

Waldemar FURMANEK

Prof. zw. dr hab., Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Pedagogiki Pracy i Andragogiki, Wydział Pedagogiczny, ul. Ks. Jałowego 24, 35-310 Rzeszów; e-mail: furmanek@ur.edu.pl

NAJWAŻNIEJSZE IDEE CZWARTEJ REWOLUCJI PRZEMYSŁOWEJ (*INDUSTRIE 4.0*)

THE MOST IMPORTANT IDEAS OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION

Słowa kluczowe: Przemysł 4.0, Systemy Cyberfizyczne, Internet Rzeczy, Internet, Usług, Inteligentne fabryki, edukacja zawodowa.

Keywords: industrial revolution; Industrie 4.0; Cyber-Physical Systems; Internet of Things – IoT, Internet of Services – IoS; smart factories, education professional.

Streszczenie

Na podstawie analizy dostępnych w literaturze przedmiotu opracowań, opinii i refleksji przedstawiam podstawowe idee czwartej rewolucji przemysłowej.

Wyzwania cywilizacyjne, jakie ta rewolucja generuje, są bardzo istotne dla programowania edukacji zawodowej w Polsce.

Abstract

Based on the analysis of the studies, opinions and reflections available in the literature, I present the basic ideas of the fourth industrial revolution.

The civilization challenges that this revolution generates are very important for the programming of vocational education in Poland.

*Stoimy u progu technologicznej rewolucji,
która gruntownie zmienia sposób,
w jaki żyjemy, pracujemy i współistniejemy.
W swojej skali, zakresie i kompleksowości
transformacja ta będzie czymś,
czego ludzkość dotychczas nie doświadczyła...*

Klaus Schwab
(założyciel i przewodniczący World Economic Forum)

Charakterystyka dotychczasowej drogi rozwoju

Pierwsza rewolucja przemysłowa (koniec XVIII w. – pierwsza połowa XIX w.) dotyczyła przejścia od produkcji rzemieślniczej i manufakturowej do zmechanizowanej produkcji fabrycznej – dzięki intensywnemu wykorzystywaniu szeregu wynalazków technicznych oraz zmian dokonanych w organizacji procesów pracy. Dla pracującego w fabryce człowieka największe znaczenie miało wynalezienie **maszyny parowej**, zastosowanej także w górnictwie i przemyśle włókienniczym. Nowe maszyny wykorzystywane w produkcji wymagały, aby wykonywano je z wytrzymałych materiałów konstrukcyjnych. Przełomowe okazało się zastąpienie węgla drzewnego koksem w hutnictwie. Pozwoliło to na rozwój przemysłu maszynowego.

Początek drugiej rewolucji przypada na lata 70. XIX stulecia. Największymi innowacjami, które wówczas zrewolucjonizowały i zdynamizowały przemysł, były dwa nowe źródła energii: **elektryczność (silnik elektryczny)** i **silnik spalinowy**. Rozpoczęła się era **produkcji masowej**, z zastosowaniem podziału pracy, rozdrobnieniem pracy, które doprowadzono do absurdu.

Kolejna, **trzecia, rewolucja** rozpoczęła się pod koniec lat 60. ub. stulecia. Wyzwolilo ją przemysłowe **wykorzystanie sterowników programowalnych** (1968), otwierające **erę automatyzacji przemysłu** opartej na zaawansowanej elektronice i technologiach informatycznych¹.

Czwarta rewolucja przemysłowa (*Industrie 4.0*) – uogólniająca koncepcja odnosząca się do pojęcia rewolucji, jaka ma miejsce w działalności przemysłowej

¹ **W roku 1968** inżynierowie amerykańskiego przemysłu samochodowego wyszli z inicjatywą wprowadzenia sterowania nowego typu, w którym algorytm działania zapisywany byłby nie w „odrutowaniu”, lecz w pamięci. **W roku 1970** na wystawie obrabiarek w Chicago przedstawiono pierwszy system sterowania działający na zasadzie cyklicznego obiegu pamięci programu. M. Pawlak, *Sterowniki programowalne*, <http://www.dbc.wroc.pl/Content/7791/>.

