

Ewa KACZMAR-KOLNY*, Wojciech POŚPIECH**

4

ANALIZA ROZWOJU TECHNOLOGII W KONTEKŚCIE PRZEMYSŁU 4.0 I 5.0

Streszczenie

W artykule przedstawione zostało zestawienie technologii opracowanych w ramach paradygmatów Przemysłów 4.0 i 5.0. Wybrane technologie poddano analizie pod kątem rozwoju i możliwości komercyjnego wdrożenia. W analizie wykorzystano wykres krzywej rozwoju technologii Gartnera, która kwalifikuje rozwiązania technologiczne do 5 różnych cykli rozwoju.

4.1. WPROWADZENIE

Przedmiotem badań, zwłaszcza w naukach ekonomicznych, jest rozwój społeczno-gospodarczy celem określania podstawowych różnic pomiędzy działalnością ludzi oraz stworzonych przez nich instytucji, a także celem zdefiniowania zasadniczych trendów przemian w szerokokorozumianej „współczesności”. Obecnie ma miejsce faza rozwoju określana pojęciem „Czwartej Rewolucji Przemysłowej” lub „Przemysłem 4.0”, która związana jest m.in. z powszechną cyfryzacją, automatyzacją i innowacjami wyrotowymi [19]. Pojęcie „Przemysłu 4.0” pojawiło się po raz pierwszy w 2011 roku w Niemczech, w kontekście kampanii promującej koncepcję "Industrie 4.0" [24]. Kampania ta miała na celu zwrócenie uwagi na potrzebę modernizacji niemieckiego przemysłu oraz stworzenie nowych możliwości biznesowych. Od tamtej pory koncepcja Przemysłu 4.0 zyskała na popularności i stała się ważnym tematem w dyskusjach na temat przemysłu i jego przyszłości [20]. Jednakże w literaturze coraz częściej pojawia się paradygmat Przemysłu 5.0, który koncentruje się na integracji człowieka oraz maszyny w celu osiągnięcia wyższej efektywności i innowacyjności [11, 13, 17, 22].

Celem artykułu jest analiza potencjału rozwoju rozwiązań technologicznych koncepcji Przemysłu 4.0 i 5.0 z wykorzystaniem wykresu krzywej technologii Gartnera. Artykuł ma na celu zwiększenie świadomości na temat przyszłości przemysłu oraz dostosowaniu się do szybko zmieniających się trendów i wyzwań w dziedzinie przemysłu.

* mgr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, ekaczmar@ubb.edu.pl

** inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, wojtekpos2000@gmail.com

4.2. TECHNOLOGIE I ZASTOSOWANIE PRZEMYSŁU 4.0

Przemysł 4.0 to koncepcja, która opiera się na wykorzystaniu technologii cyfrowych, do których można zaliczyć Internet Rzeczy, sztuczną inteligencję czy automatyzację procesów, w celu usprawnienia i zwiększenia efektywności produkcji. Dzięki wykorzystaniu takich technologii systemy produkcyjne stają się bardziej zautomatyzowane, elastyczne i efektywne, co z kolei pozwala na zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw oraz poprawę jakości i wydajności procesów produkcyjnych. Technologie Przemysłu 4.0 mają również pozytywny wpływ na środowisko naturalne, poprzez ograniczenie zużycia energii i surowców oraz redukcję emisji CO₂. Wprowadzenie tych technologii wymaga jednak znacznych nakładów i inwestycji, a także niejednokrotnie wprowadzania zmian w organizacji pracy, natomiast może przynieść znaczące korzyści dla przedsiębiorstw i całego społeczeństwa. [24]. Poniżej opisane zostanie 7 głównych technologii zaliczanych do koncepcji Przemysłu 4.0.

Internet Rzeczy (*ang. Internet of Things, IoT*) stanowi technologię, która umożliwia zbieranie danych z różnych źródeł, celem optymalizacji procesów wytwórczych oraz monitorowania stanu urządzeń i maszyn. IoT daje możliwość podłączenia dowolnych urządzeń do Internetu, zdalny dostęp do nich oraz możliwość zarządzania nimi z dowolnego miejsca, które posiada dostęp do Internetu. Przykładem aplikacji związanej z IoT są zintegrowane systemy monitorowania, które składają się z wielu bezprzewodowych czujników, w miejsce ich przewodowych odpowiedników, co stanowi rozwiązanie szybsze, tańsze i prostsze we wdrożeniu [10].

Big Data to technologie związane z przetwarzaniem danych. Pozwalają one na analizę i przetwarzanie dużych zbiorów danych, pochodzących z różnych źródeł, celem identyfikacji trendów, wzorców i wykrywania nieprawidłowości. Technologie te również pozwalają na doskonalenie jakości wyrobów, dzięki identyfikacji i usuwaniu wad oraz problemów w czasie rzeczywistym [6].

Kolejną technologią w ramach Przemysłu 4.0 jest sztuczna inteligencja (*ang. Artificial Intelligence, AI*) umożliwiająca nauczanie maszynowe i głębokie uczenie, którego celem jest analiza i przetwarzanie dużych ilości danych, identyfikacja trendów i wzorców, a w konsekwencji prognoza przyszłych wyników. Technologie AI są kluczowe w kontekście czwartej rewolucji przemysłowej ze względu na to, że dają możliwość usprawniania podejmowania decyzji, automatyzacji procesów oraz poprawy jakości i wydajności produkcji [23].

Automatyzacja procesów (*ang. Robotic Process Automation, RPA*) dotyczy automatyzacji zadań powtarzalnych i czasochłonnych przy wykorzystaniu oprogramowania i robotów. Dzięki RPA możliwa jest minimalizacja błędów ludzkich oraz redukcja pracy ręcznej, co z kolei wpływa na wzrost efektywności procesów i skrócenie czasu ich trwania.

Chmura obliczeniowa (*ang. cloud computing*) jest to technologia umożliwiająca przechowywanie i przetwarzanie danych na zdalnych serwerach, co pozwala na elastyczność i skalowalność w zależności od potrzeb. Technologia ta ma znaczny wpływ na umożliwianie dostępu do danych i aplikacji z różnych miejsc i urządzeń [5].

