

LEKSYKON POJĘĆ STOSOWANYCH W PRZEMYSŁE 4.0

Bożena GAJDZIK^{1*}, Sandra GRABOWSKA²

¹ Politechnika Śląska, Katowice; bozena.gajdzik@polsl.pl

² Politechnika Śląska, Katowice; sandra.grabowska@posl.pl

* Korespondencja

Streszczenie: Wraz z rozwojem przemysłu, a w szczególności tworzeniem inteligentnych fabryk zbudowanych z inteligentnych systemów cyberfizycznych pojawiło się określenie Przemysł 4.0 jako oznaczenie dla czwartej rewolucji przemysłowej. Siłami napędowymi czwartej rewolucji przemysłowej są infrastruktura IT i Internet, a jej podstawowy element stanowią dane, które należy przetworzyć i zagospodarować. Rozwój inteligentnych systemów produkcyjnych ukierunkowany jest na uzyskanie autonomii poprzez właściwości samokonfiguracji, samokontroli, samonaprawiania i samouczenia się maszyn w ciągu produkcyjnym. W wybranych branżach przemysłu w krajach wysoko rozwiniętych pojawiły się zakłady z nowymi rozwiązaniami organizacji produkcji, z użyciem cyberfizycznych systemów produkcyjnych, przemysłowego Internetu Rzeczy, produkcji opartej na chmurze komputerowej i danych, spersonalizowanych wyrobach i innych rozwiązaniach. Celem artykułu jest prezentacja i opis nowego słownictwa, które najczęściej pojawiają się w odniesieniu do Przemysłu 4.0.

Słowa kluczowe: czwarta rewolucja przemysłowa, Przemysł 4.0, inteligentna produkcja.

LEXICON OF TERMS USEING IN INDUSTRY 4.0

Abstract: The development of industry and smart factories with cyber-physical systems caused that new term of industry appeared, the term was “Industry 4.0” as a sign for the fourth industrial revolution. The driving forces of the 4th industrial revolution are IT infrastructure and Internet with its basic elements that is data that needs to be processed and managed. The development of smart production is aimed at achieving autonomy through self-configuration, self-control, self-repairing and self-learning of machines using in the production process. In selected industrial sectors in highly-developed countries, there were new plants with new production organization solutions, using cyber-physical production systems, Industrial Internet of Things, cloud computing, Big Data, personalized products and other solutions. The aim of the article is to present and describe the new vocabulary that most often appear in relation to Industry 4.0.

Keywords: fourth industrial revolution, Industry 4.0, smart production.

1. Wprowadzanie

Nazwa Przemysł 4.0 – Industry 4.0 przyjęła się powszechnie w Europie w drugiej połowie XXI wieku. Nazwa Przemysł 4.0 została wykreowana w trakcie prac zainicjowanych przez rząd niemiecki w 2010 r., dotyczących rozpoznania i analizy nadchodzących przełomowych zmian o strategicznym znaczeniu dla niemieckiej gospodarki. W 2011 roku na Targach Hanowerskich określenie to zostało użyte po raz pierwszy (w oryginale brzmi on Industrie 4.0), przy prezentacjach dotyczących przyszłości przemysłu. W wyniku prac grupy roboczej reprezentantów niemieckiego biznesu, przemysłu i nauki powstał opublikowany w 2013 roku dokument, przedstawiający rekomendacje dla wdrożenia programu nazwanego „Strategiczną inicjatywą INDUSTRIE 4.0”, w którym przedstawiono obraz nowej cyberfizycznej rzeczywistości, kształtowanej przez rewolucyjne zmiany w przemyśle. Termin Przemysł 4.0 został również użyty w projekcie strategii rozwoju technologii „High-Tech Strategy 2020” niemieckiego rządu. Jeden z kluczowych obszarów tej strategii określono jako: „Cyfrowa gospodarka i społeczeństwo” (ASTOR, 2016). Za prekursora zmian na gruncie praktycznym uznaje się fabrykę Bosch w Niemczech. Obecnie liczba firm wdrażających rozwiązania Przemysłu 4.0 rośnie. Są to firmy z różnych branż przemysłu produkujących sprzęt, wyposażenie, maszyny, samochody i usługi, w tym przede wszystkim sieci handlowe.

Determinantami rozwój przemysłu na poziomie 4.0 są: krótszy cykl życia produktów, krótszy cykl wytwarzania, krótkie serie produkcji, zwiększony asortyment produktów, personalizacja wyrobów, integracja technologii informatycznej (IT) z operacyjną (OT), wzrost rozwoju urządzeń typu: automaty, roboty, chaboty, zmiana procesów wytwarzania na procesy o parametrach wysokiej produktywności i precyzji wykonania wyrobów.

Przemysł 4.0 jest transformacyjnym wyzwaniem dla przemysłu obecnego wieku. Tematyka Przemysłu 4.0 jest obecna w opracowaniach gospodarczych na poziomie makroekonomicznym i biznesowych na poziomie mikroekonomicznym. Naukowcy podejmują dyskusje, co do istoty przemian, a wyspecjalizowane ośrodki badawcze i firmy doradcze realizują badania dotyczące różnych aspektów Przemysłu 4.0. W publikacjach naukowych, raportach i w trakcie dyskusji stosowane jest nowe słownictwo, które jest używane do opisu zmian na potrzeby Przemysłu 4.0. Celem artykułu jest prezentacja i opis nowego słownictwa, które najczęściej pojawiają się w odniesieniu do Przemysłu 4.0.

2. Pojęcie Przemysłu 4.0

Definiując Przemysł 4.0 wskazuje się w poszczególnych ujęciach pojęcia przede wszystkim na aspekt cyfryzację produkcji, która jest związana z szerokim zakresem innowacji technicznych, wdrażanych w takich obszarach jak (ASTOR, 2016):

- generowanie, transfer i przetwarzanie danych,
- analityka dużych zasobów danych,
- łączenie i integracja świata wirtualnego i rzeczywistego,
- nowe technologie wytwarzania,
- nowe materiały.

