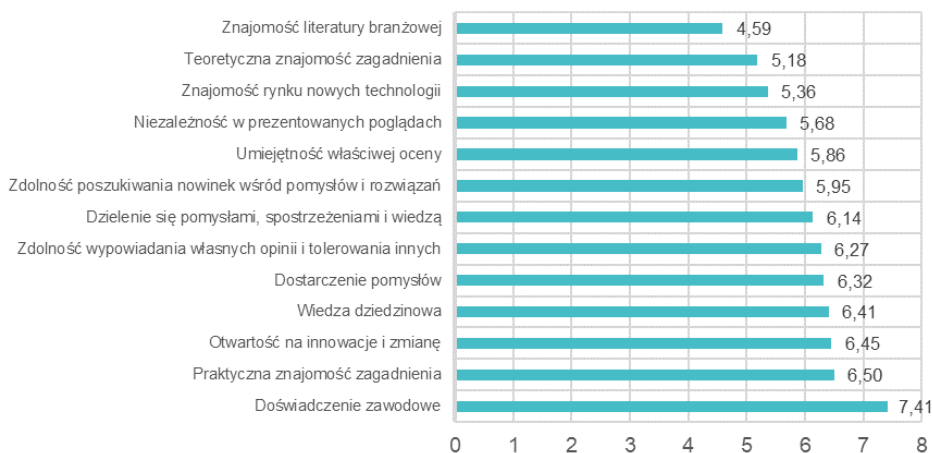


Wykres 6.8. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest poziom wiedzy pracowników na temat Przemysłu 4.0?”

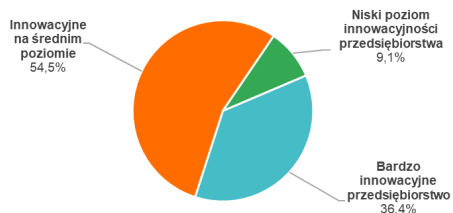
Wykres 6.9 prezentuje wyniki (w postaci średniej ważonej wszystkich uzyskanych odpowiedzi) oceny poszczególnych atrybutów pracowników w skali od 1 (niski poziom) do 10 (wysoki poziom). Respondenci uznali, że najważniejszą wartością jest doświadczenie zawodowe oraz praktyczna znajomość zagadnienia, a trzecią wyróżnioną cechą jest otwartość na zmiany i innowacje. Wymienione wyżej atrybuty w największym stopniu sprzyjają wdrażaniu i rozwijaniu koncepcji Przemysłu 4.0.

36% respondentów uważa swoje przedsiębiorstwo za bardzo innowacyjne, a 55% plasuje je na średnim poziomie w porównaniu z innymi firmami w sektorze (wykres 6.10).

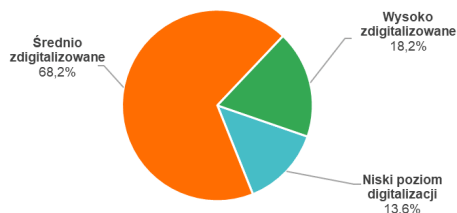
Większość podmiotów (ok. 68%) charakteryzuje się średnim stopniem zaawansowania cyfryzacji; odchyłki mają porównywalną wartość: 18% poziom wysoki, 14% – niski (wykres 6.11).



Wykres 6.9. Ocena atrybutów pracowników w skali od 1 (niski poziom) do 10 (wysoki poziom)



Wykres 6.10. Odpowiedzi na pytanie: „Jak innowacyjne jest przedsiębiorstwo w porównaniu z innymi w sektorze?”



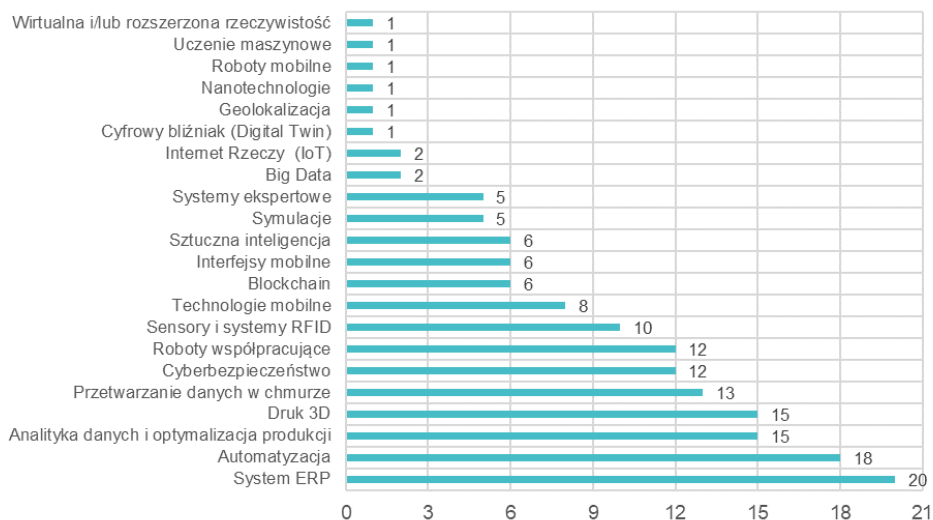
Wykres 6.11. Ocena stopnia zaawansowania cyfryzacji badanych przedsiębiorstw

Pośród wymienionych na wykresie 6.12 aspektów związanych z Przemysłem 4.0 najczęściej implementowanym elementem jest system ERP (aż 20 spośród 22 ankietowanych przedsiębiorstw wdrożyło taki system). Często wymieniano również automatyzację, druk 3D oraz analitykę danych i optymalizację produkcji.

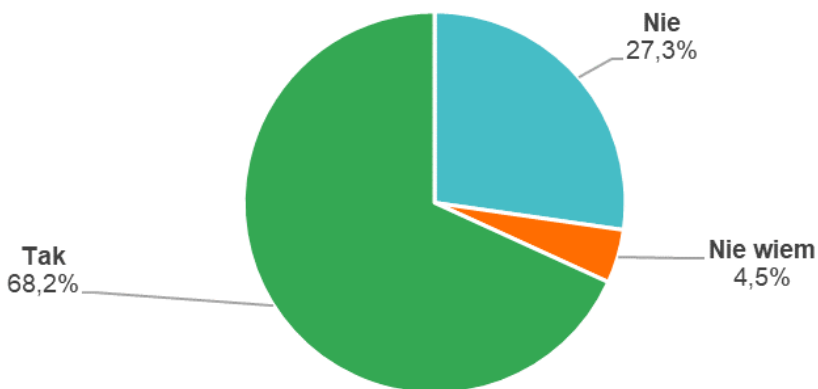
68% przedsiębiorstw biorących udział w badaniu stosuje czujniki RFID (wykres 6.13), które najczęściej monitorują i przekazują informacje o aktualnym stanie zasobów, bądź też zbierają dane i monitorują proces produkcyjny, wychwytyjąc wadliwe wyroby (wykres 6.14).

Choć znacząca większość przedsiębiorstw (86%) zaimplementowała zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologię produkcji (wykres 6.16), to jednak ocena poziomu zautomatyzowania maszyn i urządzeń kształtowała się nieco inaczej: połowa respondentów zadeklarowała 25-procentowy udział takiego

parku maszynowego, a tylko 27% firm może pochwalić się wdrożeniem powyżej 50% (wykres 6.15).



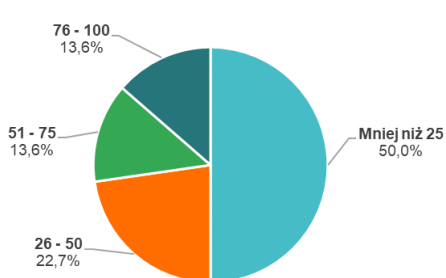
Wykres 6.12. Odpowiedzi na pytanie: „Jakie aspekty związane z Przemysłem 4.0 zaimplementowano w przedsiębiorstwie?”



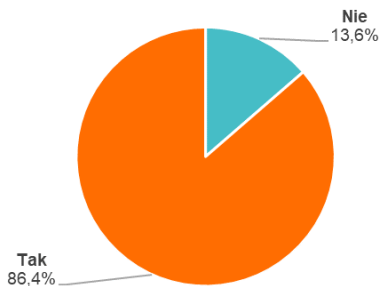
Wykres 6.13. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo wykorzystuje czujniki RFID?”



Wykres 6.14. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest obszar wykorzystywania czujników RFID?”



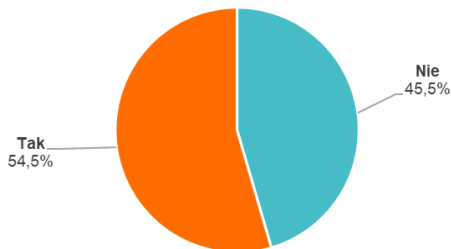
Wykres 6.15. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki procent maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie jest w pełni zautomatyzowany?”



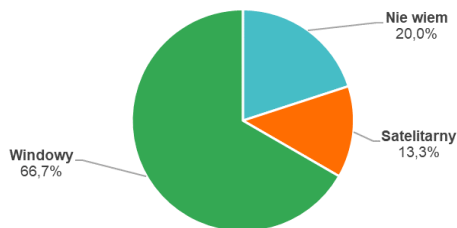
Wykres 6.16. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologię produkcji?”

Całkiem dobrze kwestia ta wygląda w zakresie procesów logistycznych: ponad połowa przedsiębiorstw (54%) dysponuje zautomatyzowanymi regałami magazynowymi (wykres 6.17), przy czym najczęściej stosowanym typem są regały windowe (wykres 6.18).

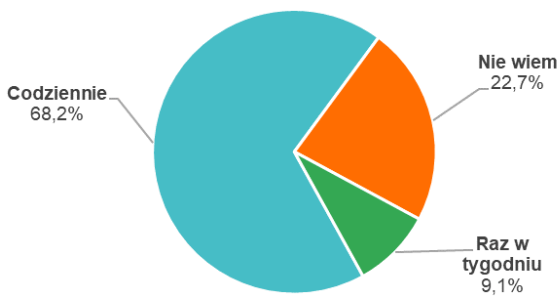
95% ankietyowanych organizacji wdrożyło politykę bezpieczeństwa przepływu informacji, a wszystkie z nich archiwizują dane: 68% codziennie, a 9% raz w tygodniu (wykres 6.19).



Wykres 6.17. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zautomatyzowane regały magazynowe?”



Wykres 6.18. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki typ regałów zautomatyzowanych jest wykorzystywany w przedsiębiorstwie?”

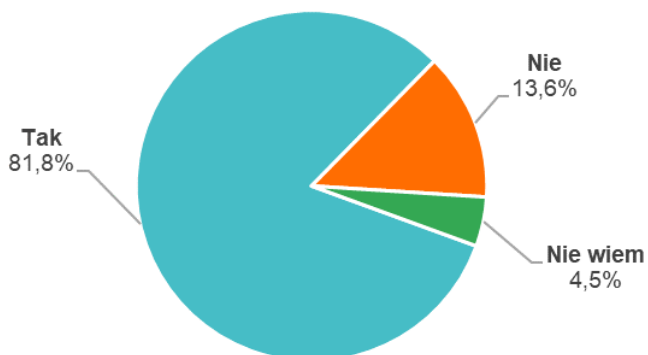


Wykres 6.19. Odpowiedzi na pytanie: „Jak często archiwizuj się dane?”

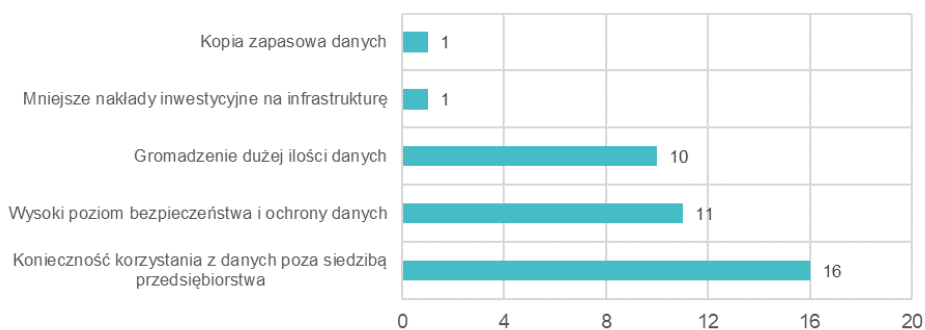
Ponad 80% przedsiębiorstw korzysta z oprogramowania opartego na chmurze (wykres 6.20), deklarując, że głównymi powodami stosowania takiego rozwiązania są: konieczność korzystania z danych poza siedzibą firmy, wysoki poziom bezpieczeństwa i ochrony danych oraz gromadzenie dużej ich ilości (wykres 6.21). W technologii chmurowej działają najczęściej: system ERP, poczta elektroniczna oraz oprogramowanie wspierające zarządzanie relacjami z klientem CRM (wykres 6.22).

Blisko 60% przedsiębiorstw poddanych badaniu widzi konieczność zakupu urządzeń do druku 3D, a 86% deklaruje, że na bieżąco gromadzi i przechowuje w bazach komputerowych (wykres 6.23) dane, które najczęściej dotyczą: produkcji, dokumentacji technicznej oraz finansów i księgowości (wykres 6.24).

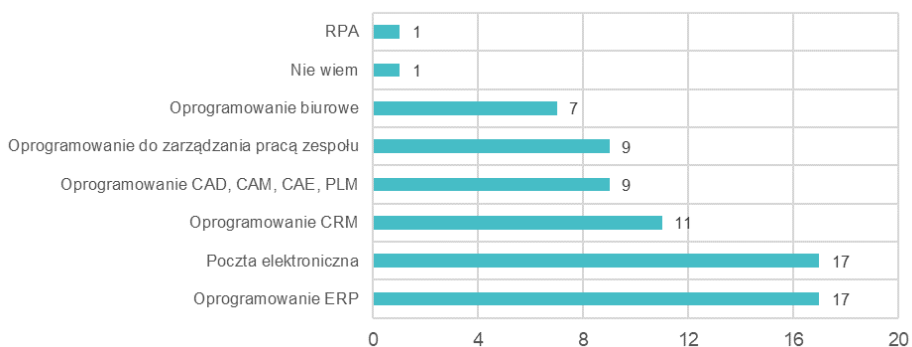
Ponad połowa ankietowanych (59%) przyznała, że ich firma nie stosuje sterowania produkcją w czasie rzeczywistym (wykres 6.25) i tylko 22% przedsiębiorstw dysponuje rozwiązaniami do przetwarzania i analizy *big data*, przy czym tylko 13% planuje takowe zaimplementować (wykres 6.26).



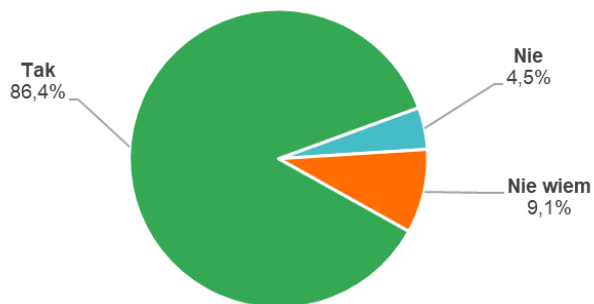
Wykres 6.20. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania opartego na chmurze?”



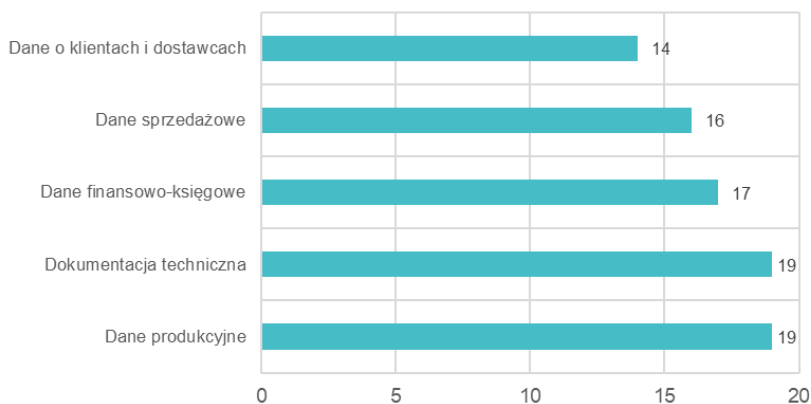
Wykres 6.21. Odpowiedzi na pytanie: „Jakie są główne argumenty korzystania z rozwiązań opartych na chmurze?”