W końcu roku 1973 oszacowano, że w USA w przemyśle obróbki metali było ponad 3000 sterowników. **W roku 1977** Zakłady Automatyki Przemysłowej MERA ZAP w Ostrowie Wielkopolskim podjęły produkcję pierwszego w Polsce systemu sterowania programowalnego (sterownika PLC) o nazwie **INTELSTER PC4K** (w oparciu o licencję). Por. <http://www.kmrnis.p.lodz.pl/files/Sterowniki-PLC.pdf>.

wej w związku ze współcześnie obserwowanym systemowym wykorzystywaniem technologii informacyjnych poprzez rozwój automatyzacji, przetwarzania i wymiany danych, technik wytwarzania oraz organizacji zarządzania wszystkimi procesami.

Definicyjnie **czwarta rewolucja przemysłowa** jest terminem opisu technologii oraz zasad funkcjonowania organizacji gospodarczych, które systemowo stosują:

- a) systemy i modelowanie cyberfizyczne,
- b) Internet rzeczy i usług,
- c) możliwości przetwarzania chmurowego.
- d) Internet Wszechrzeczy².

Uwzględniając powyższe zjawiska można stwierdzić, że czwarta rewolucja przemysłowa jest „ureczywistnieniem **inteligentnej fabryki** (fabryki bez ludzi, fabryki pod gołym niebem), w której systemy cyberfizyczne sterują procesami fizycznymi, tworzą wirtualne (cyfrowe) kopie świata realnego i podejmują zdecentralizowane decyzje.

Poprzez Internet rzeczy w czasie rzeczywistym komunikują się i współpracują ze sobą oraz z ludźmi, natomiast dzięki przetwarzaniu chmurowemu są oferowane i użytkowane usługi wewnętrzne i międzyoperacyjne”³. Czynnikiem wyzwalającym przekształcenia są przełomowe **innowacje w technice**⁴.

Obecna, **czwarta, rewolucja** to przełomowa zmiana w produkcji dóbr. **Idea czwartej rewolucji przemysłowej** oraz koncepcja *Przemysłu 4.0* stały się już nie tylko gorącym tematem debat, ale zaczynają coraz śmielej pojawiać się nawet w mediach przeznaczonych dla szerokiego grona odbiorców.

Narastają jednak wokół nich rozmaite mity i nieporozumienia. Wywołana jest przez:

- wprowadzanie wszechobecnej cyfryzacji, co uwidacznia się **wszechobecnością technologii informacyjnych** w każdej dziedzinie życia,
- bazowanie w procesach decyzyjnych na **wirtualnych symulacjach** i przetwarzaniu danych w czasie rzeczywistym,
- zmiany w strategii komunikacji maszyna-maszyna i maszyna-człowiek (Internet Wszechrzeczy),
- upowszechnianie nowych technologii wytwórcze, w tym elastycznych linii produkcyjnych.

² <http://przemysl-40.pl/index.php/2017/09/12/przemysl-4-0-raporty-i-publicacje/>.

³ https://pl.wikipedia.org/wiki/Czwarta_rewolucja_przemys%C5%82owa.

⁴ Pojęcie innowacji omówiłem w artykule: *Innowacyjność w pracy wskaźnikiem rozwoju społeczeństwa informacyjnego*, „Labor et Educatio” 2017, nr 1.

Komponenty Przemysłu 4.0

Kluczowymi komponentami systemowo ujmowanego Przemysłu 4.0/Industy 4.0 są: **Systemy Cyberfizyczne, Internet Rzeczy, Internet Usług** oraz **inteligentne fabryki**.

Systemy Cyberfizyczne (*Cyber-Physical Systems – CPS*)

Określenie to odnosi się do systemów, w których świat fizyczny, poprzez sensory i moduły wykonawcze, 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 wynikowego zachowania.

Internet Rzeczy (*Internet of Things – IoT*)

Internet Rzeczy stanowi dynamiczną globalną sieć fizycznych obiektów, systemów, platform i aplikacji, które są zdolne do komunikowania oraz dzielenia się inteligencją pomiędzy sobą, zewnętrznym otoczeniem i ludźmi. **IoT** dzięki systemowi indywidualnej identyfikacji umożliwia „rzeczom” – takim jak tagi RFID, **sensory** czy **aktuatory** – wchodzić w interakcje i współdziałać ze sobą dla osiągnięcia wspólnych celów.

