



KOMITET INŻYNIERII PRODUKCJI PAN
Sekcja Cyfryzacji Produkcji

EKSPERTYZA

**Przemysł 4.0 w przedsiębiorstwach z branży motoryzacyjnej,
stan obecny i perspektywy rozwoju**

doi: 10.24425/147337

Redakcja naukowa:

dr hab. inż. Ewa DOSTATNI, prof. uczelni

dr hab. inż. Izabela ROJEK, prof. uczelni

Autorzy:

dr hab. inż. Waldemar BOJAR, prof. uczelni

dr hab. inż. Anna BURDUK, prof. uczelni

dr hab. inż. Ewa DOSTATNI, prof. uczelni

dr hab. inż. Jan DUDA, prof. uczelni

dr hab. inż. Andrzej JARDZIOCH, prof. uczelni

dr hab. inż. Marek MACKO, prof. uczelni

dr hab. inż. Przemysław NIEWIADOMSKI, prof. uczelni

dr inż. Sylwester OLESZEK

dr hab. inż. Krzysztof PIETRUSEWICZ, prof. uczelni

dr hab. inż. Izabela ROJEK, prof. uczelni

prof. dr hab. inż. Krzysztof SANTAREK

Warszawa, wrzesień 2023

Spis treści

1. WPROWADZENIE	3
2. ZAŁOŻENIA PRZEMYSŁU 4.0	7
3. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH TECHNOLOGII PRZEMYSŁU 4.0	17
3.1. Big Data oraz analiza danych	17
3.2. Chmura obliczeniowa	19
3.3. Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe	22
3.4. System cyberfizyczny	24
3.5. Cyberbezpieczeństwo	26
3.6. Przemysłowy Internet Rzeczy	29
3.7. Roboty przemysłowe	31
3.8. Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość	33
3.9. Druk addytywny	36
3.10. Symulacja komputerowa	38
4. WDROŻENIE ROZWIĄZAŃ PRZEMYSŁU 4.0 NA ŚWIECIE	41
4.1. Charakterystyka i inicjatywy międzynarodowe	41
4.2. Przykłady praktyczne	48
4.3. Podsumowanie	51
5. PODEJŚCIA METODYCZNE W OCENIE POZIOMU WDROŻENIA PRZEMYSŁU 4.0	53
5.1. Wprowadzenie do rozdziału	53
5.2. Wybrane modele dojrzałości cyfrowej	53
5.3. Narzędzia Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości	54
5.3.1. Skaner ADMA	55
5.3.2. Weryfikator kompetencji cyfrowych	58
5.4. Podejście DMA dla sieci Europejskich HUBów Innowacji Cyfrowych	60
5.4.1. DMA Tool dla MŚP	62
5.4.2. DMA dla jednostek sektora publicznego	62
5.5. Podsumowanie rozdziału	63
6. METODYKA BADAŃ	65
7. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA	72
8. NOWOCZESNE TECHNOLOGIE A KIERUNKI ROZWOJU PRZEMYSŁU MOTORYZACYJNEGO	90
9. PODSUMOWANIE	98
BIBLIOGRAFIA	100

1. WPROWADZENIE

Branża motoryzacyjna w Polsce należy do jednej z najlepiej rozwijającej się w kraju. Pomimo pewnych wahań, spowodowanych w pierwszej kolejności pandemią Covid 19, a później wybuchem wojny w Ukrainie, zauważa się znaczne ożywienie w tej branży. Jest to spowodowane przede wszystkim poprawą globalnych łańcuchów dostaw i zwiększeniem dostępności komponentów. Zyski finansowe netto w ostatnim kwartale 2022 roku były zdecydowanie wyższe w porównaniu z latami poprzednimi [1].

W Polsce produkowane są samochody osobowe, ciężarowe, autobusy miejskie i turystyczne, jak również naczepy i przyczepy. Jedną z największych fabryk przemysłu motoryzacyjnego jest przedsiębiorstwo w Tychach, w którym produkowane są: Fiat 500 Abarth 500, Lancia Ypsilon oraz Ford Ka. Natomiast w Gliwicach w General Motors Manufacturing Poland wytwarza się samochody Opel Astra i Opel Cascady. Kolejną znaczącą fabryką z branży motoryzacyjnej jest firma Volkswagen, której zakłady znajdują się w Poznaniu i Wrześni. Produkuje się tam modele Caddy, Caddy Maxi, Transporter oraz Crafter. W Bolechowie i Środzie Wielkopolskiej swoją siedzibę ma firma Solaris Bus & Coach S.A., która produkuje 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, Kapena S.A. należąca do koncernu Iribus Iveco. W firmie Jelcz-Laskowice mieszczącej się na Dolnym Śląsku produkowane są samochody ciężarowe. Należą do nich pojazdy wojskowe o różnej ładowności. Należy również wspomnieć o firmie Modertrans, która mieści się w Poznaniu i produkuje tramwaje oraz przeprowadza remonty m.in. autobusów oraz o firmie PESA Bydgoszcz SA, producencie pojazdów szynowych. Oprócz producentów samochodów bardzo duży rynek stanowią firmy produkujące komponenty i części zamienne dla przemysłu motoryzacyjnego. Zajmują się one m.in. produkcją akumulatorów, silników, skrzyń biegów, elementów nadwozi i podwozi oraz wyposażenia samochodowego.

Zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej przed przemysłem motoryzacyjnym, w najbliższych latach, pojawi się trudne zadanie związane z produkcją samochodów zeroemisyjnych. Jest to związane z ograniczeniem emisji CO₂ dla samochodów. W roku 2030 redukcja emisji CO₂ musi wynieść 55% dla samochodów osobowych. Szacuje się, że w roku 2030 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 stawianych przed przemysłem motoryzacyjnym. Będą musiały zainwestować w nowe rozwiązania technologiczne i innowacyjne, szczególnie w obszarze pojazdów elektrycznych, autonomicznych oraz związanych z redukcją emisji. W Polsce powstają już przedsiębiorstwa specjalizujące się w produkcji komponentów dla samochodów zeroemisyjnych. Przykład stanowi firma LG Energy Solution, która jest wiodącym na świecie i jednym z największych producentów baterii litowo-jonowych dla przemysłu motoryzacyjnego. W Biskupicach Podgórnym (gmina Kobierzyce) wytwarzane są wszystkie komponenty baterii, aż po produkt gotowy do montażu w samochodzie. Jest to powiązane z polityką rządu polskiego dla którego e-mobilność jest zadaniem priorytetowym. Wprowadzane są specjalne programy ulg oraz dofinansowania dla producentów (program E-bus), jak również wspierające rozwój infrastruktury na rzecz e-mobilności. Szacowana łączna wartość programów związanych z tym zagadnieniem może wynieść w okresie najbliższych dziesięciu lat ok. 19,4 mld PLN [3].

Równolegle 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 udoskonolenia polegające m.in. na cyfryzacji procesów i większej automatyzacji.

Przemysł motoryzacyjny jest jednym z sektorów gospodarki, w którym można zauważyć wiele zmian związanych z wprowadzeniem nowoczesnych technologii. Technologie Przemysłu 4.0 umożliwiają wprowadzenie inteligentnych fabryk i systemów produkcyjnych, które są w stanie produkować samochody bardziej efektywnie i o wyższej jakości. Dzięki wykorzystaniu 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, co umożliwia szybszą reakcję na problemy techniczne oraz doskonalenie procesów. Sztuczna inteligencja i Big Data pozwalają na przetwarzanie dużych ilości danych produkcyjnych, które mogą być wykorzystane do analizy i optymalizacji procesów produkcyjnych, co przyczynia się do zapobiegania podejmowaniu błędnych decyzji i do poprawy jakości. Wiele procesów produkcyjnych w przemyśle motoryzacyjnym jest zrobotyzowanych, a szczególnie dotyczy to procesów montażu i transportu. Automatyzacja i robotyzacja procesów pozwala na zwiększenie wydajności, poprawę jakości i redukcję

kosztów produkcji. Wprowadzenie technologii Przemysłu 4.0 do przemysłu motoryzacyjnego umożliwi producentom samochodów szybszą reakcję na zmieniające się wymagania klientów i dynamiczne rynki. Pozwala również na ciągłe doskonalenie procesów produkcyjnych oraz na zwiększenie konkurencyjności w globalnym środowisku biznesowym.

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

Zbieranie danych do badania przeprowadzono w okresie od lutego do maja 2023 roku. Jako metodę badawczą wybrano metodę sondażu diagnostycznego stosując technikę ankietyzacji. W badaniu wzięły udział dwadzieścia dwa przedsiębiorstwa z branży motoryzacyjnej. Byli to producenci samochodów osobowych, ciężarowych oraz autobusów jak również przedstawiciele firm produkujących komponenty i elementy wyposażenia pojazdów. Ankieta była przeprowadzana w formie on-line lub była możliwość jej wypełnienia w wersji papierowej. Interesariuszami biorącymi udział w badaniu byli przedstawiciele firm z branży motoryzacyjnej znajdujących się na terenie Polski.

Badania, których wyniki przedstawiono w opracowanej ekspertyzie zostały wykonane w ramach prac badawczych Sekcji Cyfryzacji Produkcji Komitetu Inżynierii Produkcji Polskiej Akademii Nauk.

Ekspertyza składa się z dziewięciu rozdziałów. W dokumencie opisano założenia Przemysłu 4.0, zebrano występujące w literaturze definicje odnoszące się do pojęcia Przemysł 4.0, podejścia strategiczne, trendy oraz przedstawiono model referencyjny. Wskazano również zasady, których należy przestrzegać przy wdrażaniu w przedsiębiorstwie technologii Przemysłu 4.0. Opisano i krótko scharakteryzowano wybrane technologie Przemysłu 4.0. Zwrócono szczególną uwagę na te, które są specyficzne dla przemysłu motoryzacyjnego. W ekspertyzie przeprowadzono również charakterystykę wybranych wdrożeń Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach poza granicami Polski. Ważny element opracowanego dokumentu stanowi analiza stosowanych podejść metodycznych do oceny stanu zaawansowania wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach. Opisano wybrane modele dojrzałości cyfrowej: Skaner ADMA, Weryfikator kompetencji cyfrowych, podejście DMA dla Europejskich HUBów Innowacji Cyfrowych, DMA Tool dedykowany dla małych i średnich przedsiębiorstw oraz DMA dla jednostek sektora publicznego. Kolejny punkt ekspertyzy

dotyczy wyboru metody badawczej zastosowanej do zebrania danych i informacji od przedstawicieli przedsiębiorstw. Opisano wybraną metodę – sondażu diagnostycznego. Scharakteryzowano ankietę, która została opracowana w celu pozyskania danych od przedstawicieli przedsiębiorstw. Najbardziej obszerną część ekspertyzy stanowi analiza danych pozyskanych w ramach badań. Pierwsza jej część charakteryzuje respondentów, którzy wypełnili ankietę, druga natomiast przedstawia analizę uzyskanych wyników w obszarze stopnia wdrożenia charakterystycznych technologii dla Przemysłu 4.0 w badanych przedsiębiorstwach.

Na podstawie przeprowadzonych badań i otrzymanych wyników przedstawiono potencjalne możliwości rozwoju przemysłu motoryzacyjnego w obszarze wdrożenia nowoczesnych technologii z zakresu Przemysłu 4.0.

W końcowej części ekspertyzy opisano rekomendacje i potencjalne działania na przyszłość w celu zintensyfikowania wdrożeń technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach oraz krótko scharakteryzowano profile dostawców nowych technologii dla firm z branży motoryzacyjnej.

Autorami niniejszej ekspertyzy są członkowie Sekcji Cyfryzacji Produkcji KIP PAN. W imieniu Autorów niniejszej ekspertyzy serdecznie dziękujemy Przedstawicielom Przedsiębiorstw z branży motoryzacyjnej, którzy się zaangażowali i zechcieli wziąć udział w badaniu oraz wypełnili ankietę. Bez Ich wkładu pracy nie byłoby możliwości przeprowadzenia analiz i w efekcie powstania tej ekspertyzy. Bardzo dziękujemy również Pani mgr inż. Annie DUDKOWIAK z Politechniki Poznańskiej, za pomoc w opracowaniu edycyjnym i statystycznym ankiet oraz Panu Doktorowi Mariuszowi PIECHOWSKIEMU za pomoc przy wypełnianiu ankiet przez przedsiębiorstwa.

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 obniżenie kosztów. Poniżej w tabeli 2.1 podano wybrane definicje Przemysłu 4.0.

Tabela 2.1. Przykładowe definicje Przemysłu 4.0.

Źródło	Definicja
Przewodnik po technologiach przemysłu [4]	Wielowymiarowa koncepcja wykorzystująca szereg technologii informacyjnych umożliwiających stworzenie autonomicznych inteligentnych systemów produkcyjnych posiadających możliwość samo konfiguracji, samokontroli, samo naprawiania i pozwalających na podniesienie efektywności i elastyczności wytwarzania
	Postępująca integracja świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych z wirtualnym światem technologii informacyjnych i Internetu.
Topological Approach for Mapping Technologies in Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [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 znajdują się 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 6-ciu zasad (rys.2.1) [6]:



Rys.2.1. VI zasad przemysłu 4.0 [6].

- I. Interoperacyjności, czyli wypracowania przepływu informacji w przedsiębiorstwie poprzez automatyzację procesów i integrację systemów informatycznych. Interoperacyjność to cecha produktu lub systemu, którego interfejsy funkcjonują w pełnej zgodności tak, aby współpracować z innymi produktami lub systemami, które istnieją lub będą istnieć w przyszłości, bez ograniczenia dostępu lub możliwości implementacji. Jest pojęciem szerszym od integracji, która odpowiedzialna jest tylko za wymianę informacji. Traktowana jako własność systemów, pozwala nie tylko na wymianę informacji, ale także wzajemne zrozumienie między nimi. Koncepcję zintegrowanego przepływu informacji łączą wszystkie fazy życia produktu. Automatyzacja procesów rozwojowych związana jest z ewolucją systemów komputerowego wspomaganie w kierunku systemów inteligentnych stosowanych w realizacji faz rozwojowych.
- II. Wirtualizacji, czyli procesu, w którym tworzy się symulowane (wirtualne) środowisko, najczęściej komputerowe, wykorzystujące pewne ustalone zasoby fizyczne do budowania cyfrowego bliźniaka fabryki, maszyny lub produktu.
- III. Decentralizacji, w której chodzi o odejście od sekwencyjnej produkcji na rzecz budowy uniwersalnych gniazd wytwórczych. Rolą tej zmiany jest wyeliminowanie wąskich gardeł

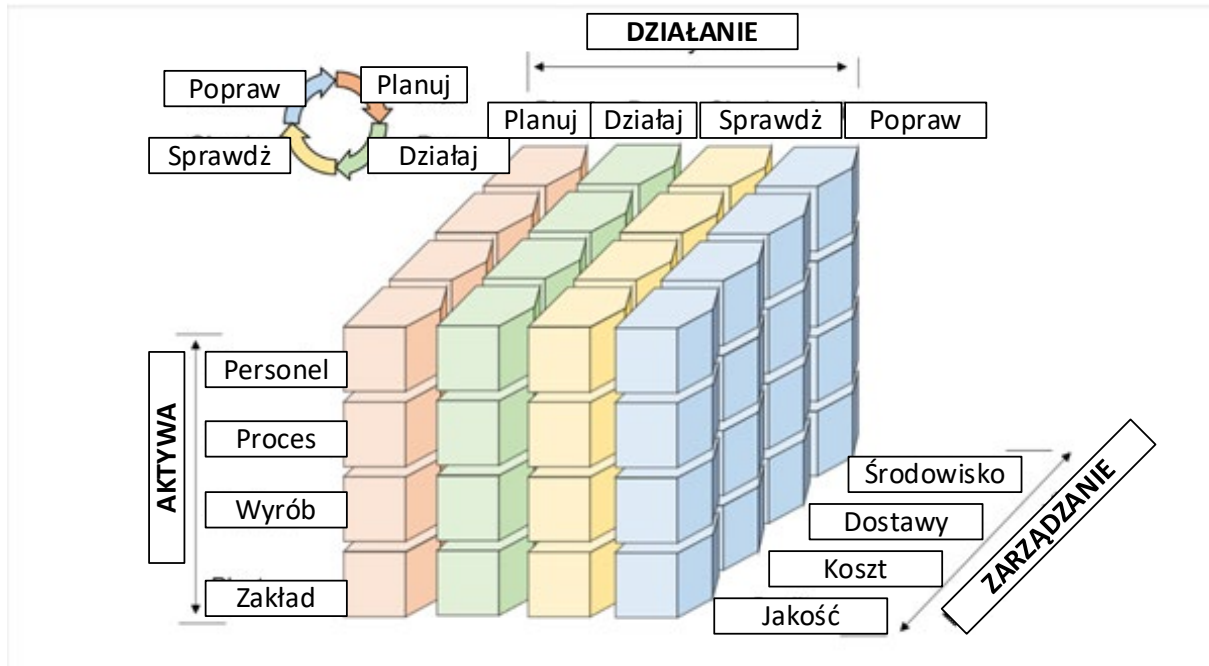
procesów, które mogą powodować dodatkowe koszty oraz produkowanie odpadów, kiedy kluczowa maszyna ulegnie awarii. Budowa gniazd daje większą elastyczność i ułatwia przekazywanie danych o operacjach wykonywanych na konkretnych stanowiskach w systemie wytwórczym.

- IV. Pobierania danych z maszyn i linii produkcyjnych w czasie rzeczywistym, co ułatwia osobom nadzorującym procesy dostęp do informacji w każdej chwili. 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. Inwestowania w systemy produktowo - usługowe (Product-Service System), gdy firma oferuje zestaw produktów i usług spełniających potrzeby użytkownika.
- VI. Modułowości przy budowaniu zakładów i linii produkcyjnych, dzięki której można przenieść zakład, by był bliżej kluczowego surowca lub najważniejszego klienta.

Globalna cyfryzacja branż i łańcuchów wartości, wraz z odpowiednim zapotrzebowaniem na ustrukturyzowane badania i normy, spowodowała powstanie czterech głównych inicjatyw w USA, Chinach, Japonii i Niemczech. Inicjatywy te dotyczą potencjału i wyzwań związanych z cyfryzacją. Kluczowe dla wszystkich tych inicjatyw jest opracowanie i przyjęcie wspólnych standardów i norm, aby umożliwić niezależną od technologii łączność i interoperacyjność między systemami i branżami. Wiodące światowe platformy Przemysłu 4.0 opracowały architektury referencyjne, opisane poniżej.

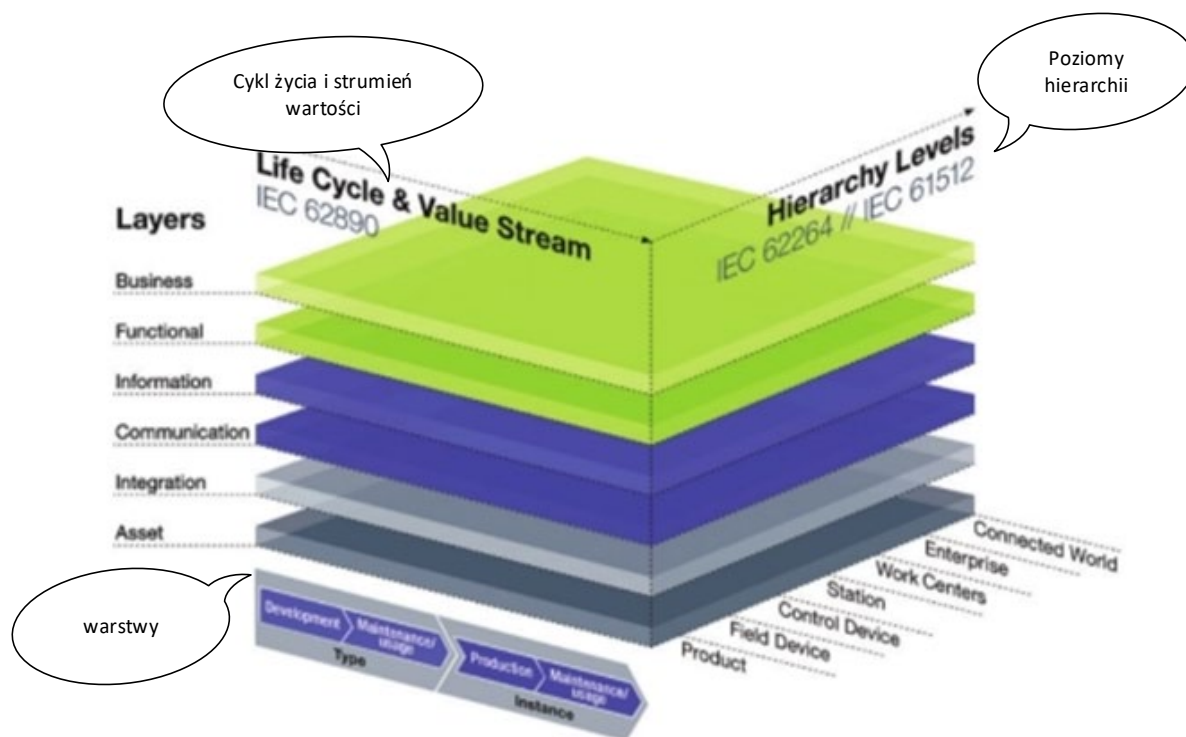
Japanese Industrial Value Chain Initiative (IVI) to platforma łącząca technologie produkcyjne i informatyczne oraz ułatwiająca współpracę między firmami. Została założona w 2015 roku i ma na celu zwiększenie potencjału procesów produkcyjnych zorientowanych na człowieka oraz zbudowanie wzajemnie powiązanej architektury systemu. Japońska platforma IVI opublikowała w 2016 r. architekturę Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA) w celu wspierania rozpowszechnienia tzw. Smart Manufacturing Units (SMUs), które są definiowane jako pojedyncze jednostki w systemach produkcyjnych. Wchodząc autonomicznie w integrację z innymi jednostkami poprzez wzajemną komunikację poprawiają one produktywność i wydajność. Model analizuje SMU z trzech różnych perspektyw: widoku aktywów, widoku działań i widoku zarządzania (rys.2.2). Podczas gdy widok zasobów pokazuje zasoby cenne dla przedsiębiorstwa (personel, proces, produkt

i zakład), widok działań odpowiada na pytanie, w jaki sposób inteligentna produkcja tworzy wartości jako wynik działań. Ten ostatni stosuje wspólny cykl Deminga (planuj, działaj, sprawdź, popraw). Widok zarządzania pokazuje cele i wskaźniki istotne dla zarządzania, takie jak jakość, koszt, dostawa i środowisko, które są wykorzystywane do sterowania aktywami i działaniami [7].



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

Platforma Industrie 4.0 poświęcona jest badaniom w obszarze Industrie 4.0 dla niemieckiego przemysłu i wspieraniu realizacji tej wizji w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Platforma ma na celu identyfikację wszystkich istotnych technologii i zmian w przemyśle wytwórczym oraz wspieranie wspólnego zrozumienia Przemysłu 4.0. Zapewniając sieć badań i wiedzy, umiejętności i zasobów w zakresie przedsiębiorczości technologie są łączone i inicjowane w dalsze projekty. Aby wesprzeć badania, procesy normalizacyjne, a także praktyków, platforma Industrie 4.0 opracowała referencyjny model architektoniczny Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Został on opracowany przez Platformę 4.0 w 2015 roku. RAMI 4.0 przedstawia się jako trójwymiarową, warstwową strukturę opisującą 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 [8].

W ten sposób złożone współzależności można podzielić na mniejsze i prostsze klastry. Model integruje trzy wymiary przemysłu 4.0 nazwane osiami:

I. Oś „Poziomy hierarchii”

Na prawej osi poziomej zaznaczono poziomy hierarchii w oparciu o serię międzynarodowych norm dotyczących systemów informatycznych i sterowania przedsiębiorstwami (IEC 62264). Te poziomy hierarchii reprezentują różne funkcje w fabrykach lub obiektach. Aby reprezentować środowisko Industrie 4.0, funkcje te zostały rozszerzone o elementy wytwarzane oznaczone jako „Produkt” oraz elementy połączenia z Internetem Rzeczy i Usług oznaczone jako „Połączone środowisko”. Poziomy hierarchiczne składają się z siedmiu indywidualnych poziomów (od dołu do góry) [8, 9]:

- produkt obejmuje produkty, które ze względu na swoją zdolność do komunikowania się są elementami aktywnymi w systemie produkcyjnym. Produkty dostarczają informacji na temat ich indywidualnych właściwości i niezbędnych etapów produkcji,

- urządzenie polowe obejmuje inteligentne urządzenia polowe, takie jak czujniki i siłowniki, urządzenia sterujące poziomem,
- urządzenie sterujące obejmuje urządzenia sterujące, kontrolery i wbudowane kontrolery,
- maszyny/urządzenia obejmuje maszyny produkcyjne, roboty czy inteligentne pojazdy logistyczne stacji,
- zakłady/działy obejmujące wydzielone jednostki produkcyjne przedsiębiorstwa,
- przedsiębiorstwo dotyczy firmy jako całości,
- połączone środowisko reprezentuje zewnętrzne sieci przedsiębiorstwa, jak np. współpraca z partnerami biznesowymi i klientami oraz usługi internetowe.

II. Oś „Cykl życia i strumień wartości”

Trzecia oś opisuje cykl życia i łańcuch wartości komponentu Industrie 4.0. Struktura tej osi oparta jest na normie IEC 62890 i zakłada podstawowy podział na typ i egzemplarz. Podczas gdy typ już istnieje z podstawową ideą produktu i obejmuje fazy od przyjęcia zamówienia, przez rozwój produktu do produkcji prototypu, przykład wynika z przejścia do produkcji po pomyślnym zakończeniu wszystkich testów. Wytworzony produkt reprezentuje następnie instancję typu. Typy, podobnie jak instancje, dzielą się na dwie fazy: rozwój i utrzymanie/użytkowanie dla typów oraz odpowiednio produkcja i utrzymanie/użytkowanie dla instancji.

III. Oś „Warstwy”

Sześć warstw na osi pionowej służy do opisu dekompozycji maszyny na jej właściwości ustrukturyzowane warstwa po warstwie, czyli wirtualnego odwzorowania maszyny. Takie reprezentacje wywodzą się z technologii informacyjnych i komunikacyjnych, gdzie właściwości złożonych systemów są zwykle dzielone na warstwy. Każdy komponent składa się z sześciu warstw. Zaczynając od najniższej warstwy, struktura składa się z zasobów, *integracji*, *kommunikacji*, *informacji*, *funkcjonalności* i *biznesu*. Podczas gdy każda warstwa wyraźnie różni się od pozostałych, elementy w obrębie jednej warstwy powinny być jednorodne pod względem swoich atrybutów. Najniższą warstwą jest *warstwa zasobów*, czyli reprezentacji fizycznej rzeczywistości. Zawiera wszystkie rzeczywiste obiekty, takie jak maszyny, czujniki i dokumenty, a także ludzi. Ponadto do tej warstwy przypisywane są również obiekty niematerialne, takie jak modele, pomysły czy patenty. Każdy element lub funkcja leżących na nim warstw musi być przypisana do obiektu warstwy zasobów. *Warstwa integracyjna*

obsługuje dostarczanie użytecznych dla komputera informacji związanych z zasobami fizycznymi, takimi jak geometria, sprzęt i oprogramowanie, do leżących nad nimi warstw. Zawiera wszystkie elementy związane z IT, w tym interfejsy HMI i generuje zdarzenia na podstawie pozyskanych informacji. *Warstwa integracyjna* dokonuje ostatecznej kontroli procesów technicznych. Zadaniem *warstwy komunikacyjnej* jest umożliwienie komunikacji pomiędzy różnymi elementami sieci w oparciu o jednolite protokoły komunikacyjne i formaty danych. Świadczy również usługi kontroli integracyjnej warstwy. W *warstwie informacyjnej* odbywa się regułowe (wstępne) przetwarzanie zdarzeń. W tym celu dane są sprawdzane pod kątem integralności, sumowane w nowe dane o wyższej jakości i udostępniane warstwom nadrzędnym za pośrednictwem interfejsów. Zdarzenia są odbierane z *warstwy komunikacyjnej*, odpowiednio przekształcane i przekazywane dalej. *Warstwa funkcjonalna* reprezentuje środowisko wykonawcze usług i aplikacji. Jest platformą do poziomej integracji różnych funkcji i generuje reguły oraz logikę aplikacji. Zdalny dostęp oraz integracja aplikacji i funkcji odbywa się tylko tutaj, bez ingerencji w leżące poniżej warstwy. Zapewnia to integralność informacji, a także właściwy poziom techniczny. *Warstwa biznesowa* obejmuje abstrakcyjne modele biznesowe i wynikającą z nich logikę procesu. Zapewnia ramy prawne i regulacyjne oraz zapewnia integralność funkcji w całym łańcuchu wartości.

W ramach tych trzech osi można odwzorować wszystkie kluczowe aspekty Przemysłu 4.0, co pozwala na klasyfikację obiektów, zgodnie z modelem. W ten sposób wysoce elastyczne koncepcje Industrie 4.0 można opisać i wdrożyć za pomocą RAMI 4.0. Referencyjny model architektoniczny pozwala na stopniową migrację z teraźniejszości do świata Industrie 4.0. Istotnym aspektem modelu RAMI 4.0 jest bezpieczeństwo informatyczne, które niesie ze sobą wiele wyzwań. Różnorodność systemów i komponentów z jednej strony, a także rosnące wykorzystanie technologii internetowych w obszarze produkcji oraz fuzja cyberfizycznych systemów produkcyjnych (CPPS) z Internetem Rzeczy, Internetem Usług i Internetem. Dane z kolei automatycznie przenoszą zagrożenia związane z wrażliwymi systemami informatycznymi na zakład przemysłowy.

RAMI 4.0 jest wspólnym punktem odniesienia dla modelowania systemów w Industrie 4.0. 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 tematy

związane z bezpiecznymi sieciami, bezpiecznymi procesami, bezpiecznymi usługami i bezpiecznymi danymi adresowanymi na poziomie systemu. Omawiane podejście nie obejmuje jeszcze aspektów bezpieczeństwa, ale można je rozszerzyć o dalsze wymiary, aby uwzględnić luki w zabezpieczeniach i odpowiadające im technologie bezpieczeństwa w przyszłości. Model pomaga klasyfikować i identyfikować obszary Przemysłu 4.0 oraz tworzy solidne podstawy do dalszego rozwoju technologii. Sam model jest jednak dość abstrakcyjny, a w szczególności dla MŚP jego zastosowanie w praktyce jest jeszcze zbyt skomplikowane. W tej chwili użycie RAMI 4.0 ogranicza się do instytucji badawczych i pierwszych indywidualnych przypadków użycia. Ze względu na abstrakcyjny projekt modelu zapewniona jest jego generyczna stosowalność, jednak przedsiębiorstwa muszą zaangażować znaczne środki w wypełnienie modelu określonymi technologiami, aby wykorzystać go jako podstawę wiedzy i interaktywnego podejścia do wspierania przedsiębiorstw w realizacji Industrie 4.0. Podejście topologiczne opisane w pracy [5] wypełnia RAMI 4.0 odpowiednimi technologiami, a tym samym opisuje topologie w krajobrazie Industrie 4.0 i wzajemne relacje pomiędzy nimi. Odnosi się do technologii, które są szczególnie ważne w kontekście Przemysłu 4.0. Główne technologie takie jak Inżynieria 4.0, Inteligentna Fabryka 4.0 oraz rozwój w kierunku Inteligentnych produktów i usług zostały zidentyfikowane w oparciu o podstawowe paradygmaty Przemysłu 4.0 opisane w rozdziale 3.