Przemysł 4.0 oznacza integrację systemów oraz tworzenie sieci i integrację ludzi ze sterowanymi cyfrowo maszynami, szeroko wykorzystującymi Internet oraz technologie informacyjne. W ujęciu szerokim poziom 4.0 należy rozumieć jako wspólny termin łączący technologię i organizację łańcucha wartości dodanej (*collective term for technologies and concepts of value chain organization*) (Hermann et al., 2015). Informacje i korelacja danych w Przemysle 4.0 są wykorzystane w dowolnym czasie i z dowolnego miejsca. Przemysł 4.0 jest formą unifikacji świata maszyn i wirtualnego świata Internetu (także Internetu Rzeczy – *Internet of Things*) oraz technologii informacyjnej (Krzyżanowski, 2018). Przemysł 4.0 spina (łączy) maszyn w sieć, obejmującą również systemy zarządzania zasobami wytwórczymi i planowaniem produkcji (PWC, 2018). Nowy system produkcji jest rezultatem upowszechnienia i dystrybucji technologii automatycznej, jak i sieci komunikacji online. Fabryka 4.0 to cyberfizyczne systemy, w których układy IT (informatyczny) i OT (operacyjny) podlegają synchronizacji. Przemysł 4.0 poprzez wdrożone innowacje IT i OT gwarantuje wysoką wydajność i niezawodność procesów z zachowaniem pełnej otwartości systemów produkcji i systemów danych. W ramach integracji systemów It i OT następuje gromadzenie danych o produktach i przetwarzaniu w Internecie Rzeczy, a informacje elektroniczne przenoszone przez poszczególne elementy obrabiane są „umiejscowione” w chmurze informacyjnej – (*cloud computing*) (Hermann et al., 2016). Przemysł 4.0 tworzą cyberfizyczne konstrukcje w inteligentnych fabrykach *smart factories*, korzystających z *cloud computingu* do składowania i obróbki danych, automatycznego transportu wewnątrzny materiałów, przetwarzania materiałów na liniach produkcyjnych, komunikacji między maszynami i produktami, robotyzacji procesów, innowacyjnych materiałów oraz z zastosowania technologii druku 3D do np. uzupełniania magazynu części zamiennych (Gracel, 2017).

Przemysł 4.0 to przewrót w metodologii sterowania produkcją, polegający między innymi na dynamicznym przezbrajaniu maszyn inicjowanym przez informacje przenoszone w elementach obrabianych. Komunikacja w Przemysle 4.0 na poziomie fabryki wymaga szerokopasmowej komunikacji, w tym także na poziomie poszczególnych czujników urządzeń i elementów wykonawczych w czasie rzeczywistym i w rozległych środowiskach sieciowych.

Nowe rozwiązania wdrażane w fabrykach skutkującej zmianą paradygmatów zarządzania i budowaniem nowych modeli biznesowych opartych na zachowaniu równowagi między rozwojem autonomicznej (inteligentnej) technologii i systemami komunikowania się na odległość a jakością życia, i uznawanymi wartościami w poszczególnych społeczeństwach. Zmiany jakie zachodzą w przemyśle na poziomie 4.0 obejmują szeroki zakres innowacji na poziomie zakładów i fabryk należących do różnych branż przemysłu i usług, jak i funkcjonowania całych społeczeństw (Chrzanowski, and Głazewska, 2016).

3. Pojęcia używane w Przemysle 4.0

Wraz z pojawieniem się koncepcji Przemysłu 4.0 powstało również nowe słownictwo w aspekcie implementowanych nowych rozwiązań technicznych i informatycznych w zakładach produkcyjnych. Niektóre ze stosowanych nazw nie mają odpowiednika w języku polskim, są nazwami anglojęzycznymi. Lista pojęć powstała na podstawie ich definicji, dostępnych w opracowaniach internetowych. Używane nazewnictwo składające się na leksykon pojęć Przemysłu 4.0 zestawiono w porządku alfabetycznym. Utworzona lista stosowanych nowych rozwiązań w cyberfizycznych systemach wytwarzania na poziomie rewolucji 4.0 jest otwarta i ciągle uzupełniana o nowe pojęcia pojawiające się wraz ze wzrostem technicznego uzbrojenia pracy i rozwojem technologii oraz automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych.

Przykładowa lista pojęć:

1. *Advanced Manufacturing* – wytwarzanie przyrostowe w Przemysle 4.0. Do wytwarzania przyrostowego zalicza się między innymi: drukarki 3D określane także jako addytywne (np. drukarki RepRap, www.reprap.org, 05.04.2017). Technologia wydruku 3D to np. FDM, MJP, CJP, SLS¹.
2. Aktuatory – moduły wykonawcze w systemach cyberfizycznych.
3. *Application Programming Interface (API)* – program komunikujący się z różnymi rodzajami baz danych (pozwala na łączność systemów i bazy danych między sobą). Poszczególne urządzenia i aplikacje odwołują się do API poprzez funkcje GET lub PUT. API znajduje się po środku wymienionych funkcji, nie ma własnych danych, ale może je wyszukiwać w poszczególnych bazach danych lub poprzez inne podłączone urządzenia (Parczewski, 2017).

¹ Poszczególne technologie wytwarzania przyrostowego stosowane w druku 3D omówiono poniżej zgodnie z przyjętym porządkiem alfabetycznym pojęć.

4. Autonomiczne pojazdy (osobowe, ciężarowe, półciężarowe) sterowane przez czujniki (np. samochody o napędzie elektrycznym), a w Przemysle 4.0 stosowane do między innymi dostawy towarów z magazynu do klienta.
5. *Big Data* – przetwarzanie danych – historyczne dane, tworzone w trakcie uczenia maszynowego, pobierane z chmury obliczeniowej i sprzężenia zwrotnego w postaci kalibracji robotów na podstawie doświadczeń. Dane wykorzystywane są między innymi do ciągłej korekcji wydajności i rytmu pracy w przedsiębiorstwach (Rzeczpospolita, 2017). Dane pobierane z czujników urządzeń są przesyłane i gromadzone w centralnych systemach bazodanowych, a następnie są przetwarzane.
6. *Big Data Analytics* – narzędzie do analizy danych pozyskiwanych z urządzeń produkcyjnych i/lub z otoczenia. *Big Data Analytics* wraz z *Cloud Computing*, umożliwia między innymi wykrywanie i rozwiązywanie niedostrzegalnych dotąd problemów, takich jak zużycie maszyn czy zmęczenie komponentów i optymalizację wykorzystania zasobów wytwórczych.
7. Biosensory i bioidentyfikatory mają zastosowanie w procesie produkcji do kontroli prawidłowego przebiegu całego procesu, jakości końcowego produktu i jego kontroli w procesie sprzedaży. Jednym z zastosowań może być monitorowanie jakości produktów spożywczych – zmian temperatury, przebiegu procesów gnilnych, aby móc w odpowiednim momencie wycofać je ze sprzedaży.
8. Bramki RFID – rozwiązania stosowane w logistyce zakładowej, automatycznie zapisujące transportowane elementy i pośredniczące w wymianie informacji między produkcją a magazynem (Rzeczpospolita, 2017). RFID to technologia radiowych identyfikatorów stosowana w przedsiębiorstwach między innymi do sterowanie łańcuchem dostaw, np. elektroniczne etykiety są wykorzystywane do monitorowania lokalizacji obiektów w danej chwili, jak i do współdziałania różnego rodzaju aplikacji odpowiedzialnych za tworzenie produktu na poszczególnych etapach jego życia. Technologia może być też wykorzystana do dostarczenia użytkownikowi informacji na temat kupionego produktu – instrukcji obsługi, daty ważności, aktualnego stanu i wielu innych. Identyfikacja obiektów ma również zastosowanie w systemach zapobiegania kradzieżom czy w walce z podróbkami.
9. *Computer Aided Design* (CAD) – projektowanie wspomagane komputerowo, przykładowe narzędzia: Mechanical CAD (M-CAD), Electronic CAD (E-CAD).
10. Centrum informacji i sterowania technologią (*Information and Communications Technology* – ICT), jako miejsce w *Smart Factory*, gdzie docierają wszystkie informacje z ocujnikowanego procesu produkcji, oraz sztab z którego monitorowany jest proces produkcji.
11. Chmura obliczeniowa (*Cloud computing*) – służy do składowania i obróbki danych, jest zbiorem danych, który jest powiązany z infrastrukturą produkcyjną na podstawie danych generowanych przez urządzenia i może realizować przetwarzanie korelacji