W odniesieniu do środowiska przemysłowego używane jest określenie Przemysłowy Internet Rzeczy (***Industrial Internet of Things – IIoT***).

Internet Usług (*Internet of Services – IoS*)

Internet Usług 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.

Inteligentne fabryki (*smart factories*)

Inteligentne fabryki, czyli *smart factories*, traktowane są jako rozwiązanie docelowe. W modularnej strukturze inteligentnych fabryk cyberfizyczne systemy monitorują fizyczne procesy, tworzą wirtualne kopie fizycznego świata i podejmują zdecentralizowane decyzje, bazując na **mechanizmach samoorganizacji**.

Poprzez Internet Rzeczy omawiane systemy komunikują się i współpracują ze sobą oraz z ludźmi w czasie rzeczywistym, a poprzez Internet Usług zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne usługi czy serwisy są oferowane i wykorzystywane przez uczestników sieci wartości. Innymi słowy, inteligentne fabryki to zakłady, w których **cyberfizyczne systemy komunikują się ze sobą** przez Internet Rzeczy oraz asystują ludziom i maszynom w realizacji ich zadań.

Kluczowe innowacje techniczne

Innowacje techniczne to czynniki umożliwiające czwartą rewolucję przemysłową. Obejmują one:

- **nową jakość komunikacji**, w której zarówno świat cyfrowy, jak i rzeczywisty są połączone ze sobą; dzięki temu maszyny, produkty w różnych fazach przetwarzania, systemy oraz ludzie – mając indywidualny **adres IP** – wymieniają cyfrową informację poprzez protokół internetowy⁵,
- **inteligentne sensory** z wbudowanymi systemami indywidualnej identyfikacji, przetwarzania danych i komunikacji,
- **przetwarzanie danych w chmurze** lub mgle, z dynamiką reakcji na poziomie milisekund,
- **analitikę dużych zbiorów danych** dotyczących wszystkich aspektów rozwoju produktów i produkcji,
- **techniki symulacji funkcjonowania obiektów rzeczywistych** w ich wirtualnych odwzorowaniach, w oparciu o dane dostarczane i przetwarzane w czasie rzeczywistym, pozwalające na testowanie i optymalizowanie konfiguracji procesów produkcyjnych przed wprowadzeniem fizycznych zmian,
- **bezpośrednią komunikację między urządzeniami**,
- **wprowadzenie zaawansowanych interfejsów człowiek-maszyna**,

⁵ **Internet Rzeczy** (*Internet of Things*) wymaga zmiany protokołu służącego do identyfikacji pojedynczego przedmiotu. Musimy przejść, z – jak go nazywamy – protokołu IPv4 na protokół IPv6*. Ponieważ IPv6 oferuje prawie nieskończoną liczbę adresów, możliwe, że w konsekwencji tego każdy przedmiot i także każdy komputer dostaną na zawsze jeden tylko adres IP, co dziś nie wchodzi często w rachubę. Czy w takim przypadku, z IP6 adres IP zostałby zaliczony do danych osobowych?

– **rozwiązania cybersecurity**, zapewniające bezpieczną, pewną komunikację i identyfikację oraz dostęp zarządcy do systemów i urządzeń.

Możemy dodać, że kolejne zjawiska są zwiastunem dalszych przemian. Stanowią załączki **piątej rewolucji przemysłowej**. Do nich zaliczam:

– rozszerzenie badań i zastosowań **sztucznej inteligencji**,

– **upowszechnianie nowych generacji robotów**, charakteryzujących się aktywną interakcją z otoczeniem i z innymi robotami oraz adaptacją do zmieniających się warunków i wymagań,

– **szerokie stosowanie systemów rzeczywistości rozszerzonej**, wspomagające projektowanie i serwisowanie urządzeń,

– **wprowadzenie technologii tzw. wytwarzania przyrostowego**, np. *3-D printing* – zarówno do prototypowania, jak i realizacji indywidualnych zamówień w personalizowanej produkcji⁶.