Wirtualna rzeczywistość (*ang. Virtual Reality, VR*) i rzeczywistość rozszerzona (*ang. Augmented Reality, AR*) to kolejne technologie rozwijane w ramach czwartej rewolucji przemysłowej. Wirtualna rzeczywistość sprowadza się do stworzenia (przy wykorzystaniu technologii informatycznych) trójwymiarowego obrazu przedmiotów, przestrzeni, zdarzeń, które imitują rzeczywiste i fikcyjne obiekty [4]. Rozszerzona rzeczywistość stanowi technologię podobną do wirtualnej rzeczywistości, natomiast jej podstawą jest jednoczesne połączenie świata wirtualnego z rzeczywistym za pomocą nakładania wirtualnych obiektów na obserwowanych przedmiotach w czasie rzeczywistym. VR i AR mają wiele zastosowań, takich jak szkolenia pracowników, projektowanie i wirtualna symulacja procesów produkcyjnych, czy nawet pomiary i diagnostyka urządzeń [25].

Produkcja przyrostowa (*ang. additive Manufacturing, AM*) to technologia umożliwiająca drukowanie w trzech wymiarach, co pozwala na szybszą i bardziej elastyczną produkcję części i narzędzi. W Przemysle 4.0 AM jest jednym z kluczowych elementów, ponieważ pozwala na produkcję niestandardowych, zindywidualizowanych i wysokiej jakości produktów w sposób bardziej efektywny, niż tradycyjne metody produkcyjne [6].

4.3. WYZWANIA I TECHNOLOGIE PRZEMYSŁU 5.0

Rozwój technologiczny nieustannie kształtuje i transformuje społeczeństwo oraz gospodarkę. W ostatnich latach obserwuje się dynamiczne zmiany w dziedzinie przemysłu, które wychodzą poza tradycyjne ramy automatyzacji i robotyzacji. W miejsce Przemysłu 4.0 powstaje nowy paradygmat, nazywany Przemysłem 5.0, który w swoich założeniach koncentruje się na integracji człowieka oraz maszyny w celu osiągnięcia wyższej efektywności i innowacyjności [13]. Przemysł 5.0, podobnie jak 4.0, opiera się na wykorzystaniu zaawansowanych technologii, takich jak sztuczna inteligencja, robotyka współpracująca, Internet rzeczy i analiza dużych zbiorów danych, a innowacje te mają na celu umożliwienie dynamicznego i elastycznego dostosowania produkcji do zmieniających się potrzeb rynkowych oraz optymalizację procesów produkcyjnych. Jednak wraz z tymi korzyściami pojawiają się również wyzwania, zarówno technologiczne, jak i społeczne. Przemysł 5.0 wymaga bowiem od pracowników, jak i od przedsiębiorstw, nowych umiejętności i wiedzy. Integracja człowieka i maszyny stwarza nowe wymagania dotyczące ergonomii, bezpieczeństwa i zdrowia w pracy. Oprócz tego, Przemysł 5.0 wiąże się z koniecznością dokonania przekształceń w sposobie zarządzania i pracy w firmach oraz niejednokrotnie ze zmianami struktury organizacyjnej w przedsiębiorstwach. Potencjał nowych technologii jest ogromny, a ich implementacja może przynieść liczne korzyści, do których zaliczyć można zwiększenie jakości produktów, produktywności oraz efektywności energetycznej. Przemysł 5.0 stanowi przełomowy moment dla społeczeństwa i gospodarki, a zrozumienie wyzwań oraz perspektyw z nim związanych jest niezwykle istotne. Odpowiednie dostosowanie się do

tych zmian może przynieść znaczące korzyści zarówno dla przedsiębiorstw, jak i dla społeczeństwa jako całości [17].

Formujący się Przemysł 5.0 niesie ze sobą szereg wyzwań, które należy uwzględnić oraz rozwiązać w procesie jego kształtowania. Do kluczowych wyzwań związanych z tym dynamicznym paradygmatem przemysłowym zalicza się [1, 9, 29]:

- integrację człowieka i maszyny,
- bezpieczeństwo i ochronę danych,
- restrukturyzację i przekwalifikowanie,
- etykę i regulację,
- równowagę pomiędzy innowacjami a zatrudnieniem.

Integracja człowieka i maszyny to jedno z głównych wyzwań Przemysłu 5.0. Dzięki zaangażowaniu wiedzy i kompetencji człowieka w cyberfizyczny system produkcyjny, człowiek i maszyna są w stanie współpracować w celu poprawy wydajności i jakości produkcji [9]. Integracja człowieka i maszyny wymaga opracowania nowych standardów bezpieczeństwa i ergonomii, aby zapewnić zdrowie i dobro pracowników.

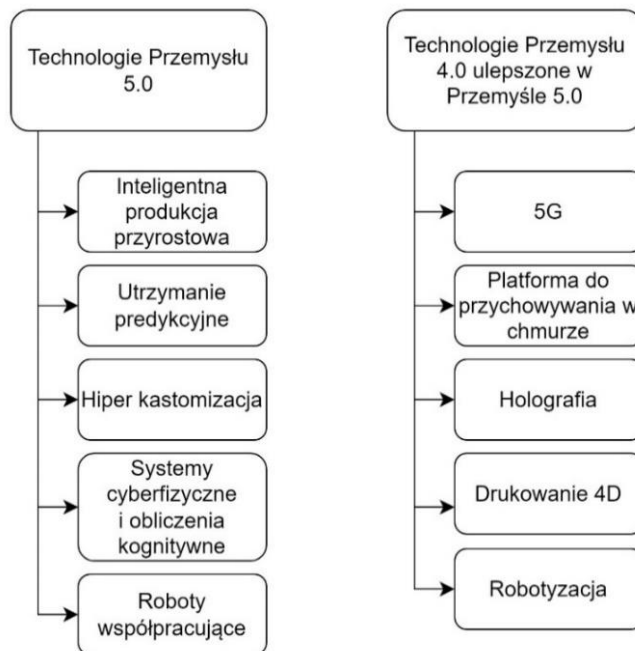
Przemysł 4.0 rozwinął automatyzację istniejących technologii produkcyjnych, natomiast Przemysł 5.0 koncentruje się na właściwej komunikacji pomiędzy robotami a człowiekiem, co realizowane jest zwłaszcza z wykorzystaniem cobotów, które współpracują z człowiekiem celem wykonania określonych zadań [12].