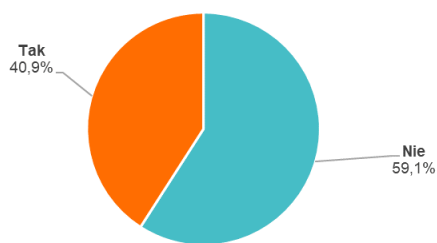
Wykres 6.22. Odpowiedzi na pytanie: „Z jakiego oprogramowania w chmurze korzysta przedsiębiorstwo?”



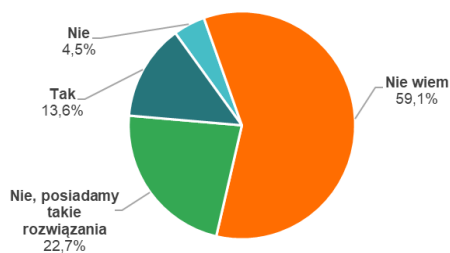
Wykres 6.23. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo przechowuje i na bieżąco gromadzi dane w komputerowych bazach danych?”



Wykres 6.24. Odpowiedzi na pytanie: „Czego dotyczą przechowywane i gromadzone dane w komputerowych bazach danych?”

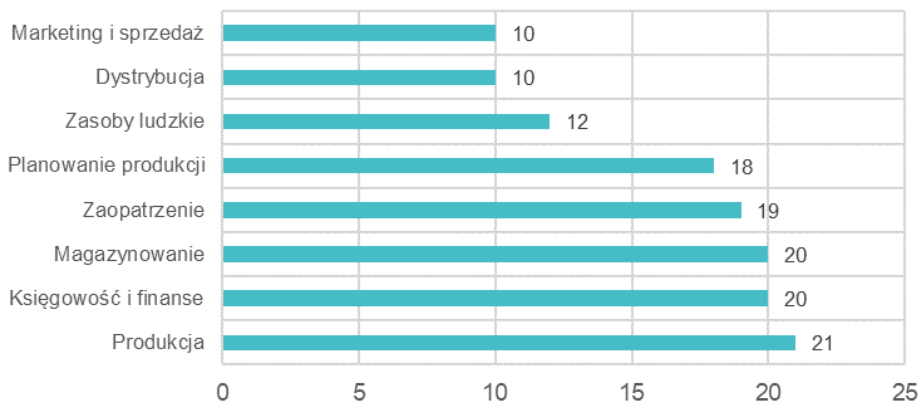


Wykres 6.25. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?”



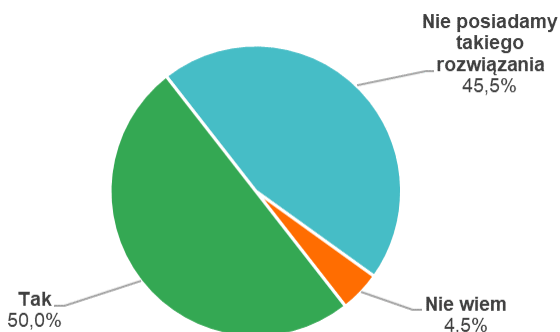
Wykres 6.26. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo planuje zaimplementować przetwarzanie i analizę dużych zbiorów danych (big data)?”

Znakomita większość respondentów (95%) korzysta z systemu ERP, przy czym najczęściej z modułów: produkcja, księgowość, finanse oraz magazynowanie, a w drugiej kolejności (z tym że nie jest to dużo mniejsza częstotliwość użycia): zaopatrzenie i planowanie produkcji (wykres 6.27).

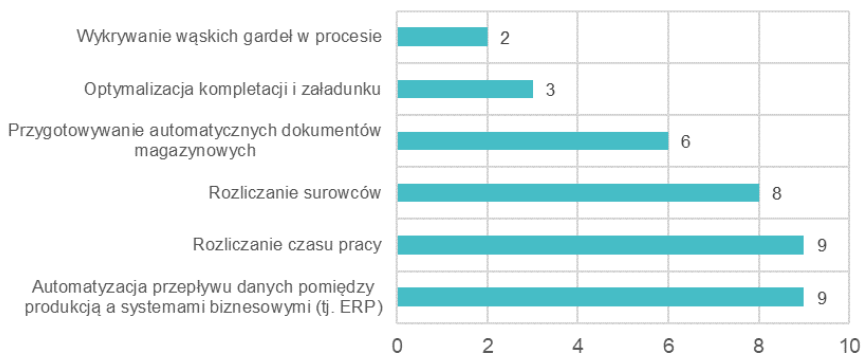


Wykres 6.27. Odpowiedzi na pytanie: „Z jakich modułów systemu ERP korzysta przedsiębiorstwo?”

Nieco niższy poziom stosowalności odnotowuje system MES przeznaczony do analizy danych podczas produkcji. Korzysta z niego 50% przedsiębiorstw (wykres 6.28), które jednocześnie deklarują stosowanie tego rozwiązania przede wszystkim w obszarze automatyzacji przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi (ERP) oraz rozliczania czasu pracy i surowców (wykres 6.29).

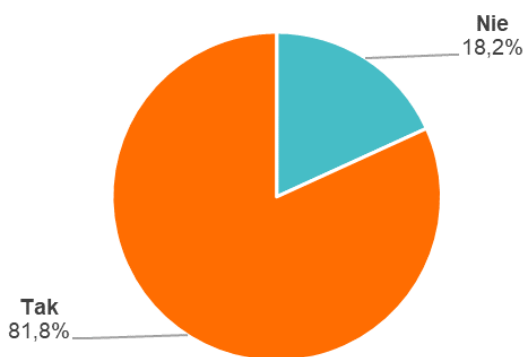


Wykres 6.28. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES (Manufacturing Execution System) do analizy danych podczas produkcji?”

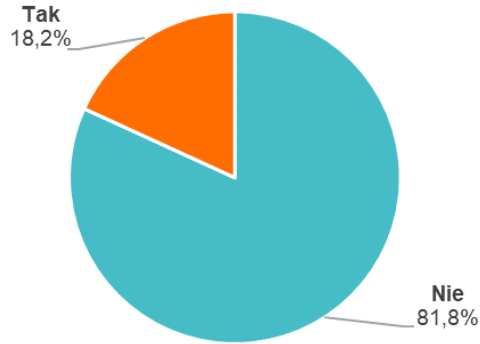


Wykres 6.29. Odpowiedzi na pytanie: „Jakie funkcjonalności systemu MES są wykorzystywane w przedsiębiorstwie?”

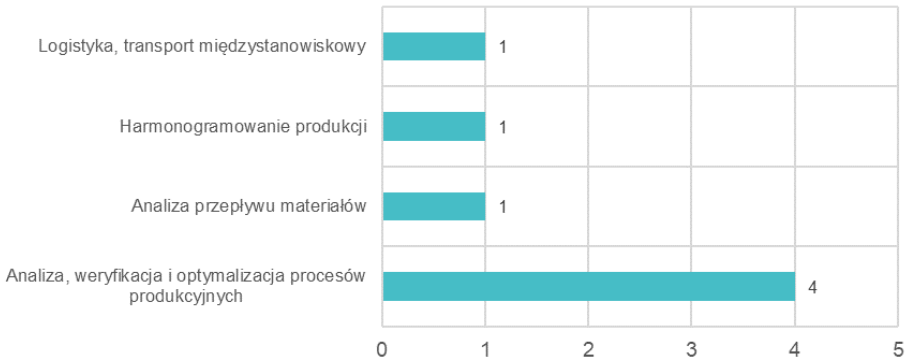
Znacznie większa liczba firm (80%) korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji (wykres 6.30), ale jednocześnie taki sam procent przedsiębiorstw nie korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych (wykres 6.31) i tylko 27% z nich planuje w najbliższym czasie zaopatrzyć się w takie rozwiązania (wykres 6.33). Te z ankietowanych organizacji, które stosują taką technologię, najczęściej używają jej do analizy, weryfikacji i optymalizacji procesów produkcyjnych (wykres 6.32).



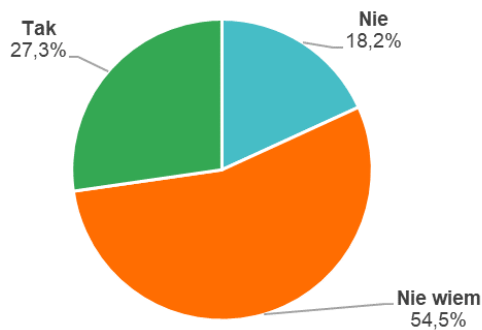
Wykres 6.30. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji?”



Wykres 6.31. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo posiada oraz korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych?”

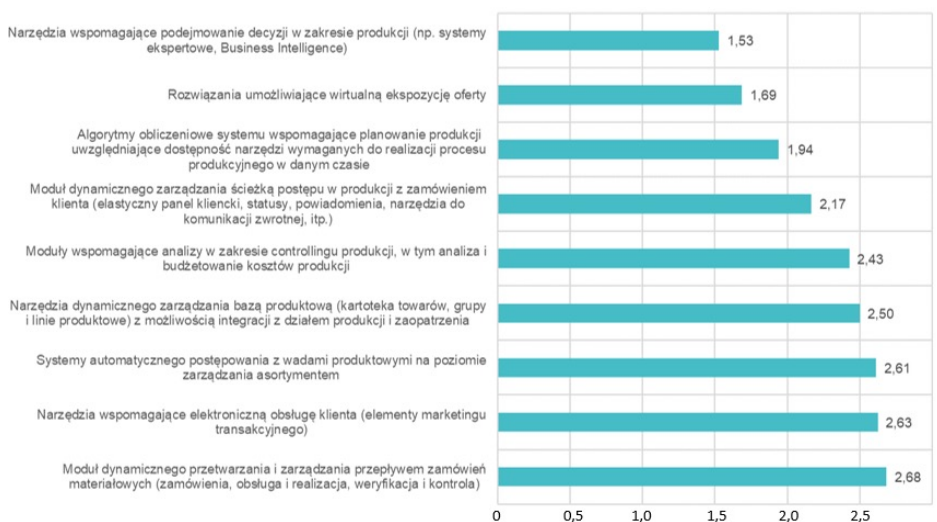


Wykres 6.32. Odpowiedzi na pytanie: „W jakim obszarze wykorzystuje się symulacje?”



Wykres 6.33. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma plan w najbliższym czasie zaimplementować dodatkowy moduł pozwalający na symulacje procesów produkcyjnych?”

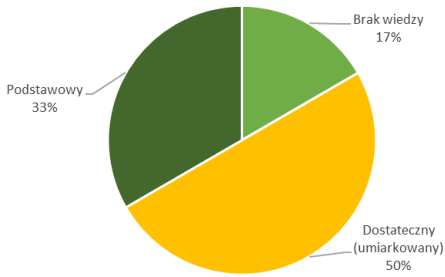
Wykres 6.34 prezentuje stopień zaimplementowania narzędzi Przemysłu 4.0 w skali od 0 (niski stopień) do 5 (wysoki stopień). Ujęte w nim wyniki stanowią średnią ważoną wszystkich udzielonych odpowiedzi. W największym stopniu zaimplementowano moduł dynamicznego przetwarzania i zarządzania przepływem zamówień materiałowych oraz narzędzia wspomagające elektroniczną obsługę klienta.



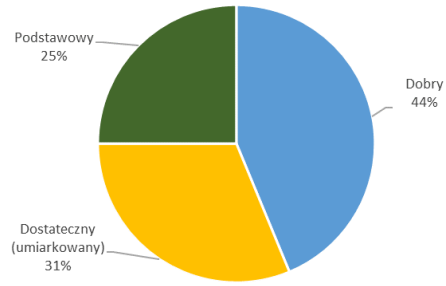
Wykres 6.34. Odpowiedzi na pytanie: „W jakim stopniu (0–5) narzędzia z zakresu Przemysłu 4.0 są zaimplementowane w firmie?”

Po scharakteryzowaniu profilu przedsiębiorstw i analizie poziomu wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 w ankietowanych firmach, przystąpiono do badania zależności zachodzących między odpowiedziami na poszczególne pytania. W pierwszej kolejności zwrócono uwagę na kryterium „wielkość przedsiębiorstwa” – wyróżniono tu dwie grupy: 10-250 pracowników oraz powyżej 250 zatrudnionych, a następnie przeanalizowano wyniki ankiet pod kątem charakteru produkcji: jednostkowej, seryjnej i masowej (wykresy 6.35–6.63).

I tak z ankiet wypełnionych przez reprezentantów firm zatrudniających od 10 do 250 pracowników wynika, że poziom wiedzy kadry na temat Przemysłu 4.0 kształtuje się na poziomie dostatecznym (50%) lub nawet niższym. Lepiej jest w przypadku organizacji większych, tu przeważa ocena dobra (44%), dostateczna (31%) lub podstawowa (25%).

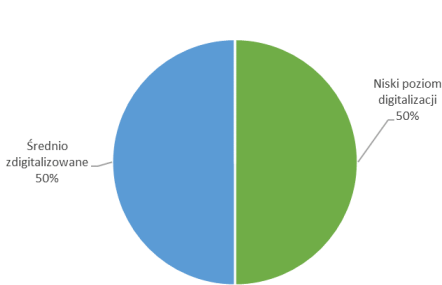


Wykres 6.35. Poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników

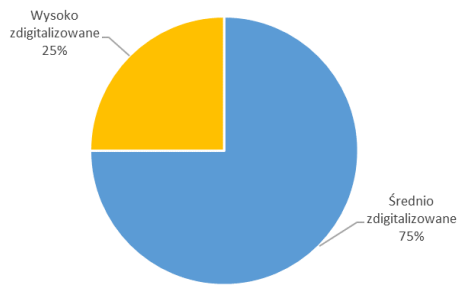


Wykres 6.36. Poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników

Mniejsze przedsiębiorstwa gorzej wypadają także pod względem osiągniętego poziomu digitalizacji. W ich przypadku jest to ocena niska lub średnia (wykres 6.37), a w odniesieniu do dużych firm: 75% deklaruje poziom średni, a reszta wysoki (wykres 6.38).



Wykres 6.37. Poziom digitalizacji w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników

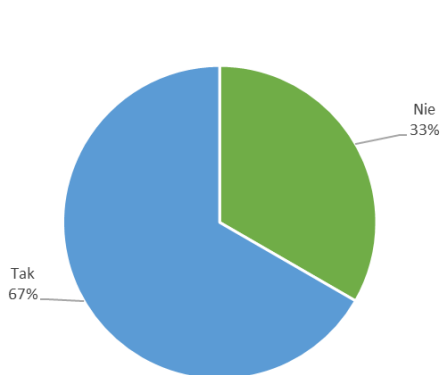


Wykres 6.38. Poziom digitalizacji w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników

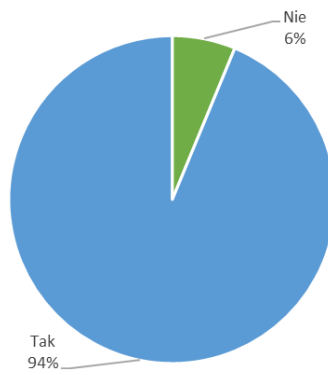
Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?* zaprezentowano na wykresach 6.39 i 6.40. W tym przypadku obie grupy respondentów potwierdzają fakt wdrożenia takich rozwiązań, przy czym w firmach dużych nastąpiło to w 94%, a w mniejszych w 67%.

Zbadano również rozkład odpowiedzi na to samo pytanie w zależności od kryterium „charakter produkcji”. Połowa przedsiębiorstw z produkcją jednostkową wdrożyła zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji, w przypad-

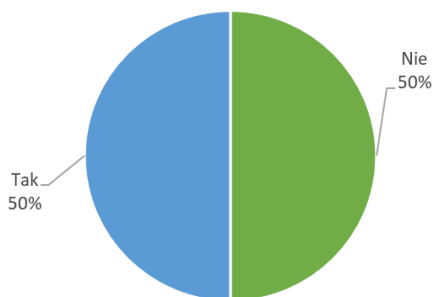
ku produkcji masowej było to 75% firm, a najlepszy wynik odnotowano w przypadku wytwarzania seryjnego – w tej kategorii wszyscy respondenci odpowiedzieli „Tak” (wykresy 6.41–6.43).