Nowa jakość komunikacji

Dzięki rozwiniętym technologiom informacyjnym po raz pierwszy staje się możliwe powiązanie poprzednio izolowanych elementów łańcucha **procesów przygotowania** (preparacji), w tym **projektowania i programowania** produkcji oraz **dystrybucji towarów** poprzez np. układy RFID⁷ albo tzw. minitranspondery. To oznacza, że każdy produkt może mieć zaszytą w sobie cyfrową informację, która podczas całego procesu produkcyjnego może być bez ingerencji człowieka wymieniana między tymi produktami oraz z otoczeniem. Informacje generowane w ten sposób będą wykorzystywane przez inteligentne urządzenia produkcyjne do autonomicznego włączania się w kolejne kroki procesu produkcyjnego, wynikające z aktualnego stanu przetworzenia produktu.

Dane zbierane z każdego poziomu procesu produkcji są analizowane w oparciu o nowe zaawansowane narzędzia technologii informacyjnych: (*Big Data Analytics* oraz *Cloud Computing*), co pozwala na wykrywanie i rozwiązywanie

⁶ **Wytwarzanie przyrostowe** (ang. *Additive Manufacturing*) w przeciwieństwie do wytwarzania ubytkowego wykracza poza druk 3D. Ta technologia produkcji i wytwarzania wypiera lub uzupełnia konwencjonalne procesy w coraz większej liczbie zastosowań w przemyśle lotniczym i obronnym, a także w innych gałęziach przemysłu.

⁷ Według <https://pl.wikipedia.org/wiki/RFID>.

RFID (ang. *Radio-frequency identification*) – technika, która wykorzystuje fale radiowe do przesyłania danych oraz zasilania elektronicznego układu (etykieta RFID) stanowiącego etykietę obiektu przez czytnik, w celu identyfikacji obiektu. Technika umożliwia odczyt, a czasami także zapis układu RFID. W zależności od konstrukcji umożliwia odczyt etykiet z odległości do kilkudziesięciu centymetrów lub kilku metrów od anteny czytnika. System odczytu umożliwia identyfikację wielu etykiet znajdujących się jednocześnie w polu odczytu. Według <https://pl.wikipedia.org/wiki/RFID>.

niedostrzegalnych dotąd problemów, takich jak zużycie maszyn czy zmęczenie komponentów systemu oraz optymalizację wykorzystania zasobów wytwórczych (optymalizację organizacji).

Od produkcji replikacyjnej do personalizowanej

Rozwój techniki był dotychczas i jest w obecnej rewolucji czynnikiem umożliwiającym zmiany paradygmatów wytwarzania, czyli pozwalającym na gruntowny przewrót w standardowych i powszechnie przyjętych sposobach produkcji. Zmiany paradygmatów wytwarzania można rozpatrywać w różnych aspektach.

W aspekcie relacji przemysł-rynek wyróżnia się **cztery podstawowe paradygmaty**, które dominowały w kolejnych okresach produkcji przemysłowej. Są to paradygmaty: produkcji rzemieślniczej, produkcji masowej, **masowej kastomizacji**⁸, a obecnie – **produkcji personalizowanej** (który zostanie wyprodukowany specjalnie na zamówienie klienta, według jego oczekiwań).

W produkcji rzemieślniczej każdy produkt był projektowany i wytwarzany dla konkretnego klienta przez wykwalifikowanych pracowników, używających uniwersalnych maszyn.

Produkcja masowa, replikacyjna – rozwijająca się intensywnie w pierwszej połowie XX wieku, cechowała się wytwarzaniem dużej liczby identycznych produktów, w oparciu o specjalizowane maszyny i ruchome linie montażowe. Skala produkcji przekładała się na redukcję jednostkowego kosztu wyrobu, a tym samym obniżenie ceny, uatrakcyjnienie oferty rynkowej i zwiększanie popytu na dany wyrób. Według paradygmatu masowej produkcji producent opracowuje produkt, który jest adekwatny do efektywnego wykorzystania systemu produkcji masowej, a następnie produkuje go, przy założeniu istniejącego popytu. Siły sprzedaży mają za zadanie wprowadzać masowo produkt na rynek.