między różnymi parametrami, charakterystycznymi dla cyklicznego działania maszyn przemysłowych (Rzeczpospolita, 2017). Używając danych z chmury obliczeniowej, producenci otrzymują np. informację, kiedy i w jakim czasie wystąpi potencjalny błąd produkcyjny lub nastąpi niepożądane zdarzenie.

12. *Color Jet Printing* – CJP – technologia wytwarzania przyrostowego stosowana w drukarkach 3D, metoda polegająca na nakładaniu kolejnych warstw materiału rdzenia i materiału koloryzująco-łączącego (każdą kolejną warstwę substancji rdzenia opryskuje się łącznikiem), aby utworzyć replikowany, kolorowy model o dokładnym odwzorowaniu zaplanowanej geometrii. Metoda stosowana w firmach tworzących prototypy, modele, miniatury większych elementów, materiały marketingowe i ekspozyty (www.dsystems.com/on-demand-manufacturing/colorjet-printing, 05.04.2017).
13. Cyberfizyczne Systemy (*Cyber-Physical Systems* – CPS) to systemy, w których świat fizyczny, poprzez sensory i akulatory łączy się z wirtualnym światem, w którym następuje przetwarzanie informacji dotyczących świata fizycznego, w oparciu o matematyczne odwzorowanie fizycznych obiektów. CPS są systemami otwartymi, stanowiącymi kompozycję różnorodnych elementów współpracujących ze sobą, których dynamika jest odwzorowywana w warstwie wirtualnej w procesach przeliczeniowych, dla wygenerowania określonego zachowania/działania/rezultatu (Utrzymanie Ruchu, 2016). CPS wykraczają poza stosowane dotychczas rozwiązania integracji układów obliczeniowych ze światem fizycznym, czyli tzw. systemy wbudowane (*embedded systems*), które stanowią układ zamknięty, ograniczony do konkretnego obiektu, z hardware’em i software’em zaprojektowanymi do realizacji jednoznacznie określonych zadań. CPS działają na znacznie szerszą skalę (systemy otwarte), obejmując różne systemy wbudowane, jak również systemy socjotechniczne, funkcjonują elastycznie, w zależności od zmian zachowania obiektów i otoczenia.
14. Cyberfizyczne systemy produkcyjne (*Cyber-Physical Production Systems* – CPPS) to układy zastosowane w produkcji przemysłowej i używane jako określenie w odniesieniu do całego łańcucha wartości i/lub odrębnych systemów produkcyjnych. W ujęciu szerokim CPPS to system gromadzenia i przetwarzania danych w obszarze całego łańcucha wartości, obejmując środki produkcji, systemy magazynowe i sieci poddostawców. W ujęciu wąskim CPPS definiowane są jako systemy produkcyjne, zawierające znacząco dużą liczbę wbudowanych czujników i aktuatorów oraz wdrożonego oprogramowania do zbierania, analizowania i przechowywania informacji. Informacja jest wymieniana między elementami CPPS poprzez standaryzowane interfejsy komunikacyjne, ale także staje się dostępna globalnie, do wykorzystania przez człowieka w działaniach operacyjnych czy serwisowych (Owerczuk, 2016).
15. *Cybersecurity* – określenie stosowane dla rozwiązań zapewniających bezpieczną, pewną komunikację i identyfikację oraz dostęp zarządczy do systemów i urządzeń w Przemysle 4.0.

16. Cyfrowe przedsiębiorstwo (*Digital Enterprise*) – (inne nazwy: wirtualne, zwinne) – nowy model przedsiębiorstwa, opartego na nowych formach relacji biznesowych z waloryzacją zasobów cyfrowych, dużymi ilościami danych publicznych, funkcjonującego w ramach Internetu Rzeczy i Usług oraz systemów komunikowania się na odległość (2020 Horizon).
17. Cyfrowy bliźniak (*Digital Twin*) to matematyczne odwzorowanie (model matematyczny) obiektów fizycznych w warstwie wirtualnej w ramach systemów cyberfizycznych. Model matematyczny obiektu przetwarza dane pochodzące z czujników zainstalowanych na określonym obiekcie oraz dane powiązane z obiektem, przy czym na poziomie sensorów występują zarówno sensory fizyczne, jak i wirtualne (Utrzymanie Ruchu, 2016).
18. Cyfrowy *End-to-End Engineering* wzdłuż całego łańcucha wartości (*Digital End-to-End Engineering across the entire value chain*) oznacza, że cały proces wytwarzania produktu jest zintegrowany z procesem jego opracowywania i modyfikowania. Opracowanie bazujące na cyfrowym modelowaniu pozwala uwzględnić każdy aspekt wymagań klienta, w każdym stadium realizacji, a powiązanie systemu wytwarzania poprzez CPS z cyfrowym opisem produktu pozwala elastycznie dostosowywać cały proces realizacyjny, począwszy od projektowania produktu przez planowanie produkcji, opracowanie technologii wytwarzania aż po produkcję i serwis (Iwański, and Gracel, 2016).
19. Cyfryzacja (dygitalizacja) – rozpowszechniać i popularyzować technikę cyfrową oraz wprowadzać na szeroką skalę infrastrukturę elektroniczną (Słownik języka polskiego). Cyfryzacja umożliwia między innymi tworzenie alternatywnych walut, jak np. *bitcoin*, działających w oparciu o rozproszone sieci bazodanowe, tzw. *blockchain* (Gracel, 2016).
20. Decentralizowana produkcja (zdecentralizowane procesy produkcyjne) – w wyniku czwartej rewolucji przemysłowej ma miejsce zmiana paradygmatu z „produkcji centralizowanej” na „decentralizowaną”. Paradygmat „produkcji centralizowanej” oznacza realizację kompletnych zadań produkcyjnych w pojedynczym zakładzie albo w organizacji wielozakładowej, obejmującej centralny zakład i sieć powiązanych organizacyjnie podmiotów. Takie systemy funkcjonują w oparciu o centralizowane zarządzanie i kontrolę. Paradygmat decentralizacji oznacza odejście od centralizowanego zarządzania i kontroli przez tworzenie sieci autonomicznych, inteligentnych jednostek procesowych, które wymieniają informacje i konfiguruje się dla optymalnego przeprowadzenia procesu produkcyjnego i osiągnięcia efektywnego rezultatu, bazując na danych związanych z produktem.
21. *Disruptive thinking* – określenie na zmiany w sposobie zarządzania. W Przemysle 4.0 uznaje się, że największym wyzwaniem liderów (menedżerów) jest oddelegowanie rzeczy operacyjnych (przekazanie sterowania procesem produkcji urządzeniom)