Internet Rzeczy w Przemysle 4.0 narażony był na kradzież danych, włamania i naruszenia bezpieczeństwa danych, wobec tego kolejnym wyzwaniem w Przemysle 5.0 jest bezpieczeństwo i ochrona danych. Wprowadzone zostało oprogramowanie Blockchain, które jest wykorzystywane w zdecentralizowanym IIoT (*ang. Industrial Internet of Things*). Oprogramowanie to integruje dane pochodzące z różnych zasobów i usług wykorzystywanych w inteligentnej produkcji, a następnie wykorzystuje je do wspierania docelowego łańcucha wartości, celem minimalizacji liczby problemów wynikających z usterek sieci i rozwiązywania problemów [12].

W Przemysle 4.0 łańcuch dostaw opiera się na masowej kastomizacji i lepszej wydajności poprzez redukcję odpadów, większą elastyczność i lepszą przejrzystość. W Przemysle 5.0 te korzyści mają zostać utrzymane, jednak jednocześnie kładziony jest jeszcze większy nacisk na masową kastomizację i zrównoważony rozwój w zarządzaniu łańcuchem dostaw [12].

W ramach Przemysłu 5.0 wdrożone zostały nowe technologie oraz rozwinięte zostały technologie Przemysłu 4.0 (rys. 4.1). Potencjał sztucznej inteligencji został wykorzystany w wytwarzaniu przyrostowym, gdyż wdrażanie produkcji przyrostowej to proces złożony obejmujący stworzenie projektu, dobór parametrów planowanie i kontrolę, a technologie informacyjno-komunikacyjne pozwalają napędzić i wesprzeć te procesy [12]. Utrzymanie predykcyjne pozwala stworzyć harmonogramy działań konserwacyjnych w zależności od wydajności sprzętu dzięki czemu możliwe jest obniżanie kosztów konserwacji i poprawa produktywności [27, 28]. Roboty współpracujące i cyfrowe bliźniaki projektowane są w celu intuicyjnej interakcji z człowiekiem i ich ekspansja rozwijana jest ciągle w Przemysle 5.0. Celem tego podejścia jest zapewnienie operatorom maszyn korzyści takich jak precyzja techniczna i zdolność podnoszenia ciężkich obiektów oferowanych

przez roboty [1]. Systemy cyberfizyczne stanowią systemy autonomiczne, które niosą za sobą korzyści dla ludzi takie jak lepsze podejmowanie decyzji czy różne zastosowania obronne. Hiper kastomizacja to koncepcja, która poprzez sztuczną inteligencję wykorzystuje dane do przygotowywania bardziej konkretnych produktów, zgodnych z oczekiwaniami użytkowników w czasie rzeczywistym [12]. Oprócz wyżej wymienionych technologii, w ramach Przemysłu 5.0 rozwinięte i ulepszone zostały technologie czwartej rewolucji przemysłowej, do której można zaliczyć: telekomunikację 5G, technologię do przechowywania danych w chmurze, holografie, drukowanie 4D i robotyzację.



Rys. 4.1. Technologie w Przemysle 5.0 [12]

Formujący się Przemysł 5.0 ma ogromny potencjał w zakresie transformacji społeczno-gospodarczej i tworzenia innowacyjnych rozwiązań. Jednak, aby wykorzystać te perspektywy, konieczne jest odpowiednie przygotowanie, inwestycje w technologie i wsparcie dla pracowników i przedsiębiorstw w procesie adaptacji do nowej rzeczywistości przemysłowej [16].

4.4. POTENCJAŁ ROZWOJU KONCEPCJI PRZEMYSŁU 4.0 I PRZEMYSŁU 5.0

Przemysł 4.0 to rewolucja technologiczna, która ma na celu transformację tradycyjnych systemów produkcyjnych w inteligentne i zintegrowane sieci. Nie jest to

tylko kwestia wdrożenia nowych technologii, ale także zmiana sposobu myślenia ludzi o przemyśle i sposobu, w jaki współdziałają z maszynami. Przemysł 4.0 oferuje wiele korzyści takich, jak na przykład to, że dzięki automatyzacji i robotyzacji, możliwe staje się zwiększenie wydajności produkcji i eliminacja błędów ludzkich. Wprowadzenie systemów wizyjnych i technologii do analizy dużych zbiorów danych umożliwia precyzyjne monitorowanie procesów produkcyjnych i podejmowanie decyzji. Wraz z rozwojem Przemysłu 4.0 można również spodziewać się nowych modeli biznesowych oraz większej elastyczności produkcji. Dzięki technologiom cyfrowym, przedsiębiorstwa będą mogły dostosowywać się do zmieniających się potrzeb rynku i oferować spersonalizowane rozwiązania dla klientów.

Ocena rozwoju koncepcji Przemysłu 4.0 zostanie wykonana przy wykorzystaniu krzywej rozwoju technologii Gartnera (krzywa Hype'a Gartnera, *ang. Gartner Hype Cycle*). Jest to graficzne przedstawienie cyklu adaptacji technologii, które odzwierciedla wzorce reakcji i oczekiwań społeczeństwa wobec nowych innowacji [7]. Przez zastosowanie krzywej Hype'a Gartnera w kontekście Przemysłu 4.0, można lepiej zrozumieć etapy rozwoju tej koncepcji oraz prognozowane korzyści i wyzwania. Poprzez analizę krzywej Hype'a Gartnera w kontekście Przemysłu 4.0, będzie można zobaczyć, jak ta koncepcja ewoluuje od "wyzwań technologii", kiedy rosną oczekiwania i entuzjazm, aż po "płaskowyż produktywności", kiedy Przemysł 4.0 staje się integralną częścią działalności przemysłowej. Ta analiza pozwoli spojrzeć na przyszłość Przemysłu 4.0 z większą perspektywą i lepiej zrozumieć potencjał, jaki on niesie dla przedsiębiorstw, gospodarki i społeczeństwa jako całości.

Krzywa rozwoju technologii Gartnera podzielona jest na 5 sekcji [7, 21, 26]:

- wyzwania technologii (*ang. Technology trigger*) to etap wczesnych technologii, które potwierdzają słuszność koncepcji i stanowią zainteresowanie mediów, jednak ich rentowność komercyjna na tym etapie nie została jeszcze potwierdzona,
- szczyt nadmiernych oczekiwań (*ang. Peak of Inflated Expectations*) to stadium, w którym nowa technologia osiąga wysoki poziom zainteresowania i popularności. W tej fazie, oczekiwania co do potencjału technologii są często nieproporcjonalnie wysokie i pełne entuzjazmu,
- dolina rozczarowania (*ang. Trough of Disillusionment*) w kontekście Przemysłu 4.0 odnosi się do etapu, na którym początkowe hype i entuzjazm wokół technologii zostają zastąpione rozczarowaniem i sceptycyzmem, gdy ograniczenia i wyzwania technologii stają się bardziej widoczne,
- zboczne oświecenia (*ang. Slope of Enlightenment*) - w tej fazie pojawia się wiele oczekiwań, nadziei i rozważań na temat potencjalnych korzyści, jakie Przemysł 4.0 może przynieść. Jednak często występuje również przesadzone przypisywanie technologiom przyszłych sukcesów, bez odpowiedniej oceny ich złożoności, wyzwań czy ograniczeń. Może to prowadzić do nadmiernej ekscytacji, a także do niezrealizowanych oczekiwań,
- płaskowyż produktywności (*ang. Plateau of Productivity*) jest ostatnim etapem krzywej Hype'u Gartnera, który odnosi się do technologii,

osiągających dojrzałość i szerokie wdrożenie odnośnie Przemysłu 4.0. W tym etapie technologie zdobywają stabilność, akceptację oraz zaczynają przynosić realne korzyści dla organizacji.

Do każdej sekcji przypisane zostaną technologie rozwijane w ramach Przemysłu 4.0 i 5.0.

4.1.1. Wyzwania technologii (Technology trigger)

Pierwsza z faz krzywej Hype'u Gartnera to wyzwania technologii, odzwierciedlające rozwiązania technologiczne, które znajdują się przed rynkową komercjalizacją. To strefa fali wznoszącej, obejmująca prace o charakterze badawczo-rozwojowym, premierę rynkową, pierwsze wzmianki w mediach czy wdrożenie prototypu [26].

Do pierwszej fazy wśród rozwiązań technologicznych Przemysłu 4.0 i 5.0 zaliczyć można [3, 8]:

- wschodzącą sztuczną inteligencję (*ang. Emergent Artificial Intelligence, Emergent AI*),
- przetwarzanie bez granic (*ang. Pervasive cloud* albo *ubiquitous computing*),
- bezpieczeństwo i prywatność skoncentrowane na człowieku (*ang. Human-centric security and privacy*).

Wschodząca sztuczna inteligencja to technologia, która zapewnia możliwość większej produktywności i zrównoważonego zróżnicowania siły roboczej. Zastosowanie AI umożliwia wyróżnienie się firmy na tle konkurencji, poprawę jakości obsługi klientów cyfrowych czy podejmowanie lepszych decyzji biznesowych. Dodatkowo technologie sztucznej inteligencji mogą mieć duży wpływ na rozwój produktów czy automatyzację procesów [8]. Technologie AI obejmują:

- Symulacje AI (*ang. AI simulation*), które łączą zastosowania sztucznej inteligencji z technologiami symulacyjnymi dostarczając symulowane środowiska, w których można szkolić pracowników, testować czy wdrażać różne, nowe rozwiązania [8].
- Przyczynową sztuczną inteligencję (*ang. Casual AI*) stanowiącą rozwinięcie standardowej AI i może wspomóc rozwój obsługi klienta w firmach, dzięki identyfikacji i zrozumieniu problemów klientów oraz rzeczywistego wpływu na ich doświadczenia. Standardowa AI bazuje na korelacji pomiędzy zmiennymi, aczkolwiek wystąpienie powiązania nie jest jednoznaczne z przyczynowością. Przyczynowa AI wykorzystuje analizę drzewa błędów celem wykrycia awarii systemu na poziomie awarii komponentów [2, 8].
- Federacyjne uczenie maszynowe (*ang. Federated machine learning*), którego główną koncepcją jest przekazywanie modeli w sposób cykliczny, zamiast przekazywania bezpośrednio danych pomiarowych. Takie rozwiązanie jest rozwinięciem uczenia maszynowego i zapewnia większe bezpieczeństwo danych użytkownika i ogranicza liczbę przesyłanych danych pomiędzy urządzeniami [15].

- Uczenie się ze wzmocnieniem (*ang. Reinforcement learning*) to rodzaj uczenia maszynowego, w którym system uczenia jest trenowany jedynie w zakresie pozytywnych informacji zwrotnych (nagród) i negatywnych informacji zwrotnych (kar) [8].

Rozwiązania AI szacunkowo mogą zostać przyjęte w ciągu 2 do 10 lat [8].

Przetwarzanie bez granic to technologie, które koncentrują się na tym, jak ewoluuje przetwarzanie w chmurze i jak napędza to innowacje w biznesie. Przetwarzanie bez granic sprowadza się do zastosowania urządzeń komputerowych we wszystkich dziedzinach życia dzięki kreowaniu różnorodnych środowisk komputerowych i przeniesieniu usług i funkcji ze świata rzeczywistego do wirtualnego [3]. Do technologii ciągłego przetwarzania zaliczyć można między innymi:

- Środowiska programistyczne w chmurze (*ang. Cloud development environments, CDEs*) zapewniające zdalny, ciągły dostęp do środowiska programistycznego z minimalnymi wymaganiami odnośnie konfiguracji [8].
- Zrównoważony rozwój w chmurze (*ang. Cloud sustainability*), który wspomaga rozwój w systemach gospodarczych, społecznych i środowiskowych poprzez zastosowanie usług w chmurze [8].

Szacuje się, że przetwarzanie bez granic zostanie przyjęte w powszechnym użytku w ciągu 2 do 10 lat [8].

W aspekcie bezpieczeństwa i prywatności opracowywane są technologie, których zadaniem jest poprawa wzajemnego zaufania pomiędzy organizacjami a człowiekiem oraz świadomości wspólnych ryzyk w podejmowaniu decyzji. W celu poprawy bezpieczeństwa i prywatności opracowywane są rozwiązania, których zadaniem jest wykrywanie anomalii w danych i treściach, ochrona danych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji czy ochrona przed atakami [8]. Do technologii związanych z bezpieczeństwem i prywatnością zaliczyć można następujące rozwiązania:

- Architektura siatki bezpieczeństwa (*ang. Cybersecurity mesh architecture, CSMA*) to nowe podejście w zakresie projektowania nowych mechanizmów kontroli, które mają poprawić ogólną skuteczność w zakresie bezpieczeństwa [8].
- Szyfrowanie homomorficzne (*ang. Homomorphic encryption, HE*) to mechanizm wykorzystujący algorytmy, które dają możliwość operacji i obliczeń na zaszyfrowanych danych, dzięki czemu firmy mają możliwość przekazywania danych bez naruszania prywatności.