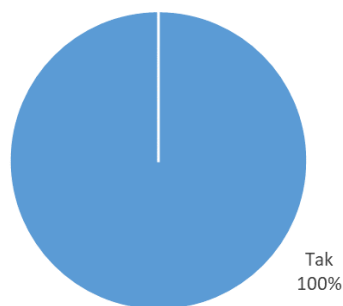
Wykres 6.39. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników



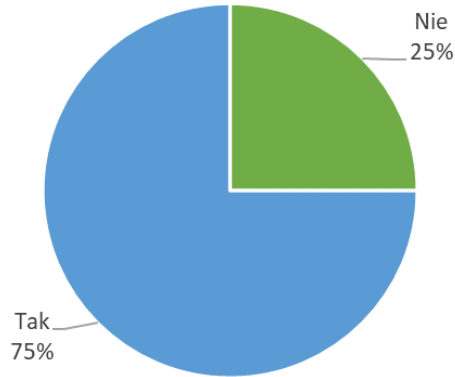
Wykres 6.40. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników



Wykres 6.41. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej

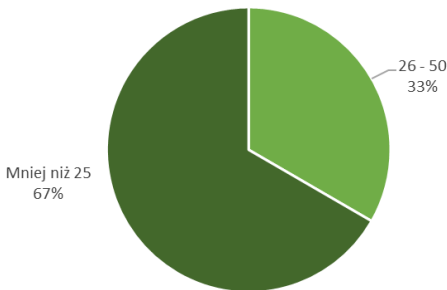


Wykres 6.42. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej

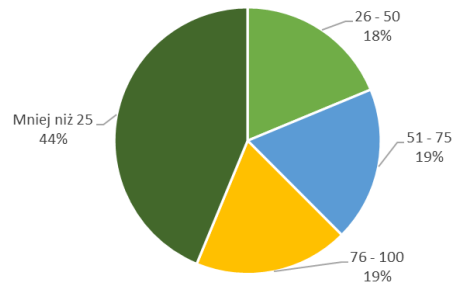


Wykres 6.43. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej

Przedsiębiorstwa zatrudniające mniej niż 250 pracowników dysponują maksymalnie 50% w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń (wykres 6.44), natomiast w przypadku większych firm odpowiedzi były zróżnicowane – rozkład procentowy zaprezentowano na wykresie 6.45.



Wykres 6.44. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników



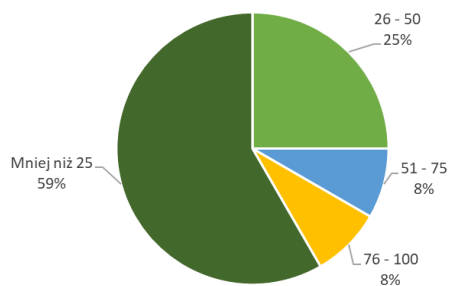
Wykres 6.45. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników

Odpowiedzi na to samo pytanie przeanalizowano także z punktu widzenia charakteru produkcji (wykresy 6.46-6.48). I tak wszystkie przedsiębiorstwa z produkcją jednostkową deklarują posiadanie maksymalnie 25% w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń, zaś firmy o produkcji seryjnej cechuje zróżnicowanie wyników (wykres 6.47), ale wciąż przeważający procent (59%) odpowiedzi uzyskała

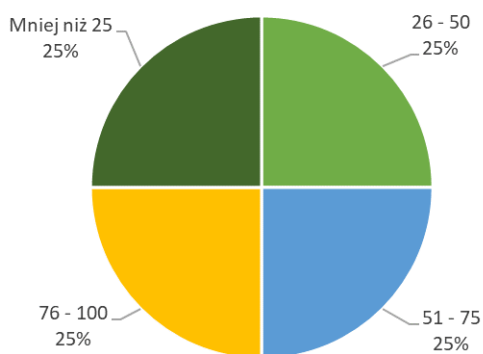
opcja „mniej niż 25%”. Dla firm o produkcji masowej wyniki rozłożyły się równomiernie – po 25% na każdą odpowiedź.



Wykres 6.46. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej



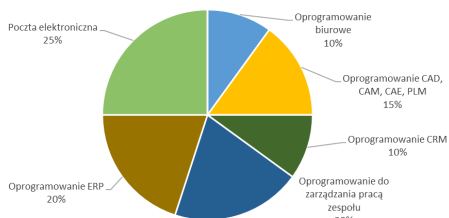
Wykres 6.47. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej



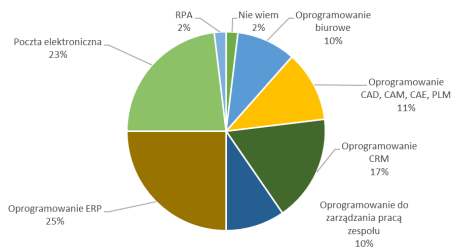
Wykres 6.48. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej

Co ciekawe, niezależnie od wielkości zatrudnienia, przedsiębiorstwa w podobnym stopniu stosują różne oprogramowania chmurowe (wykres 6.49 i 6.50).

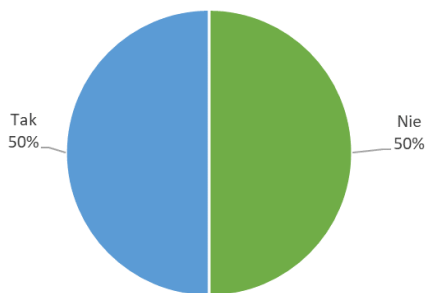
Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?* wśród firm o zróżnicowanym charakterze produkcji zaprezentowano na wykresach 6.51–6.53. W produkcji jednostkowej odpowiedzi rozkładały się równomiernie. Przedsiębiorstwa o seryjnym charakterze wytwarzania zazwyczaj nie stosują sterowania w czasie rzeczywistym (83%), natomiast firmy z wytwarzaniem masowym wręcz przeciwnie – 75% korzysta z nich na bieżąco.



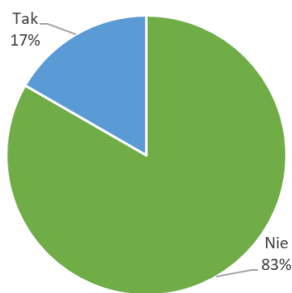
Wykres 6.49. Zastosowanie oprogramowań w chmurze przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników



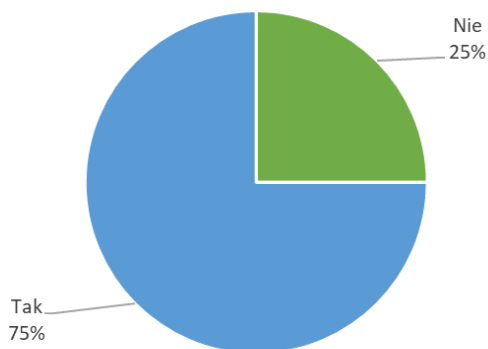
Wykres 6.50. Zastosowanie oprogramowań w chmurze przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników



Wykres 6.51. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej

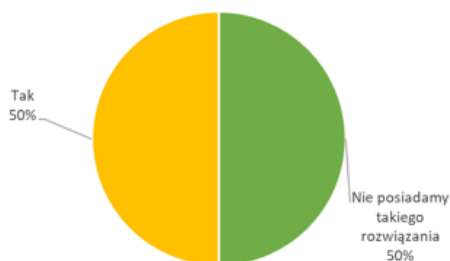


Wykres 6.52. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej

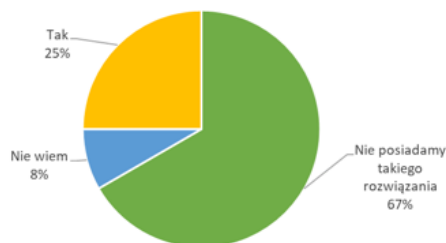


Wykres 6.53. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej

Podobny trend można zauważyć w stosowaniu systemu MES do analizy danych podczas produkcji. W przypadku wytwarzania jednostkowego odpowiedzi dzielą się pół na pół (wykres 6.54), dalej – przedsiębiorstwa produkujące seryjnie w 67% nie stosują takiego systemu (wykres 6.55), natomiast w produkcji masowej przeważa odpowiedź pozytywna – 88% (wykres 6.56).



Wykres 6.54. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej

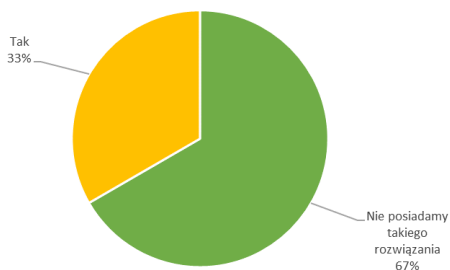


Wykres 6.55. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej

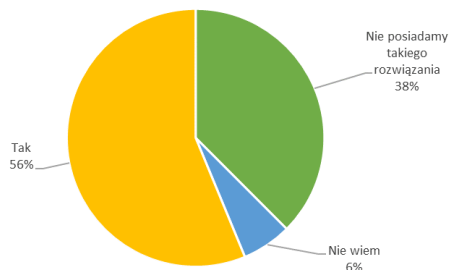


Wykres 6.56. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej

Przy podziale według kryterium wielkości zatrudnienia można zauważyć, że przedsiębiorstwa zatrudniające do 250 pracowników zazwyczaj nie stosują systemów MES (wykres 6.57), podczas gdy duże firmy w ponad połowie badanych przypadków (56%) korzystają z nich do analizy danych podczas produkcji (wykres 6.58).

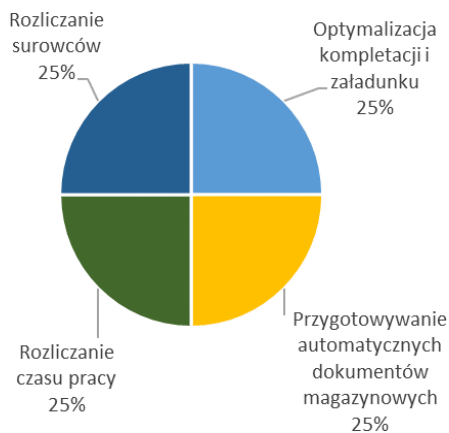


Wykres 6.57. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników

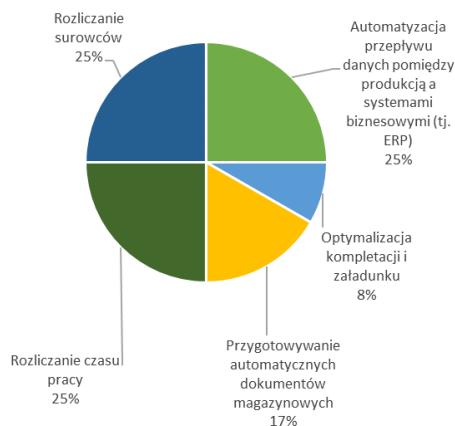


Wykres 6.58. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników

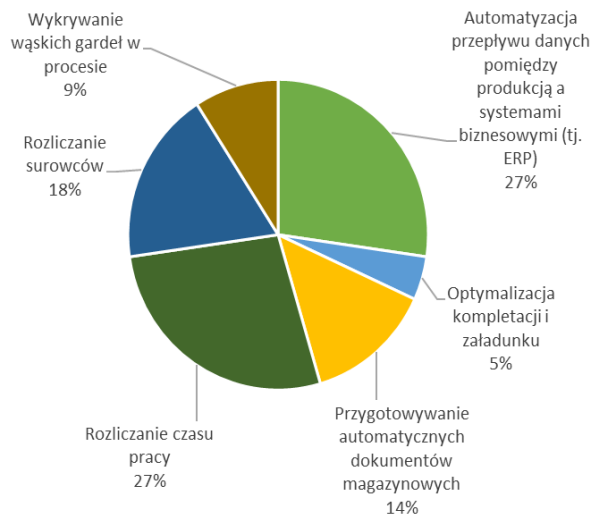
Możliwości funkcji MES używanych w przedsiębiorstwach o produkcji jednostkowej zaprezentowano na wykresie 6.59. W odróżnieniu od modułów stosowanych w firmach o produkcji seryjnej i masowej (wykres 6.60 i 6.61), nie zadeklarowano użycia automatyzacji przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi typu ERP. Odpowiedź „wykrywanie wąskich gardeł w procesie” pojawiła się natomiast tylko w przypadku respondentów z produkcją masową.



Wykres 6.59. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o produkcji jednostkowej

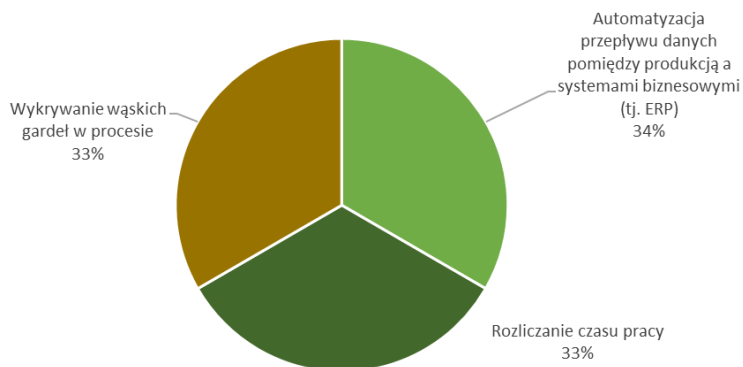


Wykres 6.60. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o produkcji seryjnej

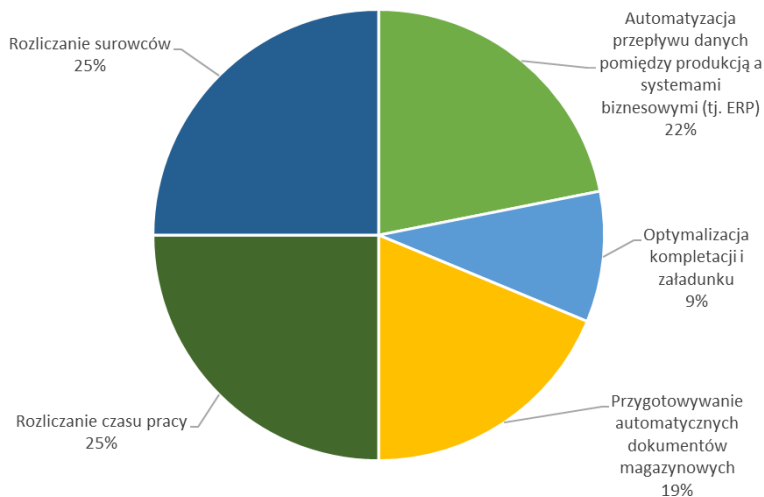


Wykres 6.61. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o produkcji masowej

Odpowiedzi przedsiębiorstw zatrudniających mniej niż 250 pracowników dotyczące stosowanych funkcji MES rozłożyły się równomiernie na trzy możliwości wyboru: wykrywanie wąskich gardeł, rozliczanie czasu pracy oraz automatyzacja przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi typu ERP (wykres 6.62). W dużych przedsiębiorstwach dodatkowo pojawiły się odpowiedzi dotyczące zastosowań w zakresie przygotowywania automatycznych dokumentów magazynowych oraz optymalizacji kompletacji i załadunku (wykres 6.63).



Wykres 6.62. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników



Wykres 6.63. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników

6.3. Nowoczesne technologie a kierunki rozwoju przemysłu motoryzacyjnego

Od momentu narodzin przemysł motoryzacyjny był zarówno miejscem powstania nowych idei, jak i chłonnym odbiorcą znaczących innowacji technicznych i organizacyjnych – od linii montażowej Henry Forda [108] począwszy, przez różne formy automatyzacji produkcji (obrobarki CNC, roboty przemysłowe, elastyczne systemy produkcyjne, CIM), zaawansowane technologie projektowania wyrobów (systemy CAD, CAM, CAP, CAQ i in.), informatyczne systemy wspomagające zarządzanie produkcją (systemy MRP/ERP, SCM, MES i in.), po *just-in-time* i *lean management* jak dotąd skończywszy [109].