- i skupienie się na myśleniu strategicznym i tzw. *disruptive thinking* (rozrywającym/niszczącym myśleniu) (Schwab, 2016).
22. Drukarki 3D (*3D Printing*) – druk 3D jest jedną z najdynamiczniej rozwijających się technologii przyrostowych w Przemysle 4.0. Druk 3D jako druk addytywny, bo tak się go określa, tworzy nową wartość dodaną dla klientów, którzy uczestniczą w projektowaniu rzeczy (wyrobów).
 23. *Failsafe* – systemy komunikacji typu bezpiecznych w razie awarii, które radzą sobie z wymianą ogromnej ilości danych nawet w tarcie problemów systemów (PWC, 2018).
 24. *Fused Deposition Modelling* (FDM) – metoda wytwarzania przyrostowego przy użyciu drukarek 3D, polega ona na tym, że podgrzany materiał w stanie ciekłym wyciskany jest przez dysze na poruszający się po odpowiedniej ścieżce stolik – podstawkę, gdzie warstwa po warstwie osadza się topiony materiał. Dzięki tej metodzie można np. zapewnić rozrywkę podczas przyjęcia – w postaci drukarki czekoladowych figurek, ale także wydrukować dowolny przedmiot z materiału (polimerów), którego temperatura topnienia pozwala na tak prosty mechanizm działania (temperatury topnienia polimerów sięgają kilkudziesięciu stopni, a w przypadku stali – 1500°C). Najpopularniejszymi materiałami do druku FDM są ABS, PLA i PET – polimery o delikatnie różniących się między sobą temperaturach topnienia i różnych właściwościach finalnego wyrobu. PLA np. to polimer biodegradowalny – poliglikolid – nadający się do wykorzystania np. w medycynie jako warstwy powierzchniowe implantów, z których wydzielane są substancje lecznicze. Technologia FDM wykorzystywana jest w również w medycynie przy wydruku sztucznych narządów czy tkanek, a także tzw. scaffoldów, które następnie porastają odpowiednie komórki występujące w organizmie ludzkim (Hyja, 2017; Ślusarczyk, 2017).
 25. *Human-centred automation* (człowiek w centrum automatyzacji) – nowe rozwiązania techniczne zorientowane na zwiększenie możliwości pracowników, a nie na ich zastępowanie. Koncepcja opiera się na ustaleniu miejsca człowieka w wirtualnym świecie i jego funkcjonowanie w oparciu o „rzeczywistość rozszerzoną”. Koncepcja Przemysłu 4.0 wymaga zmiany profili obecnych stanowisk i tworzenia zupełnie nowych dla analityków, inżynierów IT. Rozwój kompetencji będzie mieć charakter ciągły i zostanie zintegrowany z procesami produkcyjnymi. Wspomagany będzie przez wprowadzenie cyfrowych asystentów pracownika. Ustawiczne rozwijanie umiejętności stanie się standardem, między innymi przez możliwości zdalnego komunikowania się z urządzeniami i zawiadywania ich pracą. Pracownik będzie elastycznie konfigurować swój czas fizycznej obecności w fabryce, ucząc się i pracując na odległość (Soldaty, 2018).
 26. Inteligentne fabryki (*Smart Factories*) – to zakłady, w których cyberfizyczne systemy komunikują się ze sobą przez Internet Rzeczy oraz asystują ludziom i maszynom

w realizacji ich zadań. W inteligentnych fabrykach cyberfizyczne systemy monitorują fizyczne procesy, tworzą wirtualne kopie fizycznego świata i podejmują zdecentralizowane decyzje, bazując na mechanizmach samoorganizacji. Inteligentne fabryki korzystają także z Internet Usług zarówno w układzie wewnętrznym, jak i zewnętrznym, wówczas usługi czy serwisy oferowane i wykorzystywane przez uczestników sieci wartości (Platform: Industry 4.0). W ramach *smart factory* konsumenci mogą zamawiać w pełni spersonalizowane produkty, bo w pełni zautomatyzowane linie produkcyjne w wielu fabrykach będą mogły komunikować się bezpośrednio między sobą i koordynować produkcję w wielu miejscach (miastach, krajach) jednocześnie – idea „mass customization”.

27. Inteligentna (elastyczna) produkcja (*Smart Production*), czyli produkcja spersonalizowanych wyrobów, produkcja ciągle dostosowywana do wymagań klienta i do coraz wyższych wskaźników wydajności. Sam produkt ma zapisaną w sobie informację i komunikując się ze środkami produkcji, maszynami, wybiera optymalną drogę wytwarzania. Inteligentna produkcja jest możliwa po odejściu od modeli centralizowanych do decentralizowanych, gdzie ma miejsce personalizacja produktu, czyli odejście od masowości w kierunku rozwiązań indywidualnych (Soldaty, 2018).
28. Inteligentne maszyny, np. koboty i platformy, które dają pewne (stosunkowo proste) wyobrażenie o robotach przemysłowych. Inteligentne maszyny są wyposażone w zestaw czujników same wiedzą, w jakim są stanie i kiedy poszczególne podzespoły wymagają konserwacji czy wymiany.
29. Inteligentne roboty – uczące się roboty (*learning robots*) – nowa generacja robotów, charakteryzujących się aktywną interakcją z otoczeniem i z innymi urządzeniami, ciągle adaptujących się do zmieniających się warunków i wymagań otoczenia oraz możliwości zasobów wytwórczych. Inteligentne roboty zastosowane w produkcji określa się jako roboty przemysłowe.
30. Internet Rzeczy (*Internet of Things* – IoT) – niekiedy używaną formą jest Internet Przedmiotów – stanowi dynamiczną globalną sieć fizycznych obiektów, systemów, platform i aplikacji, które są zdolne do komunikowania oraz dzielenia się inteligencją pomiędzy sobą, a także zewnętrznym otoczeniem i ludźmi. Internet Rzeczy to określenie oznaczające sytuację, w której wiele różnorodnych urządzeń elektronicznych jest podpiętych do wspólnej (globalnej) sieci i dzięki uniwersalnym protokołom komunikacyjnym, mogą wymieniać ze sobą dane, bez pośrednictwa człowieka (Ashton, 2009). IoT dzięki systemowi indywidualnej identyfikacji umożliwia „rzeczom” – takim jak tagi RFID, sensory czy akulatory – wchodzić w interakcje i współdziałać ze sobą dla osiągnięcia wspólnych celów. IoT to możliwość podłączenia urządzeń (w zasadzie dowolnych) do Internetu, dostęp do tych urządzeń oraz zarządzanie nimi z dowolnego miejsca. Dotyczy to zarówno urządzeń, z których korzysta się na co dzień (sprzętów domowych, telefonów, zegarków itp.), jak i –