Strategia „Made in China 2025” jest częścią większej kampanii modernizacyjnej Chin. Podstawowymi elementami chińskiej strategii są zwiększone zdolności wytwórcze, lepsza jakość i wydajność, a także zielony rozwój. Do 2025 r. przemysł i technologie informacyjne mają zostać zintegrowane, a zdolność Chin do innowacji i produktywności produkcji ma zostać poprawiona [10]. Strategia Made in China została zaprezentowana oficjalnie w 2015 roku jako plan działań rozłożony na 10 lat. Ma na celu przejście od dużej skali produkcji do produkcji o dużej wydajności. Osiągnięcie tego celu wymaga realizacji 5-ciu zadań:

- zbudowania sieci narodowych centrów do koordynowania innowacji produkcji, prowadzenia badań i przeprowadzania szkoleń oraz realizacji zastosowań,
- prowadzenia projektów w zakresie inteligentnego przemysłu wykorzystującego transformację cyfrową i sztuczną inteligencję,
- wzmocnienie bazy przemysłowej,
- zwrócenia uwagi na projekty ekologiczne,

- uzyskania wysokiego poziomu innowacji w zakładach produkcyjnych.

Do wsparcia realizacji tej inicjatywy zaproponowano strategię Internet Plus [11], która ma na celu unowocześnienie przemysłu poprzez wykorzystanie technologii informatycznych IT i telekomunikacyjnych. W ramach wdrażanej strategii opracowano architekturę referencyjną IMSA Intelligent Manufacturing System Architecture. Architektura IMSA wykorzystuje trójwymiarowy model referencyjny bardzo podobny do modelu stosowanego przez architekturę RAMI 4.0 obejmujący wymiary:

- cyklu życia – ciągu wzajemnie powiązanych działań związanych z tworzeniem wartości dodanej na wszystkich jego etapach,
- hierarchii systemowej dotyczącej podziału struktury organizacyjnej związanej z działalnością przedsiębiorstwa,
- inteligentnych funkcji obejmujących działania odnoszące się do integracji zasobów i informacji.

Omówione architektury referencyjne są dedykowane do obszaru produkcyjnego realizowanego przez przemysł. Istnieje również architektura Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) opracowana przez Industrial Internet Consortium (IIC), założone w 2014 roku przez największe firmy telekomunikacyjne i technologiczne w USA. 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, przy jednoczesnym gromadzeniu praktyków, badaczy i instytucji rządowych. Ramy IIRA obejmują cztery perspektywy [9] (biznesową, użytkownika, funkcjonalną i wdrożenia), proces cyklu życia i sektory przemysłowe (wytwórczy, transportowy, paliwowo – energetyczny farmaceutyczny i ochrony zdrowia). Proces cyklu życia jest wyspecjalizowany dla każdego sektora przemysłowego.

Na poziomie krajowym (w ramach prac Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości) w ocenie dojrzałości transformacyjnej przedsiębiorstwa w kierunku Przemysłu 4.0 stosowany jest model ADMA [12] omówiony w rozdziale 5. Ocena dojrzałości cyfrowej fabryk przeprowadzana jest za pomocą ustandaryzowanej metodologii 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.

Celem prowadzonych prac jest:

- 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.

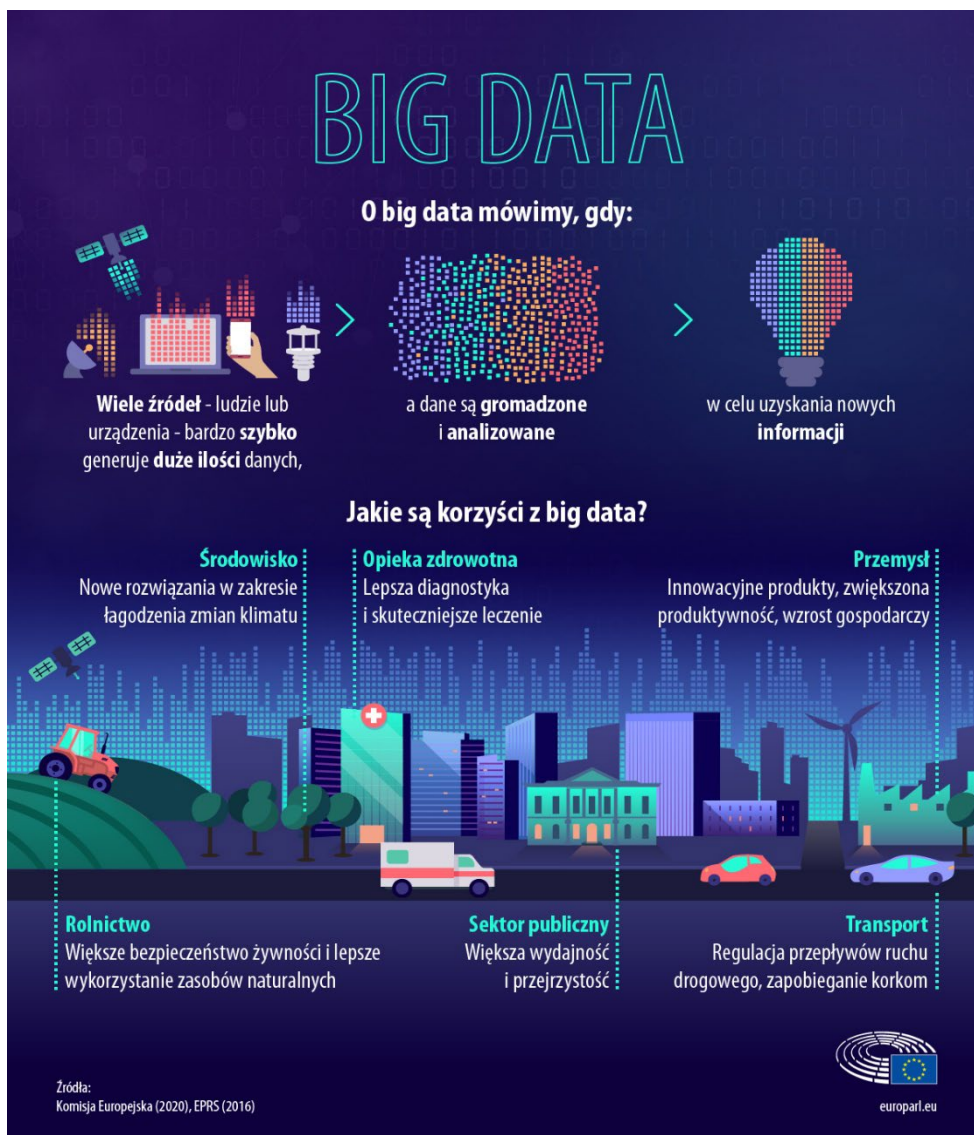
3. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH TECHNOLOGII PRZEMYSŁU 4.0

3.1. Big Data oraz analiza danych

Obsługa aplikacji, które operują na ogromnych zbiorach danych, czyli na przykład portali społecznościowych, przekracza możliwości zwykłych relacyjnych baz. Praca ze złożonymi zbiorami danych wymaga architektury obejmującej wielomaszynowe klastry, dzięki którym możliwe jest przechowywanie i przesyłanie informacji praktycznie dowolnej wielkości. Architektura taka powinna dodatkowo być prosta w użyciu, niezawodna i skalowalna [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. Dane pochodzą z wielu różnych źródeł. Mogą być tworzone przez ludzi: w aplikacjach mobilnych, w Internecie, w tym w mediach społecznościowych i transakcjach handlowych, rejestrach administracji elektronicznej itp. lub generowane przez urządzenia i gromadzone za pomocą czujników w obiektach podłączonych do Internetu Rzeczy, w tym w inteligentnych samochodach, fabrykach, satelitach GPS i satelitach zbierających dane pogodowe itp. Technologia umożliwia bardzo szybkie gromadzenie danych (w czasie zbliżonym do rzeczywistego) i analizowanie ich w celu uzyskania nowych wniosków [15]. Coraz częściej procesy produkcji podlegają coraz większej cyfryzacji. Oznacza to, że codziennie w gospodarce oraz w wyniku prywatnej i społecznej aktywności ludzi generowane są ogromne ilości cyfrowych danych. Komisja Europejska przewiduje, że do 2025 r. całkowita ilość danych na świecie wzrośnie o 530% w porównaniu z 2018 rokiem. Na rys. 3.1 pokazano Big Data i jak wpływa na codzienną rzeczywistość. Big Data można wykorzystywać w wielu obszarach, jak np. przemysł, środowisko, opieka zdrowotna, rolnictwo, sektor publiczny, czy transport.

Technologia Big Data jest istotna z punktu widzenia Przemysłu 4.0, gdyż umożliwia przedsiębiorstwom wprowadzanie innowacji, czy to poprzez lepszą analizę potrzeb ludzi czy też poprzez 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 przynieść nową falę innowacji w Przemysle 4.0. Dane mogą również zwiększyć produktywność i obniżyć koszty, na przykład poprzez przewidywanie sprzedaży lub serwis w inteligentnych fabrykach [15].



Rys. 3.1. Czym jest Big Data? [15].

Zaawansowana analityka danych z wykorzystaniem narzędzi klasy Business Intelligence powinna być dziś standardem w przedsiębiorstwach. Gromadzenie danych 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 są znacznie potężniejsze niż analityka z przeszłości - dzięki nim można mierzyć i zarządzać bardziej precyzyjnie, lepiej przewidywać i podejmować właściwe decyzje, a także podejmować skuteczne interwencje w obszarach, które do tej pory były zdominowane przez intuicję, a nie przez dane.

Dzięki masowemu gromadzeniu danych coraz częściej wykorzystywana jest analiza dużych zbiorów danych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Różnice między Big Data

a analizą danych to kwestia ilości, szybkości i różnorodności danych. Dane przekazywane i analizowane niemal w czasie rzeczywistym powodują, że firma może być znacznie bardziej konkurencyjna w stosunku do innych firm. Przetwarzane dane są zwykle zmienne i różnorodne (w tym pod względem formatu danych). W celu skutecznego interpretowania pobranych i przetworzonych danych należy minimalizować szумы i dane odstające lub niekompletne. Dlatego systemy do analizy Big Data zawierają narzędzia do wstępnego czyszczenia danych, wizualizacji danych, które mogą wizualizować wyniki różnych analiz statystycznych i modeli uczenia maszynowego w czasie rzeczywistym w trzech wymiarach (3D), dzięki czemu zrozumienie wyników jest intuicyjne. Trzeba w tym celu zintegrować wszystkie istotne wewnętrzne i zewnętrzne źródła danych oraz możliwie szybko znajdować wzorce w bardzo dużych zbiorach danych i przekładać je na przydatne informacje biznesowe. Analiza danych jest procesem przetwarzania danych w celu uzyskania na ich podstawie użytecznych informacji i wniosków. W trakcie przetwarzania danych mogą być używane metody statystyczne, czy eksploracyjne. Idąc dalej coraz częściej wykorzystuje się analitykę danych, która wywodzi się z analizy statystycznej i eksploracji danych [16, 17]. Analitykę danych traktuje się jako rozumienie informacji i zidentyfikowanie sposobów przekształcenia ich w praktyczne strategie biznesowe za pomocą zaawansowanych programów komputerowych. Obecny trendem jest budowanie platform analitycznych danych, 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, czy 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. Jeśli chodzi o rozwiązania oparte na chmurze obliczeniowej, to przykładem może być rozwiązanie Azure.

Azure udostępnia usługi, które umożliwiają rozbudowę i monitorowanie aplikacji, baz danych czy innych usług oraz zarządzanie nimi w sposób globalny. Umożliwia wirtualizację rozmaitych systemów, takich jak Windows, Linux, dystrybucje serwerowe, strony WWW, aplikacje ASP.NET, systemy CMS, bazy danych czy rozproszone klastry obliczeniowe [19].

Definiując pojęcie chmury obliczeniowej należy stwierdzić, że chmura obliczeniowa (cloud computing) to nowoczesna technologia służąca do przechowywania, przetwarzania i zarządzania danymi. Opiera się na współdzielonych zasobach (oprogramowaniu i infrastrukturze). Dostarcza ją dostawca z danej organizacji lub też zewnętrzny dostawca. Dostęp do zasobów odbywa się przez Internet [20]. Chmura obliczeniowa jest najpopularniejszym i coraz powszechniejszym trendem ostatniej dekady. Zdaniem specjalistów, niedługo będzie wykorzystywana przez większość przedsiębiorstw na świecie. Zwłaszcza, że przynosi organizacjom wiele korzyści, od niższych kosztów, aż po gwarancję bezpieczeństwa danych. Model chmury zakłada przechowywanie danych, plików oraz aplikacji w chmurze - na serwerach rozmieszczonych po całym świecie, poza lokalną siecią firmową. Chmura obliczeniowa jest nieograniczonym zasobem danych, który pozwala zapomnieć o kosztach zakupu serwerów. Za utrzymanie infrastruktury odpowiada administrator [21, 22]. Chmura obliczeniowa jest coraz bardziej popularna, doceniana za mobilność, bezpieczeństwo, oszczędność i skalowalność.

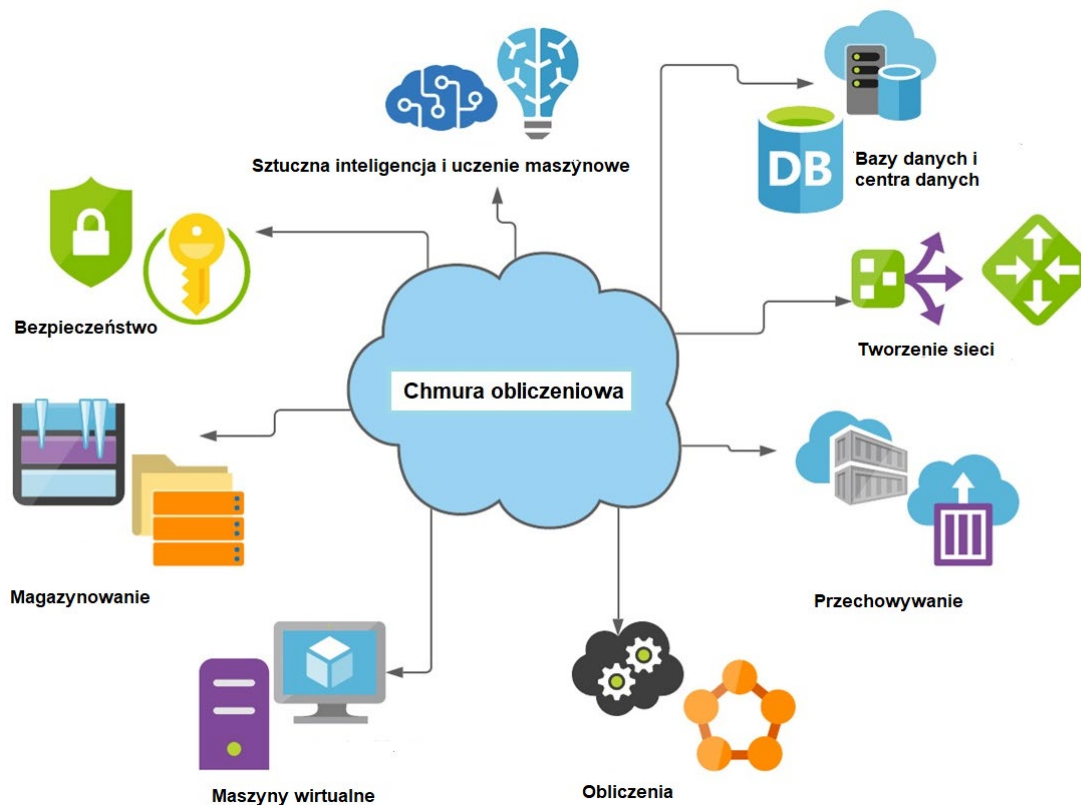
Chmura stanowi połączenie oprogramowania pośredniczącego i oprogramowania służącego do wykonywania skomplikowanych obliczeń, przetwarzania i analiz, a także do przechowywania danych, tworzenia sieci baz danych i innych usług przez Internet.

Czujniki i urządzenia zbierają dane i wykonują czynności, ale samo ich przetwarzanie odbywa się zazwyczaj w chmurze. Wszystkie aplikacje i usługi w chmurze są tworzone specjalnie dla konkretnych wymagań i wykorzystano w nich do tego celu różne narzędzia.

Rodzaje usług w chmurze:

- Infrastruktura jako usługa (IaaS),
- Platforma jako usługa (PaaS),
- Oprogramowanie jako usługa (SaaS).

Na rysunku 3.2 pokazano sektor chmury obliczeniowej, który podzielony jest na kluczowe, powiązane sektory: centra i bazy danych, sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe, przechowywanie, obliczenia, bezpieczeństwo urządzenia, tworzenie sieci i obliczeń [23].



Rys. 3.2. Kluczowe sektory chmury obliczeniowej (na podstawie [23]).

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 Przemysłu 4.0, czyli robotyki, sztucznej inteligencji (w tym uczenia maszynowego), Internetu Rzeczy, geolokalizacji i śledzenia przesyłek czy kontroli technicznej na każdym etapie wytwarzania. Rozwiązania chmurowe harmonizują cały proces: od złożenia zamówienia i dostarczenia potrzebnych do produkcji komponentów, aż do wysyłki towaru oraz usług posprzedażowych.

Połączenie informacji z działów planowania i rozwoju z danymi dotyczącymi łańcucha dostaw ułatwia fabrykom przygotowanie do produkcji i skraca znacząco drogę od pomysłu/koncepcji do gotowego produktu. Sam Internet Rzeczy (IoT) zastępuje procedury poprzednio wykonywane przez ludzi komunikacją między maszynami wykorzystując przetwarzanie w chmurze do automatyzacji procesów obliczania stanów magazynowych, czasów dostaw czy tras. Umożliwia to producentom i sprzedawcom śledzenie pojedynczych elementów w ich łańcuchach dostaw, a co za tym idzie umożliwia zarządzanie w czasie rzeczywistym wszystkimi elementami składającymi się na łańcuch dostaw. Potrzebna do tego, zmienna w czasie, moc obliczeniowa oraz narzędzia do obsługi i integracji danych są dostępne

w chmurze. Pozwala to uzyskać wysoką elastyczność, nie zmniejszając efektywności zapewnianej przez systemy zarządzania produkcją, a także sprawną komunikację między wszystkimi pracownikami odpowiedzialnymi za kolejne fazy produkcji.

Firmy tworzące wspólnie łańcuchy mogą wykorzystać do komunikacji wspólną chmurę obliczeniową – taka dostępność pełniejszej informacji w czasie rzeczywistym przez wiele firm jednocześnie umożliwia lepszą znajomość aktualnej sytuacji i szybsze reagowanie na potencjalne problemy. Ułatwia to zapewnienie i poprawę wydajności przy niższym ryzyku powtarzających się problemów, a także utrzymanie stałej łączności z dostawcami i klientami – dzięki niej można udostępniać ważne dane na zewnątrz, bez obaw o ich bezpieczeństwo.

Chmura zapewnia także skalowalną i elastyczną moc obliczeniową, umożliwiającą przeprowadzanie dokładniejszych i szybszych analiz na większej ilości danych. Pozwala to zarówno lepiej przewidywać zmiany czy problemy, jak i na nie reagować.

Możliwości, jakie technologia chmurowa oferuje systemom produkcji, odpowiadają idei samego Przemysłu 4.0, czyli całkowitej transformacji cyfrowej produktów, usług i modeli biznesowych. Chmura może wspierać ten proces na każdym etapie – od momentu złożenia zamówienia na potrzebne komponenty, przez ich dostarczenie, rozlokowanie i zastosowanie, po wysyłkę gotowego produktu do klientów [24].

3.3. Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe

Według Johna McCarthy'ego – twórcy terminu sztucznej inteligencji (AI), sztuczna inteligencja jest nauką, która obejmuje inżynierię tworzenia inteligentnych maszyn, a szczególnie inteligentnych programów komputerowych [25]. Sztuczna inteligencja oznacza także tworzenie modeli i programów symulujących choć częściowo zachowania inteligentne [26]. Termin ten został utworzony w 1956 na konferencji w Dartmouth. Andreas Kaplan i Michael Haenlein definiują sztuczną inteligencję 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” [27]. Praktycznie codziennie korzystamy z osiągnięć sztucznej inteligencji. 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. Jakakolwiek próba odpowiedzi jednak wymaga wiedzy o tym, czym w istocie jest sztuczna inteligencja i jakie są jej ograniczenia [28, 29].

Sztuczna inteligencja leży u podstaw rozwoju Przemysłu 4.0. W zależności od potrzeb wykorzystywane są różne metody AI, w tym metody eksploracji danych (ang. data mining) i maszynowego uczenia (ang. machine learning). Metody AI odgrywają ogromną rolę w odkrywaniu wiedzy z istniejących baz danych. Wśród metod AI między innymi wyróżnia się:

- 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 - metody umożliwiające podejmowanie decyzji w środowisku, w którym cele i ograniczenia są rozmyte,
- sieci neuronowe - programowe lub sprzętowe modele struktur matematycznych, realizujące obliczenia lub przetwarzanie sygnałów poprzez rzędy elementów przetwarzających, zwanych sztucznymi neuronami,
- lasy losowe i drzewa decyzyjne - podstawowa metoda (oparta na analizie przykładów) indukcyjnego uczenia się maszyn – ze względu na dużą efektywność, prostą programową implementację, intuicyjną obsługę – pozwalająca na generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych, umożliwiającą ich zwarty zapis i znacząco skracającą czas wnioskowania,
- algorytmy genetyczne - metoda optymalizacji złożonych problemów, rodzaj heurystyki przeszukującej przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu wyszukania najlepszych rozwiązań,
- technologia inteligentnych agentów - inteligencja rozproszona, bardzo dobre narzędzie w projektowaniu i wdrażaniu wydajnych rozproszonych systemów inteligentnych.

Uczenie maszynowe (ML) jest gałęzią sztucznej inteligencji. Według Petera Flacha, holenderskiego profesora sztucznej inteligencji, to 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 maszynowe 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), jeśli jego efektywność wykonania zadania T (mierzona za pomocą P) poprawia się wraz ze wzrostem doświadczenia (E). To pokazuje, że algorytmy uczenia maszynowego uczą się jak ludzie – np. mając wiele przykładów danego obiektu, podobnie jak my, ale przy użyciu obliczeń, mogą być zdolne do rozpoznania tego obiektu w innych, wcześniej nieznanymi, okolicznościach. Algorytmy uczące się tworzą model z listą instrukcji do wykonania na podstawie analizy danych uczących. Pojedynczym obiektem w zbiorze informacji jest próbka lub instancja (zwykle z atrybutami, czyli cechami używanymi do opisanego go) [30].

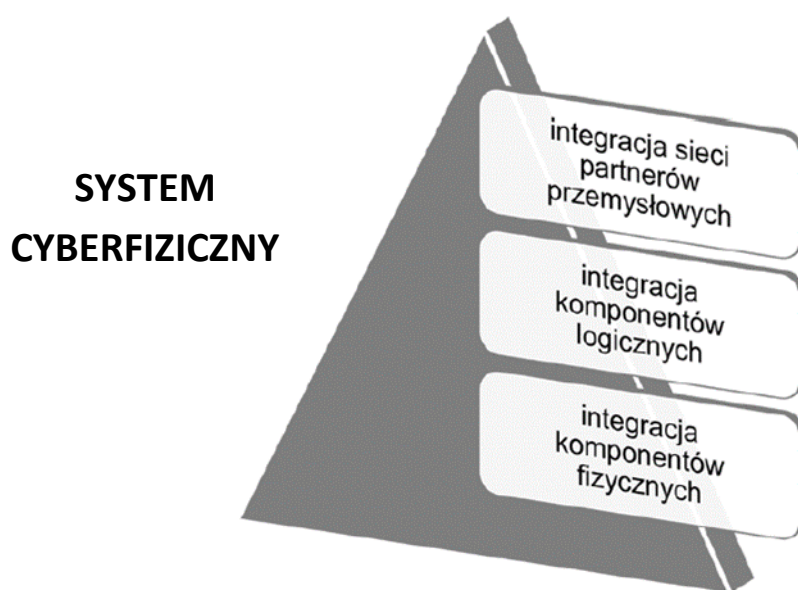
Wśród rodzajów procesów uczenia się przez komputery można wyszczególnić: uczenie nadzorowane, częściowo nadzorowane, bez nadzoru, na bieżąco i ze wzmocnieniem. W uczeniu nadzorowanym maszyny uczą się na podstawie danych wejściowych, a także żądanych wartości wyjściowych. Tak wytrenowane programy wypracowują funkcję, którą wykorzystają 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, gdzie 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 koordynowanie pracy robotów, która wymaga dostosowania do ilości dostępnego surowca bądź rodzaju produktu, którym się zajmują [30].

3.4. System cyberfizyczny

Systemy cyberfizyczne (ang. 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 [31]. Jako systemy osadzone, mające możliwość

komunikowania się, systemy CPS są wykorzystywane do monitorowania i sterowania urządzeniami w świecie fizycznym oraz procesami, w których urządzenia te są stosowane. Dzięki nim możliwe staje się tworzenie pętli sprzężenia zwrotnego, w których wykorzystuje się naprzemiennie wyniki procesów fizycznych i obliczeń do sterowania procesami. Systemy cyberfizyczne realizują ścisłą integrację warstwy obliczeń i procesów fizycznych. Najczęściej występują w formie systemów wbudowanych oraz sieci monitorowania i kontrolowania procesów fizycznych, gdzie procesy fizyczne są źródłem danych dla obliczenia sygnału sterującego obiektami. [32] Internet Rzeczy (IoT) przekształca różne dziedziny, w tym inteligentne zarządzanie produkcją czy energią, umożliwiając integrację złożonych komponentów cyfrowych i fizycznych w rozproszonych systemach cyberfizycznych (DCPS). Bezprzewodowy sieciowy system cyberfizyczny (CPS) 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 poprzez wykonywanie poleceń sterujących. Jako dane wejściowe przyjmuje się jedynie stan systemu, lub uwzględnia się również historyczne informacje o działaniach jako dane wejściowe, aby wydobyć więcej informacji i uzyskać precyzyjną kontrolę w przypadku opóźnień w komunikacji. Do tej pory projektowanie DCPS koncentrowało się na wymaganiach нефunkcjonalnych związanych z wydajnością. Jednak wraz z rosnącym zużyciem energii i kosztami obliczeń, zrównoważony rozwój staje się ważnym aspektem do rozważenia. Doprowadziło to do powstania koncepcji DCPS świadomych energetycznie, które integrują konwencjonalne wymagania нефunkcjonalne z dodatkowymi atrybutami zrównoważonego rozwoju, takimi jak zużycie energii. Możliwe stało się opracowanie świadomych energetycznie modeli architektonicznych i technologii przetwarzania brzegowego/chmurowego w celu zaprojektowania DCPS nowej generacji, opartych na sztucznej inteligencji (a w szczególności na głębokim uczeniu się), samoświadomych DCPS rozszerzonych o IoT. Obejmuje to świadome energetycznie modele i technologie architektoniczne edge-to-cloud, harmonizowanie działania infrastruktury edge-to-cloud, abstrakcje i ujednoczone modele dla rozproszonych heterogenicznych zwirtualizowanych zasobów, innowacyjne algorytmy uczenia maszynowego do dynamicznej realokacji i rekonfiguracji zasobów energetycznych oraz zarządzanie społecznościami energetycznymi. Optymalizacja społeczności energii odnawialnej (REC) lub DCPS uwzględniających energię jest szczególnie trudna ze względu na ich unikalne wymagania

i ograniczenia. Daje to w rezultacie elastyczny i wydajny system zasilania integrujący odnawialne źródła energii, mikrosieci i inne rozproszone zasoby energii. Ponadto 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 [33]. System cyberfizyczny można też rozpatrywać jako rozwiązanie integrujące komponenty fizyczne, komponenty logiczne oraz sieci partnerów przemysłowych (rys. 3.3) [34].



Rys. 3.3. System cyberfizyczny w perspektywie Przemysł 4.0 [34].

3.5. Cyberbezpieczeństwo

Cyberbezpieczeństwo wiąże się z podejmowaniem działań mających na celu zabezpieczenie danych. Prawidłowa dbałość o ten aspekt organizacyjny przedsiębiorstwa to wyzwanie, przed jakim staje każdy podmiot w obliczu postępującej cyfryzacji. W każdej organizacji są dane, które trzeba chronić przed stale rosnącą liczbą zagrożeń. Jeśli to się nie uda, należy się liczyć z uszczerbkiem na wizerunku, ze stratami finansowymi, a w niektórych wypadkach nawet z utratą zdrowia lub życia człowieka. Dlatego ważne jest, 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 [35].

Zarządzanie produkcją w nowoczesnym Przemysle 4.0 odbywa się w czasie rzeczywistym, w ramach zintegrowanych ze sobą ekosystemów, czyli połączonej ze sobą cyfrowo infrastruktury, przypominającej gęstą, rozbudowaną sieć. Nowoczesne przemysłowe systemy sterowania znacznie ułatwiają zarządzanie pracą maszyn i systemów oraz całych linii produkcyjnych. Pozwalają jeszcze skuteczniej automatyzować procesy oraz minimalizować ryzyko błędów, a także kontrolować jakość produkcji i efektywniej zarządzać poborem energii. Coraz częściej wykorzystuje się je więc w kluczowych ośrodkach przemysłowych: rafineriach, elektrowniach czy zakładach uzdatniania wody. Niestety, nowoczesny sposób sterowania produkcją, oprócz ogromnej liczby korzyści, przynosi także nowe zagrożenia. Ściśle połączone ze sobą systemy kontroli i akwizycji danych, programowalne sterowniki oraz rozproszone systemy sterowania to „furtka” do cyberataków – współczesnej formy przestępczości skierowanej przeciwko firmom i państwowym. 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, które wiążą się z cyberatakami na systemy produkcyjne [36].

Problem bezpieczeństwa w systemach produkcyjnych Przemysłu 4.0 ma charakter wielowymiarowy. Nowe technologie generują nowe rodzaje zagrożeń, ale jednocześnie umożliwiają budowę bardziej efektywnych systemów bezpieczeństwa. W nowoczesnych maszynach coraz większą rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa ich operatorów odgrywają systemy sterowania. Ubocznym tego skutkiem jest pojawienie się nowych zagrożeń związanych z nieuprawnionymi ingerencjami w systemy informatyczne. Projektując takie systemy, należy pamiętać o możliwości wystąpienia defektów i uszkodzeń, które mogą spowodować powstanie zagrożeń dla operatorów maszyn. Oznacza to, że przy ocenie ryzyka należy uwzględnić także możliwość niekorzystnego oddziaływania potencjalnych ataków na integralność systemów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa. Pierwszym dokumentem normalizacyjnym, w którym omówiono aspekty bezpieczeństwa maszyn, na które mogą mieć wpływ ataki na bezpieczeństwo informatyczne związane z bezpośrednim lub

zdalnym dostępem do systemów sterowania dotyczących bezpieczeństwa i manipulowaniem nimi przez osoby w celu zamierzonego nadużycia, jest przewodnik ISO/TR 22100-4:2018. Problem ochrony danych w komputerowych systemach sterowania maszynami aktualnie jest całkowicie pomijany przez ich projektantów ze względu na brak przystępnej metodyki oceny ryzyka w tym aspekcie. Opracowanie takiej metodyki znacząco powinno usprawnić proces projektowania zabezpieczeń odpowiednich do poziomu ryzyka [37].