Nic zatem dziwnego, że omawiana gałąź przemysłu stanowi awangardę innowacji wpisanych w koncepcję Przemysłu 4.0. Nie bez przyczyny zarówno sam termin Przemysł 4.0 – synonim nowoczesnych technologii, jak i jego idea narodziły się i są intensywnie rozwijane w Niemczech, kraju o silnie rozwiniętym przemyśle motoryzacyjnym i maszynowym. Samochody stanowią najbardziej skomplikowane produkty wytwarzane dla masowego odbiorcy, co wynika zarówno z liczby podzespołów i elementów składowych, różnorodności materiałów, z jakich są wykonane, jak i technologii projektowania, produkowania i eksploatacji.

Analizując wpływ nowoczesnych technologii na rozwój przemysłu motoryzacyjnego, należałoby wyróżnić trzy typy czynników kształtujących i upowszechniających te trendy: warunkujące (wymuszające), umożliwiające (ułatwiające) oraz ograniczające (utrudniające) rozwój.

Do pierwszej z wymienionych grup można zaliczyć:

- duże i stale rosnące zróżnicowanie potrzeb, oczekiwań i wymagań użytkowników (w tym niższe ceny i koszty eksploatacji, większe bezpieczeństwo i komfort jazdy), pociągające za sobą m.in. konieczność segmentacji klientów i rynków, dużą różnorodność typów, odmian i modeli aut o odmiennym przeznaczeniu, adresowanych do rozmaitych odbiorców, skracanie wielkości serii produkcyjnych, cykli życia produktów na rynku, częstszą zmianę modeli samochodów,
- silna konkurencja w przemyśle motoryzacyjnym w skali globalnej i regionalnej,
- powszechnie akceptowany paradygmat zrównoważonego rozwoju, presja na ochronę środowiska i walka ze zmianami klimatycznymi (samochody z napędem spalinowym mają duży udział w emisji gazów cieplarnianych),
- dostępność i rosnące koszty paliw naturalnych (węglowodorów),
- polityka Unii Europejskiej i państw członkowskich wspierająca działania na rzecz zrównoważonego rozwoju, a z drugiej strony narzucająca nowe, coraz trudniejsze do spełnienia przez producentów wymagania dotyczące m.in. czystości i zużycia paliwa, eliminacji pojazdów z silnikami wysokoprężnymi w wielkich miastach, zaś docelowo ograniczenie, a nawet zaprzestanie produkcji samochodów z silnikami spalinowymi (w tym kierunku zmierzają zmiany legislacyjne, m.in. dotyczące radykalnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych),
- zmiany (stopniowe) zachowań użytkowników dotyczące korzystania ze środków transportu (np. *car sharing*), rozwój i większa dostępność transportu publicznego oraz środków transportu indywidualnego (m.in. pojazdy jednośladowe z napędem elektrycznym).

Spełnienie wszystkich tych wymagań, których skutkiem są np. radykalne zmiany w konstrukcji samochodów, a zwłaszcza ich układów napędowych (samochody elektryczne i autonomiczne), nie jest możliwe bez rozwoju nowoczesnych technologii.

Przemysł, choć nie bez oporów, mimo wszystko stara się dostosować do tych oczekiwań, a staje się to możliwe dzięki czynnikom umożliwiającym (ułatwiającym) adaptację, takim jak:

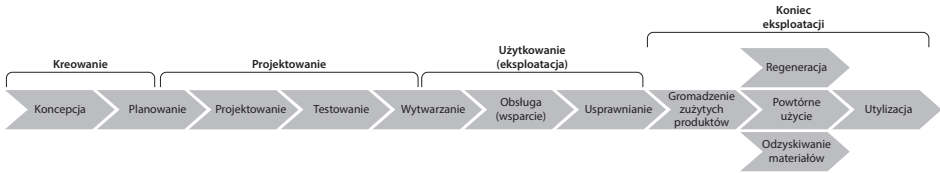
- postęp naukowy i techniczny, rozwój i coraz większa dostępność nowych technologii (Przemysł 4.0),
- istniejący potencjał badawczo-rozwojowy (w tym projektowy) i produkcyjny w przemyśle motoryzacyjnym,
- dostępność komponentów motoryzacyjnych i rozwinięte łańcuchy dostaw (zaopatrzenia) oraz dystrybucji,
- istniejąca infrastruktura drogowa i serwisowa,
- zmiany demograficzne (starzenie się społeczeństw, mniejsze zasoby ludzkie, niechęć do podejmowania pracy fizycznej, mniejsze zainteresowanie studiami technicznymi),
- rosnące znaczenie tzw. czynnika ludzkiego (*Human Factor*): materialne i niematerialne warunki pracy, ergonomia, bezpieczeństwo, zmuszające firmy motoryzacyjne do szukania alternatywnych rozwiązań m.in. wśród technologii Przemysłu 4.0.

Istnieją również bariery utrudniające upowszechnianie się technologii Przemysłu 4.0:

- nadal słaba znajomość nowych technologii wśród decydentów (inwestorów) i potencjalnych użytkowników, niska świadomość znaczenia nowych technologii, brak jasnej strategii restrukturyzacji technologicznej sektora motoryzacyjnego i przedsiębiorstw,
- wysokie koszty pozyskania, wdrożenia i eksploatacji nowych technologii (w opinii użytkowników) w stosunku do możliwych korzyści, trudności w ocenie efektów ekonomicznych nowych technologii i brak praktycznych przykładów ich zastosowań, zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach,
- brak stabilnych rozwiązań (technologie są w ciągłym rozwoju) i standardów,
- luka kompetencyjna: brak pracowników przygotowanych do projektowania, wdrażania i użytkowania nowych technologii,
- nowe rozwiązania konstrukcyjne samochodów (napęd elektryczny) wymagające dużych inwestycji w infrastrukturę (drogi, produkcja i dystrybucja energii elektrycznej, stacje ładowania akumulatorów i in.),
- ograniczona dostępność niektórych surowców niezbędnych do produkcji samochodów nowej generacji (np. lit, metale rzadkie, niektóre podzespoły elektroniczne).

Technologie Przemysłu 4.0 w motoryzacji można rozpatrywać w kontekście budowy samochodów oraz procesów ich tworzenia w całym cyklu życia produktu

, który obejmuje czas od chwili powstania pomysłu (koncepcji), przez etap projektowania, uruchomienia produkcji, samą produkcję, aż do dystrybucji, sprzedaży, użytkowania, wycofania z eksploatacji i wreszcie utylizacji (rys. 6.1). Cykl ten stanowi więc zapis „historii” produktu, a także predykcję jego przyszłości [110].



Rys. 6.1. Model cyklu życia produktu (opracowanie własne)

Potrzeba zarządzania cyklem życia produktu wynika z wielu przesłanek:

- konieczne jest całościowe (holistyczne, systemowe) ujęcie wszystkich zagadnień związanych z projektowaniem, produkcją, użytkowaniem i utylizacją produktów,
- poszczególne etapy cyklu są ze sobą powiązane, nie można ich rozpatrywać i rozwiązywać w izolacji od siebie,
- produkty, procesy ich projektowania, produkcji i eksploatacji stają się coraz bardziej skomplikowane i wymagają systemowych (wspólnych) rozwiązań,
- coraz większe znaczenie przypisuje się problemom występującym po zakończeniu eksploatacji produktów: gromadzenie (zbiórka) zużytych produktów, recykling, powtórne użycie (*reusing*), przetwarzanie i zagospodarowanie odpadów,
- wiele problemów, które pojawiają się w późniejszych etapach cyklu życia produktu (np. związanych z jego oddziaływaniem na środowisko), można skutecznie rozwiązać tylko na etapie projektowania,
- koszty eksploatacji produktu często wielokrotnie przekraczają koszty jego projektowania i produkcji (oraz cenę zakupu), co zmusza projektantów i producentów do uwzględnienia tego faktu w podejmowanych decyzjach,
- okres eksploatacji wielu produktów jest długi (mimo stale wzbogacanej oferty i skracania cykli życia produktu na rynku); problemy, z jakimi może się spotkać użytkownik, wymagają rozstrzygnięć na wczesnych etapach cyklu,
- szeroko rozumiane koszty ponoszone w cyklu życia produktu (ekonomiczne, społeczne, środowiskowe) w skali globalnej, a także regionalnej lub lokalnej, osiągnęły skalę trudną do zaakceptowania; ich ograniczenie jest możliwe jedynie dzięki spojrzeniu na cały cykl życia produktu [110].

Technologie Przemysłu 4.0 mają (lub mogą mieć) zastosowanie na każdym etapie życia samochodu. Obecnie najwięcej przypadków i możliwości takich wdrożeń dotyczy projektowania i produkcji samochodów. Relatywnie mniej przykładów korzystania z rozwiązań Przemysłu 4.0 widać na etapie użytkowania oraz po zakończeniu eksploatacji produktu. Należy jednak pamiętać, iż jesteśmy dopiero na początku procesu upowszechniania i globalnego stosowania nowoczesnych technologii, przy czym stwierdzenie to dotyczy nie tylko przemysłu motoryzacyjnego.

W tabeli 6.1 zawarto „mapę” zastosowań wybranych technologii Przemysłu 4.0 na tle cyklu życia samochodu. Spośród wielu rozwiązań wybrano te, które obecnie mają (lub mogą mieć) największy potencjał wdrożeniowy:

- sztuczna inteligencja (*Artificial Intelligence*),
- przetwarzanie dużych zbiorów danych (*big data*),
- obliczenia w chmurze (*Cloud Computing*),
- internet Rzeczy i systemy identyfikacji radiowej (*Radio Frequency Identification* – RFID),
- wirtualna i rozszerzona rzeczywistość (*Virtual/Augmented Reality*),
- symulacja i cyfrowe bliźniaki (*Digital Twins*),
- zaawansowane i inteligentne roboty (coboty – roboty współpracujące, *Human-Robot Collaboration*),
- technologie addytywne (na przykładzie druku 3D).

Nowoczesne technologie stymulujące rozwój przemysłu motoryzacyjnego nie ograniczają się jedynie do rozwiązań Przemysłu 4.0, bowiem nie tylko one decydują obecnie o jakości produkowanych samochodów, efektywności i kosztach produkcji oraz eksploatacji, oddziaływaniu na środowisko itp. Równie ważne, a nawet w wielu przypadkach ważniejsze, są technologie klasyczne, przy czym termin ten nie oznacza bynajmniej, iż są one mniej istotne i mniej nowoczesne. W wielu gałęziach przemysłu obserwuje się szybki rozwój różnorodnych technologii, w tym w zakresie przetwórstwa materiałów, obróbki części, obróbki powierzchniowej, montażu i innych. Osobny problem stanowi wielość technologii stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym oraz we wspomagającym go przemyśle komponentów motoryzacyjnych, co związane jest nie tylko z dużą złożonością samochodów (mierzoną m.in. różnorodnością i liczbą części, ich geometrią, dokładnością wykonania itp.), ale także znaczącą liczbą materiałów o różnych i specyficznych właściwościach. Dotyczy to m.in. części z gumy, tworzyw sztucznych i kompozytów, szkła, surowców i materiałów chemicznych, podzespołów elektrycznych, elektronicznych lub

Tabela 6.1. Przykłady zastosowań technologii Przemysłu 4.0 w cyklu życia samochodu (opracowanie własne)

		Etap cyklu życia samochodu		
Technologie Przemysłu 4.0	Projektowanie	Produkcja	Eksploatacja	Procesy zachodzące zakończeniu eksploatacji
Sztuczna inteligencja	<ul style="list-style-type: none"> systemy decyzyjne wspomagające projektantów projektowanie: <ul style="list-style-type: none"> wyrobów technologii pomocy warsztatowych systemów produkcyjnych systemy: <ul style="list-style-type: none"> Knowledge Based Engineering (KBE) Model Based Systems Engineering (MBSE) 	<ul style="list-style-type: none"> systemy <i>Intelligent Computer Aided Manufacturing</i> sterowanie: <ul style="list-style-type: none"> maszynami i procesami produkcją (np. harmonogramowanie) kontrola jakości systemy nadzoru i diagnostyki maszyn, procesów i narzędzi obsługa eksploatacyjna maszyn (Predictive Maintenance) 	<ul style="list-style-type: none"> sterowanie pojazdami (autonomicznymi) systemy bezpieczeństwa i wspomaganie kierowcy kompletowanie wyposażenia pojazdu szkolenie użytkowników diagnostyka stanu i wykrywanie uszkodzeń pojazdu 	<ul style="list-style-type: none"> ocena stanu pojazdów i ich części identyfikacja części i materiałów kwalfikacja części do dalszego wykorzystania dobór procesów recyklingu, regeneracji itp.
	<i>Big data</i>	<ul style="list-style-type: none"> analizy: <ul style="list-style-type: none"> rynków baz danych patentów rozwiązanych projektowych wyrobów podobnych prognozowanie stanu techniki rejestracja i analiza wyników badań i testów wyrobów i ich części 	<ul style="list-style-type: none"> rejestracja (ewidencja) danych o przebiegu procesów utrzymanie ruchu (Predictive Maintenance) systemy nadzoru i diagnostyki maszyn, procesów i narzędzi prognozowanie 	<ul style="list-style-type: none"> rejestracja i analiza danych dotyczących: <ul style="list-style-type: none"> stanu technicznego wyrobu historii eksploatacji wyrobu (awaryjność, wymiana części, naprawy itp.) zachowań użytkownika (np. wypadki)

Etapy cyklu życia samochodu				
	Projektowanie	Produkcja	Eksploatacja	
Technologie Przemysłu 4.0	<ul style="list-style-type: none"> • systemy Product Life-cycle Management (PLM) dostępne w chmurze • usługi wspomagające projektowanie (np. obliczenia optymalizacyjne, symulacje itp.) • zdalna współpraca wielu osób w różnych lokalizacjach i w dowolnym czasie • Web 2.0 	<ul style="list-style-type: none"> • sterowanie: <ul style="list-style-type: none"> – maszynami i procesami – przepływem materiałów – zarządzanie dostawcami i siecią dystrybucji • wsparcie dla służb utrzymania ruchu • zarządzanie produkcją (systemy ERP, SCM, CRM) • nowe modele produkcji (np. MaaS) 	<ul style="list-style-type: none"> • sterowanie pojazdami autonomicznymi • zdalny monitoring pojazdów (m.in. bezpieczeństwo) • zdalna diagnostyka pojazdu 	<ul style="list-style-type: none"> • zarządzanie procesami: <ul style="list-style-type: none"> – logistyki zwrotnej (gromadzenie wyrobów wycofanych z eksploatacji) – recyklingu, regeneracji itp.
IIoT, REID	<ul style="list-style-type: none"> • badania i testowanie modeli i prototypów 	<ul style="list-style-type: none"> • nadzór i diagnostyka maszyn, procesów i narzędzi • identyfikacja i śledzenie przepływu materiałów, części i wyrobów gotowych, pomocy warsztatowych i in. • ewidencja zapasów materiałowych, pomocy warsztatowych i środków trwałych • integracja informacyjna systemów produkcyjnych i logistycznych 	<ul style="list-style-type: none"> • nadzór i diagnostyka stanu pojazdu • komunikacja z infrastrukturą drogową 	<ul style="list-style-type: none"> • identyfikacja i śledzenie produktów i ich elementów do powtórnego wykorzystania, regeneracji, odzysku materiałów lub utylizacji