w ujęciu przemysłowym – maszyn i technologii działających w fabrykach. Inteligentne czujniki umożliwiają – od maszyny pracującej w fabryce przez samochód po ubrania – podłączyć do Internetu. Wszystko zaczyna się od zbierania danych z sensorów. Te mogą aktywnie wysyłać rejestrowane wartości do serwerów lub innych urządzeń, bądź czekać na odpytanie. Wiele będzie zależało od zastosowanego interfejsu komunikacyjnego, ale większość rozwiązań Internetu Rzeczy koncentruje się na komunikacji cyfrowej, czy to za pomocą przewodowego Ethernetu, czy też z użyciem technologii bezprzewodowych, takich jak np. Bluetooth lub Wi-Fi. Zbierane lokalnie dane – na potrzeby przetwarzania, są przesyłane do centralnego serwera. Producenci systemów do wdrażania IoT tworzą zestawy bibliotek, które ułatwiają, w ramach oferowanych przez nich środowisk, łączenie się z najbardziej popularnymi serwerami chmurowymi. Za przykłady mogą posłużyć usługi firm Amazon i Microsoft, a szczególnie chmura Microsoft Azure IoT, która została zaprojektowana właśnie pod kątem Internetu Rzeczy (Barciński, 2016). Internet rzeczy umożliwia (poza przedsiębiorstwem) stworzenie inteligentnych domów, inteligentnych miast, inteligentnej służby zdrowia, inteligentnej energetyki itp. (Kaliczyńska, 2015).

Pojęcia IoT i CPS są bliskoznaczne i nawzajem się przenikają. Różnica wynika z tego, że akcent w przypadku IoT kładziony jest na zagadnienia identyfikowania „rzeczy” i komunikacji między nimi, podczas gdy w przypadku CPS w centrum zainteresowania znajdują się relacje pomiędzy modelami obliczeniowymi a światem fizycznym.

31. Integracja systemów IT i OT: informatycznego/biurowego (IT) i operacyjnego/produkcyjnego (OT). Systemy IT w przemyśle służą do planowania logistyki, zarządzania relacjami z klientami i wspomagają podejmowanie kluczowych decyzji na temat sposobu działania przedsiębiorstwa. Systemy operacyjne służą natomiast do monitorowania warunków pracy urządzeń, sterowania nimi oraz do kontroli procesów. Różnice pomiędzy IT i OT leżą nie tylko w odmiennym oprogramowaniu, ale też w wymaganiach stawianych tym systemom, implementowanych standardach, a nawet w sposobie pracy osób obsługujących poszczególne systemy. W ramach Przemysłowego Internetu Rzeczy konieczne staje się połączenie tych dwóch światów – wymaga to działań w postaci modernizacji osprzętu oraz zmian procedur. Dla zapewnienia elastyczności instalacji, systemy informatyczne muszą pracować w ramach tych samych sieci na bazie tych samych serwerów, co systemy operacyjne. To natomiast stawia nowe wymogi odnośnie komponentów sieciowych, wykorzystywanych do transmisji danych. Powstają nowe standardy, które wprowadzane stopniowo, pozwolą zespolicz ze sobą te dwie grupy rozwiązań, np. technologia *Time Sensitive Networking*, opracowywana w ramach IEEE przez firmy takie jak Cisco i Intel, pozwala na synchronizację pracy urządzeń podpiętych do jednej, klasycznej sieci *Ethernet*, bez konieczności stosowania jej przemysłowych odpowiedników. Poprzez wykorzystanie routerów ethernetowych, wspierających nowy standard jest możliwa

- transmisja danych w sieciach przemysłowych (OT), które łączą się z sieciami biurowymi (IT).
32. Internet Usług (*Internet of Services* – IoS) jest częścią Internetu, który reprezentuje usługi i ich funkcjonalność jako komponenty dostarczane przez różnych dostawców, dostępne do wykorzystania na życzenie i charakteryzujące się możliwością integracji wzajemnej. IoS służy do elastycznego budowania sieci wartości przez dynamiczne konfigurowanie usług dobieranych z różnych zasobów udostępnionych w sieci.
 33. IPOsystem jest pierwszym, polskim inteligentnym, autonomicznym systemem decyzyjnym samodzielnie sterującym produkcją, podejmuje działania planistyczne i logistyczne oraz przydziela zadania urządzeniom i ludziom na halach produkcyjnych. IPOsystem samodzielnie steruje maszynami, urządzeniami transportowymi, robotami, drukarkami 3D, ale również wydaje polecenia pracownikom obsługujących proces produkcyjny. System ten potrafi również nadzorować pracę człowieka. System na bieżąco oblicza aktualne terminy realizacji wszystkich zleceń (z dokładnością do minuty). Optymalizuje też funkcjonowanie całej organizacji – samodzielnie zarządza pracownikami, których praca jest związana bezpośrednio z produkcją, pracownikami transportu wewnętrznego, magazynu, zaopatrzenia i kontroli jakości. Potrafi samodzielnie sterować zautomatyzowanymi maszynami, liniami produkcyjnymi, robotami. Jednocześnie bardzo upraszcza zarządzanie przedsiębiorstwem. Wspiera procesy planowania strategicznego. Rozwiązania stosowane w systemie dostarczają informacji, na podstawie której podejmowane są działania poprawiające efektywność firmy, np. w ramach optymalizacji procesów inwestycyjnych, poprawy efektywności realizacji procesów technologicznych (Kleiber, 2016).
 34. Kluczowe wskaźniki wydajności (*Key Performance Indicators* – KPI) opisują produkcję przemysłową w systemach cyberfizycznych, w których optymalizuje się proces wytwarzania z uwzględnieniem zasobów wytwórczych i oczekiwań klienta (Portal: Utrzymanie Ruchu).
 35. Logistyka 4.0 (*Logistics 4.0*) to termin odnoszący się do nowoczesnej logistyki w łańcuchu dostaw, obejmującym wzajemną wymianę danych, cyfryzację i chmury obliczeniowe. Inteligentne i cyfrowo połączone systemy tworzą komunikację między ludźmi, maszynami, sprzętem, rozwiązaniami logistycznymi i produktami (Szymańska et al., 2017; Leksykon transportowy).
 36. *Long tail* – większa sprzedaż, rozwijanie indywidualnych, niszowych produktów, których udział w sprzedaży danego asortymentu staje się dominujący przy rozwiniętej infrastrukturze wymiany informacji, produkcja wyrobów, która kiedyś była nieopłacalna lub nawet nieuświadomiona staje się realna w Przemysle 4.0 (Soldaty: ASTOR).
 37. Masowa konsumpcja – *mass customization*.