Kolejny **paradygmat masowej kastomizacji** – **masowa kastomizacja** polega na personalizacji oferty firmy na dużą skalę, co jest możliwe dzięki dynamicznemu rozwojowi technologii produkcji oraz dogłębnej znajomości potrzeb i preferencji konsumentów. Jej celem jest optymalne zaspokojenie potrzeb nabywców poprzez włączenie ich w proces projektowania towarów. Indywidualizacja produktów znajduje szczególne zastosowanie w branży motoryzacyjnej, jubilerskiej, odzieżowej i obuwniczej⁹. Wariantowość produktów projektowa-

⁸ W. Ciechomski, *Masowa kastomizacja jako forma komunikacji rynkowej z konsumentami*. „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2015, nr 414.

⁹ Tamże.

nych na bazie ich modułowej architektury i zastosowanie elastycznych systemów wytwarzania dopełniły ukształtowanie tego paradygmatu.

Elastyczna automatyzacja linii produkcyjnych, dzięki wprowadzeniu programowalnych sterowników i komputerów do urządzeń przemysłowych, umożliwiła rozszerzenie asortymentu wyrobów na rodzinę predefiniowanych modułów, przy kosztach produkcji porównywalnych z produkcją masową. Poprzez wybór konkretnej konfiguracji produktu z katalogu dostępnych opcji uzyskuje się żądany poziom jego kastomizacji, a tym samym zaspokojenie potrzeb większej liczby klientów niż w przypadku braku zróżnicowania oferty.

W paradygmacie personalizowanej produkcji, rozwijającym się obecnie, klient staje się aktywnym uczestnikiem projektowania produktu – w odróżnieniu od paradygmatu masowej kastomizacji, w którym wybierał konfigurację z katalogu dostępnych opcji. Ze wstępnie zaprojektowanych przez producenta modułów klient tworzy teraz własną konfigurację, przeważnie z wykorzystaniem specjalistycznych narzędzi wspomagających projektowanie, i dopiero po tym etapie następuje wytwarzanie produktu.

Środkiem umożliwiającym efektywne realizowanie tej koncepcji są rekonfigurowalne systemy wytwórcze, oparte na założeniu: „wydajność i funkcjonalność dokładnie dostosowana do potrzeb i ich zmian w czasie”. W nowej rzeczywistości, kształtowanej przez czwartą rewolucję przemysłową, dzięki ekspansji cyfryzacji, o konfiguracji systemów produkcyjnych decydować będą inteligentne produkty, określające samodzielnie wybór miejsc realizacji kolejnych etapów przetwarzania, przy wykorzystaniu technologii przyrostowych, z uwzględnieniem lokalizacji klienta¹⁰.

Personalizacja dotyczy również fazy eksploatacyjnej wytworów dzięki możliwości indywidualnego monitorowania użytkowanych produktów.

Zakończenie

Przegląd najważniejszych zjawisk opisujących czwartą rewolucję przemysłową wskazuje kierunek dalszego rozwoju systemów produkcji, ale także dystrybucji (rynku towarów)¹¹. Wszechobecność technologii informacyjnych owocuje upowszechnieniem nowych ofert rynku utworów. Piąta rewolucja przemysłowa przez te zjawiska będzie bardziej wyraziście powiązana z rewolucyjnymi zmianami społeczno-kulturowymi. Te problemy wymagają jednak oddzielnego opracowania.

¹⁰ Dla rzeczywistości, która kształtuje się w wyniku wspomnianych innowacji, używa się określeń, takich jak: *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing*, *Smart Production*, *Integrated Industry*.

¹¹ Zob. przypis poprzedni.

Bibliografia

- Ciechomski W., *Masowa kustomizacja jako forma komunikacji rynkowej z konsumentami*. „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2015, nr 414.
- Furmanek W., *Innowacyjność w pracy wskaźnikiem rozwoju społeczeństwa informacyjnego*, „Labor et Educatio” 2017, nr 1.

Netografia

- <http://przemysl-40.pl/index.php/2017/09/12/przemysl-4-0-raporty-i-publicacje/>.
- <http://www.kmrnis.p.lodz.pl/files/Sterowniki-PLC.pdf>.
- https://pl.wikipedia.org/wiki/Czwarta_rewolucja_przemys%C5%82owa.
- <https://pl.wikipedia.org/wiki/RFID>.
- Pawlak M., *Sterowniki programowalne*, <http://www.dbc.wroc.pl/Content/7791/>.