Etapy cyklu życia samochodu			
	Projektowanie	Produkcja	Eksploatacja
Technologie Przenysłu 4.0	<ul style="list-style-type: none"> • projektowanie: <ul style="list-style-type: none"> – produktów i ich komponentów – procesów, zwłaszcza montażu • wizualizacja projektów • symulacja działania wyrobów i ich komponentów • weryfikacja, walidacja i testowanie 	<ul style="list-style-type: none"> • wirtualne wytwarzanie • wsparcie dla: <ul style="list-style-type: none"> – operatorów maszyn – montażu – służb utrzymania ruchu, przeobrażania maszyn itp. • wizualizacja przepływu produkcji 	<ul style="list-style-type: none"> • prezentacja wyrobów przy- szłym nabywcom (i użyt- kownikom) • szkolenia użytkowników • wsparcie: <ul style="list-style-type: none"> – użytkowników w eks- ploatacji (naprawy, wymiana części, obsługa eksploatacyjna) – pracowników służb serwisu i naprawy
Wirtualna/ rozszerzona rzeczywistość			
Symulacja i cyfrowe bliźniaki	<ul style="list-style-type: none"> • obliczenia inżynierskie • badania i testowanie wyrobów i ich komponentów • walidacja i weryfikacja projektów • wizualizacja projektów 	<ul style="list-style-type: none"> • wirtualne wytwarzanie <ul style="list-style-type: none"> – <i>Virtual Manufacturing Systems</i> • sterowanie przepływem produkcji • wizualizacja i ocena zmian organizacji produkcji 	<ul style="list-style-type: none"> • po zakończeniu eksploata- cji produktu: <ul style="list-style-type: none"> – szkolenie pracowników i wsparcie procesów poeksploatacyjnych • sterowanie procesami przemysłowymi • wizualizacja i ocena zmian organizacji procesów

Etapy cyklu życia samochodu				
	Projektowanie	Produkcja	Eksploatacja	Procesy zachodzące zakończeniu eksploatacji
Technologie Przemysłu 4.0 Roboty kooperujące	<ul style="list-style-type: none"> • produkcja modeli, prototypów, wykonywanie serii próbnej • prowadzenie badań i testów 	<ul style="list-style-type: none"> • obsługa maszyn • procesy montażu • możliwość nowych form organizacji produkcji 	<ul style="list-style-type: none"> • procesy demontażu i montażu wyrobów naprawianych • kompletowanie, pakowanie i dystrybucja części, podzespołów itp. 	<ul style="list-style-type: none"> • procesy demontażu wyrobów wycofanych z eksploatacji
Technologie przyrostowe	<ul style="list-style-type: none"> • produkcja modeli, prototypów (<i>Rapid Prototyping</i>) • możliwość uproszczenia konstrukcji (ograniczenie liczby elementów) • łatwiejsze zmiany konstrukcyjne wyrobu i ich weryfikacja 	<ul style="list-style-type: none"> • produkcja części (małose-ryjna) i pomocy warsztatowych (<i>Rapid Tooling</i>) • racjonalizacja (uproszczenie) procesów produkcyjnych 	<ul style="list-style-type: none"> • produkcja części zamiennych • naprawy 	<ul style="list-style-type: none"> • regeneracja części • odzysk/przetwórstwo materiałów dla technologii przyrostowych (addytywnych)

oprogramowania. Szczególnym zagadnieniem jest zmiana koncepcji samochodu, a zwłaszcza jego układu napędowego. Rozwój pojazdów z napędem hybrydowym, elektrycznym lub wodorowym wymaga specyficznych technologii dotychczas niestosowanych, a często nawet nieznanych w przemyśle motoryzacyjnym. Patrząc z perspektywy cyklu życia samochodu nowej generacji, tzn. z nowymi źródłami napędu, takie nowoczesne technologie są lub będą konieczne do produkcji akumulatorów, budowy i eksploatacji infrastruktury (np. stacje ładowania akumulatorów), wytwarzania energii elektrycznej, odzysku materiałów z pojazdów wycofanych z eksploatacji, czy też do ich utylizacji itp. Rozwój samochodów nowej generacji stworzy zapotrzebowanie na inne niż dotąd usługi, te zaś wymagać będą odmiennych, często jeszcze dziś nieznanych technologii. Jako przykład można wymienić pojazdy autonomiczne i różnorodne systemy: sterowania, bezpieczeństwa i wspomagania kierowców, zarządzania ruchem pojazdów itp.

Jaki będzie wpływ technologii Przemysłu 4.0 na przyszłość przemysłu motoryzacyjnego? Odpowiedź na tak postawione pytanie nie jest prosta, gdyż same technologie ulegają ciągłym zmianom i doskonaleniu – nie osiągnęły jeszcze stanu dojrzałości, pojawiają się nowe rozwiązania, a przede wszystkim istnieje wiele czynników, w tym zewnętrznych: m. in. politycznych, ekonomicznych, społecznych i ekologicznych, mogących zmienić każdą prognozę. Warto też zwrócić uwagę, iż próbując dokonać predykcji przyszłości technologii, w krótkiej perspektywie czasowej mamy skłonność do przeceniania ich walorów, zaś w dłuższej – do niedoceniań skutków. Jako przykład mogą posłużyć Metaverse oraz ChatGPT, których możliwości i zakresy zastosowań jeszcze kilka lat temu nikt nie mógł przewidzieć, obecnie zaś są przedmiotem fascynacji, a także obaw – jako źródło potencjalnych zagrożeń.

Analizując stan obecny technologii Przemysłu 4.0 oraz dynamikę zmian, można jednak przedstawić kilka możliwych scenariuszy rozwoju przemysłu motoryzacyjnego:

- upowszechnienie samochodów z napędem elektrycznym,
- rozwój pojazdów autonomicznych (inteligentnych),
- nasilenie walki konkurencyjnej wśród producentów wyrobów oryginalnych (OEM) i całych łańcuchów dostaw (czynniki konkurencyjności: koszty, cykle produkcyjne, jakość, wpływ na środowisko i in.),
- wzrost wymagań odbiorców, a w konsekwencji elastyczności produkcji, kustomizacja wyrobów i włączenie użytkowników w proces projektowania produktu (*co-design*),

- priorytetowe znaczenie zrównoważonego rozwoju,
- integracja procesów w całym cyklu życia produktu,
- rozwój technologii, organizacji i zarządzania w kierunku inteligentnej fabryki (cyfrowa integracja),
- rozwój nowych koncepcji systemów produkcyjnych (m.in. produkcja jako usługa – *Manufacturing as a Service* – MaaS),
- wzrost roli czynnika ludzkiego (zasoby ludzkie stają się zasobem rzadkim), uwzględnianie jego możliwości i potrzeb w stopniu większym niż obecnie, rozwój w kierunku Przemysłu 5.0 – zautomatyzowanych, inteligentnych systemów produkcyjnych biorących pod uwagę możliwości i potrzeby ludzi.

7. Podsumowanie

Wdrażanie nowych technologii w obszarze produkcji i zarządzania jest nieodłącznym elementem rozwoju przedsiębiorstw. Przemysł motoryzacyjny od swojego powstania był miejscem narodzin większości innowacji technicznych, organizacyjnych i procesowych, ponieważ z jednej strony samochody stanowią najbardziej skomplikowane i zaawansowane produkty wytwarzane dla masowego odbiorcy, a z drugiej branża motoryzacyjna należy do najbardziej dochodowej gałęzi przemysłu. Jak widać, rozwój branży motoryzacyjnej ma szczególnie duży wpływ na rozwój gospodarczy kraju. Z uwagi na najbardziej rozbudowaną sieć łańcuchów logistycznych, duży wolumen produkcji oraz złożoność wyrobu, stwarza znaczącą liczbę miejsc pracy w hutnictwie, produkcji i przetwórstwie, głównie wyrobów z tworzyw sztucznych i gumy. Ponadto z rozwojem tej branży motoryzacyjnej zwiększa się zapotrzebowanie na pracowników, m.in. w firmach projektowych i badawczo-rozwojowych oraz w szeroko rozumianych usługach, takich jak transport, handel, serwisowanie urządzeń, projektowanie i produkcja narzędzi lub sprzętanie i ochrona obiektów.

Obecnie przemysł motoryzacyjny na świecie oraz w Polsce dynamicznie się zmienia, rozwija i transformuje, m. in. przez wdrażanie technologii Przemysłu 4.0, dlatego celem niniejszej monografii była ocena stanu zaawansowania takich implementacji w firmach, których zakłady produkcyjne zlokalizowane są w Polsce. W tym celu przeprowadzono badanie ankietowe, a poniżej zaprezentowano podsumowanie dokonanej analizy wyników.

1. Większość ankietowanych przedsiębiorstw to firmy duże, zatrudniające powyżej 250 pracowników (73%), które dysponują kapitałem zagranicznym (87%).
2. Połowa ankietowanych respondentów zajmuje się produkcją wielkoseryjną, a 36% masową. 73% przedsiębiorstw funkcjonuje na rynku od ponad 20 lat, a wszystkie z nich działają na rynkach zagranicznych.

3. 86% firm deklaruje, że ich pracownicy znają pojęcie Przemysłu 4.0, a spośród nich 68% określa stan wiedzy o tym pojęciu jako dostateczny bądź dobry.
4. 36% respondentów uważa swoje przedsiębiorstwo za bardzo innowacyjne, a 55% za innowacyjne na średnim poziomie w porównaniu z innymi reprezentantami sektora.
5. 68% ankietowanych charakteryzuje się średnim stopniem zaawansowania cyfryzacji, a 18% wysokim, przy czym:
 - a. zdecydowana większość ma zaimplementowany system ERP i najczęściej korzysta z modułów produkcji, księgowości i finansów,
 - b. 50% stosuje system MES do analizy danych podczas produkcji, głównie na potrzeby automatyzacji przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi (ERP) oraz rozliczania czasu pracy i surowców,
 - c. 68% używa czujników RFID do monitorowania i przekazywania informacji o aktualnym stanie zasobów, bądź zbierania informacji i monitorowania procesu produkcyjnego oraz wychwytywania wadliwych wyrobów,
 - d. ponad 80% korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji, jednak taki sam procent nie stosuje oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych,
 - e. 22% przedsiębiorstw dysponuje rozwiązaniami do przetwarzania i analizy big data, a 13% planuje takowe zaimplementować.
6. Ponad 80% ankietowanych respondentów korzysta z technologii chmurowej, głównie w zakresie stosowania systemu ERP, poczty elektronicznej oraz oprogramowania wspierającego zarządzanie relacjami z klientem CRM.
7. 95% badanych przedsiębiorstw wdrożyło politykę bezpieczeństwa przepływu informacji, a wszystkie archiwizują dane, z czego 68% codziennie.
8. 60% respondentów widzi konieczność zakupu urządzeń do druku 3D.
9. 86% ankietowanych zadeklarowało, że firma dysponuje przynajmniej jedną zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologią produkcji, jednak aż połowa przyznaje, że przedsiębiorstwo ma mniej niż 25% maszyn i urządzeń w pełni zautomatyzowanych. Tylko 27% ankietowanych może pochwalić się takim wdrożeniem na poziomie wyższym niż 50%.
10. 59% badanych przedsiębiorstw nie stosuje sterowania produkcją w czasie rzeczywistym.

Pomimo iż sektor motoryzacyjny w Polsce należy do najlepiej rozwiniętych gałęzi przemysłu, to przedstawione w niniejszej monografii wyniki ankiet pokazują,

że stan zaawansowania wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 jest na średnim etapie rozwoju. Opinię tę potwierdza ponad połowa respondentów, przyznając także, że na podobnym, średnim poziomie jest dojrzałość cyfrowa reprezentowanych przez nich firm – twierdzi tak 70% badanych.

Za najsłabsze aspekty można uznać poziom pełnej automatyzacji parku maszynowego (poniżej 25% wszystkich maszyn) oraz brak rozumienia przez pracowników pojęć i koncepcji Przemysłu 4.0, na co wskazała połowa respondentów. W obszarze stosowania narzędzi informatycznych najsłabiej wykorzystywane są technologie przetwarzania danych typu *big data* oraz narzędzia do sterowania produkcją w czasie rzeczywistym. Korzysta z nich odpowiednio jedynie około 20 i 40% badanych przedsiębiorstw.

Mówiąc o przyszłości i konkurencyjności branży samochodowej w Polsce, bardzo wiele zależy od tempa implementacji technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach. Przedstawiona analiza pokazuje, że technologie te są głównie stosowane w projektowaniu i produkcji samochodów, chociaż z powodzeniem można byłoby je stosować na każdym etapie cyklu życia wyrobu. Biorąc pod uwagę priorytetowe znaczenie zrównoważonego rozwoju, rosnącej roli ekologii oraz dążenie w kierunku Przemysłu 5.0 (zautomatyzowanych, inteligentnych systemów produkcyjnych uwzględniających możliwości i potrzeby ludzi) pozostaje jeszcze bardzo wiele do zrobienia.

Słownik ważniejszych pojęć

Analiza danych – proces przetwarzania danych, podczas którego pozyskiwane są użyteczne informacje oraz wiedza. W zależności od rodzaju danych i rozwiązywanych problemów używane są metody statystyczne lub eksploracyjne.

Big data – duże i złożone zbiory danych, które są tak obszerne, że tradycyjne oprogramowanie do przetwarzania danych nie jest w stanie nimi zarządzać. Stosuje się je do rozwiązywania problemów biznesowych, z którymi wcześniej przedsiębiorstwo nie mogło sobie poradzić..

Chmura obliczeniowa (Cloud Computing) – nowoczesna technologia służąca do przechowywania, przetwarzania i zarządzania danymi. Opiera się na współdzielonych zasobach (oprogramowaniu i infrastrukturze).

Cyberbezpieczeństwo (Cybersecurity) – zespół metod, technologii, procesów i praktyk stosowanych w celu ochrony sieci informatycznych, urządzeń, programów i danych przed atakami, uszkodzeniami lub nieautoryzowanym dostępem.

Cyfrowa definicja produktu oparta na modelach 3D (Model Based Definition – MBD) – koncepcja projektowania, zgodnie z którą wszystkie niezbędne informacje umieszczane dotychczas na rysunkach 2D stosuje się na modelach 3D.

Cyfrowy bliźniak (Digital Twin) – wirtualna reprezentacja realnego obiektu, stworzona po to, by racjonalizować wykorzystanie zasobów oraz usprawnić podejmowanie decyzji biznesowych w takich obszarach jak: utrzymanie ruchu, rozbudowa, naprawy serwisowe oraz sterowanie realnymi obiektami.

Cykl Deminga, zaplanuj – wykonaj – sprawdź – działaj (*Plan, Do, Check, Act* – PDCA) – logiczny schemat postępowania; narzędzie wspierające planowanie, zarządzanie i monitorowanie postępów prac.

Cykl życia produktu – czas od chwili powstania pomysłu (koncepcji) produktu, przez jego projektowanie, uruchomienie produkcji, produkcję aż do dystrybucji, sprzedaży, użytkowania, wycofania z eksploatacji i wreszcie utylizacji. Stanowi zapis „historii” produktu, a także predykcję jego przyszłości.

Fabryka cyfrowa – ekosystem łączący różne zintegrowane narzędzia, technologie, procesy i systemy cyfrowe. Stosuje wiele rozwiązań typowych dla Przemysłu 4.0/5.0, w tym: urządzenia IIoT, *big data*, maszyny, roboty przemysłowe, cyfrowe modele symulacyjne oraz sztuczną inteligencję.

Fabryka ekologiczna – fabryka, w której dąży się do redukcji zużycia energii oraz stosuje odnawialne źródła energii.

Inteligentna fabryka (*Smart Factory*) – środowisko produkcyjne, w którym maszyny, systemy logistyczne, a nawet całe zakłady produkcyjne mogą się ze sobą stale komunikować i autonomicznie organizować swoją pracę.

Inteligentna produkcja – wspomaganie procesów produkcyjnych komputerowymi systemami wyposażonymi w algorytmy sztucznej inteligencji (uczenie maszynowe, sztuczne sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne, logika rozmyta).

Internet rzeczy (*Internet of Things* – IoT) – sieć obiektów fizycznych („rzeczy”), które są wyposażone w czujniki, oprogramowanie i inne technologie w celu łączenia się i wymiany danych z innymi urządzeniami i systemami za pośrednictwem Internetu.

Inżynieria systemów oparta na modelach (*Model – Based Systems Engineering* – MBSE) – metodyka wspierania procesów projektowania systemów, która obejmuje wiele dyscyplin naukowych. Stosuje się w niej modele komputerowe oraz specjalistyczny język modelowania systemów.

Inżynierskie systemy oparte na wiedzy (*Knowledge Based Engineering* – KBE) – klasa systemów informatycznych opartych na technikach sztucznej inteligencji, w których zaimplementowana została wiedza inżynierska.

Masowa indywidualizacja (*Mass Customization*) – polega na personalizacji oferty firmy na dużą skalę, co jest możliwe dzięki dynamicznemu rozwojowi technologii produkcji oraz dogłębnej znajomości potrzeb i preferencji konsumentów.

Maszynowe uczenie (*Machine Learning* – ML) – obszar sztucznej inteligencji, nauka o algorytmach i systemach ulepszających swoją wiedzę i wyniki wraz ze zdobywanym doświadczeniem.

Oryginalne wyposażenie (*Original Equipment* – OE) – oznacza części, które producent zastosował do produkcji samochodu.

Proces – zestaw wzajemnie powiązanych środków i działań, które sprawiają, że stan na wejściu do procesu, w wyniku jego działania, przekształcany jest w stan wyjściowy otrzymywany po jego zakończeniu.

Proces biznesowy – ustrukturyzowany, mierzalny oraz dynamicznie koordynowany zestaw aktywności lub logicznie powiązanych zadań, które muszą zostać wykonane w celu wytworzenia określonej wartości dla klienta lub wypełnienia kontraktu.

Producent oryginalnego wyposażenia (*Original Equipment Manufacturer* – OEM) – firma produkująca części i sprzęt, które mogą być sprzedawane przez innego producenta.

Produkcja jednostkowa – polega na wytwarzaniu pojedynczych wyrobów (lub w małej liczbie); charakteryzuje się najniższym stopniem specjalizacji.

Produkcja masowa – polega na produkowaniu dużej liczby jednakowych wyrobów według tej samej technologii.

Produkcja seryjna – polega na produkowaniu serii wyrobów według tej samej technologii.

Produkcja zorientowana na klienta – koncepcja fabryki przyszłości, w której na bieżąco analizowane są oczekiwania klientów i na tej podstawie tworzone są nowe produkty i usługi.

Produkt customizowany – wariant produktu lub kombinacja wariantu produktu dostosowanego do indywidualnych potrzeb klienta.

Przemysł 4.0 – wielowymiarowa koncepcja stosująca wiele technologii informacyjnych umożliwiających stworzenie autonomicznych inteligentnych systemów produkcyjnych.

Przemysł 5.0 – rozszerzenie koncepcji Przemysłu 4.0 eksponujące wartości społeczne i ekologiczne, zorientowane na ludzi i środowisko.

Przemysłowy internet rzeczy (*Industrial Internet of Things* – IIoT) – sieć wzajemnie połączonych i współpracujących ze sobą instrumentów i urządzeń z obszaru technologii informatycznej i technologii operacyjnej.

Roboty autonomiczne (*Autonomous Mobile Robots*) – roboty mobilne, które poruszają się bez dodatkowej infrastruktury zewnętrznej.

Roboty współpracujące (*Cobots*) – roboty pomagające człowiekowi przy pracach wykonywanych bezpośrednio z jego udziałem, a także roboty współpracujące między sobą bez udziału człowieka.

Rzeczywistość rozszerzona (*Augmented Reality* – AR) – technologia, która łączy elementy świata rzeczywistego z elementami wirtualnymi, tworząc interaktywne doświadczenia.

Rzeczywistość wirtualna (*Virtual Reality* – VR) – zaawansowana technologia, która umożliwia użytkownikom odbieranie doznań i interakcję w immersyjnym, komputerowo generowanym środowisku.

Skaner ADMA – oprogramowanie służące do analizy poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa produkcyjnego, tworzenia efektywnych planów jego transformacji oraz motywowania do ciągłego doskonalenia.

Symulacja komputerowa – metoda wnioskowania o zachowaniu obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji wyników działania programów komputerowych naśladujących (symulujących) to zachowanie (tzw. modeli symulacyjnych).

System Cyberfizyczny (*Cyber-Physical System* – CPS) – określa połączenie komponentów informacyjnych oraz programistycznych z częściami mechanicznymi i elektronicznymi, które komunikują się za pośrednictwem infrastruktury danych, takiej jak np. Internet.

Systemy identyfikacji radiowej (*Radio-Frequency Identification* – RFID) – technologia wykorzystująca fale radiowe do przesyłania danych oraz zasilania elektronicznego układu w postaci etykiety RFID. Rozwiązanie to ułatwia dostęp do danych o obiekcie, które uzyskiwane są natychmiast po zeskanowaniu czytnikiem kodu kreskowego.

Sztuczna inteligencja (*Artificial Intelligence* – AI) – nauka, która obejmuje inżynierię tworzenia inteligentnych maszyn, a szczególnie inteligentnych programów komputerowych.

Techniki addytywne (*Additive Manufacturing* – AM) – technologie charakteryzujące się warstwowym charakterem procesu wytwarzania.

Urządzenie mobilne – przenośne urządzenie elektroniczne pozwalające na przetwarzanie, odbieranie oraz wysyłanie danych bez konieczności utrzymywania przewodowego połączenia z siecią.

Wariant – obiekt techniczny, który jest wystąpieniem klasy obiektów technicznych posiadających wspólne, określone cechy.

Web 2.0 – użycie otwartych technologii oraz szkieletów architektonicznych (*architectural frameworks*) budowy aplikacji do wsparcia społecznościowego przetwarzania danych.

Walidacja – proces oceny systemu, w celu określenia zgodności z wymaganiami interesariuszy.

Weryfikacja – proces oceny systemu, w celu określenia, czy produkty opracowane w ramach określonej fazy cyklu życia są zgodne z warunkami oraz wymaganiami określonymi na początku tej fazy.

Zarządzanie cyklem życia produktu (*Product Lifecycle Management* – PLM) – strategia biznesowa i sposób realizacji działań mających na celu zarządzanie produktami w możliwie najbardziej efektywny sposób na przestrzeni całego cyklu ich życia.

Zarządzanie danymi produktowymi (*Product Data Management* – PDM) – proces, w ramach którego dokumentacja konstrukcyjna oraz technologiczna, dane o strukturze produktu, jak również o procesach jego wytwarzania zapisywane są do systemu komputerowego, który zapewnia organizację oraz dostęp do tych danych dla całego przedsiębiorstwa i na przestrzeni całego cyklu życia produktów.

Zarządzanie procesami (*Business Process Management* – BPM) – całościowe podejście do identyfikowania i wyodrębnienia procesów spośród zbioru innych realizowanych w organizacji, w tym ich: formalnego opisu, utworzenia dokładnych modeli (określenia wewnętrznej struktury) oraz nadzorowania, mierzenia efektywności oraz prowadzenia działań mających na celu ich doskonalenie.

Bibliografia

- [1] Główny Urząd Statystyczny, *Biuletyn Statystyczny Nr 3/2023*, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/inne-opracowania/informacje-o-sytuacji-spoleszno-gospodarczej/biuletyn-statystyczny-nr-3-2023,4,136.html> (dostęp 20.08.2023).
- [2] Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego, *Branża motoryzacyjna, Raport Automotive industry report 2022/2023*, <https://www.pzpm.org.pl/pl/Rynek-motoryzacyjny/Roczniki-i-raporty/Rocznik-PZPM-Raport-branzy-motoryzacyjnej-2022-2023> (dostęp 03.08.2023).
- [3] Polska Agencja Inwestycji i Handlu Grupa PFR, *Sektor motoryzacyjny*, <https://www.paih.gov.pl/sektory/motoryzacja> (dostęp 03.08.2023).
- [4] Fidali M. (2021). *Przewodnik po technologiach przemysłu 4.0*, Elamed Media Group.
- [5] Wang Y., Towara T., Andrel R. (2017). *Topological Approach for mapping Technologies in reference Architecture Model Industry 4.0 (RAMI 4.0)*, Proceedings of 25th World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco.
- [6] Grendys A., *Industry 4.0 Meeting Point – co mówili eksperci?*, <https://przemysl-przyszlosci.gov.pl/industry-4-0-meeting-point-o-czym-mowili-eksperci/> (dostęp 03.08.2023).
- [7] Industrial Value Chain Initiative, *Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA)*, https://docs.iv-i.org/doc_161208_Industrial_Value_Chain_Reference_Architecture.pdf (dostęp 20.08.2023).
- [8] Goetze J., *Reference Architectures for Industry 4.0*, <https://coe.qualiware.com/reference-architectures-for-industry-4-0/> (dostęp 03.08.2023).
- [9] Zajac J., Kost G., Gola A. (2022). *Integracja zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemów wytwarzania*, PWE, Warszawa.
- [10] Godecki T., *Nowoczesny przemysł jako pole walki o samodzielność technologiczną; Przypadek strategii Made in China 2025*, <https://rev4.uek.krakow.pl/blog/nowoczesny-przemysl-jako-pole-walki-o-samodzielosc-technologiczna-wpis-blog/> (dostęp 20.08.2023).

- [11] The State Council The People's Republic of China, *China unveils Internet Plus action plan to fuel growth*, http://english.www.gov.cn/policies/latest_releases/2015/07/04/content_281475140165588.htm (dostęp 20.08.2023).
- [12] Platforma przemysłu przyszłości, *Ankieta samooceny – Skan ADMA*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/badania/skan-transformacji/> (dostęp 20.08.2023).
- [13] Stephenson D. (2019). *Big Data, nauka o danych i AI bez tajemnic*, Helion, Warszawa.
- [14] Marz N., Warren J. (2016). *Big Data. Najlepsze praktyki budowy skalowalnych systemów obsługi danych w czasie rzeczywistym*, Helion.
- [15] Parlament Europejski, *Big data: definicja, korzyści, wyzwania (infografika)*, <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20210211STO97614/big-data-definicja-korzysci-wyzwania-infografika> (dostęp 30.06.2023).
- [16] Oracle Polska, *Czym jest analityka danych?*, <https://www.oracle.com/pl/what-is-data-science/> (dostęp 30.06.2023).
- [17] Leonelli S. (2020). *Scientific Research and Big Data*, [w:] red. E.N. Zalta, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2020 Edition)*, Stanford University.
- [18] Rosenberg J., Mateos A. (2012). *Chmura obliczeniowa. Rozwiązania dla biznesu*, Helion.
- [19] Toroman M. (2020). *Chmura Azure. Praktyczne wprowadzenie dla administratora. Implementacja, monitorowanie i zarządzanie ważnymi usługami i komponentami IaaS/PaaS*, Helion.
- [20] Rogalski M., Sankiewicz S., *Co to jest chmura obliczeniowa?*, <https://www.gov.pl/web/popcowsparcie/co-to-jest-chmura-obliczeniowa> (dostęp 30.06.2023).
- [21] Microsoft Azure, *Co to jest chmura obliczeniowa?*, <https://www.chmuramicrosoft.pl/co-to-jest-chmura-obliczeniowa/> (dostęp 30.06.2023).
- [22] Oracle Polska, *Co to jest chmura obliczeniowa?*, <https://www.oracle.com/pl/cloud/what-is-cloud-computing/> (dostęp 30.06.2023).
- [23] Oracle Polska, *Czym jest model IaaS? Infrastruktura jako usługa*, <https://www.oracle.com/pl/cloud/what-is-iaas/> (dostęp 25.08.2024).
- [24] Microsoft Azure, *Co to jest PaaS?*, <https://azure.microsoft.com/pl-pl/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-paas> (dostęp 25.08.2024).
- [25] Oracle Polska, *Czym jest SaaS (Software as a Service)?*, <https://www.oracle.com/pl/applications/what-is-saas/> (dostęp 25.08.2024).
- [26] Szmyd E., Czyżkowski M., *Chmura obliczeniowa – nieuchronna przyszłość cyfryzacji?*, <https://www.xtb.com/pl/analizy-rynkowe/wiadomosci-rynkowe/chmura-obliczeniowa-nieuchronna-przyszlosc-cyfryzacji> (dostęp 30.06.2023).

- [27] Laurisz M., *Chmura w Przemysle 4.0 – Możliwości, jakie chmura obliczeniowa oferuje systemom produkcji, odpowiada idei samego Przemysłu 4.0, czyli całkowitej transformacji cyfrowej*, <https://itreseller.com.pl/chmura-w-przemysle-4-0-mozliwosci-jakie-chmura-obliczeniowa-oferuje-systemom-produkcji-odpowiada-idei-samego-przemyslu-4-0-czyli-calkowitej-transformacji-cyfrowej-komentuje-maciej-kuzniar-coo/> (dostęp 30.06.2023).
- [28] McCarthy J., *What is Artificial Intelligence?*, <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf> (dostęp 30.06.2023)
- [29] Poole D., Mackworth A.K., Goebel R. (1998). *Computational Intelligence and Knowledge*, Oxford University Press, New York.
- [30] Kaplan A., Haenlein M. (2019). *Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence*, Business Horizons, vol. 62(1).
- [31] Russell S., Norvig P. (2022). *Sztuczna inteligencja. Nowe spojrzenie. Wydanie IV. Tom 1*, Helion.
- [32] Tadeusiewicz R. (2021). *Archipelag sztucznej inteligencji*, AOW Exit, Warszawa.
- [33] Platforma przemysłu przyszłości, *ML*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/ml/> (dostęp 30.06.2023).
- [34] CORDIS, *Rozwijanie inteligentnych autonomicznych systemów cyberfizycznych*, <https://cordis.europa.eu/article/id/418464-advancing-smart-autonomous-cyber-physical-systems/pl> (dostęp 30.06.2023).
- [35] Lee J., Bagheri B., Kao H. (2015). *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*, Manufacturing Letters, vol. 3, s. 18-23.
- [36] Somers R.J., Douthwaite J.A., Wagg D.J., Walkinshaw N., Hierons R.M. (2023). *Digital-twin-based testing for cyber-physical systems: A systematic literature review*, Information and Software Technology, vol. 156.
- [37] Kamiński A. (2018). „Inteligentna fabryka” – nowe trendy w rozwoju systemów informatycznych dla przemysłu, *Zarządzanie i Finanse*, vol. 16, s. 113-122.
- [38] Górnicz K., *Czym jest cyberbezpieczeństwo? SafeBIT, 2019-01-07*, <https://web.archive.org/web/20200408234425/https://safebit.pl/czym-jest-cyberbezpieczenstwo/> (dostęp 11.08.2024).
- [39] Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (Dz.U. z 2023 r. poz. 913).
- [40] Encyklopedia Zarządzania, *Cyberbezpieczeństwo*, <https://mfiles.pl/pl/index.php/Cyberbezpiecze%C5%84stwo> (dostęp 11.08.2024).

- [41] Bravo C. (2023). *Cyberbezpieczeństwo dla zaawansowanych. Skuteczne zabezpieczenia systemu Windows, Linux, IoT i infrastruktury w chmurze*, Helion, Warszawa.
- [42] Jadczyk A., *Droga do Przemysłu 4.0 prowadzi przez wdrożenie odpowiednich rozwiązań z zakresu cyberbezpieczeństwa*, <https://itwiz.pl/droga-do-przemyslu-4-0-prowadzi-przez-wdrozenie-odpowiednich-rozwiazan-z-zakresu-cyberbezpieczenstwa/> (dostęp 30.06.2023).
- [43] Dźwiarek M. (2021). *Cyberbezpieczeństwo maszyn w Przemysle 4.0*, *Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe*, vol. 2(126), s. 1265–130.
- [44] ISO/TR 22100-4:2018 “Safety of machinery – Relationship with ISO 12100 – Part 4: Guidance to machinery manufacturers for consideration of related IT-security (cyber security) aspects”.
- [45] PN-EN IEC 62061:2021-12 – wersja angielska: *Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem*.
- [46] ISO 13849-1:2023: *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design*.
- [47] Witkowski K. (2017). *Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management*, *Procedia Engineering*, vol. 182, s. 763–769.
- [48] Porter M.E., Heppelmann J.E. (2014). *How Smart, Connected Product Are Transforming Competition*, *Harvard Business Review*, vol. 11, s. 64–89.
- [49] IERC (2015). *European Research Cluster on the Internet of Things. Internet of Things. Position Paper on Standardization for IoT Technologies*.
- [50] Malucha M. (2018). *Internet Rzeczy – kontekst technologiczny i obszary zastosowań*, *Studia i Prace WNEIZ US*, vol. 54/2.
- [51] Platforma przemysłu przyszłości, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl> (dostęp 20.08.2023).
- [52] Kaczmarek S., *Wydatki na IoT w regionie CEE znacznie poniżej średniej europejskiej*, <https://www.telko.in/wydatki-na-iot-w-regionie-cee-znacznie-ponizej-sredniej-europejskiej> (dostęp 02.06.2023).
- [53] Trzyniec K., Kurpaska S., Gliniak M., Popardowski E. (2019). *Zastosowanie nowoczesnych technik i narzędzi informatycznych w zarządzaniu procesami logistycznymi*, *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, vol. 12, s. 257–260.
- [54] Szeszycka W. (2021). *Metoda oceny stanu gotowości do wdrożenia rozwiązań przemysłu 4.0 w przykładowym przedsiębiorstwie*, *Politechnika Poznańska*.
- [55] Wierzbowski P. (2019). *Cobotization as a key element in the functioning of smart factories and a next step in the automation of logistic processes*, *Research Journal of the University of Gdansk. Transport Economics and Logistics*, vol. 82, s. 171–183.

- [56] DSR Factory, *Internet of Things (IoT) czym jest Internet Rzeczy w przemyśle?*, <https://www.dsr.com.pl/internet-of-things-iot-czym-jest-internet-rzeczy-w-przemysle/> (dostęp 02.06.2023).
- [57] Rot A., Blaike B. (2017). *Zagrożenia wynikające z implementacji koncepcji Internetu Rzeczy w wybranych obszarach zastosowań*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, vol. 341, s. 316–330.
- [58] Universal Robots, *6 examples of Industrial Robots in the Automotive Industry*, <https://www.universal-robots.com/blog/6-examples-of-industrial-robots-in-the-automotive-industry/> (dostęp 02.06.2023).
- [59] Bondyra K., Zagierski B. (2019). *Przemysł 4.0. Na jakim etapie przemysłowej rewolucji znajduje się województwo Wielkopolskie?*, Wielkopolskie Regionalne Obserwatorium Terytorialne, Poznań.
- [60] Thimsen J.S., *Autonomiczna droga do Przemysłu 4.0 – współpracujące roboty mobile*, <https://www.controlengineering.pl/autonomiczna-droga-do-przemyslu-4-0-wspolpracujace-roboty-mobilne/> (dostęp 20.08.2023).
- [61] Encyklopedia PWN, *Wirtualna rzeczywistość*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/wirtualna-rzeczywistosc;3996681.html> (dostęp 20.08.2023).
- [62] Grendys A., *Wytwarzanie samochodów bez fizycznych prototypów*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/wytwarzanie-samochodow-bez-fizycznych-prototypow/> (dostęp 20.08.2023).
- [63] Siemiński P., Budzik G. (2015). *Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [64] Jaguszewski A. (2021). *Analiza środowiskowa ortez kończyn wykonanych metodami przyrostowymi*, Politechnika Poznańska.
- [65] Krenczyk D., *POB5.T4 Symulacje i modelowanie procesów w tym procesów przemysłowych*, <https://www.polsl.pl/pob5/pob5-t4-symulacje-i-modelowanie-procesow/> (dostęp 20.08.2023).
- [66] Encyklopedia PWN, *Symulacja komputerowa*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/symulacja-komputerowa;3982026.html> (dostęp 20.08.2023).
- [67] Platforma przemysłu przyszłości, *Digital Twin*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/digital-twin/> (dostęp 20.08.2023).
- [68] Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R., Gonzalez E. S. (2022). *Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability*, Sustainable Operation and Computers, vol. 3, s. 203–217.
- [69] GUS (Główny Urząd Statystyczny), *Polska na drodze zrównoważonego rozwoju. Raport 2020*, <https://raportsdg.stat.gov.pl/2020/cel7.html> (dostęp 29.05.2023).

- [70] ITU (International Telecommunication Union), *Measuring digital development. Facts and Figures 2022*, <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2022/index/> (dostęp 29.05.2023).
- [71] Schwab K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum.
- [72] Rojko A. (2017). *Industry 4.0 Concept: Background and Overview*, International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), vol. 11(5), s. 77–90.
- [73] Yang F., Gu S. (2021). *Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies*, Complex & Intelligent Systems, vol. 7, s. 1311–1325.
- [74] Kang H.S., Lee J.Y., Choi S., Kim H., Park J.H., Son J.Y., Kim B.H., Noh S.D. (2016). *Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, vol. 3(1), s. 111–128.
- [75] European Commission, *Digital Transformation Monitor. Country: Portugal “Indústria 4.0”*, https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Ind%C3%BAstria%204_PT.pdf (dostęp 28.06.2023).
- [76] European Commission, *Digital Transformation Monitor. The Netherlands: Smart Industry*, https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Smart%20Industry_NL%20v1.pdf (dostęp 25.06.2023).
- [77] Larosse J., *Analysis of national initiatives on digitizing European industry: Belgium*, https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/be_country_analysis.pdf (dostęp 25.06.2023).
- [78] ISDP (Institute for Security & Development Policy), *Made in China 2025. Background – June 2018*, <https://isdpeu.org/content/uploads/2018/06/Made-in-China-Background.pdf> (dostęp 28.06.2023).
- [79] Moon H.-C., Chung J.-E., Choi S.-B. (2018). *Korea’s Manufacturing Innovation 3.0 Initiative*, Journal of Information and Management, vol. 38, no. 1, s. 26–34.
- [80] BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), *The background to Platform Industrie 4.0*, <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/ThePlatform/Background/background.html> (dostęp 25.06.2023).
- [81] Digital Skills & Jobs Platform, *Manufacturing Academy of Denmark (MADE)*, <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/organisations/manufacturing-academy-denmark-made> (dostęp 25.06.2023).
- [82] IVI (Industrial Value Chain Initiative), *Founding Prospectus / Philosophy / Mission / Vision*, <https://iv-i.org/en/organizations/> (dostęp 25.06.2023).
- [83] Smart Nation, *Three Pillars of a Smart Nation*, <https://www.smartnation.gov.sg/about-smart-nation/pillars-of-smart-nation> (dostęp 29.06.2023).

- [84] Wikipedia, *Triple helix model of innovation*, https://en.wikipedia.org/wiki/Triple_helix_model_of_innovation (dostęp 25.06.2023).
- [85] KPK (Krajowy Punkt Kontaktowy) Programów Badawczych UE, *Horyzont Europa*. <https://www.kpk.gov.pl/horyzont-europa> (dostęp 01.07.2023).
- [86] BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), *Trilateral Cooperation*, <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Standardartikel/international-cooperation-trilateral-2018.html> (dostęp 01.07.2023).
- [87] Sustainability Success, *9 Smart Manufacturing Examples Of Industry 4.0*, https://sustainability-success.com/smart-manufacturing-examples-of-industry-4-0/#pll_switcher (dostęp 01.07.2023).
- [88] Soori M., Arezoo B., Dastres R. (2023). *Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review*, *Cognitive Robotics*, vol. 3, s. 54–70.
- [89] Grabowska S. (2020). *Smart Factories in the Age of Industry 4.0*. *Management Systems in Production Engineering*, vol. 28(2), s. 90–96.
- [90] Wikipedia, *DevOps*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/DevOps> (dostęp 02.07.2023).
- [91] Digital Maturity Benchmark, <https://digitalmaturitybenchmark.withgoogle.com/en/advertisers/> (dostęp 29.06.2023).
- [92] Engave, *7 wskaźników świadczących o dojrzałości cyfrowej Twojej firmy – budowanie przewagi konkurencyjnej*, <https://www.engave.pl/blog/7-wskaznikow-swiadczaczych-o-dojrzalosci-cyfrowej> (dostęp 29.06.2023).
- [93] McKinsey & Company, *Polska jako Cyfrowy Challenger i lider handlu cyfrowego*, <https://www.mckinsey.com/pl/our-insights/digital-challengers-3> (dostęp 29.06.2023).
- [94] Deloitte, *Dojrzałość cyfrowa firm w 2019 – gdzie jesteśmy?*, <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/deloitte-digital/Articles/dojrzalosc-cyfrowa-firm-2019-raport.html> (dostęp 29.06.2023).
- [95] Polski Fundusz Rozwoju, *Test dojrzałości cyfrowej*, <https://pfrsa.pl/siecfirmprzy-szloscipfr/test-dojrzalosci-cyfrowej.html> (dostęp 29.06.2023).
- [96] Ustawa z dnia 17 stycznia 2019 r. o Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości (Dz. U. z 2019 r. poz. 229).
- [97] Ustawa z dnia 9 lutego 2022 r. o zmianie ustawy – Kodeks spółek handlowych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2022 r. poz. 807).
- [98] Platforma przemysłu przyszłości, *Skaner ADMA*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/skaner-adma-opis/> (dostęp 29.06.2023).
- [99] Hegab H., Khanna N., Monib N., Salem A. (2023). *Design for sustainable additive manufacturing: A review*. *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 35.

- [100] Kinkel S., Capestro M., Di Maria E., Bettiol M. (2023). *Artificial intelligence and relocation of production activities: An empirical cross-national study*, International Journal of Production Economics, vol. 261.
- [101] Platforma przemysłu przyszłości, *Weryfikator kompetencji cyfrowych*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/weryfikator-kompetencji-cyfrowych-opis/> (dostęp 29.06.2023).
- [102] European Commission, *EDIH Catalogue*, <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/edih-catalogue?f%5Bo%5D=country%3APoland> (dostęp 20.08.2023).
- [103] European Commission, *DMA Tool*, <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/dma-tool> (dostęp 20.08.2023).
- [104] European Digital Innovation Hubs Network, *Guidance documents*, https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/guidance-documents?f%5Bo%5D=search_publication%3ADMA%20Tool (dostęp 20.08.2023).
- [105] European Commission, *DDMA Tool for SMEs — Guidance material*, <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/guidance-documents/dma-tool-smes-guidance-material> (dostęp 20.08.2023).
- [106] European Commission, *MA Tool for PSOs – guidance Material*, <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/guidance-documents/dma-tool-psos-guidance-material> (dostęp 20.08.2023).
- [107] DIN e. V. (2023). DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies, *German Standardization Roadmap Industrie 4.0 ED5*.
- [108] Curzio V. (2014). *Henry Ford*, Wydawnictwo Poznańskie.
- [109] Womack J.P., Jones D.T., Roos D. (2007). *The Machine that Changed the World*, Simon and Schuster.
- [110] Santarek K., Duda J., Oleszek S. (2022). *Zarządzanie cyklem życia produktu*, PWE, Warszawa

Indeks rzeczowy

A

- Advanced Manufacturing Partnership (AMP) 56
- Analiza danych 29

B

- Big Data 27

C

- Cele Zrównoważonego Rozwoju (SDG) 49
- Chmura obliczeniowa (Cloud Computing) 29
- Cobot 40
- Cyberbezpieczeństwo 37
- Cyfrowy model procesów produkcyjnych 66
- Cyfryzacja 27
- Cykl życia produktu 106

D

- Decentralizacja 19
- DevOps 60
- Digital Belgium 51
- Digital Maturity Assessment (DMA) Tool 71
- Digital twin 47

E

- EDIH 69

F

- Fabryka cyfrowa 66
- Fabryka ekologiczna 66
- Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości 64

I

- Impresa 4.0 52
- Indústria 4.0 54
- Industria Conectada 4.0 56
- Industrial Internet Consortium 56
- Industrial Internet Consortium (IIC) 25
- Industrial Value Chain Initiative 20
- Industrie 4.0 23
- Industrie du Futur 52
- Infrastruktura jako usługa (IaaS) 30
- Inteligentna produkcja 67
- Internet Plus 25
- Internet Rzeczy (IoT) 35
- Interoperacyjność 18

K

- Kastomizacja wyrobów 112

Komisja Europejska 27
Komputerowa integracja
wytwarzania (CIM) 103
Komputerowe sterowanie
numeryczne (CNC) 103
Komputerowe wspomaganie
projektowania (CAD) 103
Komputerowe wspomaganie
projektowania procesów
produkcyjnych (CAP) 103
Komputerowe wspomaganie
wytwarzania (CAM) 103
Komputerowe wspomaganie
zapewnienia jakości (CAQ) 103

M

Made Different 51
MADE Digital 51
Made in China 2025 (MIC 2025) 54
Manufacturing Academy
of Denmark (MADE) 51
Manufacturing Industry
Innovation 3.0 55
Manufacturing Partnership 2.0
(AMP 2.0) 56
Metody AI 33
Model ADMA 63
Model Based Systems Engineering
(MBSE) 108

N

National Technology Plan 1995 55

O

Oprogramowanie jako usługa (SaaS) 30

Organizacja skupiona na człowieku 67

P

Platforma Industrie 4.0 21
Platforma jako usługa (PaaS) 30
Predykcyjne utrzymanie maszyn
(predictive maintenance) 40
Proces biznesowy 76
Producent wyrobów finalnych
(OEM) 112
Produkcja jako usługa (MaaS) 113
Program „Cyfrowa Europa” 69
Przemysł 4.0 (Industry 4.0) 17
Przemysłowa rozszerzona rzeczywistość
(industrial AR) 58
Przemysłowy internet rzeczy (IIoT) 39

R

Research, Innovation
and Enterprise 2020 Plan 55
RFID 80
Rozszerzona rzeczywistość (AR) 44

S

Security by Design 24
Skaner ADMA 65
Smart Industry (SI) 53
Smart Nation 55
Society 5.0 53
Symulacja komputerowa 46
System produktowo-usługowy
(Product-Service System) 19
System wizyjny (machine vision) 58
Systemy efektywnego zarządzania
produkcją (MES) 103

Systemy ERP 103
Systemy MRP 103
Sztuczna inteligencja 32

T
TAIS 59
Testlabs 51
Transformacja cyfrowa 32
Transformacja cyfrowa
przedsiębiorstwa 65

U
Uczenie maszynowe (ML) 33
Usługa 112

W
Walidacja 110
Web 2.0 109
Weryfikacja 47
Weryfikator kompetencji cyfrowej 68

Windchill 59
Wirtualizacja 19
Wirtualna rzeczywistość (VR) 42
Współpraca maszyn (inter-machine
collaboration) 58
Wymagania нефункционалне 35
Wyrób 45
Wytwarzanie przyrostowe (additive
manufacturing) 45

Z
Zarządzanie cyklem życia produktu 106
Zarządzanie danymi produktowymi 61
Zarządzanie łańcuchem dostaw
(SCM) 103
Zarządzanie procesami
produkcyjnymi 64
Zrównoważona produkcja 66
Zrównoważony rozwój (Sustainable
development) 35

Spis rysunków

Rys. 2.1. Sześć zasad przemysłu 4.0.....	18
Rys. 2.2. Trzy perspektywy inteligentnej jednostki wytwórczej SMU (Smart Manufacturing Unit).....	20
Rys. 2.3. Podstawowa struktura hierarchicznych poziomów wymiarów, sześciu warstw i cyklu życia oraz łańcucha wartości modelu referencyjnego RAMI 4.0.....	21
Rys. 3.1. Koncepcja big data (opracowanie własne na podstawie).....	28
Rys. 3.2. Przetwarzanie w chmurze (opracowanie własne na podstawie).....	31
Rys. 3.3. System cyberfizyczny w perspektywie Przemysł 4.0 (opracowanie własne na podstawie).....	36
Rys. 5.1. Widok jednej z podstron testu dostępnego w aplikacji Weryfikator kompetencji cyfrowych.....	69
Rys. 6.1. Model cyklu życia produktu (opracowanie własne).....	106

Spis tabel

Tabela 2.1. Przykładowe definicje Przemysłu 4.0.....	17
Tabela 4.1. Przegląd najważniejszych strategii wdrożenia Przemysłu 4.0 w wybranych państwach (opracowanie własne na podstawie [73–84]).....	51
Tabela 5.1. Zestawienie liczbowe europejskich konsorcjów zapewniających wsparcie MŚP oraz organizacji sektora publicznego.....	70
Tabela 6.1. Przykłady zastosowań technologii Przemysłu 4.0 w cyklu życia samochodu (opracowanie własne).....	108

Spis wykresów

Wykres 6.1. Struktura właścicielska ankietowanych przedsiębiorstw.....	82
Wykres 6.2. Wielkość zatrudnienia w ankietowanych przedsiębiorstwach.....	82
Wykres 6.3. Charakter produkcji badanych przedsiębiorstw.....	82
Wykres 6.4. Okres funkcjonowania badanych przedsiębiorstw na rynku.....	82
Wykres 6.5. Rodzaje wyrobów produkowanych przez ankietowane przedsiębiorstwa.....	83
Wykres 6.6. Grupy produktów, w których specjalizują się ankietowane przedsiębiorstwa.....	83
Wykres 6.7. Odpowiedzi na pytanie: „Czy pracownicy przedsiębiorstwa mieli okazję zapoznania się z pojęciem koncepcji Przemysłu 4.0?”.....	84
Wykres 6.8. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest poziom wiedzy pracowników na temat Przemysłu 4.0?”.....	84
Wykres 6.9. Ocena atrybutów pracowników w skali od 1 (niski poziom) do 10 (wysoki poziom).....	85
Wykres 6.10. Odpowiedzi na pytanie: „Jak innowacyjne jest przedsiębiorstwo w porównaniu z innymi w sektorze?”.....	85
Wykres 6.11. Ocena stopnia zaawansowania cyfryzacji badanych przedsiębiorstw.....	85
Wykres 6.12. Odpowiedzi na pytanie: „Jakie aspekty związane z Przemysłem 4.0 zaimplementowano w przedsiębiorstwie?”.....	86
Wykres 6.13. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo wykorzystuje czujniki RFID?”.....	86
Wykres 6.14. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki jest obszar wykorzystywania czujników RFID?”.....	87
Wykres 6.15. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki procent maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie jest w pełni zautomatyzowany?”.....	87
Wykres 6.16. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologię produkcji?”...87	87

Wykres 6.17. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zautomatyzowane regały magazynowe?”	88
Wykres 6.18. Odpowiedzi na pytanie: „Jaki typ regałów zautomatyzowanych jest wykorzystywany w przedsiębiorstwie?”	88
Wykres 6.19. Odpowiedzi na pytanie: „Jak często archiwizuj się dane?”	88
Wykres 6.20. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania opartego na chmurze?”	89
Wykres 6.21. Odpowiedzi na pytanie: „Jakie są główne argumenty korzystania z rozwiązań opartych na chmurze?”	89
Wykres 6.22. Odpowiedzi na pytanie: „Z jakiego oprogramowania w chmurze korzysta przedsiębiorstwo?”	89
Wykres 6.23. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo przechowuje i na bieżąco gromadzi dane w komputerowych bazach danych?”	90
Wykres 6.24. Odpowiedzi na pytanie: „Czego dotyczą przechowywane i gromadzone dane w komputerowych bazach danych?”	90
Wykres 6.25. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?”	90
Wykres 6.26. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo planuje zaimplementować przetwarzanie i analizę dużych zbiorów danych (big data)?”	90
Wykres 6.27. Odpowiedzi na pytanie: „Z jakich modułów systemu ERP korzysta przedsiębiorstwo?”	91
Wykres 6.28. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES (Manufacturing Execution System) do analizy danych podczas produkcji?”	91
Wykres 6.29. Odpowiedzi na pytanie: „Jakie funkcjonalności systemu MES są wykorzystywane w przedsiębiorstwie?”	92
Wykres 6.30. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji?”	92
Wykres 6.31. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo posiada oraz korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych?”	93
Wykres 6.32. Odpowiedzi na pytanie: „W jakim obszarze wykorzystuje się symulacje?”	93
Wykres 6.33. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma plan w najbliższym czasie zaimplementować dodatkowy moduł pozwalający na symulacje procesów produkcyjnych?”	93

Wykres 6.34. Odpowiedzi na pytanie: „W jakim stopniu (0–5) narzędzia z zakresu Przemysłu 4.0 są zaimplementowane w firmie?”	94
Wykres 6.35. Poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników	95
Wykres 6.36. Poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników	95
Wykres 6.37. Poziom digitalizacji w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników	95
Wykres 6.38. Poziom digitalizacji w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników	95
Wykres 6.39. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników	96
Wykres 6.40. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników	96
Wykres 6.41. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej	96
Wykres 6.42. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej	96
Wykres 6.43. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej	97
Wykres 6.44. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników	97
Wykres 6.45. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników	97
Wykres 6.46. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej	98
Wykres 6.47. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej	98
Wykres 6.48. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej	98

Wykres 6.49. Zastosowanie oprogramowań w chmurze przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników.....	99
Wykres 6.50. Zastosowanie oprogramowań w chmurze przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.....	99
Wykres 6.51. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.....	99
Wykres 6.52. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.....	99
Wykres 6.53. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.....	99
Wykres 6.54. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.....	100
Wykres 6.55. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.....	100
Wykres 6.56. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.....	100
Wykres 6.57. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników.....	101
Wykres 6.58. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.....	101
Wykres 6.59. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o produkcji jednostkowej.....	101
Wykres 6.60. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o produkcji seryjnej.....	101
Wykres 6.61. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o produkcji masowej.....	102
Wykres 6.62. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia 10–250 pracowników.....	102
Wykres 6.63. Funkcje MES stosowane przez przedsiębiorstwa o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.....	103

Załącznik 1



PRZEMYSŁ 4.0. NA JAKIM ETAPIE PRZEMYSŁOWEJ REWOLUCJI ZNAJDUJĄ SIĘ POLSKIE PRZEDSIĘBIORSTWA SEKTORA MOTORYZACYJNEGO

Ocena poziomu wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach sektora motoryzacyjnego

Szanowni Państwo,

zwracamy się z uprzejmą prośbą o wypełnienie ankiety. Badanie prowadzone jest przez Komitet Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk w celu opracowania ekspertyzy dotyczącej poziomu wdrożenia rozwiązań z obszaru Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach z branży motoryzacyjnej. Ankieta jest anonimowa, nie będą udostępniane nazwy przedsiębiorstw, które brały udział w badaniu. Bardzo dziękujemy za poświęcony czas i wypełnienie ankiety.

W przypadku pytań prosimy o kontakt:

ewa.dostatni@put.poznan.pl; izabela.rojek@ukw.edu.pl

INFORMACJE CHARAKTERYZUJĄCE PRZEDSIĘBIORSTWO I RESPONDENTA

- 1) Struktura właścicielska firmy:
 - Wyłącznie kapitał polski
 - Wyłącznie kapitał zagraniczny
 - Kapitał mieszany
- 2) Forma prawna prowadzonej działalności gospodarczej:
 - Osoba fizyczna prowadząca działalność gospodarczą
 - Spółka akcyjna
 - Spółka z o. o.
 - Spółka z o. o., Sp. komandytowa
 - Spółka jawna
 - Spółka cywilna
 - Spółka komandytowa
 - Inna.....
- 3) Wielkość zatrudnienia w przedsiębiorstwie (stan obecny):
 - do 5
 - 6 – 9
 - 10 – 50
 - 51 – 250
 - Powyżej 250
- 4) Przedsiębiorstwo działa na rynku:
 - Krócej niż rok
 - 1 – 2 lata
 - 3 – 5 lat
 - 6 – 10 lat
 - 11– 20 lat
 - Powyżej 20 lat
- 5) Stanowisko/Funkcja:
 - Właściciel
 - Współwłaściciel
 - Zarząd przedsiębiorstwa
 - Wyższa kadra kierownicza
 - Średnia kadra kierownicza
 - Niższa kadra kierownicza
- 6) Proszę podać swój wiek:
 - Do 25 lat
 - 26 – 35 lat
 - 36 – 44 lat
 - 45 – 54 lat
 - 55 – 65 lat
 - Powyżej 65 lat

7) Staż pracy w branży (w sektorze motoryzacyjnym):

- Poniżej 1 roku
- 1 – 5 lat
- 6 – 10 lat
- 11 – 15 lat
- Powyżej 15 lat

8) Staż pracy w obecnej firmie (w latach):

- Poniżej 1 roku
- 1 – 5 lat
- 6 – 10 lat
- 11 – 15 lat
- Powyżej 15 lat

9) Przychody ze sprzedaży produktów w mln złotych za rok 2022:

- Poniżej 1 mln
- 1 – 5 mln
- 5,1 – 10 mln
- 10,1 – 15 mln
- Powyżej 15 mln

10) Proszę określić przeważający charakter produkcji:

- Produkcja masowa
- Produkcja wielkoseryjna
- Produkcja krótkoseryjna
- Produkcja jednostkowa
- Produkcja średnioseryjna

11) Produkowane przez przedsiębiorstwo wyroby:

- To oryginalne części, które są stosowane głównie na tzw. pierwszy montaż (OE - Original Equipment)
- Powstają na tej samej linii produkcyjnej co części zamienne; nie oznacza się ich logiem producenta samochodu a logiem producenta części, (OEM- Original Equipment Manufacturer)
- To części, które posiadają odpowiednie certyfikaty ale nie są dostarczane na pierwszy montaż (OEM)
- To zamienniki, które nie posiadają certyfikatów
- Inne (jakie?)

12) Wymień grupę produktów w której specjalizuje się przedsiębiorstwo (kategoria dostawcy):

- Oszklenie
- Oświetlenie
- Elektronika
- Zawieszenie
- Elementy napędowe
- Elementy układu chłodzenia silnika
- Plastikowe elementy wyposażenia pojazdu
- Metalowe elementy nadwozia
- Tarcze koła
- Ogumienie
- Usługi dla przedsiębiorstw z branży automotive np. szkolenia
- Inne (jakie?)

13) Zasięg rynku:

- Rynek krajowy
- Rynek europejski
- Rynek globalny

Badanie właściwe

- 1) Czy pracownicy zatrudnieni w przedsiębiorstwie mieli okazję zapoznania się z pojęciem koncepcji Przemysłu 4.0?

- Tak i rozumieją pojęcie
 Tak, ale nie rozumieją pojęcia
 Nie
 Nie wiem

- 2) Jaki jest według Pana/Pani poziom wiedzy na temat Przemysłu 4.0?

- Bardzo dobry
 Dobry
 Dostateczny (umiarkowany)
 Podstawowy
 Brak wiedzy

- 3) Proszę ocenić atrybuty pracowników zatrudnionych w firmie (w skali od 1 - niski poziom do 10 - wysoki poziom)

Kompetencja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dzielenie się pomysłami, spostrzeżeniami i wiedzą	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dostarczanie pomysłów	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Znajomość literatury branżowej	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wiedza dziedzinowa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niezależność w prezentowanych poglądach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otwartość na innowacje i zmianę	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doświadczenie zawodowe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdolność wypowiedzenia własnych opinii, poglądów i tolerowania innych	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teoretyczna znajomość zagadnienia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Praktyczna znajomość zagadnienia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdolność poszukiwania nowinek wśród pomysłów i rozwiązań	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Umiejętność właściwej oceny (może pomóc podjąć odpowiednią decyzję)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Znajomość rynku nowych technologii	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- 4) Proszę ocenić jak bardzo innowacyjne jest przedsiębiorstwo w odniesieniu do przedsiębiorstw funkcjonujących w sektorze?

- Bardzo innowacyjne przedsiębiorstwo
 Innowacje na średnim poziomie
 Niski poziom innowacyjności przedsiębiorstwa

Ma narzędzia do komunikacji z systemami zarządzania produkcją oraz magazynowymi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ma możliwość tworzenia inteligentnych produktów, które komunikują się bezpośrednio z maszynami produkcyjnymi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wykorzystuje urządzenia przenośne zapewniające możliwości dostępu do informacji produkcyjnych oraz sterowania maszynami i systemami	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stwarza możliwość zawierania tzw. „smart contracts” pomiędzy podmiotami bez istnienia gwaranta w postaci firmy trzeciej lub instytucji	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stosuje technologie rozproszonych rejestrów przechowujących informacje o transakcjach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zarządza rozproszonymi aktywami, flotą pojazdów oraz zdalnymi zespołami pracowników	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dokonuje określania położenia geograficznego z wykorzystaniem typowo GPS lub adresu IP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8) Czy przedsiębiorstwo wykorzystuje czujniki RFID?

- Tak
 Nie
 Nie wiem

9) Proszę ocenić jaki jest obszar wykorzystania czujników RFID?

- Monitorują i zbierają informacje o stanie maszyny
 Zbierają informacje za pomocą czujników odległości o aktualnym położeniu produktów
 Wysyłają informacje, kiedy poszczególne podzespoły wymagają naprawy, konserwacji, itp.
 Zbierają informacje i monitorują proces produkcyjny, wychwytyjąc wadliwe wyroby
 Monitorują i na bieżąco wysyłają informacje o aktualnym miejscu produktu/ wyrobu gotowego, dzięki wbudowanym w podzespoły czujnikom RFID
 Monitorują i przekazują informacje o aktualnym stanie zasobów
 Nie wykorzystuje
 Inne (Jakie?)

10) Proszę ocenić, jaki procent maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie jest w pełni zautomatyzowany?

- Mniej niż 25
 26 - 50
 51 - 75
 76 - 100

- 11) Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 12) Czy przedsiębiorstwo ma zautomatyzowane regały magazynowe?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 13) Jeśli tak, to jaki typ regałów jest wykorzystywany?
- Windowy
 - Satelitarny
 - Z układnicami
 - Nie wiem
- 14) Czy w przedsiębiorstwie wdrożona jest polityka bezpieczeństwa przepływu informacji?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 15) Czy przedsiębiorstwo archiwizuje dane?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 16) Jeśli tak, to jak często?
- Codziennie
 - Raz w tygodniu
 - Raz w miesiącu
 - Nie wiem
- 17) Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania opartego na chmurze?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 18) Jeśli tak, to z jakiego?
- Poczta elektroniczna
 - Oprogramowanie ERP
 - Oprogramowanie CRM
 - Oprogramowanie CAD, CAM, CAE, PLM

- Oprogramowanie biurowe
 - Oprogramowanie do zarządzania pracą zespołu
 - Nie wiem
 - Inne (jakie?)
- 19) Jakie są główne argumenty korzystania z rozwiązań opartych na chmurze?
- Gromadzenie dużej ilości danych
 - Konieczność korzystania z danych poza siedzibą przedsiębiorstwa
 - Wysoki poziom bezpieczeństwa i ochrony danych
 - Inne
- 20) Czy przedsiębiorstwo widzi konieczność zakupu urządzeń do druku 3D?
- Tak
 - Nie, nie planujemy druku addytywnego
 - Nie, dostępne rozwiązania są wystarczające
 - Nie wiem
- 21) Czy przedsiębiorstwo przechowuje i na bieżąco gromadzi dane w komputerowych bazach danych?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 22) Jeśli tak, to czego dotyczą te dane?
- Dokumentacja techniczna
 - Dane sprzedażowe
 - Dane finansowo-księgowe
 - Dane produkcyjne
 - Dane o klientach i dostawcach
 - Inne
- 23) Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 24) Czy przedsiębiorstwo planuje zaimplementować przetwarzanie i analizę dużych zbiorów danych (Big Data) w przedsiębiorstwie?
- Tak
 - Nie, posiadamy takie rozwiązania
 - Nie
 - Nie wiem

- 25) Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu ERP?
- Tak
 - Nie posiadamy takiego rozwiązania
 - Nie wiem
- 26) Jeśli tak, to z jakich modułów korzysta?
- Produkcja
 - Zaopatrzenie
 - Dystrybucja
 - Księgowość i finanse
 - Magazynowanie
 - Zasoby ludzkie
 - Marketing i sprzedaż
 - Planowanie produkcji
 - Inne
- 27) Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES (Manufacturing Execution System) do analizy danych podczas produkcji (np. bieżące wskaźniki wydajności, efektywności, jakości)?
- Tak
 - Nie posiadamy takiego rozwiązania
 - Nie wiem
- 28) Jakie funkcjonalności systemu MES są wykorzystywane w przedsiębiorstwie?
- Rozliczanie surowców
 - Rozliczanie czasu pracy
 - Przygotowywanie automatycznych dokumentów magazynowych
 - Optymalizacja kompletacji i załadunku
 - Automatyzacja przepływu danych pomiędzy produkcją a systemami biznesowymi (tj. ERP)
 - Wykrywanie wąskich gardeł w procesie
 - Inne (Jakie?)
- 29) Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem
- 30) Czy przedsiębiorstwo posiada oraz korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych?
- Tak
 - Nie
 - Nie wiem