38. Maszyna – Maszyna (*Machine-to-Machine*) – komunikacja urządzeń na ogromną skalę w układzie smart factories (między sobą i z ludźmi) oraz poza zakładami (pobieranie informacji z zewnętrznych systemów danych).
39. Minitranspondery – służą do powiązania elementów łańcucha produkcyjnego, tak jak i układy RFID. Każdy produkt ma „zaszytą w sobie” cyfrową informację, która podczas całego procesu produkcyjnego może być bez ingerencji człowieka wymieniana między tymi produktami oraz z otoczeniem. Generowane informacje są z kolei wykorzystywane przez inteligentne urządzenia produkcyjne do autonomicznego włączania się w kolejne kroki procesu produkcyjnego, wynikające z aktualnego stanu przetworzenia produktu.
40. *Multi Jet Printing* (MJP) – technologią wytwarzania przyrostowego przy użyciu drukarki 3D. W metodzie tej napylany cienkimi warstwami fotopolimer utwardzany jest wiązką światła UV. Produktem technologii MJP jest gładki element, który wyłania się z basenu płynnego polimeru (www.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp, 05.04.2017).
41. Orientacja serwisowa – rozwój Przemysłu 4.0 prowadzi do zmiany modeli biznesowych z orientacji produktowej na orientację serwisową, czyli oferowanie w sieci najlepszej w swojej specjalności usługi dla zrealizowania danego fragmentu procesu wytwórczego. W odniesieniu do łańcucha wartości w ujęciu M. Portera, w którym produkt lub serwis przemieszcza się jednowymiarowo do kolejnych jednostek organizacyjnych (a każda dodaje wartość), w nowej rzeczywistości przemysłowej mówi się o sieciach wartości, które są wielowymiarowe. Źródłem wartości jest tu kombinacja ogniw sieci, oparta na współdziałaniu (Clarke and Stewart, 2000).
42. Personalizacja produktów, czyli dostosowanie wyrobów do indywidualnych potrzeb klienta.
43. Platforma biznesowa – model biznesowy, który tworzy wartość przez łączenie dostawców i odbiorców lub samych wytwórców oraz umożliwienie wymiany wartości tworzonych przez uczestników sieci i ułatwienie współdziałania. Współczesne pojęcie platformy odnosi się do cyfrowej warstwy, która pozwala partnerom biznesowym łączyć się i współdziałać z dowolnych aplikacji i urządzeń.
44. Platforma sieci *Ethernet* – koncepcja inteligencji maszynowej rozproszonej między pojedynczymi maszynami pracującymi na platformie sieci Ethernet czasu rzeczywistego, stosowana w elastyczniejszej produkcji przemysłowej. Przykłady rozwiązań: protokół komunikacji Ethernet POWERLINK (zapewnia skuteczną w optymalizacji wymiany danych z układami od innych producentów w obrębie środowiska produkcyjnego, a także wymiany danych z systemami informatycznymi w środowisku administracyjnym zakładów przemysłowych), system sterowania procesem APROL,

- oferowany przez B&R (stosowany do integracji całych sieci maszynowych i automatyki budynków w pojedyncze, kompleksowe systemy produkcyjne) (cyt. za: PWC).
45. Pozioma integracja wzdłuż sieci wartości (*horizontal integration through value networks*) – określenie stosowane w odniesieniu do produkcji, automatyzacji i IT, oznacza integrację różnych systemów IT używanych w różnych stadiach wytwarzania i planowania, obejmujących przepływ materiałów, energii i informacji zarówno wewnątrz firmy, jak i na zewnątrz w sieciach wartości. W koncepcji Przemysłu 4.0/Industry 4.0 horyzontalna integracja oparta jest na cyfryzacji, dzięki której następuje przepływ informacji w sieci wartości – od klienta przez producenta do dostawcy, i odwrotnie. Istotne znaczenie dla horyzontalnej integracji ma *product memory*. Horyzontalna integracja obejmuje zarówno komponenty sieci wartości wewnątrz firmy, jak i sieć kooperantów. Wymiana informacji dotyczy nie tylko przepływów towarowych, ale też danych określających niezawodność dostaw i zadowolenie klientów (ASTOR, 2016).
46. *Product memory*, czyli indywidualne przypisanie każdemu produktowi, jeszcze przed procesem wytwarzania, wszystkich niezbędnych informacji dotyczących wymagań produkcyjnych. Produkt komunikuje się z cyberfizycznymi systemami produkcyjnymi podczas całego przebiegu realizacji, z wykorzystaniem technologii RFID. W Przemysle 4.0 urządzenia produkcyjne nie tworzą wyrobu według zdefiniowanej procedury, sam produkt komunikuje maszynom kolejne etapy przetwarzania (ASTOR, 2016).
47. Protokół *openSAFETY* pozwala łatwo i niezawodnie zarządzać całą linią produkcyjną i dynamicznie konfigurowalnymi modułami, w formie pojedynczych zabezpieczeń. Protokół opiera się na zintegrowanych funkcjach bezpieczeństwa dla złożonych łańcuchów bezpieczeństwa pracy urządzeń. Stosowany jest także do kontroli granicznej prędkości w punkcie centralnym narzędzia, operatorzy maszyn mogą w pełni wykorzystywać potencjał maszyn. Protokół *openSAFETY* działa całkowicie niezależnie od rodzaju sieci *fieldbus*, a tym samym umożliwia włączanie modułów i całych maszyn w skład jednego zabezpieczenia, nawet jeśli elementy składowe komunikują się ze sobą w różnych protokołach wymiany danych (<https://www.br-automation.com/pl/onas/customer-magazine/2013/201306/czwarta-rewolucja-przemyslowa-zalezy-od-powerlink-i-opensafety/>).
48. Przemysłowy Internet Rzeczy (*Industrial Internet of Things – IIoT*) – sieć fizycznych obiektów, systemów, platform i aplikacji, które są zdolne do komunikowania oraz dzielenia się inteligencją pomiędzy sobą, zewnętrznym otoczeniem i ludźmi w środowisku przemysłowym. Menadżerowie mogą monitorować, modyfikować oraz serwisować w czasie rzeczywistym urządzenia zainstalowane na całym świecie. IIoT sprawia, że otoczenie może wpływać na zachowania i decyzje (na przykład projektować dla reklamy w zależności od miejsca, w których przebywa odbiorca, podejmować decyzje z uwzględnieniem czynników otoczenia, np. pogodowych).