Rozwiązania w zakresie bezpieczeństwa i prywatności mogą zostać przyjęte w powszechnym użyciu w ciągu od 5 lat [8].

4.1.2. Szczyt nadmiernych oczekiwań (Peak of Inflated Expectations)

Drugim etapem cyklu rozwoju jest szczyt nadmiernych oczekiwań. Faza ta odzwierciedla tendencję wzrostową nadziei i oczekiwań związanych z daną technologią, które w organizacjach wdrażane są w charakterze eksperymentalnym [26]. Ważne jest zrozumienie, że szczyt nadmiernych oczekiwań jest etapem naturalnym w procesie

adopcji nowej technologii. Poddając technologie Przemysłu 4.0 i 5.0 analizie można wyszczególnić te, które aktualnie zaliczają się do tej części wykresu krzywej Gartnera [6]:

- Inteligentne Fabryki (*ang. Smart Factories*) są kluczowym punktem Przemysłu 4.0 i reprezentują wizję przyszłości produkcji. Są to zaawansowane zakłady przemysłowe, w których technologie i systemy cyberfizyczne są zintegrowane, tworząc inteligentne systemy produkcyjne. Jest to jednak długotrwały proces co prowadzi do tego, że nie osiągnie płaskowyzu produktywności wcześniej niż przez najbliższe 10 lat.
- Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT) (*ang. Industrial Internet of Things*) to sieć połączonych urządzeń, czujników i systemów w Przemysle 4.0. Dzięki IIoT, urządzenia przemysłowe oraz maszyny mogą komunikować się ze sobą i wymieniać danymi w celu monitorowania, kontroli i optymalizacji procesów produkcyjnych. Przez ciągłe monitorowanie i automatyzację, IIoT przyczynia się do zwiększenia wydajności, redukcji kosztów, optymalizacji zapasów oraz poprawy jakości i bezpieczeństwa produkcji. Przejmuje się, że technologia ta osiągnie płaskowyz w przeciągu 5-10 lat.
- Chmury Obliczeniowe w Produkcji (*ang. Cloud Computing in Production*) odnoszą się do wykorzystania zdalnych zasobów obliczeniowych i przechowywania danych w celu wspierania procesów produkcyjnych. Poprzez przeniesienie obliczeń i przechowywanie danych do chmur, przedsiębiorstwa mogą zwiększyć skalowalność, elastyczność i dostępność swoich systemów informatycznych. Technologia osiągnie płaskowyz po 10 latach.
- Autonomiczne Roboty w Produkcji (*ang. Autonomous Robots in Production*) ramach Przemysłu 4.0 i 5.0 to zaawansowane roboty, które są zdolne do wykonywania zadań produkcyjnych bez potrzeby ciągłego nadzoru i kontroli człowieka. Wyposażone w sensory, sztuczną inteligencję i zaawansowane algorytmy, autonomiczne roboty mogą samodzielnie poruszać się, manipulować przedmiotami, wykonywać skomplikowane operacje produkcyjne i reagować na zmieniające się warunki. Osiągną płaskowyz po 10 latach.
- Sztuczna Inteligencja w Produkcji (*ang. Artificial Intelligence in Production*) w produkcji w ramach Przemysłu 4.0 AI odnosi się do wykorzystania zaawansowanych algorytmów i systemów AI do analizy danych, podejmowania decyzji, prognozowania oraz optymalizacji procesów produkcyjnych. Technologia osiągnie płaskowyz po 10 latach.
- Natywne usługi chmurowe (*ang. Cloud-native*) to technologie z zakresu przetwarzania bez granic, które stanowią koncepcję tworzenia i uruchamiania aplikacji celem używania rozproszonego przetwarzania, które gwarantuje model chmurowy [18].

4.1.3. Dolina rozczarowania (Trough of Disillusionment)

Część z rozwiązań technologicznych z poprzednich faz nie spełnia oczekiwań, generują błędy i problemy, a inwestorzy wycofują się z ich rozwijania. Wtedy trafiają one do kolejnej strefy krzywej Gartnera tj. doliny rozczarowania [26]. Do tej strefy można aktualnie zaliczyć takie rozwiązania technologiczne jak:

- Cyfrowe zarządzanie łańcuchem dostaw (*ang. Digital Supply Chain Management*), które polega na wykorzystaniu zaawansowanych technologii, takich jak IoT, sztuczna inteligencja i analiza danych, w celu zoptymalizowania oraz usprawnienia procesów logistycznych.
- Technologie augmentacji człowieka (*ang. Human Augmentation Technologies*) obejmują zastosowanie rozwiązań, które wzmacniają zdolności i umiejętności ludzi w procesach produkcyjnych. Przykłady to inteligentne narzędzia oraz wyposażenie, odzież ochronna z wbudowanymi czujnikami, eksoszkielety wspomagające fizyczną pracę oraz interfejsy człowiek-maszyna umożliwiające intuicyjną i efektywną interakcję człowieka z maszynami.
- Uczenie maszynowe dla predykcyjnego utrzymania ruchu (*ang. Machine Learning for Preventive Maintenance*) pozwala na wykorzystanie danych sensorowych oraz analizę trendów w celu prognozowania awarii maszyn i urządzeń w produkcji. Dzięki uczeniu maszynowemu, systemy są w stanie identyfikować wzorce i sygnały alarmowe, które wskazują na nadchodzącą awarię.
- Robotyka kolaboracyjna w produkcji (*ang. Collaborative Robotics in Manufacturing*) w ramach Przemysłu 4.0 obejmuje wykorzystanie robotów, które współpracują bezpośrednio z ludźmi w procesach produkcyjnych. Te roboty są zaprojektowane tak, aby bezpiecznie pracować obok ludzi, dzieląc z nimi przestrzeń roboczą i wykonując powtarzalne zadania.
- Urządzenia do noszenia dla pracowników przemysłowych (*ang. Wearable Devices for Industrial Workers*) to zaawansowane technologicznie urządzenia, które są noszone przez pracowników w celu monitorowania, wspomagania i zwiększania ich wydajności w środowisku produkcyjnym. Przykłady takich urządzeń to inteligentne okulary, inteligentne zegarki, opaski czy rękawice.
- Rozszerzona Rzeczywistość w Zastosowaniach Przemysłowych (*ang. Augmented Reality in Industrial Applications*) w ramach Przemysłu 4.0 umożliwia nakładanie informacji, obrazów i interakcji na rzeczywiste środowisko produkcyjne. Przez korzystanie z technologii AR, pracownicy mogą otrzymywać w czasie rzeczywistym dodatkowe wskazówki, instrukcje, dane diagnostyczne czy informacje o stanie urządzeń bezpośrednio na ekranie lub w okularach.

Szacuje się, że wyżej wymienione technologie ze strefy doliny rozczarowania mogą zostać przyjęte w ciągu 5 do 10 lat.

4.1.4. Zbocze oświecenia (Slope of Enlightenment)

W przypadku gdy wprowadzane są ulepszenia i usprawnienia pierwotnej technologii trafiają one do kolejnej fazy tj. zbocza oświecenia [26]. Do tej fazy zaliczyć można rozwiązania technologiczne takie jak:

- Blockchain dla przemysłu (*ang. Blockchain for Industry*) technologia blockchain staje się bardziej zrozumiała oraz akceptowana w kontekście przemysłowym, co prowadzi do jej większego wykorzystania i wprowadzania w życie. Szacuje się, że blockchain osiągnie płaskowyż w przeciągu od 2 do 5 lat.
- Cyfrowe bliźniaki (*ang. Digital Twins*) to technologia, która staje się bardziej dojrzała i jej wykorzystanie w kontekście przemysłowym przynosi konkretną wartość biznesową [6]. Przyjmuje się, że osiągnie płaskowyż w przeciągu 5-10 lat.
- Zaawansowana analityka dla produkcji (*ang. Advanced Analytics for Manufacturing*) - rozwój narzędzi analitycznych i wizualizacyjnych umożliwia uzyskiwanie bardziej szczegółowych i trafniejszych wyników analizy danych w przemyśle. Przyjmuje się, że osiągnie płaskowyż w przeciągu 2-5 lat.
- Predykcyjne utrzymanie ruchu (*ang. Predictable Maintenance*) odnosi się do wykorzystania technologii oraz danych do monitorowania i prognozowania stanu urządzeń i maszyn w celu zapobiegania awariom. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest optymalne planowanie prac serwisowych co prowadzi do optymalnego użytkowania urządzeń i maszyn. Wykorzystuje się analizę danych, czujniki i algorytmy predykcyjne, aby przewidywać momenty, w których urządzenia mogą wymagać konserwacji lub naprawy, co przyczynia się do minimalizacji przestojów podczas produkcji i optymalizacji wydajności [14]. Szacuje się, że predykcyjne utrzymanie ruchu osiągnie płaskowyż w ciągu 2-5 lat.
- Cyfrowy wątek (*ang. Digital Thread*) - rozwój tej koncepcji pozwala na zintegrowanie cyfrowych procesów, od projektowania produktu do jego produkcji i serwisowania, co przynosi korzyści dla efektywności i jakości produkcji. Szacuje się, że osiągnie płaskowyż w przeciągu 2-5 lat.
- Wirtualna rzeczywistość (*ang. Virtual Reality*) – technologia, która umożliwia badanie określonych przyszłych efektów dzięki przeniesieniu rzeczywistych obiektów w świat wirtualny. Szacuje się, że osiągnie płaskowyż w przeciągu 2-5 lat [4].

4.1.5. Płaskowyż produktywności (Plateau of Productivity)

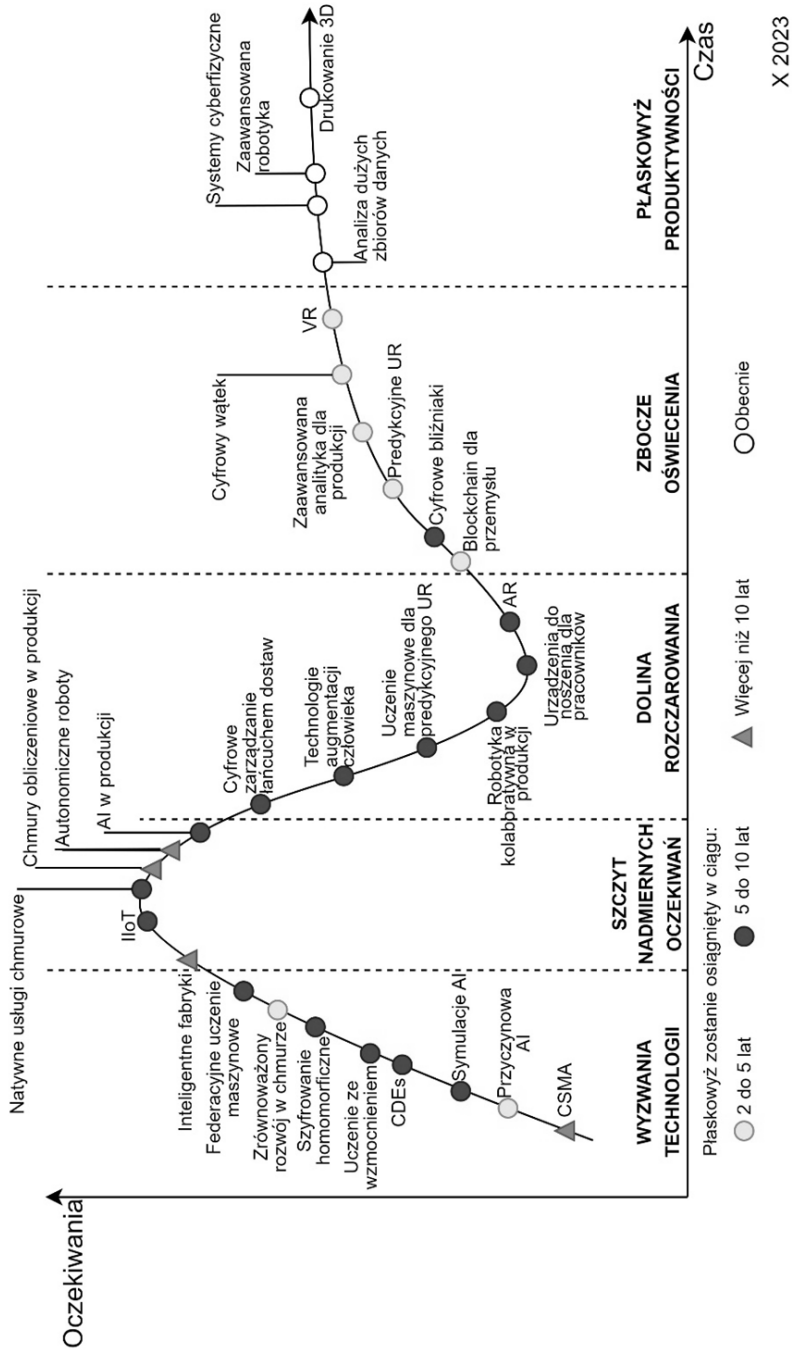
Ostatnia strefa krzywej rozwoju technologii Gartnera to płaskowyż produktywności, który odzwierciedla moment, w którym proponowane rozwiązanie technologiczne osiąga dojrzałość rynkową [26]. Analizując technologie w kontekście rozwoju w ramach

koncepcji Przemysłu 4.0 można wyszczególnić dziesięć głównych wyzwalaczy oraz przyporządkować im na podstawie obecnych trendów rynkowych i prognoz, kiedy każde z technologicznych wyzwalaczy Przemysłu 4.0 może osiągnąć płaski szczyt produktywności:

- Analiza danych dużych rozmiarów (*ang. Big Data Analytics*) odnosi się do procesu wydobywania, przetwarzania, analizy i interpretacji dużych i złożonych zbiorów danych dzięki wykorzystaniu zaawansowanych narzędzi i technik analizy danych, takich jak uczenie maszynowe, eksploracja danych, analiza predykcyjna czy wykrywanie anomalii, może stanowić silne narzędzie dla organizacji, które pragną wykorzystać potencjał swoich danych w celu uzyskania przewagi konkurencyjnej i podejmowania lepiej poinformowanych decyzji.
- Systemy cyber-fizyczne (*ang. Cyber-Physical Systems*) są to złożone i zintegrowane systemy, w których komponenty cyfrowe, takie jak oprogramowanie, sensory, sieci komputerowe, współdziałają z komponentami fizycznymi, takimi jak maszyny, urządzenia, roboty czy infrastruktura fizyczna. CPS łączą w sobie świat cyfrowy i fizyczny, tworząc nową formę systemów inteligentnych.
- Wytwarzanie przyrostowe (drukowanie 3D) (*ang. Additive Manufacturing - 3D Printing*) jest innowacyjną technologią, która odgrywa istotną rolę w Przemysle 4.0. Polega na tworzeniu obiektów poprzez warstwowe nanoszenie materiału na podstawie cyfrowego modelu 3D. Pozwala na elastyczną oraz niestandardową produkcję, umożliwiając szybkie prototypowanie, personalizację i dostosowanie produktów do indywidualnych potrzeb. Dzięki tej technologii można tworzyć skomplikowane geometrie i części o wysokiej precyzji, które są trudne lub niemożliwe do wykonania tradycyjnymi metodami.
- Zaawansowana robotyka (*ang. Advanced Robotics*) odgrywa kluczową rolę w Przemysle 4.0, który koncentruje się na automatyzacji i cyfryzacji procesów produkcyjnych. Zaawansowane roboty przemysłowe są wyposażone w zaawansowane sensory, programowalność, autonomię oraz zdolności do współpracy z ludźmi.

4.1.6. Krzywa rozwoju technologii Gartnera

Na rysunku 2 przedstawiono wykres krzywej rozwoju technologii Gartnera z naniesionymi technologiami Przemysłu 4.0 i 5.0 (stan na październik 2023).



Rys. 4.2. Krzywa rozwoju technologii Gartnera dla technologii Przemysłu 4.0 i 5.0 [8]

Warto badać różnice między różnymi technologiami w kontekście ich cykli Hype'u Gartnera - czy istnieją czynniki specyficzne dla danej branży lub technologii, które mogą wpływać na tempo i kształt przejścia przez kolejne fazy. Analiza wpływu czynników zewnętrznych, takich jak zmiany regulacyjne, trendy rynkowe czy społeczne, na cykle rozwoju Gartnera może dostarczyć cennych wskazówek dla strategii wdrażania technologii i przewidywania ich sukcesu. Przykładem badań może być analiza, jak zmiany w regulacjach dotyczących ochrony danych osobowych wpływają na adopcję technologii związanych z analizą danych lub sztuczną inteligencją.

4.2. PODSUMOWANIE

Krzywa rozwoju technologii Gartnera obrazuje typowy cykl życia nowej technologii, od początkowej euforii i oczekiwań po rozczarowanie i ostateczne osiągnięcie wartości biznesowej. W trakcie fazy "szczytu nadmuchanych oczekiwań" często pojawiają się przesadzone oczekiwania dotyczące potencjału danej technologii, które mogą prowadzić do rozczarowania, jeśli nie zostaną spełnione w krótkim czasie.

Ważne jest umiejętne zarządzanie oczekiwaniami wobec nowych technologii i unikanie przesadnych oczekiwań. Realistyczne podejście i umiejętność oceny potencjału technologii są kluczowe dla skutecznego wdrażania. Przykładem jest technologia blockchain. Po początkowym entuzjzmie, wiele firm i inwestorów zrozumiało, że technologia ta nie jest rozwiązaniem dla wszystkich problemów i nie wszystkie branże potrzebują jej w takim stopniu, jak pierwotnie przewidywano. Realistyczne podejście pozwoliło na bardziej efektywne oraz celowe wykorzystanie blockchain w odpowiednich przypadkach użycia. Firma powinna skupić się na identyfikacji konkretnych przypadków użycia i przewagi konkurencyjnej, które technologia może przynieść. Skoncentrowanie się na wartości biznesowej i korzyściach dla klientów może pomóc uniknąć pułapki nadmuchanych oczekiwań. Przykładem jest Internet Rzeczy (IoT). Firmy, które skupiły się na identyfikacji konkretnych zastosowań IoT w swoich branżach i wykorzystaniu tej technologii do rozwiązania konkretnych problemów, odniosły sukces. Przykładem jest monitorowanie i optymalizacja zużycia energii w inteligentnych budynkach dzięki wykorzystaniu IoT.

Badanie czynników wpływających na skuteczność wdrażania technologii i przyspieszenie ich przejścia z fazy szczytu nadmiernych oczekiwań do płaskowyzu produktywności może dostarczyć cennych wskazówek dla zarządzających i inwestorów w kontekście badania rozwoju Przemysłu 4.0 i 5.0. Przykładem badań może być analiza czynników, takich jak innowacje technologiczne, strategie marketingowe, edukacja rynku czy regulacje, które mogą przyspieszyć przyjęcie danej technologii i skrócić czas trwania fazy „doliny rozczarowania”.

Literatura

- [1] ADEL A.: *Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas*. "Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications" 11, 40, 2022, s. 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>
- [2] CC NEWS: *Technologia AI, która przewiduje przyszłość oraz zachowania ludzkie właśnie powstaje*. <https://ccnews.pl/2023/04/02/technologia-ai-ktora-przewiduje-przyszlosc-oraz-zachowania-ludzkie-wlasnie-powstaje/> [dostęp w dniu 01.10.2023]
- [3] CELEWICZ P.: *Cyfrowa architektura*. „Czasopismo Techniczne. Architektura” R. 109, z. 1-A/1, 2012, s. 117-122
- [4] CZYŻ Ł., GNAT J., KOLNY D., PLINTA D.: *Analiza potencjału zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości w projektowaniu zakładów przemysłowych*. Technologie, procesy i systemy produkcyjne'2021, s. 45-54
- [5] DZIEMBEK D. i inni.: *Cloud Computing – stan obecny i perspektywy rozwoju w Polsce. Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy*, 53, 2018, s. 238-251
- [6] GAJDIK B., GRABOWSKA S.: *Leksykon pojęć stosowanych w przemyśle 4.0*. Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska, 132, 2018, s. 221-238
- [7] GARTNER: *Gartner's Hype Cycle*. www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp [dostęp w dniu 27.09.2023]
- [8] GARTNER: *What's New in the 2023 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*. <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> [dostęp w dniu 01.10.2023]
- [9] GRABOWSKA S.: *Key components of the business model in an Industry 5.0 environment*. Silesian Papers od Silesian University of Technology. Organization and Management Series no. 158, 2022, s. 191-199
- [10] IWANŃSKI T.: *Przemysł 4.0 i wszystko jasne*. „Napędy i sterowanie”, nr 1/2017, 19.1: s. 22-23
- [11] JAFARI N., AZARIAN M., YU H.: *Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?*, "Logistics" 6 no. 2: 26. 2022. DOI: 10.3390/logistics6020026
- [12] KHAN M., HALEEM A., JAVAID M.: *Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0*, "Green Technologies and Sustainability" vol. 1, issue 2, 2023, s. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2023.100020>
- [13] KOLNY D., KACZMAR-KOLNY E., DULINA L.: *Modeling and simulation of the furniture manufacturing and assembly process in the Arena Simulation Software*. "Technologia i Automatyzacja Montażu" nr 1/2023, s. 13-22. DOI: 10.7862/tiam.2023.1.2
- [14] KOSICKA E., MAZURKIEWICZ D., GOLA A.: *Problemy wspomaganie decyzji w systemach utrzymania ruchu*. IAPGOŚ 4/2016, s. 49-52. DOI: 10.5604/01.3001.0009.5189
- [15] KUŁACZ Ł.: *Porównanie metod detekcji zajętości widma radiowego z wykorzystaniem uczenia federacyjnego z oraz bez węzła centralnego*. „Przegląd Telekomunikacyjny - Wiadomości Telekomunikacyjne” nr. 4, 2022. <https://doi.org/10.15199/59.2022.4.72>
- [16] LIS T., MAŁYSA T.: *Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy w aspekcie wdrażanych rozwiązań Przemysłu 4.0*. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas Zarządzanie, 22.1, 2021, s. 95-105
- [17] MOCZYDŁOWSKA J.: *Przemysł 4.0 (?) Ludzie i technologie*. Difin, 2023
- [18] ORACLE: *Czym są natywne technologie chmurowe?* <https://www.oracle.com/pl/cloud/cloud-native/what-is-cloud-native/> [dostęp w dniu 01.10.2023]
- [19] PAPROCKI W.: *Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej* [W:] GAJEWSKI J., PAPROCKI W., PIERIEGUD J. *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa*,

- Szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Gdańsk 2016, s. 39-56
- [20] PIĄTEK Z.: *Czym jest Przemysł 4.0? – część 2*. Publikacja z dnia 3 maja 2017. <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/05/03/czym-jest-przemysl-4-0-czesc-2/>, [dostęp w dniu 27.09.2023]
- [21] PIETRUSZYŃSKI P.: *Żywoł technologii według Gartnera*, <https://www.computerworld.pl/news/Zywoł-technologiei-według-Gartnera,400252.html> [dostęp w dniu 27.09.2023]
- [22] PIZOŃ J., GOLA A.: *Human–Machine Relationship–Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions*, “Machines” 11, no. 2: 203. 2023. DOI: 10.3390/machines11020203
- [23] RÓŻANOWSKI K.: *Sztuczna inteligencja rozwój, szanse i zagrożenia*. Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki, 2007, 2.2, s.109-135
- [24] ŚLUSARCZYK B.: *Potencjalne rezultaty wprowadzania koncepcji Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach*. „Przegląd Organizacji”, nr 1/2019, s. 4-10
- [25] STOKŁOSA E., KOLNY D., ZIOBRO P., WIĘCEK D.: *Innowacyjne technologie w Przemysle 4.0 – rozszerzona rzeczywistość*. Technologie, procesy i systemy produkcyjne’2021, s. 179-188
- [26] TARABASZ A.: *Wearable Technology w sferze Internet of Things – elektryfikacja XXI wieku*. [w:] SUŁKOWSKI Ł., KACZOROWSKA-SPYCHAŁSKA D. (red.), *Internet of Things – Nowy paradygmat rynku*, Warszawa: Difin 2018, s. 106-127
- [27] WU D., JENNINGS C., TERPENNY J., KUMARA S.: *Cloud-based machine learning for predictive analytics: Tool wear prediction in milling*, IEEE International Conference on Big Data (Big Data), IEEE (2016), s. 2062-2069
- [28] YAN J., MENG Y., LU L., LI L.: *Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance*. IEEE Access, vol. 5 (2017), s. 23484-23491
- [29] ZAMORSKA K.: *Pięć rewolucji przemysłowych – przyczyny, przebieg i skutki (ujęcie historyczno-analityczne)*. „Studia BAS”, nr 3(63) 2020, s. 7-23. <https://doi.org/10.31268/StudiaBAS.2020.19>

ANALYSIS OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 AND 5.0

Abstract

The chapter presents a list of technologies developed within the Industry 4.0 and 5.0 paradigms. Selected technologies were analyzed in terms of development and possibilities of commercial implementation. The analysis used a Gartner Hype Cycle chart, which qualifies technological solutions into 5 different development cycles.