W nowoczesnych maszynach coraz większą rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa ich operatorów odgrywają systemy sterowania. Tak więc jednym z istotnych problemów występujących przy wykorzystywaniu nowoczesnych systemów sterowania maszynami jest zapewnienie pewności realizacji funkcji bezpieczeństwa przez te systemy. Ponieważ niezadziałanie tych funkcji może podnieść poziom ryzyka, projektanci związanych z bezpieczeństwem układów sterowania powinni stosować rozwiązania, które zwiększają ich odporność na uszkodzenia. Z jednej strony odporność na uszkodzenia danego układu sterowania może być podniesiona poprzez obniżenie prawdopodobieństwa pojawienia się uszkodzenia, a z drugiej strony poprzez podjęcie środków mających na celu zapewnienie, że uszkodzenie, które może się pojawić, nie będzie niebezpieczne. Taką poprawę możemy osiągnąć poprzez:

- zastosowanie niezawodnych „wypróbowanych” elementów oraz „wypróbowanych” zasad bezpieczeństwa,
- rozszerzenie struktury układu – na etapie projektowania bierze się pod uwagę dodatkowe podzespoły, które mają na celu wykrywanie uszkodzeń; najczęściej są to redundancje obwodów monitorujących pracę.

Podstawowe zasady poprawy odporności układu sterowania maszyny na uszkodzenia zostały podane w normie PN-EN IEC 62061:2021-12 [38]. Inteligentna produkcja zwiększa podatność maszyn na zagrożenia bezpieczeństwa informatycznego. Pierwszym dokumentem normalizacyjnym, w którym omówiono aspekty bezpieczeństwa maszyn, na które mogą mieć wpływ ataki na bezpieczeństwo informatyczne związane z bezpośrednim lub zdalnym dostępem do systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem i manipulowaniem nimi przez osoby w celu zamierzonego nadużycia jest dokument [39]. Stwierdza on, że ataki na bezpieczeństwo informatyczne coraz częściej stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa maszyn. Obecne technologie umożliwiają dostawcom zdalne monitorowanie i poprawę parametrów maszyn poprzez regulację parametrów bez konieczności przebywania w miejscu

pracy maszyny. Możliwość ta zapewnia znaczne korzyści, ponieważ maszyny mogą działać bez przestojów i kosztów związanych z wezwaniem serwisu przez pracownika terenowego. Jednakże ta sama możliwość regulacji parametrów maszyny w celu poprawy jej wydajności stwarza możliwość dokonywania regulacji przez osoby o złych zamiarach lub mające zamiar popełnienia przestępstwa, co może narazić pracowników i inne osoby na niebezpieczeństwo. Przy ocenie ryzyka związanego z obsługą maszyn należy uwzględnić także możliwość niekorzystnego oddziaływania potencjalnych ataków na integralność systemu informatycznego maszyny, a zwłaszcza systemów sterowania realizujących funkcje bezpieczeństwa. 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 [37].

3.6. Przemysłowy Internet Rzeczy

Jednym z najważniejszych i kluczowych filarów Przemysłu 4.0 jest Internet Rzeczy (ang. Internet of Things – IoT), który po raz pierwszy został zdefiniowany w 1999 roku przez Kevina Asthona, współzałożyciela Auto-ID Labs [40].

Sama definicja Internetu Rzeczy nie jest jednoznaczna. W Raporcie Interactive Advertising Bureau pt. „Internet Rzeczy w Polsce” IoT został on zdefiniowany jako ekosystem, w którym wyposażone w sensory przedmioty komunikują się z komputerami [40]. Porter i Heppelmann stwierdzają, że określenie Internet Rzeczy powstało po to, by wskazać na rosnącą liczbę inteligentnych, połączonych urządzeń oraz podkreślić nowe możliwości, jakie mogą one prezentować [41]. 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 [42, 43].

Podsumowując można stwierdzić, że Internet Rzeczy to sieć łącząca urządzenia, które samodzielnie zbierają, udostępniają i przetwarzają dane. W celu zapewnienia działania IoT niezbędne są komputery, urządzenia mobilne, sensory, czujniki, bezprzewodowa lub

przewodowa łączność, oprogramowanie zarządzające systemem i jego bezpieczeństwem, ale także usługi ułatwiające współpracę różnym strukturom [44].

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. Zaliczyć do nich można: smartfony, tablety, TV, systemy bezpieczeństwa itp. Ponadto samochody także wykorzystują różnego rodzaju inteligentne systemy i czujniki, zapewniając bezpieczeństwo kierowcy na drodze. Według IDC wydatki na Internet Rzeczy wyniosły w 2018 roku 722,5 miliarda dolarów, czyli o 14,6% więcej od szacunkowych wydatków w 2017 roku [45].

Przemysłowy Internet Rzeczy (Industrial Internet of Things, IIoT) stanowi rozszerzenie koncepcji Internetu Rzeczy na sektor przemysłowy. IIoT odnosi się do sieci połączonych urządzeń, czujników, systemów oraz oprogramowania wykorzystywanych w przemyśle w celu monitorowania, zbierania danych i automatyzacji procesów produkcyjnych. Takie rozwiązanie pozwala na bieżące wysyłanie, gromadzenie, archiwizowanie oraz przetwarzanie danych i informacji. Pozwala zdalnie kontrolować i monitorować procesy produkcji, jednocześnie uzyskując szczegółową odpowiedź zwrotną informującą o aktualnie wykonywanej operacji, wytwarzanym produkcie lub też stanie magazynowym w czasie rzeczywistym. Wprowadzenie Przemysłowego Internetu Rzeczy w przedsiębiorstwach produkcyjnych może wpłynąć na poprawę efektywności, wydajności i bezpieczeństwa poprzez wykorzystanie połączonych w jedną sieć urządzeń i analizę danych.

Koncepcja IIoT może również znaleźć zastosowanie w logistyce i transporcie wewnątrz przedsiębiorstwa. Takim przykładem może być komunikacja między działem sprzedaży a działem magazynowania. W przypadku, kiedy dział sprzedaży przyjmuje zamówienie, jednocześnie odnotowując je w oprogramowaniu do zarządzania przedsiębiorstwem, automatycznie dział magazynowania i środki transportu dostają informację o konieczności załadunku produktów bez zbędnych przestojów, dane przesyłane są automatycznie bez udziału operatora [46, 47].

Technologia Przemysłowego Internetu Rzeczy pozwala również obniżyć koszty związane z predykcijnym utrzymaniem maszyn (ang. 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 [46, 48]. Na rysunku 3.4. przedstawiono graficznie ideę funkcjonowania IoT.



Rys. 3.4. Idea Internetu Rzeczy (opracowano na podstawie [46, 48]).

Przemysłowy Internet Rzeczy nie jest możliwy do wprowadzenia bez rozwoju innych technologii powiązanych z Przemysłem 4.0. Jego rozwój jest możliwy dzięki zaawansowaniu następujących technologii: przetwarzanie danych w chmurze (Cloud Computing), przetwarzanie brzegowe (Edge Computing), analiza dużych zbiorów danych (Big Data), sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence) i uczenia maszynowego (Machine Learning). Technologie te zapewniają możliwość szerokiego zastosowania IoT w produkcji niezależnie do rodzaju prowadzonej działalności [49].

Coraz szersze zastosowanie IoT jest związane z możliwością wystąpienia szeregu zagrożeń związanych z bezpieczeństwem danych. Należą do nich m.in. tzw. luki w oprogramowaniu oraz ataków Denial of Service (DoS), ataków „na słabe” hasła i ataków cross-site scripting (osadzenie w treści atakowanej strony kodu, który wyświetlony użytkownikom może doprowadzić do wykonania przez nich niepożądanych akcji) [50].

3.7. Roboty przemysłowe

W przemyśle motoryzacyjnym jedną z najczęściej wdrażanych technologii Przemysłu 4.0 są roboty przemysłowe. Roboty stanowią ważny element wyposażenia przedsiębiorstw produkcyjnych, w których pełnią istotną funkcję w różnych procesach technologicznych, wymagających dokładności i powtarzalności. W miarę rozwoju robotyki zaczęły powstawać

kolejne rodzaje robotów. Roboty przemysłowe stanowią właściwie doktrynę Przemysłu 3.0, w której podstawą technologią była robotyzacja i automatyzacja. W dobie Przemysłu 4.0 roboty stały się tzw. robotami współpracującym nazywanymi cobotami, które pomagają człowiekowi przy pracach bezpośrednio z jego udziałem w procesie oraz takie, które współpracują między sobą bez udziału człowieka. W artykule pt. „6 examples of industrial robots in the automotive industry” [51] opisano najczęstsze zastosowania cobotów w przemyśle motoryzacyjnym. Przemysł motoryzacyjny stosuje roboty przemysłowe od początku lat 60-tych ubiegłego wieku. Od tego czasu liczba robotów zastosowanych w sektorze automatyki znacznie wzrosła, jak również tradycyjne nieelastyczne roboty zastąpiono nowymi, elastycznymi, 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 ich zwiększenie funkcjonalności w zakresie:

- szybkiego dostosowywania się do nowych warunków (muszą szybko reagować na zmiany), związane 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 (IIoT) i mogą komunikować się zarówno ze sobą, jak i z innymi elementami systemu produkcyjnego, takimi jak: maszyny, urządzenia pomiarowe i systemy zarządzania. Zapewniają wymianę danych i informacji w czasie rzeczywistym, co pozwala na lepszą synchronizację procesów produkcyjnych. Mogą gromadzić duże ilości danych dotyczących wykonywanych operacji. Wykorzystując techniki analizy danych i sztucznej inteligencji, mogą przetwarzać te dane, wykrywać wzorce i anomalie oraz podejmować decyzje na podstawie zebranych informacji. Dzięki temu mogą dostosowywać swoje działania do zmieniających się warunków produkcyjnych i mogą być umieszczane na dowolnym etapie produkcji.

Robotyzacja przyczynia się m.in. do wzrostu jakości produkcji i do poprawy konkurencyjności. Dodatkowo poprawia się bezpieczeństwo pracy, poprzez możliwość zastąpienia pracownika w czynnościach, gdzie występuje ryzyko narażenia jego życia. Produkcja wsparta przez roboty daje możliwość zdobycia nowej wiedzy przez pracowników oraz poszerzenia ich umiejętności zawodowych [52].

W ramach koncepcji Przemysłu 4.0 w logistyce wewnątrzzakładowej wykorzystywane są przede wszystkim autonomiczne roboty mobilne (ang. Automatics Mobile Robots – AMR). Poruszają się one 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 optymalizuje i dostosowuje swoją trasę do zaistniałych warunków. Roboty wykorzystywane są m.in. w transporcie wyrobów, komponentów, podzespołów itp. [53]. W przedsiębiorstwach stosowane są również inteligentne pojazdy sterowane automatycznie (ang. Automated Guided Vehicle – AGV). Niestety, ich innowacyjność technologiczna jest mniejsza w porównaniu do robotów AMR, jednak oba typy są w stanie przewozić ładunki w wyznaczone miejsce. Pojazdy AGV poruszają się po wyznaczonych torach. Torem jazdy jest przewód generujący pole magnetyczne, który jest osadzony w podłodze budynku, np. w magazynie. Pojazd jest w stanie się poruszać, ponieważ wyposażony jest w czujniki odbierające sygnały wysyłane przez pole magnetyczne, dzięki czemu bezproblemowo dociera w miejsce docelowe. W przypadku pojawienia się przeszkody na trasie pojazd automatycznie zatrzymuje się i oczekuje do momentu jej usunięcia, po czym kontynuuje jazdę. Zgodnie z ideą Przemysłu 4.0 robot AMR jest bardziej pożądany w przedsiębiorstwach niż AGV, ponieważ możliwa jest jego integracja z oprogramowaniem służącym do zarządzania przedsiębiorstwem. Oznacza to, większą kontrolę i monitorowanie oraz lepszy przepływ informacji [53].

W rozwoju robotów przemysłowych przełomowa okazała się technologia głębokiego uczenia (deep learning). Umożliwia ona zaawansowaną analizę danych, takich obszarów jak np. obraz czy odczyt siły z czujników zamontowanych na robocie. Zastosowanie metod głębokiego uczenia ma szczególne znaczenie w rozwiązaniach stosowanych w montażu na liniach produkcyjnych do wykrywania i pobierania elementów jak również w kontroli jakości. Wprowadzenie rozwiązań z obszaru sztucznej inteligencji do programowania robotów przyczynia się do ich większej dokładności, elastyczności i szybkości pracy.

3.8. Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość

Jednym z elementów Przemysłu 4.0 jest wirtualna i rozszerzona rzeczywistość. Wirtualna rzeczywistość (VR) to 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 odzwierciedla rzeczywistość.

W systemach, rzeczywistość wirtualna generowana jest w różnych obszarach: wizualnym, dźwiękowym, dotykowym. Do form wizualnych należą m.in. realistyczne stereoskopowe obrazy symulowanego środowiska, a do dotykowych, użycie siły fizycznej do poruszania się w symulowanym środowisku i sterowanie nim oraz przemieszczanie symulowanych obiektów.

Technologia wirtualnej rzeczywistości opiera się na zaawansowanych grafikach komputerowych, sensoryce, śledzeniu ruchu i interakcji:

- immersja – wirtualna rzeczywistość daje użytkownikom poczucie "zanurzenia" w wirtualnym środowisku. Za pomocą gogli VR, które pokrywają całe pole widzenia, użytkownicy mogą czuć się, jakby byli obecni w innym miejscu. Wraz z dźwiękiem przestrzennym, efekt immersji staje się bardziej realistyczny,
- interakcja – technologia VR umożliwia użytkownikom interakcję z wirtualnym środowiskiem. Mogą poruszać się, manipulować obiektami, wykonywać gesty za pomocą kontrolerów lub specjalnych rękawic śledzących ruch. Pozwala to na odbieranie bodźców i przebywanie w wirtualnym świecie.

Jako układy wizyjne stosowane są najczęściej kaski mocowane na głowie, zaopatrzone w 2 wyświetlacze ciekłokrystaliczne umieszczone naprzeciwko oczu w sposób umożliwiający widzenie stereoskopowe, lub ekrany projekcyjne ułożone na podobieństwo zamkniętego pomieszczenia. Rozpoznanie położenia użytkownika odbywa się za pomocą układów śledzących elektromagnetycznych, mechanicznych lub optycznych. Jako urządzenia sterujące stosowane są rękawice i/lub kombinezony z czujnikami. Dźwięk w systemach wirtualnej rzeczywistości generują urządzenia akustyki przestrzennej i do syntezy mowy, stosowane w celu wydawania poleceń do systemu [54].

Wirtualna rzeczywistość znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach. W grach komputerowych VR zapewnia bardziej realistyczne odczucia uczestników gry. W medycynie może być stosowana do symulacji operacji, treningu medycznego czy terapii. W edukacji za pomocą technologii VR można projektować i przeprowadzać interaktywne lekcje. Jest także stosowana w architekturze, sztuce, turystyce i wielu innych dziedzinach.

W przedsiębiorstwach wirtualna rzeczywistość znajduje zastosowanie w różnych obszarach, oferując szereg korzyści i możliwości m.in.:

- szkolenia – umożliwia symulację realistycznych scenariuszy szkoleniowych. Pracownicy mogą praktykować procedury bez ryzyka i kosztów związanych z prawdziwym sprzętem lub środowiskiem. Przykładowym zastosowaniem jest szkolenie pracowników z obszaru obsługi maszyn, bezpieczeństwa pracy, technik montażu czy procedur ratunkowych,
- projektowanie i wizualizacja – inżynierowie i projektanci mogą korzystać z VR do tworzenia wirtualnych modeli produktów, fabryk czy obiektów budowlanych. Dzięki temu można łatwo ocenić funkcjonalność, ergonomię, układ przestrzenny czy wygląd końcowy, jeszcze przed rozpoczęciem produkcji,
- prototypowanie – VR umożliwia tworzenie wirtualnych prototypów produktów i komponentów, co pozwala na dokładne testowanie ich wydajności, wyglądu czy interakcji. Pozwala to na szybkie wprowadzanie zmian w projektach i zmniejsza koszty związane z tradycyjnym tworzeniem prototypów fizycznych,
- obsługa i konserwacja maszyn – technologie VR mogą wspomagać pracowników odpowiedzialnych za obsługę, konserwację i naprawę skomplikowanych urządzeń i maszyn. Poprzez wirtualne instrukcje i symulacje można zapewnić łatwiejsze i bardziej efektywne procedury obsługi oraz diagnozowania usterek,
- analiza danych i doskonalenie procesów – technologie VR umożliwiają wizualizację i analizę danych związanych z procesami produkcyjnymi, logistyką czy wydajnością systemów. To pozwala na identyfikację obszarów do poprawy efektywności,
- zarządzanie projektami – w tym przypadku technologie VR mogą wspomagać zarządzanie projektami poprzez wirtualne prezentacje, wizualizacje postępu prac czy spotkania online w wirtualnych środowiskach. To ułatwia komunikację, współpracę i podejmowanie decyzji na różnych etapach projektu.

Wykorzystanie VR w przemyśle może przynieść wiele korzyści, takich jak zwiększenie efektywności, poprawa jakości, redukcja kosztów szkoleń czy skrócenie cyklu projektowego. W miarę postępu technologii i spadku kosztów, oczekuje się coraz większego rozpowszechnienia VR w przemyśle.

Natomiast rozszerzona rzeczywistość (AR) to technologia, która łączy elementy świata rzeczywistego z elementami wirtualnymi, tworząc interaktywne doświadczenia. W przeciwieństwie do wirtualnej rzeczywistości, gdzie użytkownik jest całkowicie zanurzony w wirtualnym środowisku, AR nakłada elementy wirtualne na rzeczywistość, zachowując interakcję z otoczeniem. W technologii AR wirtualne obrazy, modele 3D, tekst czy inne

elementy nakładane są na rzeczywiste obrazy lub widoki za pomocą urządzeń, takich jak smartfony, okulary AR lub hełmy. Użytkownik może widzieć i wchodzić w interakcję z tymi elementami w czasie rzeczywistym. W przemyśle AR stosowana jest przede wszystkim w szkoleniach, montażu i obsłudze urządzeń.

W artykule [55] opisane zostały przykłady zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości w przemyśle motoryzacyjnym. Technologia VR stosowana jest do opracowania cyfrowych procesów montażowych. Zostały nie tylko odwzorowane procesy montażowe, ale również cała infrastruktura łącznie z budynkami i maszynami. Wszystkie procesy montażowe były testowane i ulepszone w wirtualnych przestrzeniach, które dokładnie odwzorowują ich strukturę. W przedsiębiorstwach na świecie z branży motoryzacyjnej technologia VR jest stosowana do wspomagania pracy zdalnej i grupowej oraz do prezentowania koncepcji nowych pojazdów.

Pomimo znaczących postępów technologicznych, wirtualna rzeczywistość i rozszerzona rzeczywistość stają w obliczu pewnych wyzwań. Należą do nich ograniczenia technologiczne, takie jak rozdzielczość ekranów i opóźnienia reakcji, które mogą wpływać na jakość doświadczenia. Istnieją również kwestie związane z wygodą użytkowania i możliwościami poruszania się w przestrzeni wirtualnej.

3.9. Druk addytywny

Technologie przyrostowe stanowią obszar, który w ostatnich latach rozwija się bardzo dynamicznie. Wytwarzanie przyrostowe lub techniki addytywne (ang. additive manufacturing) polegają na nakładaniu kolejnych warstw materiału budulcowego lub łączeniu przygotowanych wcześniej kawałków materiałów. Stanowią one jedną z technik wytwarzania obok odlewnictwa stopów metali, obróbki plastycznej stopów metali, obróbki ubytkowej, obróbki skoncentrowanymi strumieniami energii, przetwórstwem tworzyw sztucznych, obróbką cieplną i cieplno-chemiczną czy spiekania proszków. W przypadku technik przyrostowych tworzony wyrób powstaje w wyniku dodawania kolejnych płaskich warstw materiału, choć może to być również utwardzanie cieczy (żywicy), a także spiekanie proszku. Materiał budulcowy nakładany jest „warstwa po warstwie”, tworząc ostatecznie lity, przestrzenny obiekt [56]. Metody wytwarzania przyrostowego dzielą się ze względu na rodzaj spajania materiałów, tj. wiązania chemiczne, spiekanie i klejenie. Najczęściej określane są one

za pomocą skrótów pochodzących od ich angielskich nazw. Najpopularniej stosowane metody to [56]:

- SLA (ang. Stereolithography) – stereolitografia,
- FDM (ang. Fused Deposition Modelling) – kształtowanie plastycznym tworzywem,
- JM (ang. Jet Modelling) – modelowanie strumieniowe,
- 3DP (ang. 3D Printing) – drukowanie 3D przez łącznie proszku lepiszczem,
- SLS (ang. Selective Laser Sintering) – selektywne spiekanie laserowe proszków tworzyw i metali,
- LOM (ang. Laminated Object Manufacturing) – wytwarzanie wytworów przez laminowanie.

Istotą stosowania przyrostowych metod wytwarzania jest budowanie rzeczywistego modelu (wyrobu) na podstawie zaprojektowanej przy pomocy specjalnego oprogramowania komputerowego 3D wirtualnej geometrii [57]. Do projektowania wirtualnych geometrii obiektów do druku przestrzennego może posłużyć dowolny program do modelowania przestrzennego, natomiast największe zastosowanie znajdują programy komputerowe wspomagające projektowanie (3D CAD), tj. Alibre Design, Autodesk Inventor, CATIA, Compas 3D, Creo Parametric, SolidWorks, Solid Edge, T-Flex, TopSolid, Siemens NX, ZW3D, SpaceClaim i inne. Model przygotowywany jest zwykle jako geometria bryłowa zamknięta powierzchniami (zamknięta polipowierzchnia). Kolejnym etapem jest aproksymowanie ścian obiektu siatką trójkątów. Zazwyczaj proces ten jest wykonywany automatycznie podczas zapisu pliku do formatu STL, który został opracowany przez firmę 3D Systems dla metody stereolitografii. Następnie oprogramowanie komputerowe przeznaczone dla konkretnych maszyn wytwarzających przyrostowo dzieli wytworzoną geometrię siatkową na warstwy o określonej przez użytkownika grubości, tworząc model warstwowy (rys. 2.4d). Na tej podstawie zostają wyznaczone ścieżki robocze (rys. 2.4e) sterujące drukarką 3D. Istotą działania metod SLA i SLS jest sterowanie zwierciadłami kierującymi wiązką lasera, w metodzie FDM określanie ścieżki ruchów głowicy nakładającej materiał budulcowy, w metodzie 3DP określanie miejsca nakładania lepiszcza lub żywicy, zaś w LOM – miejsca nanoszenia kleju i nacinania folii. Po tym etapie, czyli wygenerowaniu ścieżek roboczych każdej warstwy, można przystąpić do procesu wytwórczego do uzyskania gotowego wyrobu [57].

W Przemysle 4.0 technologia przyrostowa odgrywa kluczową rolę w transformacji sposobu produkcji i otwiera wiele nowych możliwości. Daje ona przedsiębiorstwom większą

elastyczność, efektywność i personalizację, co przekłada się na zwiększenie konkurencyjności na rynku.

Technologia przyrostowa, a szczególnie druk 3D, stosowana jest w obszarze prototypowania, produkcji narzędzi i części zamiennych oraz do personalizacji produktów. Druk 3D stosowany jest do produkcji części zamiennych na miejscu w przedsiębiorstwie, eliminując potrzebę magazynowania dużej liczby części. Ponadto, technologia przyrostowa może być przydatna do produkcji nowych elementów narzędzi, które zostały uszkodzone lub do wykonania nowych narzędzi w czasie rzeczywistym. Przemysł 4.0 dąży do zwiększenia personalizacji produkcji. Technologia przyrostowa umożliwia dostosowywanie produktów do indywidualnych potrzeb klientów. Można tworzyć unikalne przedmioty o różnych kształtach, rozmiarach i funkcjach, co pozwala na zaspokojenie indywidualnych preferencji klientów. Dzięki zastosowaniu technologii przyrostowej możliwe jest eksperymentowanie z prototypami i ich dostosowanie do wymagań, przed produkcją masową. Można tworzyć prototypy i testować różne warianty produktów, zanim zdecyduje się na wdrożenie konkretnego projektu. Dzięki temu można zoptymalizować projekt pod kątem wydajności, trwałości i kosztów produkcji. Technologia przyrostowa pozwala na szybkie wytwarzanie prototypów i małoseryjnych partii produktów. Stosowanie druku 3D i innych metod przyrostowych przyczynia się do skrócenia procesu produkcji, zwiększa to elastyczność produkcji i umożliwia szybkie reagowanie na zmieniające się potrzeby rynku.

3.10. Symulacja komputerowa

Wdrożenie automatyzacji i koncepcji Przemysłu 4.0 wymaga podejmowania decyzji i działań związanych z implementacją nowych technologii wytwarzania i funkcjonowania przedsiębiorstw. Celem tych działań jest zmiana sposobu realizacji procesów w kierunku rozwiązań bazujących na systemach cyberfizycznych, integrujących w kompletnym łańcuchu wartości m.in. wytwarzanie, logistykę, magazynowanie i dystrybucję. W tym kontekście modelowanie i symulacja procesów stają się narzędziami weryfikacyjnymi i wspomagającymi wprowadzanie zmian [58].

Według słownika języka polskiego symulacja definiowana jest jako stwarzanie fałszywych pozorów, udawanie, zmyślanie czegoś, pozór, fikcja, sztuczne odtwarzanie (np. w warunkach laboratoryjnych, często przy pomocy maszyn cyfrowych) właściwości danego obiektu, zjawiska lub przestrzeni występujących w naturze, lecz trudnych do obserwacji,

zbadań, powtórzeń. Symulacja jest metodą prowadzenia eksperymentu, w którym buduje się model imitujący (naśladujący) działanie rzeczywistego systemu. Na podstawie przeprowadzanych eksperymentów z modelem bada się charakterystykę i zachowanie modelu w pewnym okresie czasu. Rozróżnia się następujące modele symulacyjne:

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

Symulacja komputerowa definiowana jest jako „metoda wnioskowania o zachowaniu obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji wyników działania programów komputerowych naśladujących (symulujących) to zachowanie (tzw. modeli symulacyjnych)” [59]. Symulacja komputerowa znajduje zastosowanie w przypadkach, gdy nie jest możliwa bezpośrednia obserwacja zachowania się obiektu (np. przy projektowaniu) lub jeśli przeprowadzenie eksperymentów z obiektem wymaga zastosowania kosztownych urządzeń [59].

Jako jedna z technologii Przemysłu 4.0 symulacja komputerowa jest stosowana przede wszystkim za względu na możliwość precyzyjnego modelowania, analizę i doskonalenie 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. Symulacje komputerowe pozwalają na tworzenie wirtualnych środowisk testowych, w których można analizować i weryfikować zachowanie systemów produkcyjnych przed ich wdrożeniem. Dzięki temu minimalizowane jest ryzyko powstania błędów i kosztownych awarii. Symulacje komputerowe znajdują szerokie zastosowanie także w optymalizacji procesów logistycznych, takich jak zarządzanie zapasami, wyznaczanie tras przejazdu oraz optymalizacja struktury magazynu według różnych kryteriów. Są również stosowane do tworzenia modeli cyberfizycznych, które integrują rzeczywiste systemy produkcyjne z wirtualnymi modelami. Dzięki temu proces produkcyjny jest monitorowany i kontrolowany w czasie rzeczywistym, jak również istnieje możliwość przeprowadzania symulacji i testów wirtualnych bez zakłócania rzeczywistych operacji. Wpływa to na osiągnięcie przez przedsiębiorstwa zwiększenia efektywności, konkurencyjności oraz umożliwia szybkie reakcje na zmieniające się warunki rynkowe.

Symulacja komputerowa stanowi podstawowe narzędzie do budowy cyfrowych bliźniaków (digital twin). Model digital twin to połączenie fizycznego obiektu oraz jego cyfrowego odwzorowania w przestrzeni wirtualnej realizowany dzięki możliwości przetwarzania danych w czasie rzeczywistym i stałej aktualizacji stanu obiektów i procesów [60].

4. WDROŻENIE ROZWIĄZAŃ PRZEMYSŁU 4.0 NA ŚWIECIE

4.1. Charakterystyka i inicjatywy międzynarodowe

Przemysł 4.0 uTOROWAŁ drogę dla zmian społecznych i technologicznych, które wpłynęły na niemalże każdy aspekt życia ludzi na całym świecie. Technologie Przemysłu 4.0 umożliwiły współpracę ludzi i integrację procesów biznesowych oraz linii produkcyjnych w skali globalnej, to znaczy niezależnie od ich lokalizacji, strefy czasowej, czy innych czynników, tym samym zacierając granice państwowe, kulturowe czy językowe [61].

Pojawiające się w obecnej rewolucji przemysłowej technologie i przełomowe innowacje, takie jak Internet Rzeczy, Big Data, przetwarzanie w chmurze obliczeniowej, czy sztuczna inteligencja, rozprzestrzeniają się w znacznie szybszym tempie i na dużo większą skalę niż odbywało się to w trakcie poprzednich rewolucji przemysłowych. Warto mieć jednak na uwadze fakt, że dotyczy to przede wszystkim krajów wysoko rozwiniętych. Mimo iż powszechnie uznaje się, że czwarta rewolucja przemysłowa rozpoczęła się na przełomie XX i 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 pozostaje bez przyłączenia do sieci elektrycznej, co oznacza, że blisko 800 milionów ludzi nie doświadczyło jeszcze skutków drugiej rewolucji przemysłowej [62]. Podążając dalej tym tokiem rozumowania należy stwierdzić, że ta drastyczna nierównowaga tym bardziej dotyczy trzeciej rewolucji przemysłowej, 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 [63]. Dlatego wyznacznikiem postępu nie jest sam fakt zaistnienia innowacji technologicznych i ogłoszenia ich na forum międzynarodowym, lecz przede wszystkim zakres, w jakim są one przyjmowane przez społeczeństwo [64].

Skuteczność oraz ciągłość rozwoju, wdrożenia oraz zastosowań praktycznych technologii Przemysłu 4.0 w dużej mierze zależy od polityki oraz wsparcia rządów poszczególnych państw. Z drugiej strony, to właśnie rząd jest głównym beneficjentem wyników i korzyści wynikających ze skutecznego wdrożenia i stosowania praktyk Przemysłu 4.0. A zatem, w związku z dostrzeżeniem toczących się zmian oraz uzmysłowieniem sobie ich ogromnego wpływu na sytuację na globalnym rynku, wiele państw zainicjowało rządowe programy,

których głównym celem było przyspieszenie procesu wdrażania nowych technologii w obszarze przemysłu, zintensyfikowanie działań w tym zakresie, a także możliwie jak najszybsze dostosowanie przemysłu i gospodarki do nowych standardów. Jednak z uwagi na fakt, że nie istnieje żaden standard określający, w jaki sposób należy wdrażać rozwiązania Przemysłu 4.0, każde państwo podjęło działania w tym zakresie na swój własny sposób w oparciu o specjalizację i charakter swojego przemysłu, uwarunkowania i potrzeby rynku oraz indywidualne potrzeby.