49. *Selective Laser Sintering* – SLS, technologia wytwarzania przyrostowego z użyciem drukarek 3D do projektowania elementu, metod polega na spiekaniu proszków. Jest powszechnie wykorzystywana w przemyśle zarówno do szybkiego prototypowania elementów metalowych, jak i wykonywania ostatecznych form produktów, np. w sytuacji uszkodzenia elementu konstrukcyjnego maszyny, gdzie konieczne jest szybkie dostarczenie nowego detalu (https://pl.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering, 05.04.2017).
50. *Sharing economy* – określenie dla nowych, nieznanych wcześniej modeli biznesowych, które pojawiają się wraz z rozwojem Przemysłu 4.0, w ujęciu globalnym. Działanie globalne jest możliwe dzięki technologiom, bez zasobów fizycznych (np. Uber) (Götz and Gracel, 2017).
51. Sieci autonomicznych, inteligentnych jednostek procesowych – struktura konstrukcyjna produkcji decentralizowanej.
52. Sieć wartości (*Net of value chain*) – nowa struktura sieci jako ewolucja łańcucha wartości w ujęciu M. Portera, w którym produkt lub serwis przemieszcza się jednowymiarowo do kolejnych jednostek organizacyjnych (a każda dodaje wartość), w nowej rzeczywistości przemysłowej konstruowane są sieci wartości, które są wielowymiarowe. Źródłem wartości jest tu kombinacja ogniw sieci, oparta na współdziałaniu. Funkcjonowanie sieci wartości opiera się na platformach (Bujak, 2017).
53. *Smart Factory to Smart Factory* – w pełni zautomatyzowane linie produkcyjne w wielu fabrykach będą mogły komunikować się bezpośrednio między sobą i koordynować produkcję, co w rezultacie doprowadzi do sytuacji, że konsumenci będą mogli z upływem czasu zamawiać (poza samochodami) inne w pełni spersonalizowane dla nich produkty, także te codziennego użytku. Jest to urzeczywistnienie idei *mass customization*. Poprzez w pełni zautomatyzowane linie produkcyjne w wielu fabrykach będą mogły komunikować się bezpośrednio między sobą i koordynować produkcję. W wielu miastach i wielu krajach jednocześnie *Sprytna* (tak ją nazwijmy) fabryka ma umożliwić przeprowadzenie w zasadzie całego procesu produkcyjnego z minimalnym udziałem ludzi (Gracel, 2016).
54. Spersonalizowane produkty – produkty tworzone na życzenie i zgodnie oczekiwania klienta, a także pod jego cechy psychofizyczne. Klienci są uczestnikami procesu projektowania wyrobów, między innymi poprzez zastosowanie drukarek 3D i masy plastycznej do tworzenia wyrobu (prototypu lub finalnego wyrobu).
55. Sztuczna inteligencja – to w dużym uproszczeniu maszyny, które mogą przejawiać zjawiska analogiczne do ludzkiej inteligencji (Biedrzycki, 2017).
56. *Tech-life harmony* – nowy model biznesowych dotyczących między innymi uczestniczenia technologii w procesach produkcyjnych online w różnych miejscach, najczęściej

- poza pracą (*home office*). Model *tech-life harmony* jest kolejnym po *work – life balance* modelem, w którym w przeciwieństwie do poprzedniego nie chodzi o zachowanie równowagi między czasem pracy i obowiązkami zawodowymi, a czasem poświęcanym rodzinie, ale o zgodność postępowań i działań człowieka, który ma ciągły kontakt a technologią (*Hight Tech – HT*) nie tylko w pracy, ale przede wszystkim poza nią poprzez urządzenia mobilne: telefony, laptopy, autonomiczne pojazdy (np. samochody, drony), jak i zaawansowane roboty, pracujące w fabrykach, służące do opieki nad starszymi, sprzątające, gotujące, a także nowe materiały, np. samooczyszczające się ubrania, ceramika wymieniająca nacisk na energię, grafen oraz druk 3D (Gracel, 2016).
57. Technologie wytwarzania przyrostowego (*Advanced Manufacturing*) – technologie stosowane w *smart factory*, np. 3-D printing – zarówno do prototypowania, jak i realizacji indywidualnych zamówień klienta.
58. Uczące się maszyny (*machine learning*) – to takie przetwarzanie bieżących danych z chmury danych, aby uczyć urządzenia produkcyjne optymalnego wykonywania swoich zadań z jednoczesną kalibracją na bieżąco nastawnych parametrów roboczych (<http://www.controlengineering.pl/przemysl-4-0-rewolucja-odbywa-sie-na-naszyc-oczach/>, Rewolucja Przemysł 4.0 odbywa się na naszych oczach, 26.03. 2018).
59. Wirtualny doradca (*chatbot*) – zautomatyzowana wersja sprzedawcy, doradcy, asystenta lub obsługi reklamacji (Matwiejczyk, 2017).
60. Zintegrowany Przemysł (*Integrated Industry*) – określenie stosowane dla formy linii produktów z wykorzystaniem rozwiązań automatyki mobilnej w ramach wielu fabryk typu smart.

4. Podsumowanie

Przygotowany leksykon pojęć stosowanych w koncepcji czwartej rewolucji przemysłowej jest pomocnym narzędziem dydaktycznym i biznesowym. Znajomość tych pojęć już niebawem, stanie się wymogiem i koniecznością dla ludzi, aby mogli funkcjonować i współpracować z cyberfizycznymi systemami produkcji w Przemysle 4.0 na całym świecie. Przykładowe programy działań realizowane w wybranych krajach potwierdzające rozwój koncepcji Przemysłu 4.0: Niemcy: *Industrie 4.0*, USA: *Industrial Internet Consortium*, Chiny: *Made in CHINA 2025* i *Internet Plus*, Tajwan: *Productivity 4.0*, Indie: *Industry 4.0 make in India* i *Skill India*, Japonia: *IVI The industrial value chain Initiative* (Bujak, 2017). W Polsce również podejmowane są działania na rzecz rozpropagowania koncepcji Przemysłu 4.0, np. platformy informacyjne *Industrie 4.0*, linie produkcyjne w pełni zrobotyzowane i sterowane komputerowo w zagranicznych firmach, mających oddziały w Polsce, np. Bosch.