Niemcy, jako jeden ze światowych liderów w obszarze przemysłu, były pierwszym krajem, który w 2011 roku podczas targów w Hanowerze ogłosił swoją strategiczną inicjatywę o nazwie „Industrie 4.0”. Jej zasadniczym celem było jak najlepsze zbadanie, zrozumienie i wykorzystanie potencjału drzemącego w innowacyjnych technologiach w celu zastosowania ich w obszarze przemysłu. Wedle przyjętych założeń, w efekcie powinno to skutkować utrzymaniem pozycji Niemiec jako jednego z najbardziej wpływowych krajów – przede wszystkim w obszarze przemysłu maszynowego i motoryzacyjnego [65].

Obszerne przeglądu najważniejszych strategii wdrożenia Przemysłu 4.0 w wybranych państwach dokonano w pracy [66]. Wyniki tego przeglądu z podaniem najważniejszych informacji pokazano w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Przegląd najważniejszych strategii wdrożenia Przemysłu 4.0 w wybranych państwach (opracowanie własne na podstawie [66-76]).

Państwo	Rok ogłoszenia	Przyjęta nazwa	Główne cele i kluczowe działania
Australia	2017	Testlabs	Główne cele strategii to: 1. zwiększenie konkurencyjności przemysłu, 2. wspieranie współpracy jednostek naukowych z przemysłem, 3. utworzenie sieci powiązań pomiędzy uczelniami i firmami, 4. zbudowanie infrastruktury dla technologii Przemysłu 4.0.
Belgia	2012	Made Different	Zapewnienie przedsiębiorstwom doradztwa w zakresie oceny ich obecnej sytuacji oraz perspektyw transformacji cyfrowej w zakresie: innowacyjnych technologii produkcyjnych, inżynierii obejmującej cały proces łańcucha wartości, cyfrowej fabryki, produkcji zorientowanej na ludzi, sieci produkcyjnych, produkcji ekologicznej i inteligentnych systemów wytwarzania.

	2015	Digital Belgium	Plan złożony z pięciu punktów obejmujących cyfryzację ekonomii, infrastruktury, urzędów i opieki medycznej, rozwoju kompetencji cyfrowych i cyfryzację pracy oraz cyberbezpieczeństwo.
Dania	2013	Manufacturing Academy of Denmark (MADE), MADE Digital (uruchomiony w 2017 r.)	Główne cele to: <ol style="list-style-type: none"> 1. wspieranie budowania współpracy pomiędzy organizacjami i przedsiębiorstwami publicznymi i prywatnymi, 2. promowanie Danii jako globalnego lidera w obszarze zaawansowanego wytwarzania, 3. wspieranie badań i rozwoju oraz innowacji w kontekście cyfrowej transformacji.
Francja	2015	Industrie du Futur	Program bazuje na pięciu kluczowych filarach: <ol style="list-style-type: none"> 1. wsparcie przedsiębiorstw finansowaniem badań, subsydiami oraz pożyczkami (cutting-edge technologies), 2. zapewnienie ponad 550 ekspertów dla małych i średnich przedsiębiorstw jako wsparcia dla zidentyfikowania projektów związanych z transformacją cyfrową (business transformation), 3. podniesienie kompetencji personelu, opracowanie planów i wizji rozwojowych (training), 4. zawiązywanie współpracy międzynarodowej (international cooperation), 5. wzmacnianie wizerunku Francji na arenie międzynarodowej jako innowacyjnego państwa (self-promotion).
Niemcy	2013 (pierwsze działania w tym zakresie podjęto w 2006 r., w 2011 roku ogłoszono założenia Industrie 4.0)	Platform Industrie 4.0 (bazuje na założeniach inicjatywy Industrie 4.0)	Promocja koncepcji i rozwiązań Przemysłu 4.0 poprzez: <ol style="list-style-type: none"> 1. rozwój i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, 2. wsparcie rozwoju i cyfrowej transformacji przedsiębiorstw poprzez udzielanie im rekomendacji oraz dostarczanie informacji i przykładów praktycznych, 3. włączenie pomysłów przedsiębiorstw do międzynarodowej debaty i udział w międzynarodowych procesach normalizacyjnych.
Włochy	2016	Impresa 4.0	Strategia opiera się na dwóch głównych obszarach zainteresowania:

			<ol style="list-style-type: none"> 1. wsparciu cyfrowej transformacji i użycia innowacyjnych technologii, aby w efekcie zwiększyć konkurencyjność Włoch, 2. rozwoju umiejętności poprzez huby innowacji cyfrowej, centra kompetencji, programy edukacyjne, szkolenia i doktoraty wdrożeniowe.
Japonia	2015	Industrial Value Chain Initiative (IVI)	<p>Głównym celem inicjatywy jest promowanie i wspieranie współpracy przemysłowej poprzez:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. budowanie środowiska dla społeczności rozwijającej i wdrażającej strategię „połączonego wytwarzania” (Connected Manufacturing), 2. tworzenie wartości z wymiany wiedzy produkcyjnej i doświadczenia, 3. uczestnictwo w tworzeniu zasad współpracy.
	2019	Society 5.0	<p>Fundamentalnym założeniem tej inicjatywy jest integracja ludzi, rzeczy i systemów w cyberprzestrzeni, aby informacje mogły być analizowane i dostosowywane do indywidualnych i specyficznych potrzeb, co powinno prowadzić do zapewnienia aktywnego i przyjemnego życia. Rozważane są takie obszary zastosowania jak: mobilność, opieka zdrowotna, produkcja, rolnictwo, żywność, przeciwdziałanie klęskom żywiołowym i sektor energetyczny. Główne cele tej strategii dotyczą rozwoju trzech obszarów: wspólne dane, przeciwdziałanie klęskom żywiołowym oraz inteligentne miasta.</p>
Holandia	2014	Smart Industry (SI)	<p>Inicjatywa wykorzystuje model „triple helix¹” i oparta jest na trzech głównych filarach:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wykorzystanie istniejących zasobów wiedzy, 2. przyspieszenie wdrażania technologii teleinformatycznych (ICT) w firmach, 3. wzmacnianie zasobów wiedzy, umiejętności i środowiska ICT.
Chiny	2015	Made in China 2025 (MIC 2025)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zredukowanie zależności Chin od zagranicznych technologii oraz zasobów i znaczące zwiększenie inwestycji w rozwój własnych innowacji, szczególnie w obszarze inteligentnej produkcji. 2. Promowanie chińskich marek. 3. Podjęcie działań w kierunku zmniejszenia wpływu przemysłu na środowisko i zdrowie

¹ Model innowacji określany mianem „triple helix” odnosi się do współpracy pomiędzy jednostkami naukowymi, przemysłem i rządem [77].

			<p>ludzkie oraz powstrzymanie zmian klimatycznych.</p> <p>4. Restrukturyzacja strategii produkcyjnych w celu dostosowania ich do konkurencji ze strony innych krajów o niskich kosztach pracy.</p>
	2015	Internet Plus (Internet +)	<p>Dotyczy wdrożenia i zastosowania Internetu oraz innych technologii informacyjnych w konwencjonalnych gałęziach przemysłu. Pod pojęciem „internet” rozumiane są również takie obszary jak: mobilny Internet, sieci w chmurze, duże zbiory danych (Big Data) oraz Internet Rzeczy (IoT). Według założeń, zastosowanie tych technologii miało wspierać rozwój biznesu w Chinach.</p>
Portugalia	2017	Indústria 4.0	<p>Strategia jest zorientowana wokół sześciu filarów:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kwalifikacje – dostosowanie systemu edukacji do przyszłych potrzeb przemysłu i włączenie nauki kompetencji cyfrowych do programów nauczania; zachęcanie pracowników do szkoleń i doskonalenia umiejętności cyfrowych, 2. Współpraca w zakresie technologii – promowanie współpracy pomiędzy dostawcami technologii, środowiskiem naukowym i przemysłem, 3. Start-upy – zwiększenie roli Portugalii jako centrum start-upów, szczególnie w sektorze turystyki, 4. Zachęcanie do finansowania i inwestycji – promowanie Portugalii jako atrakcyjnego miejsca dla rozwoju przemysłu i inwestowania, 5. Internacjonalizacja – wsparcie umiędzynarodowienia działalności małych i średnich przedsiębiorstw, 6. Standardy i regulacje – wspieranie zaangażowania przemysłu w celu określenia gotowości portugalskich regulacji dotyczących norm.
Singapur	start co 5 lat, począwszy od roku 1995, obecny plan uruchomion	Pierwszy plan: National Technology Plan 1995, obecny: Research, Innovation and	<p>Najnowszy program podzielony jest na 7 kategorii:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zaawansowana produkcja i inżynieria, 2. Nauki o zdrowiu i biomedycynie, 3. Rozwiązania dla miast i zrównoważony rozwój, 4. Usługi i cyfrowa ekonomia, 5. Badania akademickie,

	o w 2020 roku	Enterprise 2020 Plan	6. Siła robocza, 7. Innowacje i przedsięwzięcia.
	2014	Smart Nation	<p>Strategia opiera się na trzech filarach:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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, 2. Cyfrowa ekonomia – przyspieszenie wzrostu gospodarczego poprzez cyfryzację branż i przedsiębiorstw, zbudowanie ekosystemu, który pomoże firmom zachować dynamikę rozwoju i konkurencyjność, 3. Cyfrowy rząd – zbudowanie strategii, według której cyfryzacja traktowana będzie jako skuteczny sposób, w jaki rząd może służyć obywatelom. Środkami do realizacji tego celu jest projektowanie cyfrowych polityk i usług, które są bezproblemowe i spersonalizowane dla wszystkich.
Korea Południowa	2014	Manufacturing Industry Innovation 3.0	<p>Strategia zawiera cztery kategorie:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rozpowszechnianie inteligentnej produkcji, 2. Kreatywna ekonomia, 3. Inteligentne innowacje, 4. Reorganizacja biznesu.
Hiszpania	2014	Industria Conectada 4.0	<p>Strategia obejmuje trzy główne cele:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usprawnienie poziomu uprzemysłowienia i zatrudnienia w wybranych sektorach, 2. Wsparcie rozwoju hiszpańskiego modelu przemysłu, 3. Zwiększenie lokalnej podaży rozwiązań cyfrowych i pobudzenie przemysłu hiszpańskiego.
Anglia	2017 (pierwsze działania w 2004)	Higher Education and Research Act	<p>Zawiera pięć składowych:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pomysły, 2. Infrastruktura, 3. Ludzie, 4. Środowisko biznesowe, 5. Miejsca.
Stany Zjednoczone	2011	Advanced Manufacturing Partnership (AMP), później zaktualizowano do Advanced Manufacturing	<p>Plan obejmuje cztery główne etapy realizacji:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Budowanie krajowych zdolności produkcyjnych w krytycznych branżach, 2. Skrócenie czasu opracowywania i wdrażania zaawansowanych materiałów, 3. Robotyka nowej generacji,

		Partnership 2.0 (AMP 2.0)	4. Opracowywanie innowacyjnych, energooszczędnych technik produkcyjnych.
	2014	Industrial Internet Consortium, w 2021 roku nazwa została zmieniona na Industry IoT Consortium (IIC)	Grupa została powołana przez AT&T, Cisco, General Electric, IBM oraz Intel. Głównym celem sformowania tej grupy było zrzeszenie czołowych organizacji przemysłowych i rządowych oraz jednostek naukowych w celu przyspieszenia rozwoju, wdrażania oraz powszechnego użycia technologii związanych z przemysłowym Internetem.

W obszarze inicjatyw międzynarodowych wymienić należy także ramowe programy badawcze Unii Europejskiej – zakończony w 2020 roku Horyzont 2020 (Horizon 2020) oraz ogłoszony na lata 2021 – 2027 Horyzont Europa (Horizon Europe). Celem obydwu programów jest stymulowanie przemian systemowych w zakresie innowacji i ekologii, wspieranie badań naukowych i wzmacnianie potencjału technologicznego Europy [78].

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. Coroczna analiza danych pozwala identyfikować priorytetowe obszary gospodarki cyfrowej w państwach członkowskich, które wymagają konkretnych działań i inwestycji i motywować poszczególne państwa do podejmowania działań w związku z rozwojem i wdrażaniem nowych technologii [66].

Istotna z punktu widzenia współpracy międzynarodowej 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 zorganizowana jest w ramach trzech grup roboczych odpowiedzialnych za następujące obszary [66, 79]:

- standaryzację – celem tej grupy roboczej jest identyfikacja istotnych norm i koordynacja działań normalizacyjnych w celu opracowania wspólnych standardów i integracji MŚP w dziedzinie normalizacji,
- zaangażowanie MŚP – druga grupa robocza odpowiedzialna za zebranie ze wszystkich trzech krajów przykładów zastosowań i zrealizowanych z powodzeniem scenariuszy użycia technologii Przemysłu 4.0, aby następnie mogły być rozpowszechniane i promowane,

- wsparcie w zakresie polityki – przedmiotem pracy trzeciej grupy roboczej jest wymienianie się najlepszymi praktykami z obszaru regulacji i programów politycznych, które zapewniają korzystne warunki, aby skutecznie korzystać 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). Często też, w celu przedstawienia inteligentnej produkcji w szerszym kontekście, z uwzględnieniem innych technologii wspierających produkcję, mówi się o „inteligentnych fabrykach” (Smart Factories).

Za najnowocześniejsze na świecie i w najszerszym zakresie stosujące technologie Przemysłu 4.0 fabryki uważane są zakłady produkcyjne amerykańskiego producenta pojazdów elektrycznych, firmy Tesla, w których produkowane są zaawansowane pojazdy elektryczne oraz baterie do tych pojazdów. Określane są mianem „gigafabryk”. Obecnie istnieje 5 zakładów produkcyjnych tego typu: Giga Nevada w Storey County w stanie Nevada w Stanach Zjednoczonych, Giga New York położona w Buffalo w stanie New York w Stanach Zjednoczonych, Giga Shanghai położona w Szanghaju w Chinach, Giga Berlin znajdująca się w miejscowości Grünheide obok Berlina oraz Giga Texas w mieście Austin w stanie Teksas w Stanach Zjednoczonych. Najnowsze i najnowocześniejsze są dwie ostatnie, czyli Giga Berlin oraz Giga Texas.

Według założeń, w fabryce w Niemczech ma być produkowanych rocznie 500 tysięcy samochodów elektrycznych. Zastosowane tutaj zostały zarówno innowacyjne rozwiązania, jak np. automatyzacja z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji (rozwiązanie określane jako automating intelligently), jak również te wspierające ekologię i zrównoważony rozwój, których przykładem są panele solarne umieszczone na dachu fabryki [80]. Jednym z najbardziej zaawansowanych rozwiązań użytych w tej fabryce jest ogromnych rozmiarów (długości 20 metrów, wysokości 7,5 metra, szerokości 6 metrów i masie 400 ton) maszyna przeznaczona do odlewania ciśnieniowego elementów podwozia samochodu ze stopu aluminium, określana mianem Giga Press. Za jej pomocą można wytwarzać kompletne elementy podwozia, co pozwala znacząco zmniejszyć liczbę operacji, a w efekcie nakład pracy i czas wymagany do zbudowania całego auta. W maszynie tej wytwarzane są pojedyncze komponenty, które przy użyciu procesu realizowanego w tradycyjny sposób składałyby się z

70 komponentów. Maszyna obsługiwana jest przez roboty, a czas cyklu wytworzenia jednego elementu podwozia wynosi poniżej 100 sekund, co pozwala wyprodukować 40 – 45 kompletnych komponentów na godzinę i około 1000 dziennie. Łącznie, w berlińskiej fabryce pracuje ponad 600 robotów, na czele z robotem nazywanym „Godzilla Robot”, który jest największym robotem produkcyjnym na świecie. Zrobotyzowane linie produkcyjne używane w fabryce Tesli wspierane są przez algorytmy sztucznej inteligencji oraz uczenie maszynowe, które umożliwiają uzyskanie wysokiej wydajności [81]. Natomiast dzięki sensorom i użyciu Internetu Rzeczy, które pozwalają monitorować w czasie rzeczywistym linie produkcyjne, możliwe jest błyskawiczne wykrywanie błędów, problemów jakościowych i miejsc o niskiej efektywności, które mogą zostać poddane analizie i wyeliminowane. Dane są gromadzone w ustrukturyzowany i ustandaryzowany sposób, dzięki czemu mogą zostać użyte w przyszłości do dalszych analiz i udoskonalenia procesu. Dzięki zaawansowanym technologiom użytym w berlińskiej fabryce Tesli obecnie produkuje się tam 4000 kompletnych samochodów elektrycznych na tydzień, a w niedługim czasie planowane jest zwiększenie wydajności i osiągnięcie liczby 5000 tysięcy. W dłuższej perspektywie celem jednak jest zwiększanie efektywności produkcji w istniejących fabrykach o 50% co roku.

Innym przykładem inteligentnej fabryki jest zakład produkcyjny chińskiej firmy Haier znajdujący się w mieście Qingdao w Chinach. Firma Haier wytwarza urządzenia domowe, między innymi pralki, kuchenki mikrofalowe, lodówki i piekarniki. W 2019 roku Haier, chiński operator telefoniczny China Mobile, firma Huawei oraz M-Star rozpoczęły wspólne przedsięwzięcie nazwane „5G Smart Factory”, którego celem było opracowanie zestawu zintegrowanych technologii i zaimplementowanie ich w fabryce Haier w Qingdao. W skład użytych technologii wchodziły rozwiązania z obszaru: zapewnienia jakości z użyciem przemysłowych systemów wizyjnych (machine vision), utrzymania z użyciem systemu przemysłowej rozszerzonej rzeczywistości (industrial AR), współpracy maszyn (inter-machine collaboration), transportu materiałów wewnątrz fabryki z użyciem pojazdów bezałogowych 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, co umożliwiło przejście na model zrównoważonej i mniej uciążliwej dla środowiska produkcji (sustainable and green manufacturing).

S. Grabowska [82] jako przykłady inteligentnych fabryk podaje fabrykę BMW w Lipsku, w której od 2013 roku wytwarzane były elektryczne pojazdy BMW i3 i w której osiągnięto wysoki poziom integracji, robotyzacji i automatyzacji oraz fabryki niemieckiego producenta obuwia i odzieży sportowej, firmy Adidas. Dzięki odpowiedniej organizacji procesu rozwoju produktu, wysokiemu poziomowi robotyzacji oraz zastosowaniu innowacyjnych technologii, w fabrykach firmy Adidas z powodzeniem realizowany jest paradygmat masowej kustomizacji przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej wydajności i krótkich przestojów.

Wśród innych przykładów inteligentnych fabryk często wymieniane są: zakład produkcyjny firmy Infineon w Dreźnie w Niemczech, fabryka firmy Bosch w miejscowości Blaichach w Niemczech (Bosch Connected Factory) oraz fabryka firmy Siemens w Amberg w Niemczech (Siemens Elektronikwerk Plant).

Interesujący przykład cyfrowej transformacji w zakresie skutecznego wdrażania innowacyjnych i zaawansowanych rozwiązań informatycznych z obszaru Przemysłu 4.0 stanowi również firma BMW. W 2018 roku w firmie tej rozpoczęto projekt wymiany istniejącego systemu służącego do zarządzania danymi produktowymi o nazwie TAIS na zaawansowany system klasy PLM firmy PTC o nazwie Windchill. System TAIS był opracowanym i samodzielnie przez wiele lat rozwijanym rozwiązaniem. Jednak na pewnym etapie rozwoju firmy system ten nie był w stanie sprostać stawianym mu wyzwaniom, głównie w związku ze zwiększeniem możliwości i modyfikowaniem linii produkcyjnych. Z tego też powodu firma miała problem, aby efektywnie przestawić się na produkcję samochodów hybrydowych i elektrycznych. Problemem okazała się możliwość rozbudowy i dalszego rozszerzania możliwości istniejącego systemu. Przede wszystkim z uwagi na jego wiek utrudnione było również dalsze jego wspieranie i utrzymywanie, głównie ze względu na brak wykwalifikowanych ekspertów, którzy mogli być za to odpowiedzialni.

Jednym z głównych założeń projektu wdrożenia nowego systemu PLM był fakt, że zgodnie z założeniami system ten miał być częścią złożonej architektury składającej się z wielu innych, powiązanych ze sobą systemów. Wdrożenie systemu PLM było częścią większej inicjatywy – projektu PSMG HUB, a ten z kolei należał do jeszcze większego projektu iSpirit. Pobocznym celem wszystkich tych projektów była szeroko pojęta standaryzacja, m.in. metodyk realizacji projektów IT i standardów pracy w obszarze tzw. DevOps² (development

² DevOps jest metodyką zespoleń rozwoju (*development*) i eksploatacji (*operations*) oraz zapewnienia jakości (*quality assurance*), która kładzie nacisk na ścisłą współpracę i komunikację profesjonalistów z zakresu

and operations), co miało zapewnić łatwiejsze wdrażanie i samodzielny rozwój zaawansowanych systemów IT. Miało to skutkować ulepszeniem i usprawnieniem działania różnych obszarów firmy.

Rolą systemu PLM miała być obsługa danych produktowych przekazywanych z działów inżynierskich, nanoszenie na te dane informacji o opcjach i wariantach, informacji specyficznych dla każdej fabryki, zamówień i danych związanych z łańcuchem dostaw. W ostatnim etapie procesu generowany powinien być widok specyficzny dla określonej fabryki (plant specific view), co w efekcie miało pozwolić na wygenerowanie listy materiałowej dostosowanej do danej fabryki.

Elementem systemu PLM miało być również rozwiązanie PTC ThingWorx Navigate. Jako system oparty na rolach, system ten miał uprościć i przyspieszyć dostęp do danych produktowych użytkownikom pełniącym różne funkcje w fabryce i pracującym w różnych jej obszarach.

Zgodnie z założeniami nowy system PLM miał stać się wspólną, globalną cyfrową platformą danych produktowych (product data backbone) produkcji pojazdów i miał umożliwić grupie BMW ustanowienie bardziej oszczędnego i wydajnego globalnego procesu planowania produkcji. Rozwiązanie PLM powinno pozwolić globalnie konfigurować dane pojazdów i udostępniać je do produkcji, a tym samym przejmując jedno z podstawowych zadań TAIS.

4.3. Podsumowanie

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 Czwarta Rewolucja Przemysłowa wpływa na niemalże każdy aspekt życia ludzi, jednak zachodzące procesy nie są odczuwalne w każdej części świata w jednakowym stopniu. W największym zakresie proces ten dotyczy krajów rozwiniętych, a w wielu częściach świata jego skutki są ledwo dostrzegalne lub nawet ciągle zachodzą przemiany, które można zaliczyć do wcześniejszych rewolucji przemysłowych.

utrzymania IT (administratorów) oraz specjalistów od rozwoju oprogramowania (programistów). Uwzględnia współzależność rozwoju i utrzymania IT, co w efekcie skraca czas wdrożenia funkcji w oprogramowaniu [83].

Większość krajów rozwiniętych, dostrzegając zachodzące przemiany, opracowało i wdrożyło krajowe programy, których celem jest zintensyfikowanie i przyśpieszenie procesu cyfrowej transformacji oraz wsparcie najbardziej istotnych gałęzi przemysłu i gospodarki.

Niezależnie od wymienionych 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 wyzwaniami związanymi z pracą zespołową w dużych, rozproszonych geograficznie i multidyscyplinarnych zespołach i zmuszone są stosować zintegrowane podejście do rozwoju produktów i wytwarzania, z uwzględnieniem współpracy zespołów złożonych z ekspertów pochodzących z wielu różnych dyscyplin, jak np. mechanika, mechatronika, automatyka i robotyka, 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 i wiele innych. Znaczącą rolę w tym procesie odgrywają również systemy klasy PLM przeznaczone do zarządzania danymi produktowymi na przestrzeni całego cyklu życia, które coraz częściej traktowane są jako platformy do budowania złożonych rozwiązań informatycznych obejmujących całą organizację lub nawet integrujących ze sobą wiele organizacji. Systemy te, które dotychczas umożliwiały zarządzanie danymi jedynie na etapie wdrożenia produktu, obecnie integrowane są z innymi ważnymi systemami przedsiębiorstwa, jak ERP, MES, SCM czy 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 wyposażeniu dostarczanych przez siebie systemów w funkcjonalności wspierające te koncepcje.

Posiadanie kompleksowej infrastruktury, zarówno w obszarze systemów informatycznych, jak i systemów produkcyjnych, stanowi niezwykle ważny wyróżnik zaawansowanych technologicznie organizacji, które poczyniły znaczące postępy w ujednoceniu danych produktów i procesów w różnych domenach i lokalizacjach, a tym samym osiągnęły wysoki poziom wdrożenia technologii Przemysłu 4.0.

5. PODEJŚCIA METODYCZNE W OCENIE POZIOMU WDROŻENIA PRZEMYSŁU

4.0

5.1. Wprowadzenie do rozdziału

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 metodycznej oceny poziomu wdrożenia Przemysłu 4.0 jest koncepcja ADMA. ADMA to skrót od Advanced Manufacturing, oznaczający fabryki przyszłości, czyli takie, które stosują innowacyjne procesy produkcyjne, dbają o zrównoważony rozwój oraz społeczny aspekt swojej działalności. Jest to inicjatywa Komisji Europejskiej, która skupia się na oferowaniu wsparcia przedsiębiorstwom produkcyjnym i przetwórczym chcącym wykorzystać najnowsze rozwiązania usprawniające procesy produkcyjne oraz wspierające ochronę zasobów naturalnych. W rozdziale opisano skaner ADMA opracowany przez Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości oraz przedstawiono sposób jego wykorzystania do weryfikacji kompetencji cyfrowych przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej.

5.2. Wybrane modele dojrzałości cyfrowej

Istnieje wiele modeli oceny dojrzałości cyfrowej, które pomagają firmom zrozumieć, na jakim etapie rozwoju cyfrowego się znajdują i jakie kroki należy podjąć, aby osiągnąć wyższy poziom dojrzałości.

Jednym z popularnych modeli dojrzałości cyfrowej jest metodyka badania dojrzałości cyfrowej opisana w ramach projektu Google'a i Boston Consulting Group [84]. Model ten zakłada cztery etapy dojrzałości:

1. powstający (medio-centryczny),
2. zauważalny (tech-centryczny),
3. połączony (data-centryczny),
4. multi-moment (full data driven).

Każdy z tych etapów można dodatkowo rozpatrywać pod wieloma aspektami: rozwoju organizacji, zarządzania danymi, integracji technologii, automatyzacji działań czy stopnia zaawansowania w poszczególnych kanałach.

Konkurencyjnym modelem oceny dojrzałości cyfrowej jest model zaproponowany przez Engave [85]. W tym przypadku ocena opiera się na 7 wskaźnikach świadczących o dojrzałości cyfrowej firmy. Są to: kultura organizacyjna przedsiębiorstwa, stopień cyfrowego przywództwa (leadership), możliwości finansowe (budżet wzrostowy), możliwości zastosowania nowych technologii wytwarzania, stopień integracji technologii cyfrowych, stopień wdrożenia cyfrowych procesów wymiany informacji oraz stopień wdrożenia cyfrowej komunikacji.

Firma Mckinsey & Company [86] proponuje swój model oceny bazujący na pięciu wymiarach cyfrowej zdolności przedsiębiorstwa. Są to: 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 oznacza doskonałe zdolności cyfrowe.

Firma konsultingowa Deloitte proponuje swój model oceny dojrzałości [87]. Jego ideą jest możliwość oceny pięciu obszarów dojrzałości cyfrowej: strategię cyfrową przedsiębiorstwa, kulturę i talent cyfrowy, zdolności wykonawcze, działalność cyfrową oraz technologię procesów produkcyjnych. Każdy z obszarów jest oceniany na podstawie skali od 1 do 5. Oceny są przyznawane 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 [88]. Proponowany model pozwala na poznanie mocnych i słabych stron przedsiębiorstwa oraz zwiększenie świadomości dotyczącej czynników wpływających na cyfryzację przedsiębiorstwa. W tym przypadku ocenianych jest aż 9 obszarów tematycznych związanych ze strategią cyfryzacji, kompetencjami cyfrowymi kadry, innowacyjnością procesów produkcyjnych, cyfrowych produktów, narzędzi, danych, infrastruktury ICT, cyberbezpieczeństwa i komunikacji z klientem.

5.3. Narzędzia Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości

Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości powstała na mocy ustawy z dnia 17 stycznia 2019 r. z późniejszymi zmianami (Dz. U, 2019, poz. 229 [89]; Dz. U. 2022, poz. 807 [90]). Celem statutowym Fundacji 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”.

Do najważniejszych aktualnie działań Platformy należą:

- uświadamianie – opracowanie systemowego Słownika pojęć Przemysłu Przyszłości – dostępny pod adresem: <https://elearning.przemyslprzyszlosci.gov.pl/slownik-przemyslu-przyszlosci/>,
- wspieranie podnoszenia poziomu technicznego, technologicznego i organizacyjnego przedsiębiorców – w sekcji Eksperti zamieszczono informacje o możliwych formach wsparcia ze strony Platformy: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/eksperti/>,
- prowadzenie działalności informacyjnej i szkoleniowej dla przedsiębiorców w zakresie cyfryzacji przemysłu – Platforma prowadzi Szkołę Lidera, stacjonarny, kompleksowy kurs szkoleniowy skierowany 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 o pozyskiwanie, gromadzenie, przesyłanie i analizę danych – ten cel, dość trudny w realizacji, wypełniany jest przez Platformę w ramach organizowanego konkursu Fabryka Przyszłości: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/fabryka-przyszlosci/>.

Wszystkie wspomniane inicjatywy potrzebują wsparcia cyfrowych narzędzi, których pakiet został opracowany przez zespoły robocze w ramach prac ekspertów Fundacji. Z perspektywy niniejszego opracowania kluczowym jest darmowe narzędzie samooceny, dzięki któremu zgodnie z promowanym przez Fundację podejściem/modeliem każda firma z branży produkcyjnej może dokonać oceny poziomu gotowości do wdrażania założeń transformacji w kierunku Przemysłu Przyszłości. Narzędzie dostępne jest pod adresem internetowym <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/skaner-adma-opis/>.

5.3.1. Skaner ADMA

Skaner ADMA to oprogramowanie służące do analizy poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa produkcyjnego, tworzenia efektywnych planów jego transformacji oraz motywowania do ciągłego doskonalenia w kierunku Fabryk Przyszłości zgodnie z metodologią

ADMA (ang. ADvanced MANufacturing) [91]. Celem realizacji skanu ADMA jest zaznajomienie pracowników firmy z wyzwaniami związanymi z procesem transformacji przedsiębiorstwa w kierunku Fabryki Przyszłości. Transformacja ta realizowana jest siedmiu kluczowych obszarach:

- zaawansowane technologie produkcyjne,
- fabryka cyfrowa,
- fabryka ekologiczna,
- kompleksowa inżynieria zorientowana na klienta,
- organizacja skupiona na człowieku,
- inteligentna produkcja,
- otwarta fabryka skoncentrowana na łańcuchu wartości.

Zgodnie z założeniami metodologii ADMA poprawne przeprowadzanie oceny dojrzałości przedsiębiorstwa wymaga uwzględnienia samooceny przeprowadzonej przez co najmniej 3-5 liderów głównych obszarów organizacyjnych: dyrektora zakładu, szefa produkcji, utrzymania ruchu, działu IT, zaopatrzenia, sprzedaży oraz działu HR.

Szczególnie ważnym obszarem transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa jest obszar związany z wprowadzeniem w fabryce nowoczesnych urządzeń produkcyjnych (transformacja technologiczna). W sytuacji dynamicznie zmieniających się warunków rynkowych oraz przy szybkim rozwoju nowych technologii wytwarzania (druk 3D, zrobotyzowane systemy produkcyjne, sterowanie procesem produkcyjnym z wykorzystaniem sztucznej inteligencji) przedsiębiorstwa produkcyjne nie mogą działać w oparciu o przestarzałe i mało wydajne maszyny. W celu uzyskania przewagi konkurencyjnej konieczne jest wdrożenie nowoczesnych środków produkcji oraz opracowanie specjalnych urządzeń wykorzystywanych w kluczowych etapach produkcji.

W ramach drugiego obszaru transformacji badany jest poziom zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa (fabryka cyfrowa). Ocenianym elementem jest stopień wdrożenia w przedsiębiorstwie technologii cyfrowych. Istotnym elementem jest tutaj zaangażowanie się przedsiębiorstwa w budowę cyfrowych modeli realizowanych procesów produkcyjnych. Dysponując takimi modelami możemy analizować efekty wprowadzanych zmian jeszcze przed realizacją rzeczywistych działań.

Bardzo istotnym parametrem świadczącym o stopniu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa jest zrównoważona produkcja zdolna do optymalnego wykorzystania surowców i energii (fabryka ekologiczna). Fabryka ekologiczna to taka fabryka, w której dąży się do redukcji zużycia energii oraz wykorzystuje odnawialne źródła energii. W tym celu należy zwrócić szczególną uwagę na zarządzanie zasobami produkcyjnymi w celu ograniczenia niekorzystnego oddziaływania realizowanych procesów na środowisko. Obecnie procesy przemysłowe stanowią 15% globalnego zużycia energii, oraz 35-40% globalnego zużycia materiałów [92]. Tak więc każde działanie zmierzające do zmniejszenia zużycia energii lub surowców przyczyni się do poprawy globalnych wskaźników środowiskowych. W tym kontekście szczególnie preferowanym rozwiązaniem jest zastosowanie technologii produkcyjnych opartych na wytwarzaniu przyrostowym (Additive Manufacturing), ponieważ w tym procesie wykorzystywane jest tylko tyle materiału, ile jest potrzebne do wytworzenia produktu (w typowej obróbce ubytkowej najpierw wytwarzana jest przygotówka, a następnie realizowana jest obróbka skrawaniem w celu uzyskania pożądaných kształtów). Ponadto technologia wytwarzania przyrostowego ma potencjał zmniejszenia masy materiału poprzez możliwość zaprojektowania struktury wewnętrznej produkowanego wyrobu (np. struktury plastra miodu).

Zintegrowana produkcja zorientowana na klienta jest czwartym obszarem transformacji, który jest oceniany za pomocą metody ADMA. Celem jest wdrożenie do koncepcji fabryki przyszłości, w której na bieżąco analizowane są oczekiwania klientów i na tej podstawie tworzone są nowe produkty i usługi. 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 przedsiębiorstwa produkcyjnego jest wdrożenie elementów inteligentnej produkcji. Inteligentna produkcja oznacza efektywne wspomaganie procesów produkcyjnych komputerowymi systemami wyposażonymi w algorytmy sztucznej inteligencji (uczenie maszynowe, sztuczne sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne, logika rozmyta). Sztuczna inteligencja jest już dzisiaj uważana za technologię konieczną do zarządzania złożonymi procesami produkcyjnymi. W pracy [93] zaprezentowano wyniki ankiety z udziałem 676 firm

produkcyjnych z 16 uprzemysłowionych krajów. Przedstawione wyniki potwierdzają pozytywny wpływ stosowania sztucznej inteligencji na jakość decyzji podejmowanych w zakresie offshoringu i backshoringu.

Kolejnym elementem oceny poziomu zawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa jest stopień zaangażowania pracowników w rozwój firmy (organizacja skupiona na człowieku). Celem w tym przypadku jest stworzenie pracownikom możliwości do rozwoju swoich kompetencji i umiejętności. Pracownicy powinni być stale motywowani i wspierani przez organizację i kadre zarządzającą poprzez oferowanie szkoleń, coaching i mentoring (w zakresie planowej ścieżki rozwoju zawodowego, inspirowanie 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, które dzielą zarówno ryzyko, jak i kapitał. Szczególnie ceniona jest w tym przypadku współpraca i partnerstwo oraz zarządzanie rozproszoną wiedzą.

5.3.2. Weryfikator kompetencji cyfrowych

Jednym z najważniejszych aspektów, na które zwraca się obecnie uwagę w kontekście rozwoju jest konieczność przygotowania pracowników na potrzeby gospodarki cyfrowej. W celu zautomatyzowania procesu oceny stopnia zawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa został opracowany „Weryfikator kompetencji cyfrowej” [94]. Jest to aplikacja pozwalająca na ocenę stanu wiedzy użytkownika w takich obszarach jak Big Data & Science, wizualizacja i programowanie. Dodatkowo weryfikator pozwala na wyznaczenie indywidualnej ścieżki rozwoju w oparciu o zgromadzone dane. Użytkownik ma możliwość zapoznania się z opracowanymi materiałami na 2 poziomach: podstawowym i zaawansowanym. Na etapie podstawowym użytkownik zdobywa wiedzę o najważniejszych pojęciach z danego obszaru. Znajomość tych pojęć pozwoli na lepszą współpracę z ekspertami dzięki zrozumieniu elementarnych terminów języka fachowego oraz dokładnemu komunikowaniu swoich potrzeb i pomysłów. Na etapie zaawansowanym pracownik pogłębia swoją wiedzę, tak, by móc brać udział w działaniach związanych

z przygotowaniem projektów z zakresu cyfryzacji produkcji. Po ukończeniu kursu i pozytywnym zdaniu testu uzyskuje się odpowiedni certyfikat. Chociaż aplikacja została opracowana specjalnie na potrzeby pracowników biur koordynatorów klastrów, to może z niej skorzystać każda osoba zainteresowana zdobywaniem nowych kompetencji cyfrowych i wiedzy na temat technologii cyfrowych. Na potrzeby realizacji polityk publicznych termin „kompetencje cyfrowe” zdefiniowany został jako kompozycja 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 [94]. Na rys. 5.1 przedstawiono ekran Weryfikatora kompetencji cyfrowej w trakcie prowadzenia testu kompetencji programistycznych.



Rys. 5.1. Ekran Weryfikatora kompetencji cyfrowej – test kompetencji programistycznych.

Proces zdobywania wiedzy został zaprojektowany jako czteroetapowy. W pierwszym etapie użytkownik zaznajamia się podstawowymi pojęciami, w drugim etapie następuje uporządkowanie dotyczące zdobytych informacji, wiedzy i umiejętności. W trzecim etapie pojawiają się bardziej skomplikowane koncepcje i definicje, a w czwartym etapie zaplanowano możliwość praktycznego, samodzielnego użycia zdobytej wiedzy i umiejętności [94].

5.4. Podejście DMA dla sieci Europejskich HUBów Innowacji Cyfrowych

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

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 Hubów Innowacji Cyfrowych (EDIH) [95]:

- 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 capacity building and deployment in the EDIH network to enhance digital transformation in the Silesia and Opolskie Voivodships in Poland),
- WRO4digITal (WRO4digITal European Digital Innovation Hub Wroclaw),
- 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). Podsumowanie liczby konsorcjów zapewniających wsparcie Małych i Średnich Przedsiębiorstw oraz Organizacji Sektora Publicznego w Europie przedstawia zestawienie tabelaryczne (tab. 5.1).

Tabela 5.1. Konsorcja zapewniające wsparcie Małych i Średnich Przedsiębiorstw oraz Organizacjom Sektora Publicznego w Europie.

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
Finland	4	0
Portugalia	3	13
Litwa	3	0
Irlandia	2	2
Słowenia	2	1
Łotwa	2	0
Norwegia	2	0
Liechtenstein	1	1
Estonia	1	0
Luxembourg	1	0
Islandia	1	0
Cypr	1	0
Malta	1	0
SUMA	151	77

Narzędziem oceny dojrzałości cyfrowej (Digital Maturity) wymagany do zastosowania podczas świadczenia wsparcia beneficjentom Programu jest tzw. Digital Maturity Assessment (DMA) tool [96]. Narzędzie to zapewnia ustrukturyzowaną ścieżkę do cyfrowej transformacji i dojrzałości. Narzędzie wykorzystuje następujące wymiary oceny:

- Ogólny poziom dojrzałości cyfrowej,
- Cyfrowa strategia biznesowa,
- Gotowość cyfrowa,
- Cyfryzacja zorientowana na człowieka,
- Zarządzanie danymi,
- Automatyzacja i sztuczna inteligencja,
- Zielona cyfryzacja.

Każdy beneficjent programu “Cyfrowa Europa” co najmniej trzykrotnie dokona analizy dojrzałości zgodnie z przyjętym wzorcem: w chwili T0 (w chwili rozpoczęcia wsparcia, jednakże nie później aniżeli 6 miesięcy po rozpoczęciu wsparcia ze strony EDIH), w chwilach T1 (rok po T0) oraz T2 (2 lata po T0) [97].

5.4.1. DMA Tool dla MŚP

Dla MŚP opracowano narzędzie wstępnej analizy dojrzałości cyfrowej. Opis formularza oceny dostępny jest pod adresem: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/guidance-documents/dma-tool-smes-guidance-material>.

Model danych narzędzia analizy dojrzałości cyfrowej MŚP składa się z dwóch kluczowych komponentów: Modułu 1 – Dane klienta oraz Modułu 2 – Dojrzałość cyfrowa [98].

Pytania zawarte Module 2 mają na celu ustalenie poziomu dojrzałości cyfrowej przedsiębiorstwa. Podane informacje pomogą w określeniu punktu wyjścia procesu transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa i wskazaniu obszarów, w których przedsiębiorstwo może potrzebować wsparcia ze strony EDIH. Pomogą również określić usługi, które centrum EDIH miałyby świadczyć na rzecz przedsiębiorstwa, a także doprecyzować politykę UE i instrumenty finansowe wspierające EDIH. Ocena obejmuje wskazane poniżej wymiary:

- Strategia biznesowa w zakresie cyfryzacji,
- Gotowość cyfrowa,
- Cyfryzacja zorientowana na człowieka,
- Zarządzanie danymi i łączność,
- Automatyzacja i sztuczna inteligencja,
- Zielona cyfryzacja.

5.4.2. DMA dla jednostek sektora publicznego

Model danych narzędzia analizy dojrzałości cyfrowej organizacji sektora publicznego składa się, analogicznie do modelu dla MŚP, z dwóch kluczowych komponentów: Modułu 1 – Dane klienta oraz Modułu 2 – Dojrzałość cyfrowa [99].

Pytania zawarte Module 2 mają na celu ustalenie poziomu dojrzałości cyfrowej organizacji objętej wsparciem. Podane informacje pomogą w określeniu punktu wyjścia procesu transformacji cyfrowej organizacji i wskazaniu obszarów, w których organizacja może potrzebować wsparcia ze strony EDIH. Pomogą również określić usługi, które centrum EDIH

miałoby świadczyć, a także politykę UE i instrumenty finansowe wspierające EDIH. Ocena obejmie następujące wymiary:

- Strategia cyfrowa i inwestycje cyfrowe,
- Gotowość cyfrowa,
- Cyfryzacja zorientowana na człowieka,
- Zarządzanie danymi i bezpieczeństwo danych,
- Interoperacyjność,
- Zielona cyfryzacja.

5.5. Podsumowanie rozdziału

Standaryzacja podejścia do oceny poziomu wdrożenia założeń Przemysłu 4.0 jest niezwykle ważnym aspektem wsparcia transformacji MŚP. Standardization Council Industrie 4.0 co roku publikuje raporty na stronie internetowej <https://www.sci40.com/english/german-standardisation-roadmap/> (ostatni to 2023: German Standardization Roadmap Industrie 4.0 ED5), w których słowo „standard” czy „referencyjny model architektury” odmieniane są przez wiele przypadków [100]. W raporcie zdefiniowano podstawy standardu oceny ekosystemu cyfrowego w przedsiębiorstwie. Definiowane są cztery aspekty: semantyka jako podstawa interpretacyjnych systemów cyfrowych przedsiębiorstwa, „przestrzeń danych przemysłowych” tworząca dodatkową wartość, projektowanie przyjaznych człowiekowi stanowisk pracy (odpowiedni sprzęt roboczy, odpowiednie środowisko pracy) oraz „zrównoważony rozwój i aspekty ekologiczne przemysłu 4.0” obejmujący monitorowanie i redukcję emisji z instalacji przemysłowych, a także ochronę środowiska w odniesieniu do produktów i ich wpływu na to środowisko [100].

Dzięki standaryzacji, a tym samym metodycznemu podejściu do oceny poziomu wdrożenia Przemysłu 4.0, jesteśmy pewni, że wszystkie strony procesu transformacji mówią jednym językiem – językiem Przemysłu Przyszłości.

W niniejszym opracowaniu wskazano dwa najważniejsze, teraz i na najbliższe lata, narzędzia wsparcia wdrażania założeń Przemysłu 4.0 w MŚP oraz organizacjach sektora publicznego: z jednej strony pakiet narzędzi powołanej na mocy Ustawy w 2019 roku Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości, z drugiej zaś całkowicie nowe na europejskim rynku narzędzia wsparcia jakim są Europejskie HUBy Innowacji Cyfrowych (EDIH). Skaner ADMA pozwala na wszechstronną analizę poziomu zaawansowania cyfrowego przedsiębiorstwa oraz

tworzenie efektywnych planów jego transformacji w zakresie wdrożenia zaawansowanych technologii produkcyjnych, technologii cyfrowych, rozwiązań proekologicznych, rozwiązań zorientowanych na zaspokojenie potrzeb klientów oraz efektywnego wspomaganie procesów produkcyjnych algorytmami sztucznej inteligencji. Narzędzie Oceny Dojrzałości Cyfrowej (DMA) zostało opracowane w celu pomocy EDIH (Europejskim Hubom Innowacji Cyfrowych) w ocenie poziomu digitalizacji zarówno przedsiębiorstwa jak i organizacji sektora publicznego. Narzędzie wspomaga przejście ustrukturyzowanej ścieżki transformacji cyfrowej i osiągnięcie założonej dojrzałości cyfrowej. Ocena jest przeprowadzana w kilku wymiarach, które obejmują: ogólny poziom dojrzałości cyfrowej, cyfrową strategię biznesową, gotowość cyfrową, zorientowanie na człowieka, zarządzanie danymi, automatyzację i wdrożenie sztucznej inteligencji oraz cyfryzację ekologiczną.

6. METODYKA BADAŃ

Rozwój technologii oraz łatwa dostępność różnorodnych elektronicznych kanałów komunikacyjnych sprawiły, że badania ankietowe są nadal jedną z częściej wykorzystywanych metod pozyskiwania informacji. Wobec tego, celem znalezienia odpowiedzi na pytanie, na jakim etapie przemysłowej rewolucji są polskie przedsiębiorstwa sektora motoryzacyjnego, przygotowano narzędzie badawcze w postaci kwestionariusza ankiety. Przygotowany kwestionariusz składa się z części zasadniczej zawierającej 33 pytania oraz części dookreślającej profil respondenta i przedsiębiorstwa, z którego się wywodzi lub na rzecz, którego działa.

W przedłożonej części raportu wskazano na mnogość czynników związanych z prowadzoną oceną. Dokonano opisu i klasyfikacji pytań według przyjętych w badaniu kryteriów. Skoncentrowano się na poszczególnych obszarach badań podkreślając ich wpływ na końcowy wynik badania.

Informacje definiujące przedsiębiorstwo i respondenta gromadzono na podstawie 13 charakterystyk. Z punktu widzenia prowadzonych rozważań, dyskusji i rekomendacji wyartykułowanych na podstawie zaawansowanych badań (analiz) statystycznych, istotne były informacje dotyczące struktury właścicielskiej firmy i formy prawnej prowadzonej działalności gospodarczej. Segmentacji przedsiębiorstw dokonano także w oparciu o wielkość zatrudnienia, staż (okres) funkcjonowania przedsiębiorstwa na rynku czy przychody ze sprzedaży produktów (określono w mln złotych biorąc pod uwagę przychody za rok 2022). Kluczowe z tego punktu widzenia było także dookreślenie charakteru produkcji, zdefiniowanie portfela produktowego przedsiębiorstw, zdefiniowanie grupy produktów, w której specjalizuje się przedsiębiorstwo (kategoria dostawcy) oraz wskazanie na zasięg oddziaływania (rozpiętość rynku). Segmentację respondentów i filtrowanie zgromadzonych informacji przeprowadzono w oparciu o zajmowane stanowisko, wiek oraz staż pracy ankietowanego w sektorze motoryzacyjnym.

Rozwój każdego przedsiębiorstwa jest określany osiąganiem coraz wyższych wskaźników efektywności. Są one determinowane przede wszystkim poprzez jakość, wydajność oraz skuteczność wykorzystywanych zasobów. Dlatego jesteśmy świadkami kolejnej, czwartej rewolucji przemysłowej, znanej jako Przemysł 4.0. „Czym jest Przemysł 4.0?” oraz „czy pracownicy zatrudnieni w przedsiębiorstwie mieli okazję zapoznania się z tym pojęciem?” to

pierwsze z pytań sklasyfikowanych w ramach ankiety. Jakkolwiek definicja Przemysłu 4.0 nie została jednoznacznie dookreślona, to jednak koncepcja ta opiera się na szeregu działań dążących do pełnej integracji przy pomocy Internetu, ludzi, maszyn, procesów i usług w taki sposób, aby móc generować, przetwarzać i wykorzystywać informacje w celu zwiększenia efektywności przedsiębiorstw. W kontekście powyższego w dalszej części ankiety respondentów postanowiono zapytać o poziom wiedzy na temat Przemysłu 4.0 (samoocena). Rewolucja przemysłowa 4.0 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 podwyższeniem wymagań wobec pracowników. W związku z powyższym – w ramach realizowanych badań – zwrócono uwagę na atrybuty pracowników zatrudnionych w firmie, co wyartykułowano w kolejnym pytaniu.

Ważnym wyzwaniem przedsiębiorstw sektora motoryzacyjnego jest stworzenie klimatu innowacyjności. Zagadnienie to powinno znaleźć się w sformułowanych przez nie strategiach rozwoju, w tym innowacyjności poszczególnych zasobów technologiczno-organizacyjnych, jak i samych pracowników uwzględniających ich wcześniejsze osiągnięcia, unikalny potencjał rozwojowy oraz istniejące i możliwe przewagi kompetencyjne. Potencjał przedsiębiorstw w zakresie trwałego i zrównoważonego rozwoju, wynikającego z wdrożenia innowacji, jest zatem przedmiotem kolejnego pytania.

W obecnych warunkach funkcjonowania przedsiębiorstw, cyfryzacja przedsiębiorstw stała się nieodłączną częścią ich strategii rozwoju. Przedsiębiorstwa, które doskonale wykorzystują narzędzia cyfrowe, mają przewagę konkurencyjną, zwiększoną efektywność operacyjną i są w stanie dostosować się do dynamicznie zmieniającego się otoczenia biznesowego. O procesach cyfrowej transformacji w polskich przedsiębiorstwach sektora motoryzacyjnego, w tym o poziom zaawansowania cyfrowego, na którym się obecnie lokują, zapytano w kolejnym fragmencie ankiety. Ponadto zwrócono uwagę na narzędzia podnoszące poziom cyfryzacji, które pozwalają na efektywniejsze zarządzanie procesami biznesowymi, zwiększenie produktywności oraz poprawę jakości usług, bowiem nadal wiele firm boryka się z brakiem wiedzy i strategii w skutecznym jej wdrożeniu.

Kolejny dezyderat definiujący etap rozwoju koncepcji Przemysłu 4.0 jest postrzegany jako, realizowany w wysokim stopniu, pewien zbiór cech. Zostały one wyartykułowane w modelu oceny, ponieważ one właśnie mają znaczenie dla idei Przemysłu 4.0. Cechy te potraktowano

jako kryteria oceny (deskrypty). W kontekście oceny poziomu rozwoju w zakresie technologii 4.0 wyróżniono 24 charakterystyki. Oceny dokonano przy zastosowaniu 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 przez firmy rozwiązań techniczno-biznesowych bazujących na technologiach internetowych. W kolejnym pytaniu zwrócono zatem uwagę na zdolność i poziom wykorzystywania przez przedsiębiorstwa rozproszonych czujników, urządzeń oraz innych elementów sieci czy oprogramowania do przetwarzania i analizy danych w czasie rzeczywistym. Z punktu widzenia etapu zaawansowania technologicznego kluczowe stały się ustalenia czy przedsiębiorstwa sektora motoryzacyjnego wykorzystują oprogramowanie do przetwarzania i analizy danych w czasie rzeczywistym oraz określenie dostępności bieżących informacji produkcyjnych na poziomie zarządczym. Zwrócono także uwagę na możliwość 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 i komunikacyjne, co stało się przedmiotem kolejnego pytania.

Z punktu widzenia oceny całościowej ważne było ustalenie, czy przedsiębiorstwo dokonuje integracji systemów produkcyjnych z warstwą IT i biznesową oraz czy wdraża środki bezpieczeństwa w celu minimalizacji zagrożeń cybernetycznych zewnętrznych oraz wewnątrz organizacji. Zwrócono zatem uwagę na posiadanie przez przedsiębiorstwa strategii obejmującej metodykę projektowania systemów przemysłowych oraz wykorzystywanie technologii umożliwiających uczenie się maszyn.

Konsekwencją rozwoju idei sztucznej inteligencji i metod jej praktycznego wdrażania jest uczenie się. Dotyczy to rozwoju 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, stąd zakreśliły przedmiot kolejnego pytania. W kolejnej odsłonie zwrócono uwagę na etap zaawansowania przedsiębiorstw w zakresie struktury obliczeniowej umożliwiającej zdalne przechowywanie i przetwarzanie danych.

Zapytano o możliwość skalowania systemów i obawy związane z bezpieczeństwem danych i cyberprzestępczością.

Współczesne wytwarzanie to działania oparte o modelowanie wiedzy, danych i rozwijanie algorytmów oraz dużych mocy obliczeniowych, co w obecnym stanie techniki pozwala na uzyskanie względnie zautomatyzowanego systemu produkcji. Analitykę danych uznaje się zatem za kierunek priorytetowy i inwestuje się w nią znaczne środki. Definiując model oceny zwrócono zatem uwagę na możliwości analizy dużych i różnorodnych zbiorów danych z wykorzystaniem zaawansowanej analityki oraz algorytmów sztucznej inteligencji. Zapytano o możliwość wykorzystania narzędzi do optymalizacji procesów, wykrywania nieprawidłowości i interpretacji danych produkcyjnych. Jakkolwiek budowa takich systemów jest złożona i wymaga specjalistycznej wiedzy, na którą popyt znacznie przewyższa podaż, to kolejne pytanie dotyczyło tego zagadnienia i poziomu realizacji w kontekście przedsiębiorstw sektora motoryzacyjnego.

Kolejny predykat oceny dotyczył poziomu wsparcia inżynierów i techników podczas realizacji prac projektowych oraz serwisowych. Obejmował zakres wykorzystania gogli lub innych urządzeń wirtualnej oraz rozszerzonej rzeczywistości. Kolejno zwrócono uwagę na wirtualne szkolenia obniżające koszty wdrażania nowych pracowników i możliwość ich inicjowania.

Następny etap badań dotyczył oceny zautomatyzowania wysokopowtarzalnych i manualnych procesów redukujących do minimum ryzyko błędów ludzkich i umożliwiających wykorzystanie zasobów pracownika poprzez zastosowanie robotów mogących współpracować z ludźmi. Zwrócono także uwagę na autonomiczne pojazdy do zastosowań w intralogistyce zakładowej i możliwość zastąpienia tradycyjnych transporterów. Jako, że redukcja czasów przebrojeń wpływa znacząco na cały proces produkcyjny poprawiając jego efektywność, produktywność, eliminację zbędnych zapasów – w 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 przebrojeń maszyn i urządzeń. W ramach kolejnego etapu zwrócono uwagę na przechowywanie danych, które stało się bardzo ważnym aspektem działalności każdego przedsiębiorstwa.

Wdrożenie funkcjonalnego i dostosowanego do potrzeb organizacji systemu 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 systemem produkcji 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 komunikują się bezpośrednio z maszynami produkcyjnymi.

Istotna była tutaj odpowiedź na pytanie, czy przedsiębiorstwa wykorzystują urządzenia przenośne zapewniające możliwości dostępu do informacji produkcyjnych oraz sterowania maszynami i systemami?

Przedsiębiorstwa sektora motoryzacyjnego potrzebują nowoczesnych rozwiązań, które pozwolą odpowiedzieć na rosnące wymagania klientów. Coraz więcej klientów oczekuje produktów, które będą indywidualnie spersonalizowane oraz będzie je można nabyć po atrakcyjnych cenach, które są porównywalne z cenami produktów standardowych. Wyzwaniem, przed jakim stają producenci sektora motoryzacyjnego, jest zaoferowanie produktów dostosowanych do indywidualnych potrzeb klientów, przy relatywnie niskich kosztach produkcji. Odpowiedzią na to wyzwanie może być zastosowanie technologii szybkiego prototypowania elementów i wytwarzania części o nietypowych kształtach oraz funkcjach, co odzwierciedlono w kolejnym pytaniu zawartym w kwestionariuszu oceny. W związku z powyższym kluczowa jest zdolność przedsiębiorstw do wytwarzania nisko i średniowolumenowych części i podzespołów z tworzyw sztucznych, żywic i metali, co wynika z faktu dysponowania oprogramowaniem umożliwiającym tworzenie wirtualnych reprezentacji fizycznych systemów oraz ich symulowanie, o co także zapytano badane przedsiębiorstwa.

W tej rundzie pytań szczegółowych zapytano także, w jakim stopniu przedsiębiorstwa stwarzają możliwość zawierania tzw. „smart contracts” pomiędzy podmiotami bez istnienia gwaranta w postaci firmy trzeciej lub instytucji. Poruszono kwestię technologii rozproszonych rejestrów przechowujących informacje o transakcjach. Zwrócono uwagę na fakt, czy przedsiębiorstwo zarządza rozproszonymi aktywami, flotą pojazdów oraz zdalnymi zespołami pracowników i dokonuje określania położenia geograficznego z wykorzystaniem typowo GPS lub adresu IP.

Unikatowe tożsamości cyfrowe, które umożliwiają pełną identyfikację i lokalizację danego obiektu, zapewniają czujniki RFID. Jako że przyjęto, iż odpowiednio wdrożone rozwiązania RFID to warunek w zakresie wydajności operacyjnej w sektorze motoryzacyjnym, zapytano respondentów o obszar ich wykorzystania w przedsiębiorstwie.

Kluczową technologią z zakresu Przemysłu 4.0 jest automatyzacja produkcji. Z założenia automatyzacja w logistyce czy w produkcji jest wskazana w przypadku powtarzalności produktu. Polskie przedsiębiorstwa sektora motoryzacyjnego w większości realizują produkcję masową. Fakt ten determinuje konieczność stosowania przez wytwórców rozwiązań zgodnych z ideą Przemysłu 4.0, stąd czynnik ten uwzględniono dokonując oceny etapu ich zaawansowania technologicznego w kontekście realizowanych badań całościowych.

Szybsze i bardziej efektywne wykorzystywanie danych firmy oraz sprawniejszy ich obieg wymaga skorzystania z oprogramowania opartego na chmurze. Chmurowe systemy ERP pomagają poprawić komunikację i zwiększyć wydajność organizacji bez dodatkowych zasobów i wydatków potrzebnych do spełnienia wysokich wymagań wdrożeniowych, stąd ich posiadanie uznano za krytyczny czynnik w kontekście oceny. Powyższe uwypuklono w kolejnych pytaniach dotyczących tego obszaru.

Dla utrzymania opłacalności realizowanego zlecenia niezwykle istotne jest optymalne planowanie zasobów. W motoryzacji szczególnie widoczne jest to w przypadku wytwarzania części i podzespołów złożonych i występujących w wielu różnych wariantach lub realizowanych na indywidualne zlecenie. W optymalnym zarządzaniu zapasami, zapobiegającym dodatkowym kosztom i zapewniającym rentowność produkcji, pomagają systemy Enterprise Resources Planning do kompleksowego zarządzania przedsiębiorstwem, o które zapytano w kolejnej rundzie pytań. Jako że kryjące się w skrócie ERP „planowanie zasobów” obejmuje kontrolę i zarządzanie najważniejszymi zasobami i procesami w niemal każdym obszarze biznesowym przedsiębiorstw (sprzedaż, finanse, księgowość, magazyn, kadry, zaopatrzenie, produkcja itd.), to respondentów zapytano o zaimplementowane i wykorzystywane w przedsiębiorstwie moduły.

W kolejnym kroku zapytano o poziom wykorzystania 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, czyli systemy Manufacturing Execution System. Poproszono o dookreślenie obszaru, w ramach którego pozyskane dane z procesu produkcyjnego pozwalają

na analizę kluczowych wskaźników efektywności produkcji i uzyskanie prawdziwego obrazu wykorzystania zdolności produkcyjnych.

W dalszej części kwestionariusza zapytano o zdolność do tworzenia modeli procesów i systemów operacyjnych oraz symulowania ich zachowania w warunkach quasi-rzeczywistych. Jako, że takie rozwiązania umożliwiają analizę wyników ekonomicznych (np. kosztów, rentowności, płynności finansowej i zapotrzebowania na kapitał obrotowy) oraz operacyjnych (np. produktywności, sprawności, niezawodności, poziomu wykorzystania zasobów), zanim zostaną podjęte decyzje, powyższy obszar uwzględniono definiując poszczególne mikrofundamenty oceny.

W dobie Przemysłu 4.0 zwraca się uwagę na konieczność wdrożenia przez firmy narzędzi informatycznych umożliwiających zintegrowane projektowanie wyrobu czy dynamiczne zarządzanie ścieżką postępu w produkcji z zamówieniem klienta.

Celem rozważań podjętych w niniejszym raporcie jest uzyskanie informacji dotyczących etapu wdrażania idei Przemysłu 4.0 wśród polskich producentów sektora motoryzacyjnego. W kontekście oceny pracy zdefiniowano aksjomat Przemysł 4.0, co w dalszej kolejności pozwoliło nominować obszary z jednej strony istotne z punktu widzenia Przemysłu 4.0, z drugiej zaś stanowiące o dojrzałości firm motoryzacyjnych w domenie przyjętych dezyderatów.

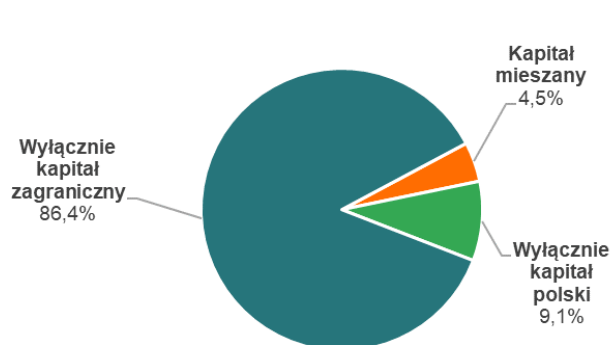
Zebrany za pomocą kwestionariusza ankiety materiał umożliwił zweryfikowanie poziomu realizacji poszczególnych determinant oraz sformułowanie wniosków i rekomendacji o charakterze ogólnym i poznawczym.

7. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

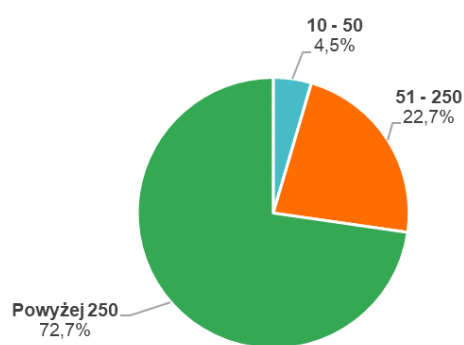
W rozdziale zostały przedstawione wyniki badań dotyczące oceny poziomu wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach sektora motoryzacyjnego. Jak wspomniano w rozdziale 6., do pozyskania danych od przedsiębiorstw zastosowano metodę ankietyzacji. W badaniu wzięły udział dwadzieścia dwa przedsiębiorstwa z branży motoryzacyjnej. Ankieta była skierowana do firm, które są producentami samochodów osobowych, ciężarowych oraz autobusów jak również produkują komponenty i elementy wyposażenia pojazdów. Część ankiet została wypełniona on-line, a część w wersji papierowej. Każdy z respondentów został poinformowany o celu ankiety i możliwych formach jej wypełnienia (on-line, w wersji papierowej). Wypełnienie ankiety przez respondentów, w większości przypadków, odbywało się w obecności osoby nadzorującej lub po uprzednim jej omówieniu i wyjaśnieniu ewentualnych wątpliwości. Ankiety były kierowane do konkretnych respondentów, którzy zostali wybrani ze względu na znaczenie dla prowadzonego badania.

Jak już wspomniano, ankieta została podzielona na dwie części. Pierwsza część dotyczyła badania ogólnego, tj. zebrania informacji związanych z działalnością przedsiębiorstw i osób wypełniających ankietę (reprezentantów). W drugiej części gromadzono dane dotyczące badania właściwego, związanego z Przemysłem 4.0 i jego rozwojem wśród pracowników oraz w przedsiębiorstwie.

Strukturę właścicielską ankietowanych przedsiębiorstw stanowił głównie kapitał zagraniczny (87%), a około 73% przedsiębiorstw to przedsiębiorstwa duże, zatrudniające powyżej 250 pracowników (wykres 7.1 i 7.2). Wszystkim przedsiębiorstwom, z wyjątkiem jednego, jako formę prawną działalności zadeklarowano „Spółka z o. o”.

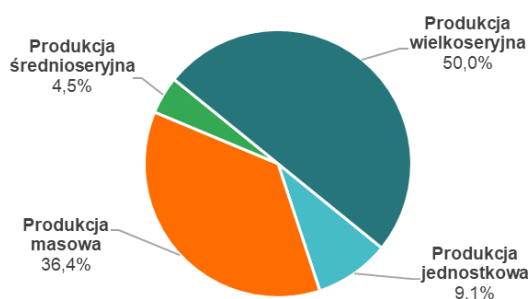


Wykres 7. 1. Struktura właścicielska firmy.

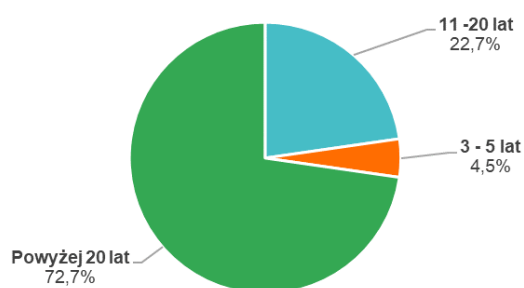


Wykres 7. 2. Wielkość zatrudnienia w przedsiębiorstwie.

Ankiety zostały wypełnione przez przedstawicieli przedsiębiorstw, którzy reprezentowali głównie zarząd przedsiębiorstwa (18%) lub wyższą bądź średnią kadry kierowniczą (77%). Ponad 80% reprezentantów było w wieku 36-54 lata. Blisko 70% przedstawicieli działa w branży automotive ponad 10 lat. Połowa ankietowanych przedsiębiorstw charakteryzuje się produkcją wielkoseryjną, a 36% produkcją masową (wykres 7.3). 73% przedsiębiorstw funkcjonuje na rynku od ponad 20 lat (wykres 7.4), a wszystkie z nich działają na rynkach zagranicznych.

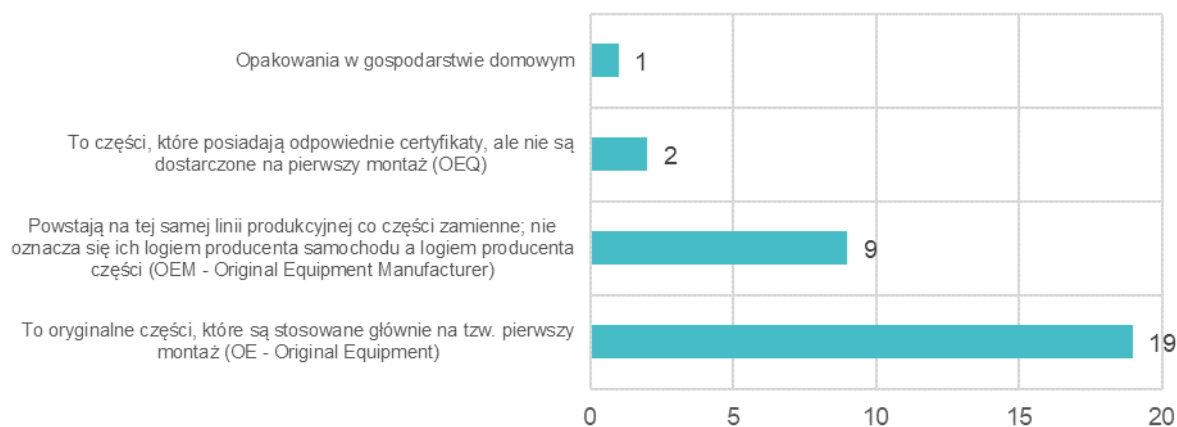


Wykres 7. 3. Charakter produkcji.

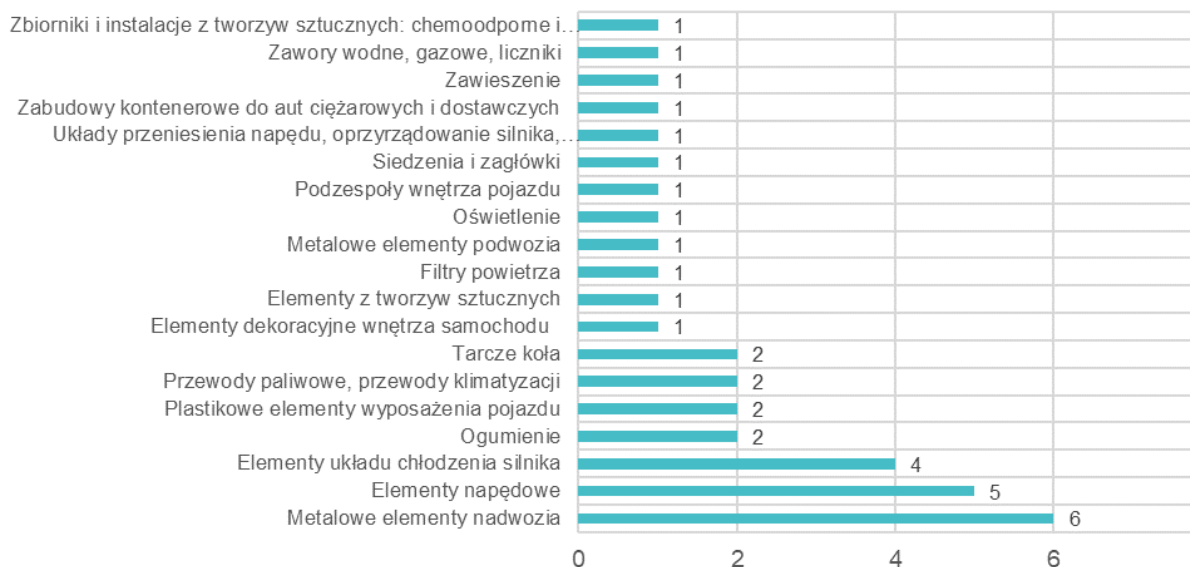


Wykres 7. 4. Okres funkcjonowania przedsiębiorstwa na rynku.

Najczęściej w przedsiębiorstwach części produkowane są na tzw. pierwszy montaż (OE – Original Equipment) (wykres 7.5), a przedsiębiorstwa specjalizują się w produkcji głównie metalowych elementów nadwozia, elementów napędowych oraz elementów układu chłodzenia silnika (wykres 7.6).

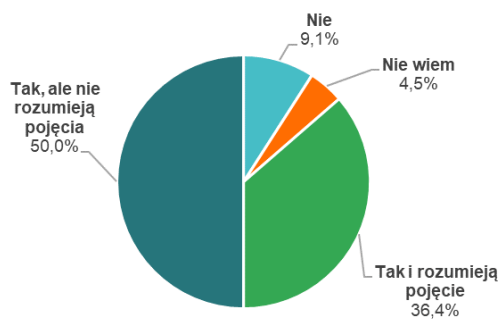


Wykres 7. 5. Produkowane wyroby przez przedsiębiorstwo.

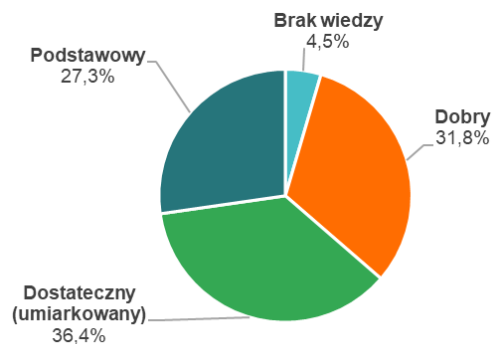


Wykres 7. 6. Grupy produktów, w których specjalizuje się przedsiębiorstwo.

W badaniu właściwym, spośród ankietowanych przedsiębiorstw blisko 36% zadeklarowało, że pracownicy znają i rozumieją pojęcie Przemysłu 4.0, a w aż połowie z nich pracownicy mieli okazję zapoznać się z pojęciem Przemysłu 4.0, ale go nie rozumieją (wykres 7.7). 68% przedsiębiorstw deklaruje, że poziom wiedzy pracowników nt. Przemysłu 4.0 jest dostateczny bądź dobry. Żadne z przedsiębiorstw nie określiło poziomu wiedzy pracowników o czwartej rewolucji przemysłowej jako „bardzo dobry” (wykres 7.8).

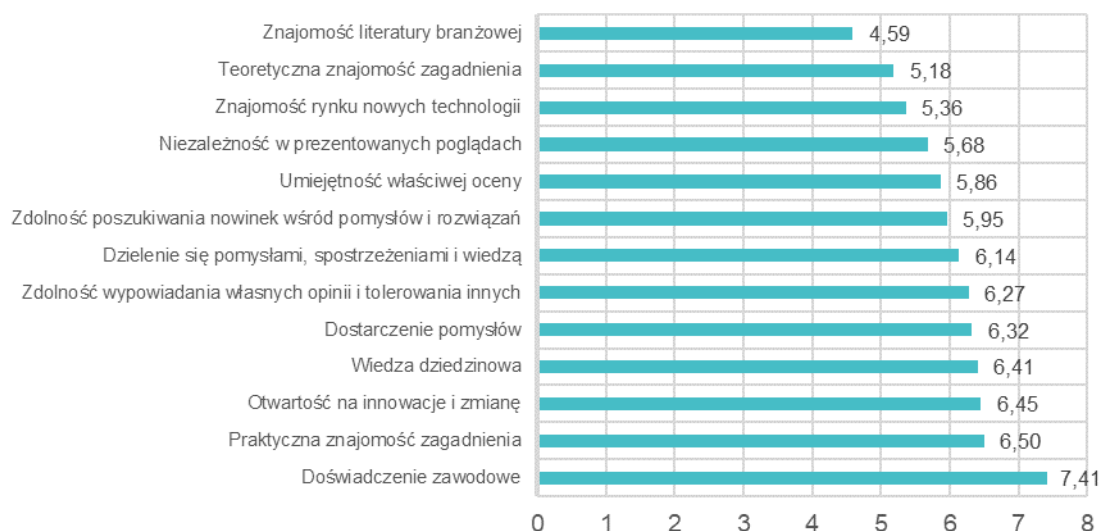


Wykres 7. 7. Czy pracownicy przedsiębiorstwa mieli okazję zapoznania się w pojęciem koncepcji Przemysłu 4.0?



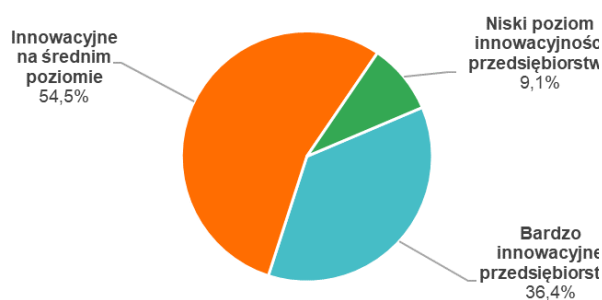
Wykres 7. 8. Jaki jest poziom wiedzy pracowników na temat Przemysłu 4.0?

Wykres 7.9 prezentuje wyniki respondentów związane z pytaniem o ocenę poszczególnych atrybutów pracowników w skali od 1 (niski poziom) do 10 (wysoki poziom). Wyniki na wykresie stanowią średnią ważoną wszystkich uzyskanych odpowiedzi. Jako czołowy atrybut wskazano doświadczenie zawodowe oraz praktyczną znajomość zagadnienia, a trzecim najlepiej ocenionym atrybutem jest otwartość na zmianę i innowację.

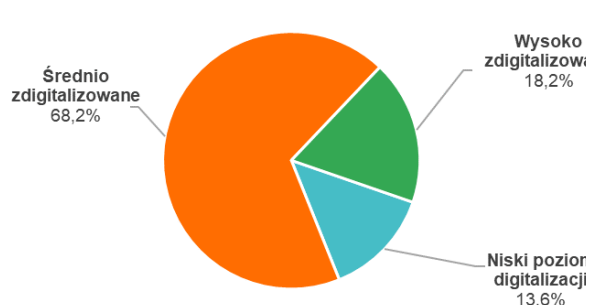


Wykres 7. 9. Ocena atrybutów pracowników w skali od 1 (niski poziom) do 10 (wysoki poziom).

36% respondentów uważa swoje przedsiębiorstwo jako bardzo innowacyjne, a 55% jako innowacyjne na średnim poziomie w porównaniu z innymi przedsiębiorstwami w sektorze (wykres 7.10). Większość przedsiębiorstw (ok. 68%) charakteryzuje się średnim stopniem zaawansowania cyfryzacji, 18% przedsiębiorstw jest wysoko, a blisko 14% nisko zdigitalizowanych (wykres 7.11).

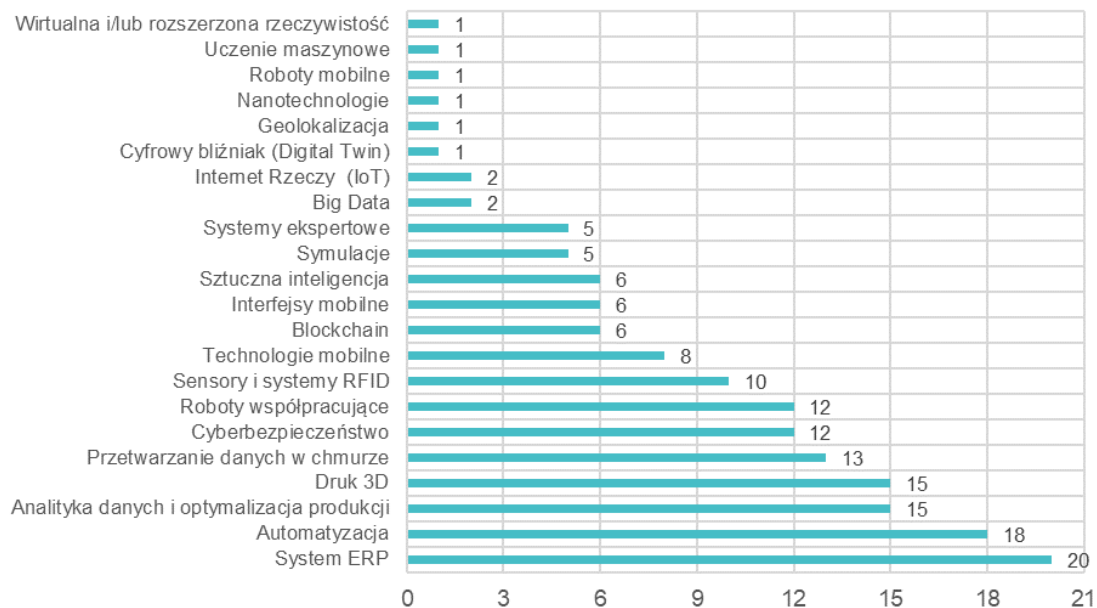


Wykres 7. 10. Jak innowacyjne jest przedsiębiorstwo w porównaniu z innymi w sektorze?



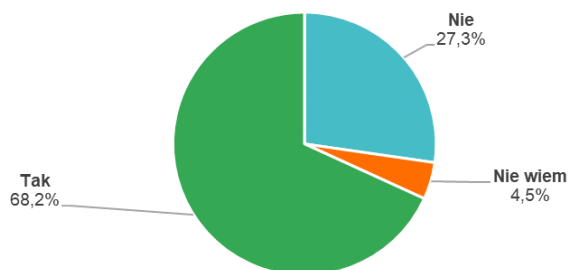
Wykres 7. 11. Stopień zaawansowania cyfryzacji przedsiębiorstwa.

Spośród wymienionych na wykresie 7.12 aspektów związanych z Przemysłem 4.0 najczęściej implementowanym elementem w przedsiębiorstwach jest system ERP (aż 20 spośród 22 ankietowanych przedsiębiorstw posiada taki system). Często wdrażana jest również automatyzacja, druk 3D oraz analityka danych i optymalizacja produkcji.



Wykres 7.12. Jakie aspekty związane z Przemysłem 4.0 zaimplementowano w przedsiębiorstwie?

68% przedsiębiorstw biorących udział w badaniu wykorzystuje czujniki RFID (wykres 7.13), które najczęściej monitorują i przekazują informację o aktualnym stanie zasobów, bądź zbierają informacje i monitorują proces produkcyjny, wychwytyjąc wadliwe wyroby (wykres 7.14).

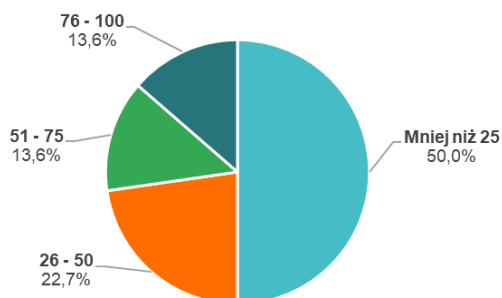


Wykres 7.13. Czy przedsiębiorstwo wykorzystuje czujniki RFID?

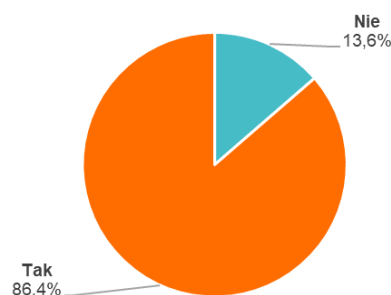


Wykres 7.14. Jaki jest obszar wykorzystywania czujników RFID?

Połowa przedsiębiorstw deklaruje, że mniej niż 25% maszyn i urządzeń jest w pełni zautomatyzowanych. 22% przedsiębiorstw określa stopień zautomatyzowania parku maszynowego na 26%-50%, a tylko blisko 27% wskazało stopień zautomatyzowania maszyn i urządzeń wyższy niż 50% (wykres 7.15). 86% ankietowanych przedsiębiorstw deklaruje, że posiada zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologię produkcji (wykres 7.16).

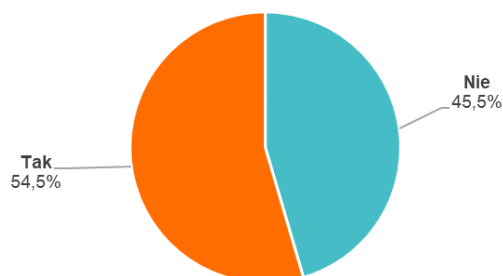


Wykres 7. 15. Jaki procent maszyn i urządzeń w przedsiębiorstwie jest w pełni zautomatyzowany?

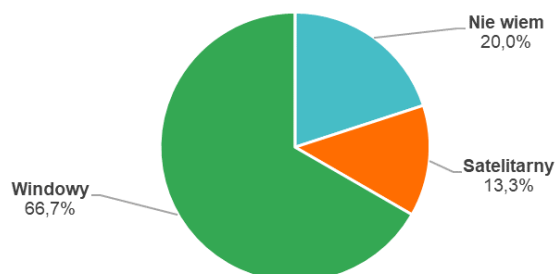


Wykres 7. 16. Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologię produkcji?

Ponad połowa ankietowanych przedsiębiorstw (ok. 54%) posiada zautomatyzowane regały magazynowe (wykres 7.17), a najczęściej stosowanym typem regałów są regały windowe (wykres 7.18).

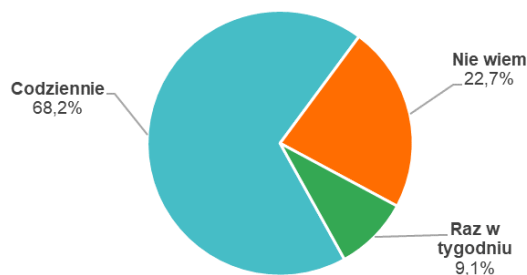


Wykres 7. 17. Czy przedsiębiorstwo ma zautomatyzowane regały magazynowe?



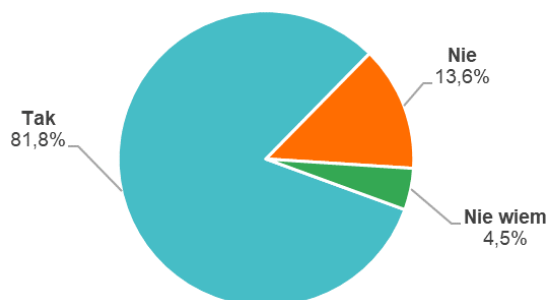
Wykres 7. 18. Jaki typ regałów zautomatyzowanych jest wykorzystywany w przedsiębiorstwie?

95% ankietowanych przedsiębiorstw ma wdrożoną politykę bezpieczeństwa przepływu informacji. Wszystkie przedsiębiorstwa archiwizują dane, z czego 68% codziennie, a 9% raz w tygodniu (wykres 7.19).

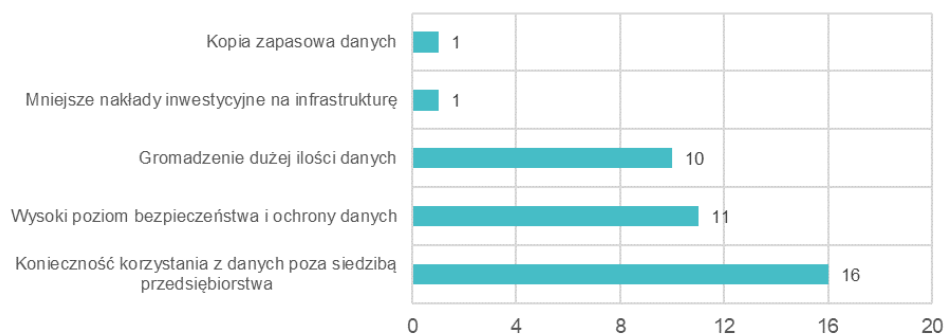


Wykres 7. 19. Jak często dane są archiwizowane?

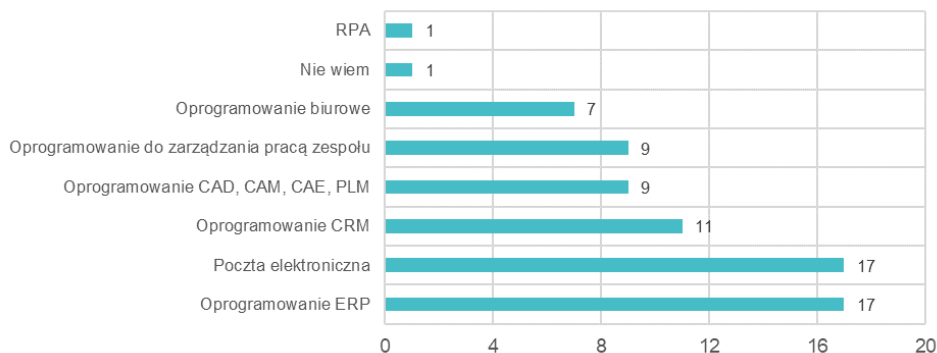
Ponad 80% przedsiębiorstw korzysta z oprogramowania opartego na chmurze (wykres 7.20), a głównym motywem stosowania takowych rozwiązań jest konieczność korzystania z danych poza siedzibą przedsiębiorstwa, wysoki poziom bezpieczeństwa i ochrony danych oraz gromadzenie dużej ich ilości (wykres 7.21). Najczęściej na chmurze oparte są oprogramowania ERP, poczta elektroniczna oraz oprogramowanie wspierające zarządzanie relacjami z klientem CRM (wykres 7.22).



Wykres 7. 20. Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania opartego na chmurze?

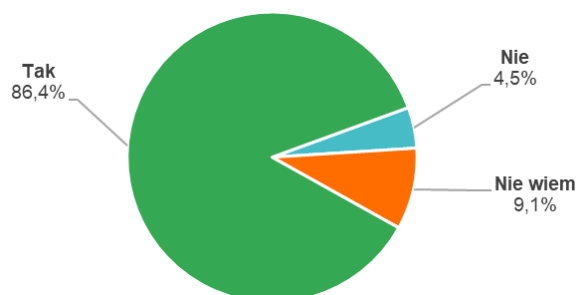


Wykres 7. 21. Jakie są główne argumenty korzystania z rozwiązań opartych na chmurze?

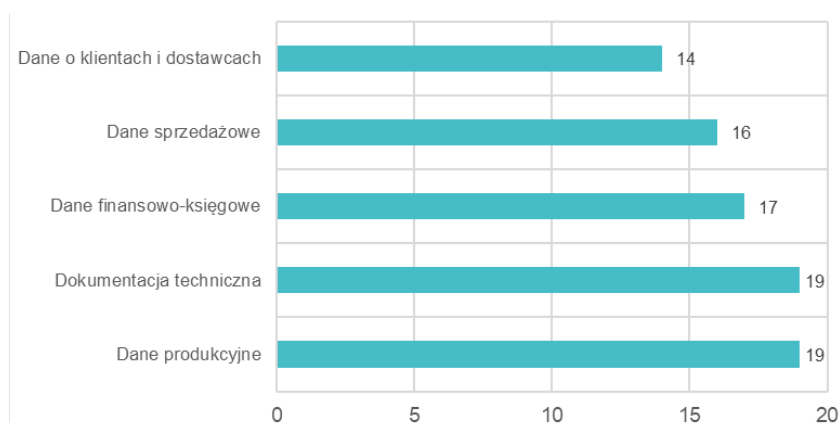


Wykres 7.22. Z jakiego oprogramowania w chmurze korzysta przedsiębiorstwo?

Blisko 60% przedsiębiorstw poddanych badaniu widzi konieczność zakupu urządzeń do druku 3D. 86% przedsiębiorstw na bieżąco gromadzi i przechowuje w komputerowych bazach dane (wykres 7.23) związane głównie z produkcją, dokumentacją techniczną oraz finansami i księgowością (wykres 7.24).



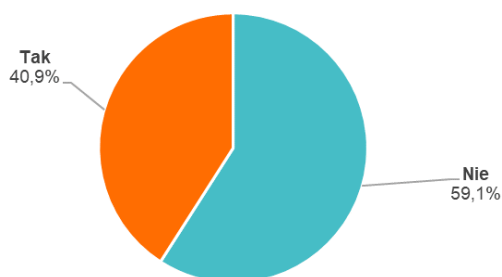
Wykres 7.23. Czy przedsiębiorstwo przechowuje i na bieżąco gromadzi dane w komputerowych bazach danych?



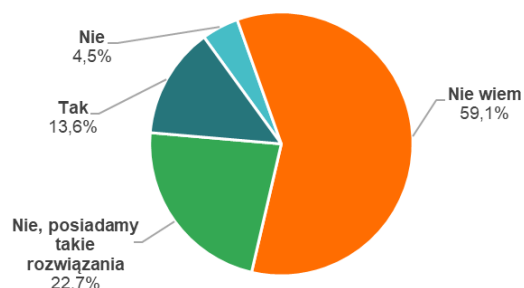
Wykres 7.24. Czego dotyczą przechowywane i gromadzone dane w komputerowych bazach danych?

Ponad połowa przedsiębiorstw (59%) nie stosuje sterowania produkcją w czasie rzeczywistym (wykres 7.25). 22% przedsiębiorstw posiada rozwiązania do przetwarzania

i analizy Big Data, a tylko 13% pozostałych ankietowanych planuje takowe zaimplementować (wykres 7.26).

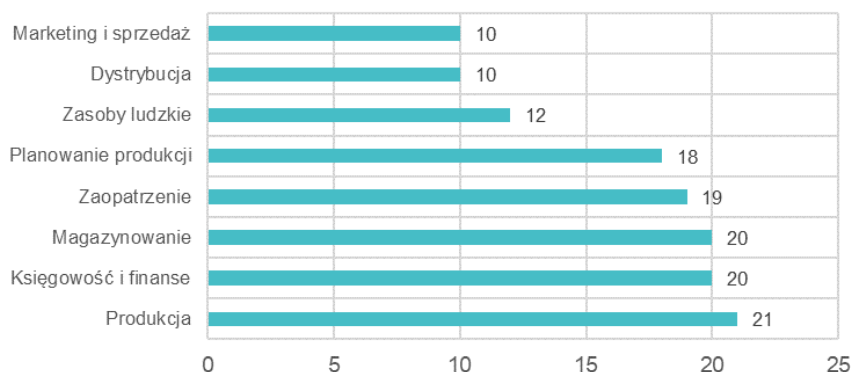


Wykres 7. 25. Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?



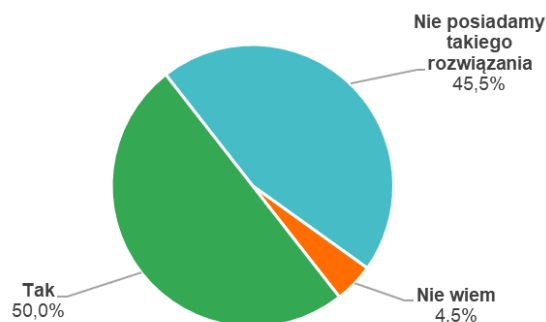
Wykres 7. 26. Czy przedsiębiorstwo planuje zaimplementować przetwarzanie i analizę dużych zbiorów danych (Big Data)?

95% ankietowanych przedsiębiorstw korzysta z systemu ERP, najczęściej z modułów produkcji, księgowości i finansów oraz magazynowania. Również często stosowane są moduły zaopatrzenia i planowania produkcji (wykres 7.27).

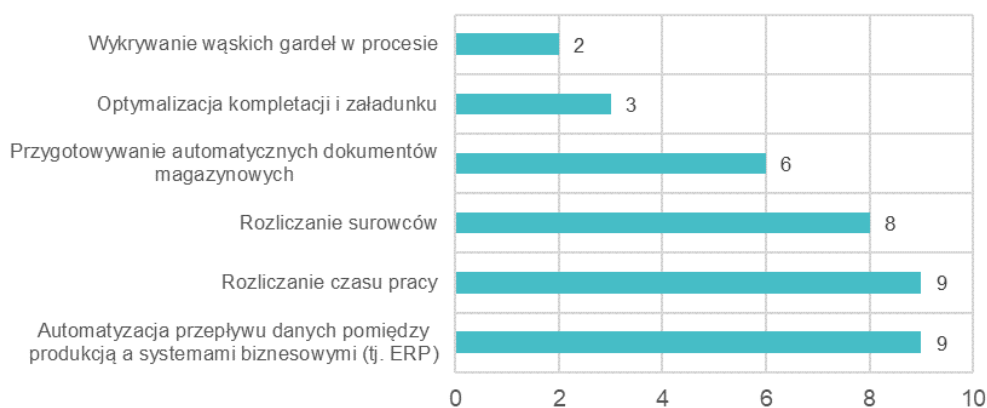


Wykres 7. 27. Z jakich modułów systemu ERP korzysta przedsiębiorstwo?

50% przedsiębiorstw korzysta z systemu MES do analizy danych podczas produkcji (wykres 7.28). Jako najczęściej wykorzystywane funkcjonalności systemu MES wskazane zostały automatyzacja przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi (ERP) oraz rozliczanie czasu pracy i rozliczanie surowców (wykres 7.29).

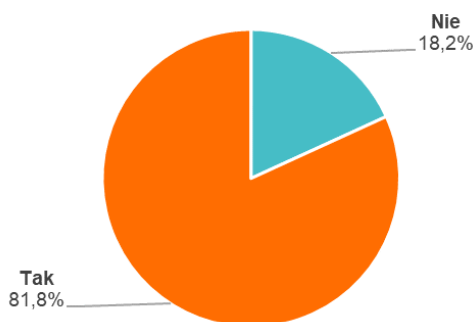


Wykres 7. 28. Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES (Manufacturing Execution System) do analizy danych podczas produkcji?

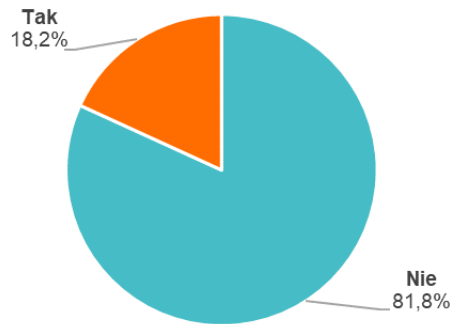


Wykres 7. 29. Jakie funkcjonalności systemu MES są wykorzystywane w przedsiębiorstwie?

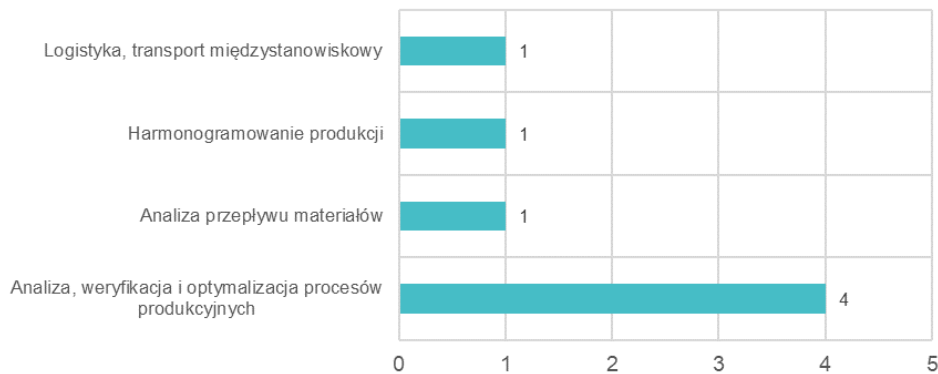
Ponad 80% firm korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji (wykres 7.30). Jednocześnie taki sam procent przedsiębiorstw nie korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych (wykres 7.31). Przedsiębiorstwa, które wykorzystują takowe oprogramowania najczęściej wykorzystują je w obszarze analizy, weryfikacji i optymalizacji procesów produkcyjnych (wykres 7.32). Jednak, pomimo niewielkiej skali wykorzystania oprogramowań do symulacji procesów, tylko 27% z nich planuje w najbliższym czasie zaopatrzyć się w takie rozwiązania (wykres 7.33).



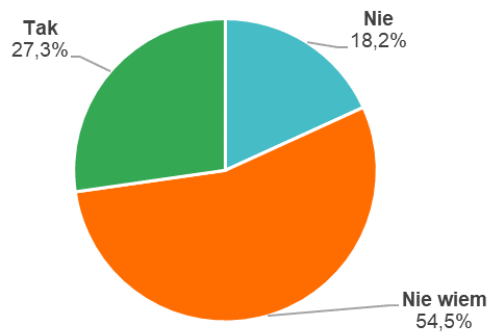
Wykres 7. 30. Czy przedsiębiorstwo korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji?



Wykres 7. 31. Czy przedsiębiorstwo posiada oraz korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych?

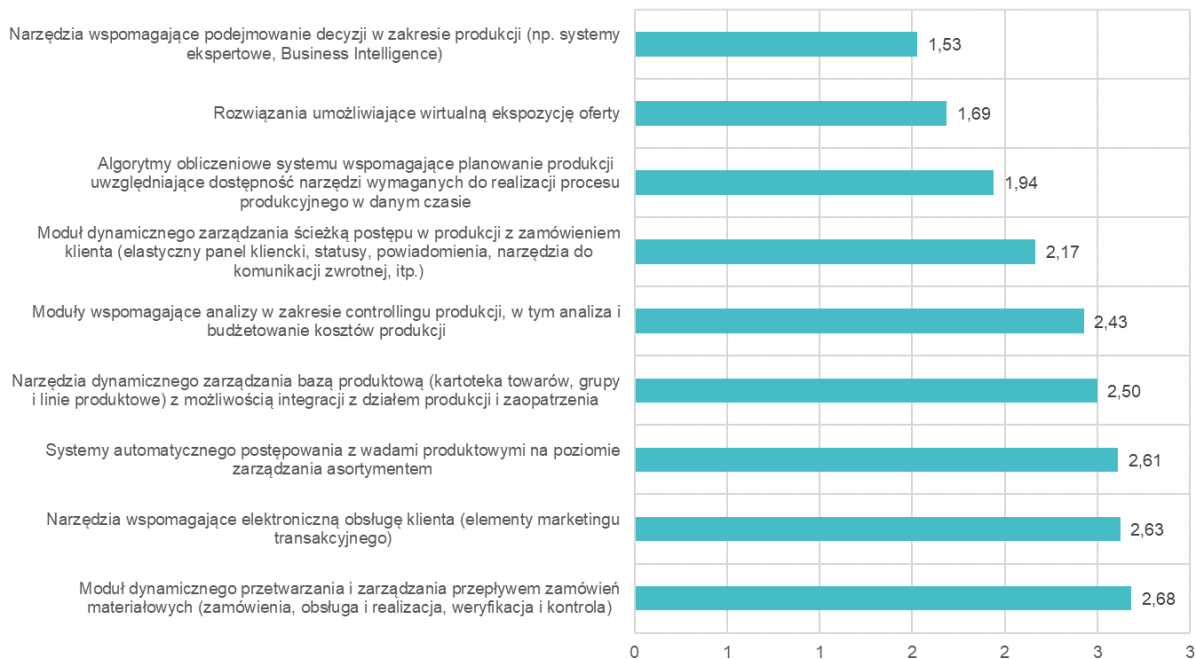


Wykres 7. 32. W jakim obszarze symulacja jest wykorzystywana?



Wykres 7. 33. Czy przedsiębiorstwo ma plan w najbliższym czasie zaimplementować dodatkowy moduł pozwalający na symulację procesów produkcyjnych?

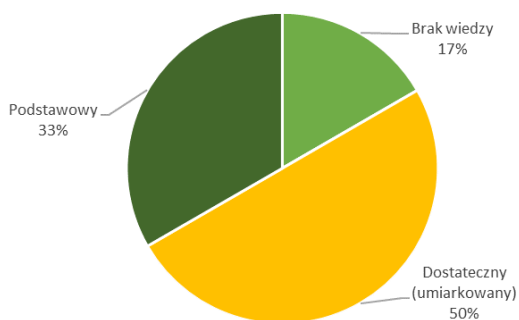
Wykres 7.34 prezentuje stopień zaimplementowania narzędzi Przemysłu 4.0 w skali od 0 (niski stopień) do 5 (wysoki stopień). Wyniki stanowią średnią ważoną wszystkich udzielonych odpowiedzi. W stopniu najwyższym zaimplementowany został moduł dynamicznego przetwarzania i zarządzania przepływem zamówień materiałowych oraz narzędzia wspomagające elektroniczną obsługę klienta.



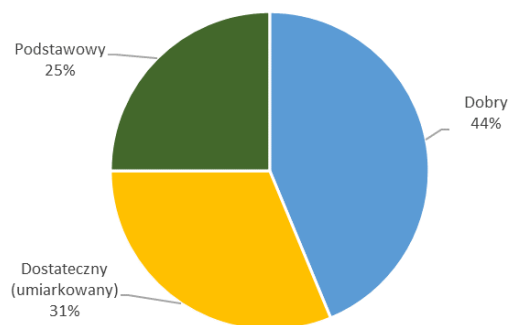
Wykres 7. 34. W jakim stopniu (0-5) narzędzia z zakresu Przemysłu 4.0 są zaimplementowane w firmie?

Po badaniu ogólnym i właściwym analizie poddano zależności między odpowiedziami na poszczególne pytania. Przeanalizowano wpływ wielkości przedsiębiorstwa i charakteru produkcji na pozostałe odpowiedzi. Wielkość przedsiębiorstwa podzielono na dwie grupy: 10-250 pracowników oraz powyżej 250 pracowników. Charakter produkcji podzielono na trzy grupy: produkcja jednostkowa, produkcja seryjna i produkcja masowa. Ciekawsze korelacje zaprezentowano na wykresach 7.35 – 7.63.

Wykresy 7.35 i 7.36 prezentują rozkład odpowiedzi dotyczący wiedzy pracowników nt. Przemysłu 4.0 w zależności od wielkości przedsiębiorstwa. Przedsiębiorstwa zatrudniające 10-250 pracowników oceniają ich poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 na dostateczny (50%) lub niższy. Przedsiębiorstwa większe, zatrudniające powyżej 250 pracowników oceniają wiedzę pracowników o Przemysle 4.0 jako dobrą (44%), dostateczną (31%) lub podstawową (25%).

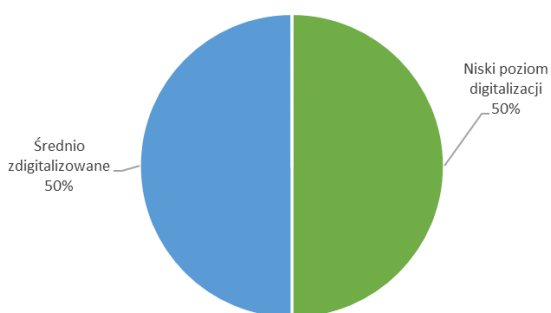


Wykres 7. 35. Poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.

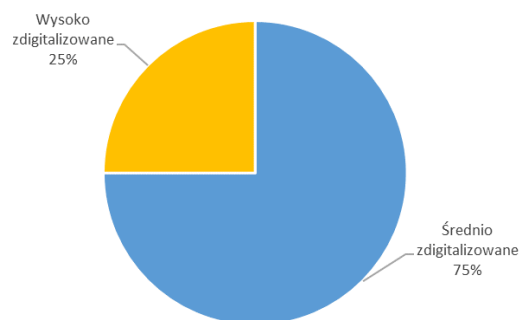


Wykres 7. 36. Poziom wiedzy nt. Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

Ponadto, przedsiębiorstwa zatrudniające nie więcej niż 250 pracowników oceniają swój poziom digitalizacji jako niski bądź średni (wykres 7.37). Natomiast trzy czwarte przedsiębiorstw zatrudniających powyżej 250 pracowników deklaruje swój poziom digitalizacji jako średni, a reszta jako wysoki (wykres 7.38).

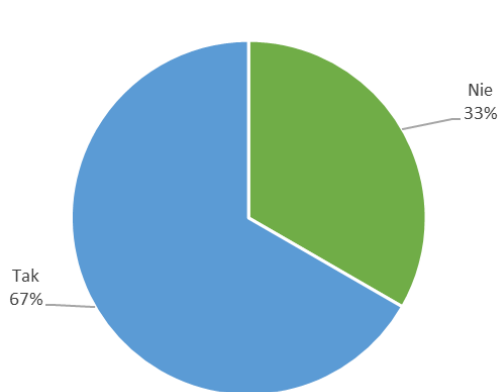


Wykres 7. 37. Poziom digitalizacji w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.

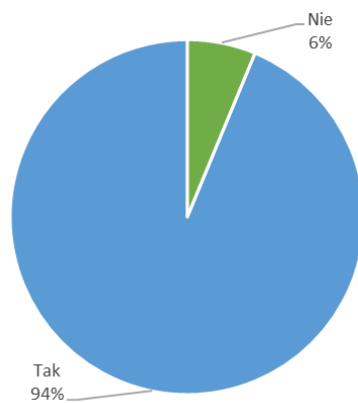


Wykres 7. 38. Poziom digitalizacji w przedsiębiorstwach o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

Rozkład odpowiedzi na pytanie „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” zaprezentowano na wykresach 7.39 i 7.40. Obie grupy, w większości, mają zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji – przedsiębiorstwa zatrudniające mniej niż 250 pracowników w 67%, a przedsiębiorstwa duże w 94%.

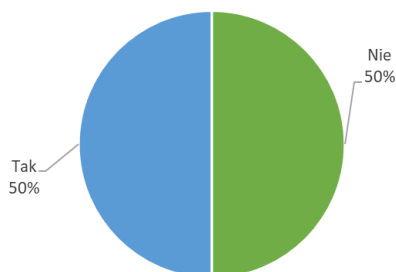


Wykres 7. 39. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.

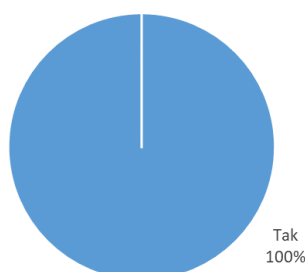


Wykres 7. 40. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

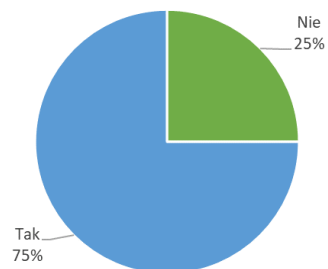
Zbadano również rozkład odpowiedzi na to samo pytanie w zależności od charakteru produkcji. W produkcji jednostkowej odpowiedź rozkładała się po równo (wykres 7.41). Wszystkie przedsiębiorstwa charakteryzujące się produkcją seryjną odpowiedziały, że mają zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji (wykres 7.42). Wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej „Tak” odpowiedziało 75% (wykres 7.43).



Wykres 7. 41. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.

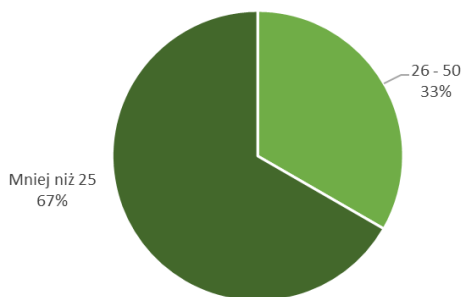


Wykres 7. 42. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.

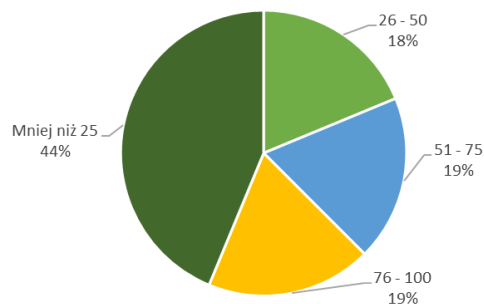


Wykres 7. 43. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo ma zaimplementowaną zautomatyzowaną lub zrobotyzowaną technologię produkcji?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.

Przedsiębiorstwa zatrudniające poniżej 250 pracowników posiadają nie więcej niż 50% w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń (wykres 7.44). Przedsiębiorstwa większe natomiast charakteryzują się zróżnicowanym procentem zautomatyzowania maszyn i urządzeń. Rozkład procentowy odpowiedzi zaprezentowano na wykresie 7.45.

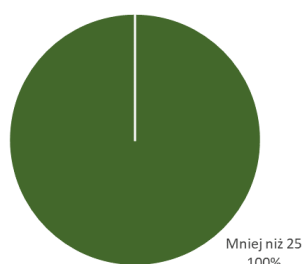


Wykres 7. 44. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.

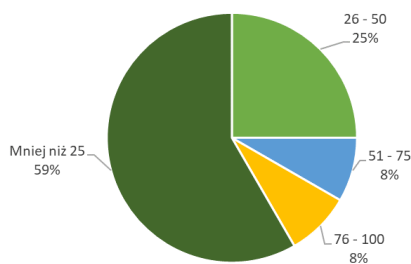


Wykres 7. 45. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

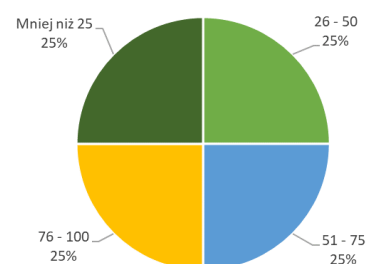
Przedsiębiorstwa, które charakteryzują się produkcją jednostkową w 100% deklarują, że posiadają mniej niż 25% w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń (wykres 7.46). Przedsiębiorstwa o produkcji seryjnej cechuje zróżnicowanie wyników (wykres 7.47), ale wciąż przeważający procent (59%) odpowiedzi uzyskała opcja „mniej niż 25%”. Dla przedsiębiorstw o produkcji masowej wyniki rozłożyły się równomiernie – po 25% na każdą odpowiedź (wykres 7.48).



Wykres 7. 46. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.

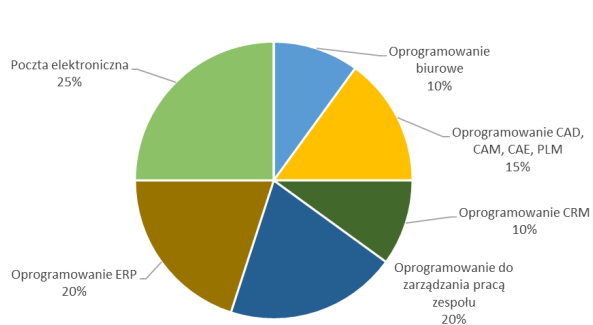


Wykres 7. 47. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.

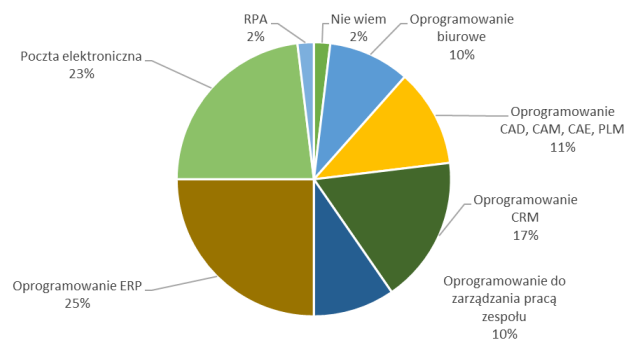


Wykres 7. 48. Procent w pełni zautomatyzowanych maszyn i urządzeń wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.

Niezależnie od wielkości zatrudnienia, przedsiębiorstwa w podobnym stopniu stosują różne oprogramowania w chmurze (wykres 7.49 i 7.50).



Wykres 7. 49. Zastosowanie oprogramowań w chmurze dla przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.

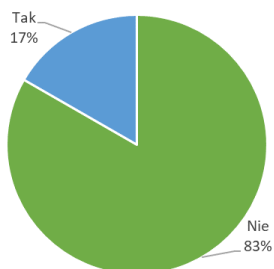


Wykres 7. 50. Zastosowanie oprogramowań w chmurze dla przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

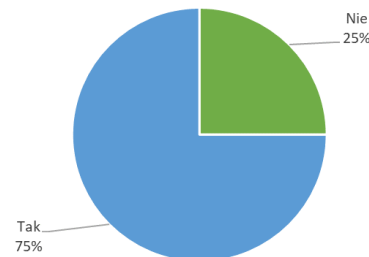
Rozkład odpowiedzi na pytanie „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o zróżnicowanym charakterze produkcji zaprezentowano na wykresach 7.51 (p. jednostkowa), 7.52 (p. seryjna) i 7.53 (p. masowa). W produkcji jednostkowej odpowiedzi rozkładały się równomiernie. Przedsiębiorstwa o charakterze seryjnym produkcji zazwyczaj (83%) nie stosują sterowania produkcją w czasie rzeczywistym, natomiast przedsiębiorstwa o charakterze masowym produkcji wręcz przeciwnie – 75% stosuje sterowanie produkcją na bieżąco.



Wykres 7. 51. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.

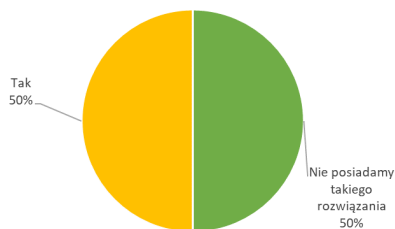


Wykres 7. 52. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.

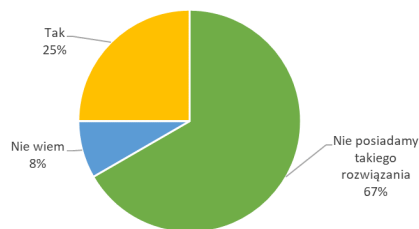


Wykres 7. 53. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo stosuje sterowanie produkcją w czasie rzeczywistym?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.

Podobny trend można zauważyć w stosowaniu systemu MES (Manufacturing Execution System) do analizy danych podczas produkcji. W produkcji jednostkowej odpowiedzi są podzielone na pół (wykres 7.54). Przedsiębiorstwa o charakterze seryjnym produkcji w 67% nie stosują takiego systemu (wykres 7.55), natomiast w produkcji masowej przeważa odpowiedź pozytywna - 88% (wykres 7.56).



Wykres 7. 54. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.

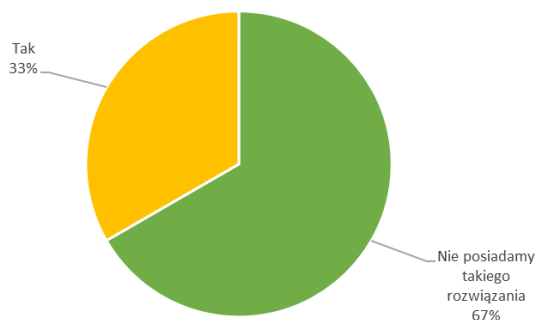


Wykres 7. 55. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.

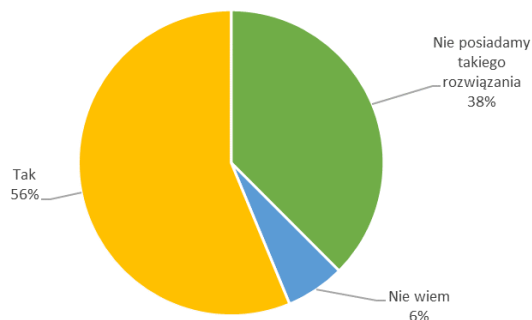


Wykres 7. 56. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.

Przy podziale pod względem wielkości zatrudnienia można zauważyć, że przedsiębiorstwa zatrudniające do 250 pracowników zazwyczaj nie stosują systemów MES (wykres 7.57). Dla przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników więcej niż połowa (56%) stosuje system MES do analizy danych podczas produkcji (wykres 7.58).



Wykres 7. 57. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.

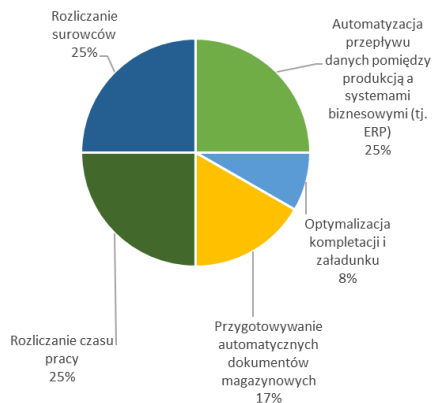


Wykres 7. 58. Odpowiedzi na pytanie: „Czy przedsiębiorstwo korzysta z systemu MES?” wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

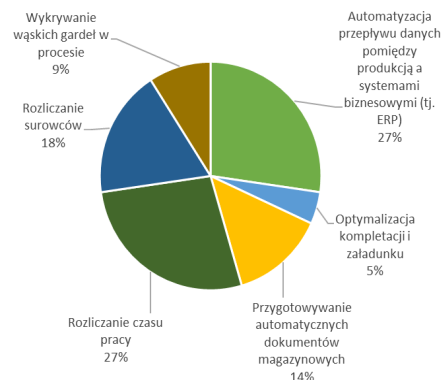
Funkcjonalności MES wykorzystywane w przedsiębiorstwach o produkcji jednostkowej zaprezentowano na wykresie 7.59. W odróżnieniu od funkcjonalności MES wykorzystywanych w przedsiębiorstwach o produkcji seryjnej i masowej (wykres 7.60 i 7.61) nie zadeklarowano wykorzystania automatyzacji przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi (ERP). Odpowiedź „wykrywanie wąskich gardeł w procesie” pojawiła się natomiast tylko w odpowiedziach przedsiębiorstw o charakterze produkcji masowej.



Wykres 7. 59. Funkcjonalności MES wykorzystywane wśród przedsiębiorstw o produkcji jednostkowej.

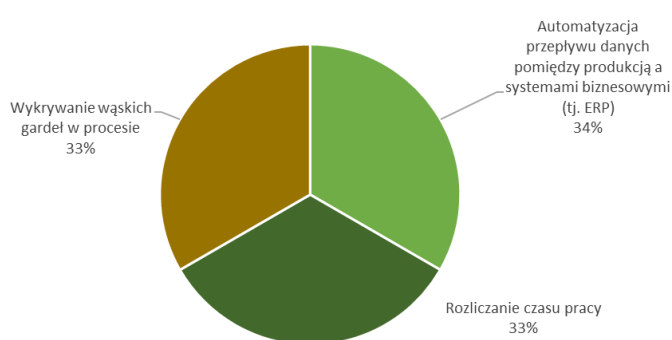


Wykres 7. 60. Funkcjonalności MES wykorzystywane wśród przedsiębiorstw o produkcji seryjnej.

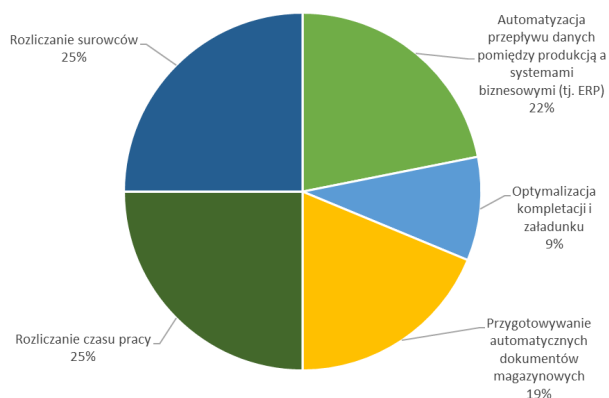


Wykres 7. 61. Funkcjonalności MES wykorzystywane wśród przedsiębiorstw o produkcji masowej.

Odpowiedzi przedsiębiorstw zatrudniających mniej niż 250 pracowników dotyczące wykorzystywanych funkcjonalności MES rozłożyły się równomiernie na trzy moduły: wykrywanie wąskich gardeł, rozliczanie czasu pracy oraz automatyzacja przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi (ERP) (wykres 7.62). W przedsiębiorstwach dużych dodatkowo pojawiły się odpowiedzi dotyczące wykorzystania funkcjonalności przygotowania automatycznych dokumentów magazynowych oraz optymalizacji kompletacji i załadunku (wykres 7.63).



Wykres 7. 62. Funkcjonalności MES wykorzystywane wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia 10-250 pracowników.



Wykres 7. 63. Funkcjonalności MES wykorzystywane wśród przedsiębiorstw o wielkości zatrudnienia powyżej 250 pracowników.

8. NOWOCZESNE TECHNOLOGIE A KIERUNKI ROZWOJU PRZEMYSŁU MOTORYZACYJNEGO

Przemysł motoryzacyjny praktycznie od chwili narodzin był miejscem powstawania i chłonnym odbiorcą znaczących innowacji technicznych i organizacyjnych, poczynając od linii montażowej Henry Forda [101], poprzez różne formy automatyzacji produkcji (obrabiarki 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 [102]. Także obecnie przemysł motoryzacyjny stanowi awangardę wśród użytkowników (i twórców) innowacji noszących umownie nazwę technologii Przemysłu 4.0. Nie bez przyczyny termin i koncepcja Przemysłu 4.0 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. Dotyczy to zarówno liczby komponentów (części) składowych, różnorodności materiałów, z jakich są wykonane, jak również technologii projektowania, produkowania i eksploatacji. W dalszej części termin nowoczesne technologie będziemy traktować jako synonim technologii Przemysłu 4.0.

Analizując wpływ nowoczesnych technologii na rozwój przemysłu motoryzacyjnego wygodnie jest wyróżnić czynniki warunkujące (wymuszające), czynniki umożliwiające (ułatwiające) oraz czynniki ograniczające (utrudniające) rozwój tego przemysłu i upowszechnienie nowoczesnych technologii.

Wśród czynników warunkujących rozwój i upowszechnianie nowoczesnych technologii (w tym technologii Przemysłu 4.0) w przemyśle motoryzacyjnym należy wymienić:

- duże i rosnące zróżnicowanie potrzeb, oczekiwań i wymagań użytkowników (niższe ceny, niższe koszty eksploatacji, większe bezpieczeństwo, wyższy komfort jazdy i in., czego konsekwencją jest konieczność segmentacji klientów i rynków, duża różnorodność typów, odmian i modeli aut o różnym przeznaczeniu, adresowanych do różnych odbiorców, skracanie wielkości serii produkcyjnych, skracanie cykli życia produktów na rynku, częstsza zmiana modeli samochodów i in.),
- 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 UE i państw członkowskich wspierająca działania na rzecz zrównoważonego rozwoju, zaś z drugiej strony narzucająca nowe, coraz trudniejsze do spełnienia przez producentów wymagania dotyczące m.in. czystości spalin, zużycia paliwa, eliminacji pojazdów z silnikami wysokoprężnymi z wielkich miast, a docelowo ograniczenie produkcji bądź nawet zaprzestanie produkcji samochodów z silnikami spalinowymi (w tym kierunku zmierzają zmiany legislacyjne, w tym dotyczące radykalnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych).
- zmiany (stopniowe) zachowań użytkowników dotyczące korzystania ze środków transportu (np. car sharing), rozwój i większa dostępność transportu publicznego i rozwój środków transportu indywidualnego (m.in. pojazdy jednośladowe z napędem elektrycznym).

Spełnienie wszystkich tych wymagań nie jest możliwe bez rozwoju nowoczesnych technologii. Przejawem tego są radykalne zmiany w konstrukcji samochodów, a zwłaszcza ich układów napędowych (samochody elektryczne, samochody autonomiczne). Przemysł, nie bez oporów, stara się dostosować do tych wymagań, co staje się możliwe dzięki czynnikom umożliwiającym (ułatwiający) adaptację do nowych wymagań. Wśród czynników tych należy wymienić:

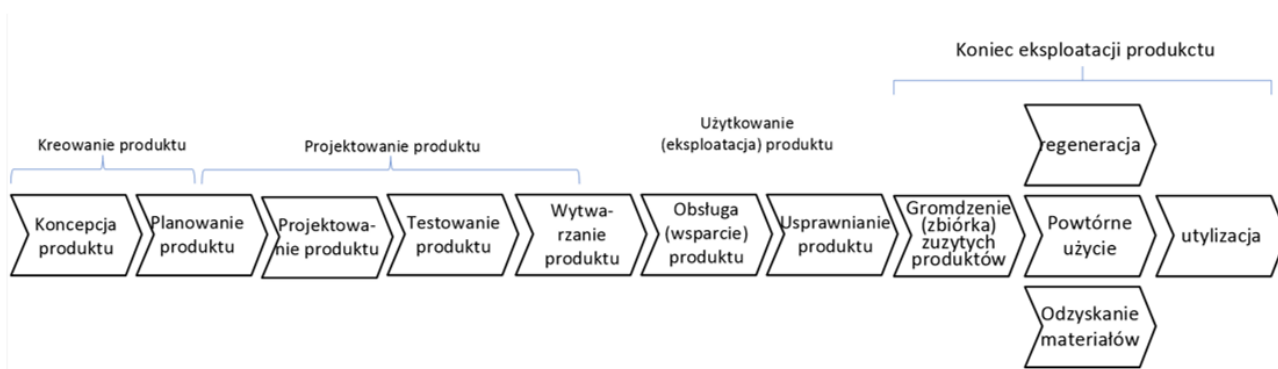
- postęp naukowy i techniczny, rozwój i coraz większa dostępność nowych technologii (Przemysł 4.0),
- istniejący potencjał badawczo-rozwojowy (w tym projektowy) i produkcyjny w przemyśle motoryzacyjnym,
- dostępność komponentów motoryzacyjnych i rozwinięte łańcuchy dostaw (zaopatrzenia) i dystrybucji,
- 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, co zmusza firmy motoryzacyjne do szukania alternatywnych rozwiązań m.in. wśród technologii Przemysłu 4.0.

Istnieją również bariery utrudniające upowszechnienie się technologii Przemysłu 4.0:

- nadal słaba znajomość nowych technologii wśród decydentów (inwestorów) i potencjalnych użytkowników, niska świadomość wśród decydentów (inwestorów) i użytkowników znaczenia nowych technologii, brak jasnej strategii restrukturyzacji technologicznej przedsiębiorstw,
- wysokie koszty pozyskania, wdrożenia i eksploatacji nowych technologii (w opinii użytkowników) w stosunku do możliwych (w chwili obecnej) korzyści, trudności w ocenie efektów ekonomicznych nowych technologii, brak praktycznych przykładów zastosowań tych technologii zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach,
- brak stabilnych rozwiązań (technologie są w ciągłym rozwoju) i związany z tym brak standardów,
- luka kompetencyjna: brak pracowników przygotowanych do projektowania, wdrażania i użytkowania nowych technologii,
- nowe rozwiązania konstrukcyjne samochodów (napęd elektryczny) wymagają 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, tzn. konstruowania, produkcji, eksploatacji czyli biorąc pod uwagę cały cykl życia produktu (samochodu). Pojęcie cyklu życia produktu oznacza czas od chwili powstania pomysłu (koncepcji) produktu, przez jego projektowanie, uruchomienie produkcji, produkcję aż do dystrybucji, sprzedaży, użytkowania, wycofania z eksploatacji i wreszcie utylizacji. Cykl życia produktu stanowi więc zapis „historii” produktu, a także predykcję jego przyszłości [103]. Model cyklu życia produktu przedstawia rys. 8.1.



Rys. 8. 1. Cykl życia produktu (źródło: opracowanie własne).

Potrzeba zarządzania cyklem życia produktu wynika z wielu przesłanek:

- konieczność całościowego (holistycznego, systemowego) ujęcia wszystkich zagadnień związanych z projektowaniem, produkcją, użytkowaniem i utylizacją produktów,
- poszczególne etapy cyklu życia produktu 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, związanych np. z oddziaływaniem produktu na środowisko, które pojawiają się w późniejszych etapach cyklu życia produktu, można skutecznie rozwiązać tylko na etapie jego 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 ciągłej oferty nowych produktów i skracania cykli życia produktu na rynku); problemy, z jakimi może się spotykać użytkownik, wymagają rozstrzygnięć na wczesnych etapach cyklu życia produktu,
- szeroko rozumiane koszty ponoszone w cyklu życia produktu (koszty ekonomiczne, społeczne, środowiskowe) w skali globalnej, a także regionalnej czy lokalnej, osiągnęły skalę trudną do zaakceptowania; ich ograniczenie jest możliwe jedynie dzięki spojrzeniu na cały cykl życia produktu [103].

Technologie przemysłu 4.0 mają (lub mogą mieć) zastosowanie na każdym etapie cyklu życia samochodu. W chwili obecnej najwięcej przypadków (i możliwości) zastosowań dotyczy projektowania i produkcji samochodów. Relatywnie mniej przykładów zastosowań technologii Przemysłu 4.0 można wskazać na etapie użytkowania (eksploatacji) oraz po zakończeniu eksploatacji produktu. Należy jednak pamiętać, iż jesteśmy dopiero na początku procesu upowszechniania i powszechnego zastosowania technologii Przemysłu 4.0. Stwierdzenie to dotyczy nie tylko przemysłu motoryzacyjnego.

W tabeli 8.1 pokazano „mapę” zastosowań wybranych technologii Przemysłu 4.0 na tle cyklu życia samochodu. Spośród wielu technologii wybrano te, które w chwili obecnej mają (lub mogą mieć) najwięcej istotnych zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym:

- 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).

Tabela 8.1. Przykłady zastosowania technologii Przemysłu 4.0 w cyklu życia samochodu [opracowanie własne].

Technologie Przemysłu 4.0	Etapy cyklu życia samochodu			
	Projektowanie	Produkcja	Eksploatacja	Procesy po zakończeniu eksploatacji
Sztuczna inteligencja	<ul style="list-style-type: none"> · systemy decyzyjne wspomagające projektantów · projektowanie wyrobów · projektowanie technologii, pomocy warsztatowych i systemów produkcyjnych · systemy Knowledge Based Engineering · systemy MBSE 	<ul style="list-style-type: none"> · systemy Intelligent Computer Aided Manufacturing · sterowanie maszynami i procesami · sterowanie produkcją (np. harmonogramowanie) · kontrola jakości · obsługa eksploatacyjna maszyn (predictive maintenance) · systemy nadzoru i diagnostyki maszyn, procesów i narzędzi 	<ul style="list-style-type: none"> · sterowanie pojazdami (autonomicznymi) · systemy bezpieczeństwa i wspomaganie kierowcy · kompletowanie wyposażenia pojazdu · szkolenie użytkowników · diagnostyka uszkodzeń 	<ul style="list-style-type: none"> · ocena stanu pojazdów i ich części · identyfikacja części i materiałów · kwalifikacja części do dalszego wykorzystania · dobór procesów recyklingu, regeneracji itp.
Big Data	<ul style="list-style-type: none"> · analizy rynków · prognozowanie stanu techniki · rejestracja i analiza wyników badań i testów wyrobów i ich części · analiza baz danych patentów · analiza rozwiązań projektowych wyrobów podobnych, 	<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 o stanie technicznym wyrobu · rejestracja i analiza danych dotyczących historii eksploatacji wyrobu (awaryjność, wymiana części, naprawy itp.) · rejestracja i analiza zachowań użytkownika (np. wypadki) 	<ul style="list-style-type: none"> · analizy danych o produktach w trakcie eksploatacji i kończących etap eksploatacji · prognozowanie potrzeb i możliwości dot. produktów do dalszej eksploatacji, części do regeneracji i materiałów do odzysku

Obliczenia w chmurze	<ul style="list-style-type: none"> systemy 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 maszynami i procesami wsparcie dla służb utrzymania ruchu zarządzanie produkcją (systemy ERP, SCM, CRM) sterowanie przepływem materiałów zarządzanie dostawcami i siecią dystrybucji 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 logistyki zwrotnej (gromadzenie wyrobów wycofanych z eksploatacji) zarządzanie procesami recyklingu, regeneracji itp.
IIoT, RFID	<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, do regeneracji, materiałów do odzysku lub utylizacji
Wirtualna /rozszerzona rzeczywistość	<ul style="list-style-type: none"> projektowanie produktów i ich komponentów projektowanie procesów, zwłaszcza procesów montażu wizualizacja projektów symulacja działania wyrobów i ich komponentów weryfikacja, walidacja i testowanie 	<ul style="list-style-type: none"> wirtualne wytwarzanie wsparcie dla operatorów maszyn wsparcie dla montażu wsparcie dla służb utrzymania ruchu, przezbierania maszyn itp. wizualizacja przepływu produkcji 	<ul style="list-style-type: none"> prezentacja wyrobów przyszłym nabywcom (i użytkownikom) szkolenia użytkowników wsparcie użytkowników w eksploatacji (naprawy, wymiana części, obsługa eksploatacyjna) wsparcie pracowników służb serwisu i naprawy 	<ul style="list-style-type: none"> wsparcie dla demontażu wyrobów wsparcie procesów po zakończeniu eksploatacji produktu
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 systemy Virtual Manufacturing Systems sterowanie przepływem produkcji wizualizacja i ocena zmian organizacji produkcji 	<ul style="list-style-type: none"> szkolenie i wsparcie użytkowników i służb serwisu identyfikacja miejsc i przyczyn nieprawności produktu usuwanie awarii 	<ul style="list-style-type: none"> szkolenie pracowników i wsparcie procesów po zakończeniu eksploatacji produktu sterowanie przemysłowymi procesami po zakończeniu eksploatacji produktu wizualizacja i ocena zmian organizacji procesów po zakończeniu eksploatacji produktu
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 możliwość uproszczenia konstrukcji (ograniczenie liczby elementów) łatwiejsze zmiany konstrukcyjne wyrobu i ich weryfikacja 	<ul style="list-style-type: none"> produkcja części (małoseryjna) produkcja pomocy warsztatowych (rapid tooling) racionalizacja (uproszczenie) procesów produkcyjnych 	<ul style="list-style-type: none"> produkcja części zamiennych naprawy 	<ul style="list-style-type: none"> regeneracja części odzyskiwanie/przetwórstwo materiałów dla technologii przyrostowych (addytywnych)

Nowoczesne technologie stymulujące rozwój przemysłu motoryzacyjnego nie ograniczają się jedynie do tzw. technologii Przemysłu 4.0. Nie one bowiem decydują obecnie o jakości produkowanych samochodów, produktywności, oddziaływaniu na środowisko itp. Równie ważne, a nawet w wielu przypadkach ważniejsze, są technologie „klasyczne”. Termin ten nie oznacza bynajmniej, iż są one mniej ważne i mniej nowoczesne. W przemyśle motoryzacyjnym,

podobnie jak w wielu innych branżach przemysłu, obserwuje się szybki rozwój wielu innych technologii, w tym przetwórstwa materiałów, obróbki części, obróbki powierzchniowej, montażu i innych. Osobny problem stanowi różnorodność technologii stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym oraz we wspomagającym go przemyśle komponentów motoryzacyjnych. Jest to związane nie tylko z dużą złożonością samochodów (mierzoną m.in. różnorodnością i liczbą części, ich geometrią, dokładnością wykonania itp.), ale także dużą 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, oprogramowania i innych. Szczególnym zagadnieniem jest zmiana koncepcji samochodu a zwłaszcza jego układu napędowego. Rozwój samochodów z napędem hybrydowym, elektrycznym, wodorowym wymaga specyficznych technologii dotychczas nie stosowanych a nawet nieznanych w przemyśle motoryzacyjnym. Patrząc z perspektywy cyklu życia samochodu nowej generacji (tzn. z nowymi źródłami napędu) nowe technologie (wcześniej niestosowane na szerszą skalę w przemyśle motoryzacyjnym) 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, ich utylizacji itp. Rozwój samochodów nowej generacji stworzy zapotrzebowanie na nowe usługi, te zaś wymagać będą nowych, często dziś jeszcze nieznanych technologii. Jako przykład wymienimy w tym miejscu pojazdy autonomiczne i systemy sterowania nimi, systemy bezpieczeństwa i wspomagania kierowców, systemy 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 (doskonaleniu) – nie osiągnęły jeszcze stanu dojrzałości, pojawiają się nowe technologie, a przede wszystkim istnieje wiele innych czynników, w tym zewnętrznych: politycznych, ekonomicznych, społecznych, ekologicznych i in. mogących zmienić każdą prognozę. Warto też zwrócić uwagę, iż próbując dokonać predykcji przyszłości technologii (i nie tylko) w krótkiej perspektywie mamy skłonność do przeceniania ich walorów zaś w dłuższej perspektywie do niedoceniaenia ich skutków. Jako przykład mogą posłużyć Metaverse oraz ChatGPT, których możliwości i 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 ich 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 finalnych (OEM) i całych łańcuchów dostaw (koszty, cykle produkcyjne i jakość),
- rosnące wymagania odbiorców a w konsekwencji wzrost elastyczności produkcji, kastomizacja 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 daleko większym niż obecnie, rozwój w kierunku Przemysłu 5.0 – zautomatyzowanych, inteligentnych systemów produkcyjnych uwzględniających możliwości i potrzeby ludzi.

9. 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 strony branża motoryzacyjna należy do najbardziej dochodowej gałęzi przemysłowej. Rozwój przemysłu motoryzacyjnego ma szczególnie duży wpływ na rozwój gospodarczy kraju. Z uwagi na najbardziej rozbudowaną sieć łańcuchów logistycznych, duży wolumen produkcji oraz złożoności wyrobu, branża motoryzacyjna generuje dużą liczbę miejsc pracy w hutnictwie, w produkcji i przetwórstwie wyrobów z tworzyw sztucznych i wyrobów gumowych, w produkcji wyrobów elektrycznych i innych. Rozwój branży motoryzacyjnej powoduje również rozwój i powstawanie nowych miejsc pracy w firmach projektowych i badawczo-rozwojowych oraz w szeroko rozumianych usługach taki jak transport, handel, serwisowanie urządzeń, projektowanie i produkcja narzędzi, sprzątanie i ochrona obiektów oraz w wielu innych.

Obecnie, przemysł motoryzacyjny na świecie oraz w Polsce dynamicznie zmienia się, rozwija i transformuje m. in. poprzez wdrażanie technologii Przemysłu 4.0. Dlatego celem niniejszej ekspertyzy była ocena stanu zaawansowania wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach z branży motoryzacyjnej, których zakłady produkcyjne zlokalizowane są w Polsce. Aby odpowiedzieć na pytanie, na jakim etapie czwartej rewolucji przemysłowej znajdują się polskie przedsiębiorstwa z branży motoryzacyjnej, przeprowadzone zostały badania ankietowe na grupie producentów samochodów osobowych, ciężarowych i autobusów oraz producentach komponentów i elementów wyposażenia pojazdów. Wnioski z przeprowadzonego badania są następujące:

1. W 87% strukturę właścicielską ankietowanych przedsiębiorstw stanowi kapitał zagraniczny, a około 73% to przedsiębiorstwa duże, zatrudniające powyżej 250 pracowników.
2. Połowa ankietowanych przedsiębiorstw charakteryzuje się produkcją wielkoseryjną, a 36% produkcją masową. 73% przedsiębiorstw funkcjonuje na rynku od ponad 20 lat, a wszystkie z nich działają na rynkach zagranicznych.

3. 86% przedsiębiorstw deklaruje, że ich pracownicy znają pojęcie Przemysłu 4.0. Spośród nich 68% ocenia stan wiedzy o tym pojęciu na dostateczny bądź dobry.
4. 36% respondentów uważa swoje przedsiębiorstwo jako bardzo innowacyjne, a 55% jako innowacyjne na średnim poziomie w porównaniu z innymi przedsiębiorstwami w sektorze.
5. 68% ankietowanych przedsiębiorstw charakteryzuje się średnim stopniem zaawansowania cyfryzacji, a 18% wysokim, przy czym:
 - a) zdecydowana większość ma zaimplementowany system ERP, w których najczęściej korzysta z modułów produkcji, księgowości i finansów,
 - b) 50% korzysta z systemu MES do analizy danych podczas produkcji głównie na potrzeby automatyzacji przepływu danych między produkcją a systemami biznesowymi (ERP) oraz rozliczania czasu pracy i rozliczania surowców,
 - c) 68% wykorzystuje czujniki RFID do monitorowania i przekazywania informacji o aktualnym stanie zasobów, bądź zbierania informacji i monitorowania procesu produkcyjnego i wychwytywania wadliwych wyrobów,
 - d) ponad 80% korzysta z oprogramowania do modelowania 3D i tworzenia symulacji, jednak taki sam procent przedsiębiorstw nie korzysta z oprogramowania do symulacji procesów produkcyjnych,
 - e) 22% przedsiębiorstw posiada rozwiązania do przetwarzania i analizy Big Data, a 13% pozostałych planuje takowe zaimplementować.
6. Ponad 80% ankietowanych przedsiębiorstw korzysta z oprogramowania opartego na chmurze, na której najczęściej oparte jest oprogramowanie ERP, poczta elektroniczna oraz oprogramowanie wspierające zarządzanie relacjami z klientem CRM.
7. 95% ankietowanych przedsiębiorstw ma wdrożoną politykę bezpieczeństwa przepływu informacji. Wszystkie przedsiębiorstwa archiwizują dane, z czego 68% codziennie.
8. 60% ankietowanych przedsiębiorstw widzi konieczność zakupu urządzeń do druku 3D.
9. 86% ankietowanych przedsiębiorstw zadeklarowało, że posiada przynajmniej jedną zrobotyzowaną lub w pełni zautomatyzowaną technologię produkcji. Jednak aż połowa zadeklarowała, że mniej niż 25% maszyn i urządzeń jest w pełni zautomatyzowana. Tylko 27% ankietowanych przedsiębiorstw wskazało stopień zautomatyzowania maszyn i urządzeń wyższy niż 50%.

10. 59% ankietowanych przedsiębiorstw nie stosuje sterowania produkcją w czasie rzeczywistym.

Pomimo iż przemysł motoryzacyjny w Polsce należy do najlepiej rozwiniętych gałęzi przemysłu, to przedstawione w niniejszej ekspertyzie wyniki ankiet pokazują, że stan zaawansowania wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach z branży motoryzacyjnej, jest na średnim etapie rozwoju. Uważa tak ponad połowa respondentów, a blisko 70% określa jako średni stopień zaawansowania cyfrowego.

Za najbliższe 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 wykorzystania narzędzi informatycznych najslabiej wykorzystywane są technologie przetwarzania danych typu Big Data oraz narzędzia do sterowania produkcją w czasie rzeczywistym. Wykorzystuje je odpowiednio jedynie około 20% i 40% badanych przedsiębiorstw.

Mówiąc o przyszłości i konkurencyjności branży samochodowej w Polsce to bardzo wiele zależy od szybkości implementacji technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach. Przedstawiona ekspertyza pokazuje, że technologie te są głównie wykorzystywane przy projektowaniu i produkcji samochodów, pomimo iż mają zastosowanie na każdym etapie cyklu życia wyrobu. Biorąc pod uwagę priorytetowe znaczenie zrównoważonego rozwoju, rosnącej roli ekologii czy rozwój w kierunku Przemysłu 5.0 (zautomatyzowanych, inteligentnych systemów produkcyjnych uwzględniających możliwości i potrzeby ludzi) pozostaje jeszcze bardzo wiele do zrobienia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Główny Urząd Statystyczny, *Biuletyn Statystyczny Nr 3/2023*, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/inne-opracowania/informacje-o-sytuacji-spoeczno-gospodarczej/biuletyn-statystyczny-nr-32023,4,136.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., *Przewodnik po technologiach przemysłu 4.0*, Elamed Media Group, 2021.
- [5] Wang Y., Towara T., Andrel R., *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 2017.
- [6] Grendys A., *Industry 4.0 Meeting Point – co mówili eksperci?*, <https://przemyslprzyszlosci.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.ivri.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] Zając J., Kost G., Gola A., *Integracja zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemów wytwarzania*, PWE, Warszawa 2022.
- [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] *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., *Big Data, nauka o danych i AI bez tajemnic*, Helion, Warszawa 2019.
- [14] Marz N., Warren J., *Big Data. Najlepsze praktyki budowy skalowalnych systemów obsługi danych w czasie rzeczywistym*, Helion, 2016.
- [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., *Scientific Research and Big Data*, [w:] E.N. Zalta (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2020 Edition)*, Stanford University, 2020.
- [18] Rosenberg J., Mateos A., *Chmura obliczeniowa. Rozwiązania dla biznesu*, Helion, 2012.
- [19] Toroman M., *Chmura Azure. Praktyczne wprowadzenie dla administratora. Implementacja, monitorowanie i zarządzanie ważnymi usługami i komponentami IaaS/PaaS*, Helion, 2020.
- [20] Rogalski M., Sankiewicz S., *Co to jest chmura obliczeniowa?*, <https://www.gov.pl/web/popcwsparcie/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] 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].
- [24] 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].
- [25] McCarthy J., *What is Artificial Intelligence?*, jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf [dostęp 30.06.2023].
- [26] Poole D., Mackworth A.K., Goebel R., *Computational Intelligence and Knowledge*, Oxford University Press, New York 1998.
- [27] Kaplan A., Haenlein M., *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), 2019.
- [28] Russell S., Norvig P., *Sztuczna inteligencja. Nowe spojrzenie. Wydanie IV. Tom 1*, Helion, 2022.
- [29] Tadeusiewicz R., *Archipelag sztucznej inteligencji*, AOW Exit, Warszawa 2021.
- [30] Platforma przemysłu przyszłości, *ML*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/ml/> [dostęp 30.06.2023].
- [31] CORDIS, *Rozwijanie inteligentnych autonomicznych systemów cyberfizycznych*, <https://cordis.europa.eu/article/id/418464-advancing-smart-autonomous-cyber-physical-systems/pl>, [dostęp 30.06.2023].
- [32] Lee J., Bagheri B., Kao H., *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*, Manufacturing Letters, vol. 3, s. 18-23, 2015.
- [33] Somers R.J., Douthwaite J.A., Wagg D.J., Walkinshaw N., Hierons R.M., *Digital-twin-based testing for cyber-physical systems: A systematic literature review*, Information and Software Technology, vol. 156, 2023.
- [34] Kamiński A., *„Inteligentna fabryka” – nowe trendy w rozwoju systemów informatycznych dla przemysłu*, Zarządzanie i Finanse, vol. 16, s. 113-122, 2018.
- [35] Bravo C., *Cyberbezpieczeństwo dla zaawansowanych. Skuteczne zabezpieczenia systemu Windows, Linux, IoT i infrastruktury w chmurze*, Helion, Warszawa 2023.
- [36] Jadczak 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].

- [37] Dźwiarek M., *Cyberbezpieczeństwo maszyn w Przemysle 4.0*, Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe, vol. 2(126), s. 1265-130, 2021.
- [38] PN-EN IEC 62061:2021-12 - wersja angielska: Bezpieczeństwo maszyn -- Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem.
- [39] ISO 13849-1:2023: Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design.
- [40] Witkowski K., *Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management*, Procedia Engineering, vol. 182, s. 763- 769, 2017.
- [41] Porter M.E., Heppelmann J.E., *How Smart, Connected Product Are Trans-forming Competition*, Harvard Business Review, vol. 11, s. 64–89, 2014.
- [42] IERC, *European Research Cluster on the Internet of Things. Internet of Things. Position Paper on Standardization for IoT Technologies*, 2015.
- [43] Malucha M., *Internet Rzeczy – kontekst technologiczny i obszary zastosowań*, Studia i Prace WNEIZ US, vol. 54/2, 2018.
- [44] Platforma przemysłu przyszłości, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl> [dostęp 20.08.2023].
- [45] Piątek Z., *Internet Rzeczy w przemyśle*, <https://przemysl-40.pl/index.php/2019/06/13/internet-rzeczy-w-przemysle-2/>, [dostęp 02.06.2023].
- [46] Trzyniec K., Kurpaska S., Gliniak M., Popardowski E., *Zastosowanie nowoczesnych technik i narzędzi informatycznych w zarządzaniu procesami logistycznymi*, Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, vol. 12, s. 257-260, 2019.
- [47] Szeszycka W., *Metoda oceny stanu gotowości do wdrożenia rozwiązań przemysłu 4.0 w przykładowym przedsiębiorstwie*, Politechnika Poznańska, 2021.
- [48] Wierzbowski P., *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, 2019.
- [49] 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].

- [50] Rot A., Blaić B., *Zagrożenia wynikające z implementacji koncepcji Internetu Rzeczy w wybranych obszarach zastosowań*, *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, vol. 341, s. 316-330, 2017.
- [51] 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].
- [52] Bondyra K., Zagierski B., *Przemysł 4.0. Na jakim etapie przemysłowej rewolucji znajduje się województwo Wielkopolskie?*, *Wielkopolskie Regionalne Obserwatorium Terytorialne*, Poznań 2019.
- [53] 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].
- [54] Encyklopedia PWN, *Wirtualna rzeczywistość*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/wirtualna-rzeczywistosc;3996681.html> [dostęp 20.08.2023].
- [55] Grendys A., *Wytwarzanie samochodów bez fizycznych prototypów*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/wytwarzanie-samochodow-bez-fizycznych-prototypow/> [dostęp 20.08.2023].
- [56] Siemiński P., Budzik G., *Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015.
- [57] Jaguszewski A., *Analiza środowiskowa ortez kończyn wykonanych metodami przyrostowymi*, Politechnika Poznańska, 2021.
- [58] 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].
- [59] Encyklopedia PWN, *Symulacja komputerowa*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/symulacja-komputerowa;3982026.html> [dostęp 20.08.2023].
- [60] Platforma przemysłu przyszłości, *Digital Twin*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/digital-twin/> [dostęp 20.08.2023].

- [61] Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R., Gonzalez E. S., *Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability*, Sustainable Operation and Computers, vol. 3, s. 203 – 217, 2022.
- [62] GUS (Główny Urząd Statystyczny), *Polska na drodze zrównoważonego rozwoju. Raport 2020*, <https://raportsdg.stat.gov.pl/2020/cel7.html>, [dostęp 29.05.2023].
- [63] 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].
- [64] Schwab K., *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, 2016.
- [65] Rojko A., *Industry 4.0 Concept: Background and Overview*, International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM), vol. 11(5), s. 77-90, 2017.
- [66] Yang F., Gu S., *Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies*, Complex & Intelligent Systems, vol. 7, s. 1311–1325, 2021.
- [67] Kang H.S., Lee J.Y., Choi S., Kim H., Park J.H., Son J.Y., Kim B.H., Noh S.D., *Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, vol. 3(1), s. 111-128, 2016.
- [68] 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].
- [69] 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].
- [70] 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].
- [71] ISDP (Institute for Security & Development Policy), *Made in China 2025. Backgrounder – June 2018*, <https://isdpc.eu/content/uploads/2018/06/Made-in-China-Backgrounder.pdf> [dostęp 28.06.2023].
- [72] Moon H.-C., Chung J.-E., Choi S.-B., *Korea’s Manufacturing Innovation 3.0 Initiative*, Journal of Information and Management, vol. 38, no. 1, s. 26 – 34, 2018.

- [73] 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].
- [74] 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].
- [75] IVI (Industrial Value Chain Initiative), *Founding Prospectus / Philosophy / Mission / Vision*, <https://iv-i.org/en/organizations/> [dostęp 25.06.2023].
- [76] Smart Nation, *Three Pillars of a Smart Nation*, <https://www.smartnation.gov.sg/about-smart-nation/pillars-of-smart-nation> [dostęp 29.06.2023].
- [77] Wikipedia, *Triple helix model of innovation*, https://en.wikipedia.org/wiki/Triple_helix_model_of_innovation [dostęp 25.06.2023].
- [78] KPK (Krajowy Punkt Kontaktowy) Programów Badawczych UE, *Horyzont Europa*. <https://www.kpk.gov.pl/horyzont-europa> [dostęp 01.07.2023].
- [79] 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].
- [80] 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].
- [81] Soori M., Arezoo B., Dastres R., *Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review*, *Cognitive Robotics*, vol. 3, s. 54-70, 2023.
- [82] Grabowska S., *Smart Factories in the Age of Industry 4.0*. *Management Systems in Production Engineering*, vol. 28(2), s. 90-96, 2020.
- [83] Wikipedia, *DevOps*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/DevOps> [dostęp 02.07.2023].
- [84] *Digital Maturity Benchmark*, <https://digitalmaturitybenchmark.withgoogle.com/en/advertisers/> [dostęp 29.06.2023].
- [85] 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].

- [86] McKinsey & Company, *Polska jako Cyfrowy Challenger i lider handlu cyfrowego*, <https://www.mckinsey.com/pl/our-insights/digital-challengers-3> [dostęp 29.06.2023].
- [87] 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].
- [88] Polski Fundusz Rozwoju, *Test dojrzałości cyfrowej*, <https://pfrsa.pl/siecfirmprzyszloscipfr/test-dojrzalosci-cyfrowej.html> [dostęp 29.06.2023].
- [89] Ustawa z dnia 17 stycznia 2019 r. o Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości, Dz. U. 2019 r. poz. 229.
- [90] Ustawa z dnia 9 lutego 2022 r. o zmianie ustawy – Kodeks spółek handlowych oraz niektórych innych ustaw, Dz. U. 2022 r. poz. 807.
- [91] Platforma przemysłu przyszłości, *Skaner ADMA*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/skaner-adma-opis/> [dostęp 29.06.2023].
- [92] Hegab H., Khanna N., Monib N., Salem A., *Design for sustainable additive manufacturing: A review*. Sustainable Materials and Technologies, vol. 35, 2023.
- [93] Kinkel S., Capestro M., Di Maria E., Bettiol M., *Artificial intelligence and relocation of production activities: An empirical cross-national study*, International Journal of Production Economics, vol. 261, 2023.
- [94] Platforma przemysłu przyszłości, *Weryfikator kompetencji cyfrowych*, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/weryfikator-kompetencji-cyfrowych-opis/> [dostęp 29.06.2023].
- [95] European Commission, *EDIH Catalogue*, <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/edih-catalogue?f%5B0%5D=country%3APoland> [dostęp 20.08.2023].
- [96] European Commission, *DMA Tool*, <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/dma-tool> [dostęp 20.08.2023].
- [97] European Digital Innovation Hubs Network, *Guidance documents*, https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/guidance-documents?f%5B0%5D=search_publication%3ADMA%20Tool [dostęp 20.08.2023].
- [98] 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].

- [99] 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].
- [100] DIN e. V., DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies, *German Standardization Roadmap Industrie 4.0 ED5*, 2023.
- [101] Curzio V., *Henry Ford*, Wydawnictwo Poznańskie, 2014.
- [102] Womack J.P., Jones D.T., Roos D., *The Machine that Changed the World*, 2007.
- [103] Santarek K., Duda J., Oleszek S., *Zarządzanie cyklem życia produktu*, PWE, Warszawa 2022.