Bibliografia

1. 2020 Horizon (2018.08.27). Available online <http://www.2020horizon.pl/Cyfrowe-przedsiębiorstwo-t406.html>.
2. Ashton, K. (2018.12.09). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*. Retrieved from <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.
3. Barciński, A. (2017.06.29). Internet rzeczy w przemyśle. Retrieved from <http://automatykaonline.pl/Artykuly/Przemysl-4.0/Internet-Rzeczy-w-przemysle>.
4. Biedrzycki, N. (2017.06.29). Żywe mózgi, które rodzą Sztuczną Inteligencję. Retrieved from <https://www.forbes.pl/opinie/sztuczna-inteligencja-ludzie-ktorzy-za-nia-stoja-w88sb8q>.
5. Bujak, A. (2017). Rewolucja przemysłowa – 4.0 i jej wpływ na logistykę XXI wieku. *Autobusy*, 6, 1338-1344.
6. Chrzanowski, A., Głazewska, I. (2016). Wpływ rewolucji technologicznej na ewolucję strategicznych paradygmatów zarządzania przedsiębiorstwem. *Kwartalnik Naukowy Uczelni Vistula*, 2(48), 5-34.
7. Clarke, T., Clegg, S. (2000). Management Paradigm for the New Millennium. *International Journal for Management Reviews*, 2(1), 45-64.
8. ColorJet Printing (2018.09.09). Available online <https://www.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/colorjet-printing>.
9. Czwarta rewolucja przemysłowa i Przemysł 4.0 Co oznaczają te pojęcia? (2018.09.06). Available online <http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artukul/article/nowoczesne-metody-wytwarzania/czwarta-rewolucja-przemyslowa-i-Przemysl-4.0-Co-oznaczaja-te-pojecia?>
10. Czwarta rewolucja przemysłowa zależy od Pwerlink i Opensafety (2018.09.04). Available online <https://www.br-automation.com/pl/o-nas/customer-magazine/2013/201306/czwarta-rewolucja-przemyslowa-zalezy-od-powerlink-i-opensafety/>.
11. Götz, M., Gracel, J. (2017). Przemysł czwartej generacji (Industry 4.0) – wyzwania dla badań w kontekście międzynarodowym. *Kwartalnik Naukowy Uczelni Vistula*, 1(51), 217-235.
12. Gracel, J. (2017.03.24). Czwarta rewolucja przemysłowa: automatyzacja i życie w świecie technologii. *Harvard Business Review Polska*. Retrieved from <https://www.hbrp.pl/b/czwarta-rewolucja-przemyslowaautomatyzacja-i-zycie-w-swiecie-technologii-2/2/XNHp6tJb>.
13. Gracel, J. (2018.05.20). Czwarta rewolucja przemysłowa: zmiana już tu jest. *Harvard Business Review Polska*. Retrieved from <https://www.hbrp.pl/b/czwarta-rewolucja-przemyslowa-zmiana-juz-tu-jest-1/2/OmImRGYW>.

14. Hermann, M., Pentek, T. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau, *Working Paper*, 01, 23-24.
15. Hermann, M., Pentek, T., Boris, O. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund, during 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), DOI:10.1109/HICSS.2016.488. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-Principles-for-Industrie-4.0-Scenarios-Hermann-Pentek/2cfd7f75bdac0514d850a0e96c4aae95260deebb>.
16. Hyja, A. (2017). Nowe metody wytwarzania. *Inżynieria i Utrzymanie Ruchu* (3). Retrieved from <http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artukul/article/nowoczesne-metody-wytwarzania/>.
17. Industry 4.0 The new industrial revolution How Europe will succeed (2018.08.09). Available online https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_%20tab_industry_%204_0_%2020140403.pdf.
18. Iwański, T., Gracel, J. (2018.05.20). *ASTOR* Whitepaper 2016 (Raport ASTOR 2016, s. 1-36): Przemysł 4.0, Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz. Retrieved from <https://www.astor.com.pl/industry4/>.
19. Kaliczyńska, M., Dąbek, P. (2015). Value of the Internet of Things for the Industry – An Overview. *Mechatronics: Ideas for Industrial Applications*, 51-63.
20. Kleiber, M. (2018.07.18). O potencjale innowacji IPOsystem. *Automatyka*, 10. Retrieved from <http://www.iposystem.com.pl/pl/8,wst-p.html>.
21. Krzyżanowski, P. (2018.07.18). Przemysł 4.0 – rewolucja przemysłowa rozgrywa się na naszych oczach. *Komputer Świat*. Retrieved from <http://www.komputerswiat.pl>, Artykuły Redakcyjne.
22. Leksykon transportowy (2018.09.09). Available online <https://www.timocom.pl/lexicon/Leksykon-transportowy/Logistika%204.0/1708041056291832>.
23. Matwiejczyk, L. (2018.09.03). Czy twoi klienci chcą być obsługiwani przez sztuczną inteligencję, *Harvard Business Review Polska*. Retrieved from <https://www.hbrp.pl/b/czy-twoi-klienci-chca-byc-obslugiwani-przez-sztuczna-inteligencje/PmuU8QdwJ>.
24. Owerczuk, M. (2016.06.15). Technologia zmieni przemysł. Retrieved from <http://www.rp.pl/Biznes/306239-841-Michal-Owerczuk-Boston-Consulting-Group-Technologia-zmieni-przemysl>.
25. Parczewski, M. (2017.09.07). API management, czyli jak i dlaczego okiełznać API? Retrieved from <https://apilogic.pro/api-management-czyli-jak-i-dlaczego-okielznac-api/>.
26. Przemysł 4.0 czyli wyzwania współczesnej produkcji. Raport PWC. (2018.05.20). Available online <https://www.pwc.pl/pl/pdf/przemysl-4-0-raport.pdf>.
27. Raport ASTOR 2016: Przemysł 4.0 (2018.08.09). Available online www.astor.com.pl/industry4 lub https://www.astor.com.pl/images/Industry_4-0_Przemysl_4-0/ASTOR_przemysl4_whitepaper.pdf.

28. RepRap (2017.04.05). Available online <https://reprap.org/wiki/RepRap>.
29. Rewolucja Przemysł 4.0 odbywa się na naszych oczach. Debata Rzeczypospolitej, Rzeczpospolita, Dodatek Rzeczpospolita Cyfrowa (2017.06.13). Available online archiwum.rp.pl/artykul/1344939-Rewolucja-odbywa-sie--na-naszyc-oczach.html.
30. Rewolucja Przemysł 4.0 odbywa się na naszych oczach (2018.03.26). Available online <http://www.controlengineering.pl/przemysl-4-0-rewolucja-odbywa-sie-na-naszyc-oczach/>.
31. Schwab, K. (2016) The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, Davos.
32. Selective Laser Sintering (2017.04.05). Available online https://pl.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering.
33. Słownik języka polskiego (2018.07.05). Available online <https://sjp.pwn.pl/sjp/cyfryzacja;2553935.html>.
34. Soldaty, A. (2018.01.16). Przemysł 4.0 oznacza zmianę mentalnościową. Available online <https://www.magazynprzemyslowy.pl/aktualnosc/Przemysl-4-0-oznacza-zmiane-mentalnosciowa-WYWIAD,10339,1>.
35. Szymańska, O., Adamczak, M., Cyplik, P. (2017). Logistics 4.0 – a new paradigm or set of known solutions? *Research in Logistics and Production*, 7, 4, 299-310, doi: 10.21008/j.2083-4950.2017.7.4.2.
36. Ślusarczyk, P. (2017.04.04). 10 najbardziej wpływowych firm w świecie druku 3D, What is MJP (MultiJet Printing)? Retrieved from www.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp.