

Ewa Kubińska-Jabcoń, Mariusz Niekurzak

# Wykorzystanie innowacyjnych narzędzi informatycznych do usprawnienia logistycznych procesów produkcyjnych

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2019.170

Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

W artykule omówione zostały narzędzia do usprawniania procesów produkcyjnych. Celem artykułu było porównanie ich z nowoczesnym narzędziem Industry 4.0 używanym w celu usprawnienia procesu produkcji. W epoce dynamicznie rozwijających się systemów informatycznych, do monitorowania produkcji, pozyskiwanie dużych ilości informacji podczas ich pracy umożliwia wdrażanie zaawansowanych strategii w zakresie utrzymania ruchu i serwisowania maszyn. Pojęcie Industry 4.0 pozostaje obecnie w centrum dyskusji inżynierów oraz wywiera duży wpływ na producentów innowacyjnych maszyn jak również ich użytkowników końcowych. Połączenie procesów produkcyjnych z technologiami informatycznymi, które same w sobie rozwijają się w bardzo szybkim tempie powoduje, że automatyzacja linii produkcyjnych staje się bardziej elastyczna, scala procesy logistyczne i optymalizuje łańcuch wartości. Industry 4.0 oznacza integrację inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzanie zmian w procesach produkcyjnych mających, aby zwiększyć wydajność wytwarzania oraz wprowadzić możliwości elastycznych zmian asortymentu.

**Słowa kluczowe:** Industry 4.0, rewolucja przemysłowa.

## Wstęp

Rozwój technologii informatycznych i automatyzacji oraz ich implementacja w procesach produkcyjnych przekształca tradycyjny przemysł, wprowadzając go na nowy poziom rozwoju organizacyjnego. Aby optymalnie wykorzystać zalety tych technologii w celu znacznego przyspieszenia rozwoju przedsiębiorstw produkcyjnych oraz zwiększenia konkurencyjności na rynku globalnym, omawiany jest nowy paradygmat na całym świecie. Industry 4.0 lub czwarta rewolucja przemysłowa to tylko niektóre terminy używane do opisu zjawiska szerokiej implementacji inteligentnych urządzeń na liniach produkcyjnych, które mogą komunikować się autonomicznie wzdłuż łańcucha wartości. W tym podejściu maszyny i programy zbierają informacje na bieżąco, by następnie automatycznie poprawiać swoją konfigurację oraz dostarczać pracownikom przedsiębiorstwa cenne wskaźniki i obliczenia ułatwiające podejmowanie szybkich decyzji oraz dostarczanie towarów i usług lepszej jakości. Industry 4.0 w ujęciu technologicznym to grupa nowoczesnych i rozwijających się technologii, które są podstawą dla przemian zachodzących obecnie w przemyśle wytwórczym. Wcześniej przedsiębiorstwa korzystały z metod prewencyjnego utrzymania ruchu, reguły serwisowania maszyn w regularnych odstępach czasu lub reagowały w momencie wystąpienia awarii. W fabryce wyposażonej w inteligentne technologie może zostać zastosowana metoda predykcyjnego utrzymania ruchu. Dane pozyskiwane z systemów oraz czujników służą w takim przypadku do bieżącej i natychmiastowej oceny stanu procesów, maszyn oraz ich podzespołów. W momencie zwiększonego prawdopodobieństwa wystąpienia awarii z odpowiednim wyprzedzeniem powiadomieni zostają pracownicy odpowiedzialni za utrzymanie ruchu na linii produkcyjnej. Odpowiedzią na potrzebę szybkiego pozyskiwania oraz wymiany informacji po-

między urządzeniami i pracownikami jest proporcjonalnie sprawny rozwój sieci internetowych i urządzeń je obsługujących, chmur obliczeniowych oraz serwerów przechowujących zaawansowane aplikacje bazodanowe, które również klasyfikowane są jako składowe Industry 4.0. W ten sposób możliwa jest praca z danymi na wielu różnych urządzeniach. Zapotrzebowanie wymusza na zespołach informatyków stosowanie innowacyjnych technologii, które znacznie przyspieszają produkcję aplikacji internetowych oraz zmniejszają czas i koszty ich wytworzenia. W dzisiejszych czasach intensywna globalizacja i znaczne zwiększenie możliwości przepływu informacji powodują wzmożone odkrywanie nowych zastosowań wspólnego oddziaływania i rozwoju zaawansowanych technologii na wielu etapach procesów produkcyjnych przedsiębiorstwa. W artykule dokonano na podstawie przeglądu danych literaturowych próby porównania wykorzystywanych na szeroką skalę narzędzi do usprawniania procesów produkcyjnych z nowoczesnym narzędziem jakim jest Industry 4.0.

## 1. Narzędzia do usprawniania procesów produkcyjnych

### 1.1. Nowoczesne systemy ERP

Enterprise Resource Planning (ERP) to oprogramowanie do zarządzania procesami biznesowymi, które pozwala organizacji korzystać z systemu zintegrowanych aplikacji do zarządzania firmą i automatyzacji wielu funkcji zaplecza technologicznego. Przemysł wytwórczy od lat dążył do optymalizacji oraz zapewnienia kompletności funkcji, które obecnie implementuje większość popularnych systemów ERP, ponieważ rozwiązują problemy wielu wyzwań i zapewniają cenne korzyści, takie jak obniżenie kosztów, usprawnienie procesów produkcyjnych, zarządzanie rozwojem przedsiębiorstwa i uzyskanie przewagi konkurencyjnej. System ERP może pomóc kierownikom organizacji monitorować i zarządzać łańcuchami dostaw, sprzedaży i dystrybucji. Znacznie ułatwia inwentaryzację, rozliczenia finansowe i inne kluczowe elementy działalności firmy poprzez szereg połączonych modułów wykonawczych. Poza tym Enterprise Resource Planning jest systemem, który może zintegrować wszystkie inne aplikacje wykorzystywane przez przedsiębiorstwo w jedną bazę danych, która jest bardziej skuteczna w wewnętrznej i zewnętrznej komunikacji i transferze danych [1].

Rewolucja systemów rozpoczęła się w przemyśle produkcyjnym. Rozwój systemów ERP pierwszej generacji był procesem "od wewnątrz", przechodząc od standardowych, implementujących bardzo podstawowe funkcjonalności pakietów kontroli zapasów, aż do szacowania wymagań materiałowych, planowania zasobów i ich alternatyw na wiele miesięcy w przód. Kolejnym krokiem w rozwoju było rozszerzanie spełnianych funkcji w celu wspierania znacznie większego zakresu działalności organizacji (systemy ERP drugiej generacji). Złożoność wynika z faktu, że systemy Enterprise Resource Planning to systemy, które mają zintegrować organizację - zarówno wewnątrz, jak i zewnętrzne łańcuchy dostaw oraz obszar działalności outsourcingowej. Ze względu na popularność systemów, można jasno argumentować, że organizacja nie otrzymuje już znacznej przewagi konkurencyjnej przez samo wdrożenie ERP. Jednym z powodów może być to, że ERP koncentrują się na sprawdzonych i powszechnie wykorzystywanych praktykach [2].

Wiele badań naukowych i case study wykazuje, że system ERP znacznie poprawia skuteczność firmy w całym procesie biznesowym, jednak aby tak się stało Wdrożenie systemu ERP musi jasno określić cele i oczekiwania w każdej branży. Jednym z głównych problemów dotyczących systemów jest finansowanie implementacji. Wdrożenie ERP wymaga ogromnych inwestycji, zasobów sprzętowych i ludzkich oraz czasu. System ERP potrzebuje dłuższego czasu, aby pokryć i zsynchronizować większość obszarów działalności przedsiębiorstwa.

### 1.2. Charakterystyka szybkiego prototypowania

Aktualnym trendem w przemyśle wytwórczym jest skrócenie cyklu rozwoju produktu za pomocą procesów Rapid Prototyping (RP). W różnych obszarach produkcji, badań i edukacji szeroko stosuje się metody szybkiego prototypowania 3D. Typowe zastosowania to procesy produkcyjne, architektura, medycyna. Obecny popyt technologiczny i komercyjny wymaga opracowania szybszych i tańszych metodologii projektowania i realizacji konstrukcji. Dostępne są różne techniki oparte na platformach CAD i RP. Konceptualnymi etapami projektu są analiza teoretyczna i Manufacturing Execution System (MES), wirtualny model 3D CAD, przetwarzanie kształtu RP. Metody szybkiego prototypowania pozwalają również na tworzenie kompletnych symulacji i prototypów przydatnych do analizy charakterystyk złożonego układu jak interferencja między częściami dynamicznymi, ocena geometryczna, jakość i niezawodność. Wytwarzane elementy RP są zwykle formami do odlewania metali. Granice RP są czasem określane tylko przez ograniczoną objętością próbek możliwych do wytworzenia. Podstawową ideą jest wytwarzanie komponentów lub części za pomocą narzędzi szybkiego prototypowania w celu użycia namacalnego prototypu przyszłego produktu. Takie narzędzia są dwójakiego rodzaju: soft tooling i hard tooling. Pierwszy związany jest z niską produkcją i niską twardością materiałów, natomiast drugi wiąże się z dużą produkcją i twardymi materiałami.

Termin Net Shape odnosi się do oryginalnego kształtu modelu we wszystkich aspektach i szczegółach. Termin Net Shape Process odnosi się do tych metod, które są w stanie wyprodukować model w jego ostatecznym kształcie bez dalszych działań, co skutkuje częściową redukcją kosztów, natomiast Near Net Shape Methods oznacza wsparcie szczegółowych procesów wymagających małych końcowych operacji i poprawek. Istnieje szereg procesów produkcyjnych, które są klasyfikowane pod nazwą Net Shape Methods. Jedną z nich jest Stereo Lithography (SLA), w której laser służy do tworzenia kolejnych odcinków trójwymiarowego obiektu w kąpielii ciekłego fotonopolimeru. Gdy laser przechodzi przez polimer, twarzenie a następnie platforma przemieszcza się tuż pod wolną powierzchnią żywicy. Gdy laser śledzi warstwę, żywica zaczyna utwardzać się, stapiając się z częścią obiektu. SLA może trwać kilka minut na każdej cienkiej warstwie, dlatego jest to proces bardzo powolny.

Selective Laser Sintering (SLS) - światło laserowe służy do syntezy cienkich warstw topliwego termicznie proszku metalicznego. Promień lasera śledzi przekrój poprzeczny warstwy na powierzchni i następuje spieknięcie części proszku wystawionego na działanie wiązki laserowej. Selekcja materiału poddawanego procesowi jest bardzo ważna, ponieważ produkt końcowy może wykazywać wypaczenia i skurczenie, wprost uzależnione od geometrii modelu.

Kolejny proces, nazwany Metal Injection Moulding (MIM) jest to wytwarzanie złożonych komponentów w technologii Net Shape. Można uzyskać dobre właściwości mechaniczne wysokowytrzymałych stopów metali przy bardzo niskich kosztach produkcji. Typowymi materiałami dla MIM są: ciężkie stopy wolframu, stal nierdzewna, nikiel, miedź [3].

Drukowanie 3D jako obecnie najbardziej popularny proces szybkiego prototypowania, opiera się na postaci wolnej od proszków, w której płynne spoiwo jest natryskiwane na warstwę proszku i dokładnie odwzorowywane po każdej warstwie według przygotowanego modelu 3D. Po zakończeniu całego procesu część poddaje się obróbce cieplnej w celu polepszenia wiązania sklejanego proszku.

Opisane metody mogą tworzyć struktury i elementy charakteryzujące się bardzo skomplikowanym kształtem, zgodnie z koncepcją Net Shape. Czasochłonność, koszty zakupu sprzętu oraz oprogramowania i jakość wyniku stanowią główne parametry, które należy poddać ocenie [3,4].

### 1.3. Systemy CAD i inżynieria rekonstrukcyjna

Narzędzia CAD (Computer Aided Design - projektowanie wspomagane komputerowo) są dziś najbardziej popularną klasą skomputeryzowanych narzędzi wykorzystywanych w procesie projektowania produktów. Umożliwiają generowanie modelu geometrycznego produktu, który ma zostać fizycznie zbudowany. Najnowsza generacja narzędzi CAD 3D szczególnie dobrze nadaje się do tworzenia trójwymiarowych modeli geometrycznych z wszystkimi detalami potrzebnymi do produkcji. Z tego modelu pakiety CAD mogą następnie automatycznie tworzyć dokumentację potrzebną do zakupu wymaganych materiałów, konfiguracji maszyn na linii produkcyjnej i rozpoczęcia produkcji. Te narzędzia CAD obejmują również zdolność do przechwytywania danych materiałowych i obliczania właściwości masy, chociaż możliwości te mogą być ograniczone.

Spośród wszystkich narzędzi wykorzystywanych w procesie rozwoju produktu, metoda elementów skończonych jest jednym z najczęściej używanych i docenianych narzędzi do analizy produktów. Aby skrócić cykl rozwoju produktu, wielu producentów zmienia orientację samego procesu projektowania, tak aby analiza była przeprowadzana znacznie wcześniej w całym cyklu rozwoju produktu. To przenosi Computer Aided Engineering w bardzo szybkim tempie do analizy projektu koncepcyjnego, w którym zmiany są o wiele łatwiejsze i bardziej ekonomiczne. Doświadczenia producentów w wielu branżach wykazały, że 85% całkowitego czasu i kosztów rozwoju produktu jest wydawane na bardzo wczesnych etapach rozwoju produktu. Dzieje się tak dlatego, że we wczesnych stadiach koncepcyjnych podejmowane są podstawowe decyzje dotyczące budowy, geometrii, materiałów, konfiguracji systemu i procesu produkcyjnego. W dalszej części cyklu zmiany stają się coraz trudniejsze, czasem wręcz kompletnie nieopłacalne. Computer Aided Design jest ważnym narzędziem w szerokim pakiecie technologii do projektowania części. Pomaga projektantom w bardzo szybkim tworzeniu wizualizacji wczesnych koncepcji oraz projektowaniu części gotowych do produkcji. Nowoczesne systemy CAD poprzez parametryzację przygotowywanych modeli są dostosowane do projektowania części dla konkretnych branż przemysłowych a nawet dokładnych wymagań linii produkcyjnych, na których produkt będzie powstawał w przyszłości [4].

Inżynieria rekonstrukcyjna (Reverse engineering) jest to proces ściśle związany z technologiami CAD, w którym następuje uzyskiwanie geometrycznego modelu CAD z pomiarów uzyskanych przez skanowanie istniejącego modelu fizycznego (np. części maszyny, proteza). Proces jest szeroko stosowany w licznych dziedzinach przemysłowych, takich jak produkcja, inżynieria biomedyczna, wzornictwo przemysłowe, projektowanie biżuterii i procesy reprodukcji protez. Proces inżynierii rekonstrukcyjnej składa się z kilku głównych etapów, które są wykorzystywane do wydobycia jak największej ilości danych na temat produktu, materiału, struktury, jakości powierzchni i zasad działania. Kroki proceduralne definio-

wane są jako faza skanowania, punktowa faza przetwarzania, triangulacja i etapowe modelowanie bryłowe. Proces inżynierii rekonstrukcyjnej na każdym etapie powinien być wspomagany komputerowo [5].

## 2. Charakterystyka terminu Industry 4.0 w kontekście rewolucji przemysłowej

### 2.1. Zastosowanie elementów Industry 4.0 jako rewolucji przemysłowej

Główną technologią Industry 4.0 jest system cyber-fizyczny (CPS), który definiuje się jako połączenie systemów fizycznych i cybernetycznych. Te dwa systemy zachowują się tak, jakby były jednym. Wszystko co fizycznie zachodzi podczas procesów produkcyjnych i logistycznych jest monitorowane i wizualizowane w robudowanych systemach informatycznych oraz odwrotnie - wszystkie informacje gromadzone i obliczane w czasie rzeczywistym w systemie mogą mieć realny wpływ na podejmowanie natychmiastowych decyzji na trwającej produkcji. Systemy są uniwersalne, najczęściej podstawy aplikacji i modułów implementują podobną logikę i spełniają określone założenia CPS, natomiast każde przedsiębiorstwo planujące wdrażać system wymaga wprowadzenia odpowiednich zmian lub nowych funkcji spełniające wymogi branży oraz konkretnych linii produkcyjnych. Dodatkowym ułatwieniem przy implementacji systemów CPS było wykorzystywanie baz danych z wcześniej wdrożonych i coraz bardziej popularniejszych w przedsiębiorstwach produkcyjnych systemów ERP. To podejście do implementacji systemów pozwala branży IT na stworzenie uniwersalnych i kompletnych aplikacji oraz zmniejszają znacznie czas ich produkcji. W halach produkcyjnych korzystających z CPS możliwy jest rozwój autonomicznych procesów produkcyjnych, które z czasem stają się coraz bardziej inteligentne. Poprzez wielopoziomą komunikację i algorytmy decyzyjne, komponenty produkcyjne mogą decydować o ich bieżącej konfiguracji i ścieżce w linii produkcyjnej. Dzięki CPS inteligencja nie jest scentralizowana, ale rozproszona w etapach procesu, co jednocześnie zapewnia większą stabilność i większą elastyczność operacji. Również w przypadku błędów i awarii, naprawiane i konserwowane są mniejsze moduły a nie cały system [6].

Jednym z głównych podejść Industry 4.0 jest opracowywanie systemów typu plug-and-work w automatycznie konfigurujących się modułach na podstawie informacji przekazywanych z baz danych, systemów ERP i fizycznych czujników instalowanych na liniach produkcyjnych. Wszystko po to aby umożliwić bardziej dynamiczne i elastyczne możliwości konfiguracji procesu i produktu finalnego. Podstawowym aspektem jest identyfikacja urządzeń i procesów istotnych w ramach systemów produkcyjnych danego przedsiębiorstwa, które mogą być podłączone do systemu informatycznego i kontynuować działanie bez zmian w pozostałej części systemu produkcyjnego. Fizyczny proces produkcyjny powiązany z internetem i rozproszoną wbudowaną inteligencją ma elastyczność i autonomię oraz może szybko reagować na żądania, zmiany i ograniczenia rynkowe. Systemy cyber-fizyczne wywodzą się z kilku ważnych postępów technologicznych w internecie, systemach wbudowanych, informatyce i sztucznej inteligencji. Nieprzerwanie zmniejszane fizycznie układy scalone, wykładniczy wzrost mocy obliczeniowej oraz szybkości internetu, a także coraz wydajniejsze wyszukiwarki internetowe to tylko kilka przykładów. Połączenie tych technologii może być niezwykle rewolucyjne dla branży przemysłowej [7].

Realizacja wdrażania komponentów Industry 4.0 wymaga inwestycji nie tylko korporacyjnych, ale także wsparcia ze strony rządu. Pomimo redukcji kosztów IT i elektroniki, inne koszty związane z zastępowaniem urządzeń, infrastrukturą i edukacją wymagają usprawnień oraz dofinansowań ze strony rządzących. Kompromisy pomiędzy inwestycjami i zyskami będą częściowo zależeć od sce-

nariusza ekonomicznego. Wyścig innowacji doprowadził do powstania dynamicznego rynku z szeroko rozwiniętą konkurencją. Względna łatwość i szybkość wdrażania Industry 4.0 oznacza że przewaga konkurencyjna stała się w wielu przypadkach tymczasowa i firmy muszą nieustannie się dostosowywać oraz jeszcze bardziej precyzyjnie kontrolować i analizować sytuację na rynkach innowacji. W tym samym czasie współpraca między korporacjami staje się najważniejsza dla innowacji. Procesy projektowania, produkcji i dostarczania kompletnych produktów lub usług są przeprowadzane przez kilka organizacji jednocześnie. Bardziej wyrafinowany popyt oraz rozszerzanie działalności na wiele rynków skłania firmy do dywersyfikacji oferty. Coraz częściej pojawiający się w publikacjach dotyczących Industry 4.0 termin "długi ogon", definiuje zjawisko, w którym małe nisze lub nawet indywidualni konsumenci mogą być zrzęcznie obsługiwani, ponieważ końcowy koszt zwiększenia zakresu produktów bazując na gotowych schematach jest znikomy. Ponownie pojawia się demografia, ale tym razem z inną rolą: populacja wciąż rośnie, ale w krajach uprzemysłowionych ludność w wieku produkcyjnym WAP (working age population) stopniowo spada. Różnica w kosztach pracy ponoszonych przez pracodawców między krajami wschodzącymi i rozwiniętymi spadła w ostatnich latach. W tym kontekście intensyfikowane są inicjatywy związane z całkowitą automatyzacją procesów produkcyjnych. Starzenie się społeczeństw jest jednym z kluczowych elementów, które mogą przyspieszyć tempo rozwoju Industry 4.0. Ponieważ czwarta rewolucja przemysłowa jest definiowana we wczesnej fazie rozwoju, większość wyników analiz lub wpływów jest prognozami, założeniami lub przewidywaniami. Korzyści, takie jak efektywniejsze wykorzystywanie zasobów oraz dostarczanie lepszych i tańszych dla odbiorców produktów równocześnie z możliwością wystąpienia negatywnych efektów jak bezrobocie i nierówności w dochodach, są szeroko dyskutowane w parlamentach wielu państw [8].

### 2.2. Sytuacja ekonomiczna i demografia Industry 4.0

Sytuacje ekonomiczne miały wielki wpływ na każdą rewolucję, który charakteryzował się dostępnością kapitału lub szczególną dynamiką rynku. W pierwszej rewolucji, mimo że wymogi kapitałowe nie były tak wysokie, duża liczba przedsiębiorców świadczyła o stałych inwestycjach. Druga rewolucja była kapitałochłonna i zaoocowała dużymi konglomeratami przemysłowymi, które zdominowały rynek w XX wieku. Te duże firmy były głównymi użytkownikami IT trzeciej rewolucji przemysłowej w latach 70., 80. i 90., ale scenariusz ekonomiczny był bardzo trudny. Minęły dekady od czasu pierwszych implementacji, a debata na temat korzyści płynących z wprowadzania wspomnianych zintegrowanych pakietów technologicznych AMT trwa bez ostatecznej pozycji w tej sprawie. Podejścia wyjaśniające wyniki przyjęcia AMT zależą również od wielu innych, trudnych do oddzielenia czynników. Można powiedzieć, że niektóre schematy działały wbrew temu zjawisku - globalizacja i wzrost liczby ludności, przeniesienie działalności produkcyjnej do krajów o niskich płacach - mogły zmniejszyć szybkość rozprzestrzeniania się technologii. Trzecia rewolucja przemysłowa nie przyniosła wszystkich oczekiwanych rezultatów i często jest odpowiedzialna za pewien sceptycyzm związany z Industry 4.0. Aby wynalazek stał się innowacją, konieczne jest jego upowszechnienie i zwiększenie dostępności. Główne innowacje każdej rewolucji zajęło trochę czasu, aby się szeroko rozprzestrzeniły. Każdej dotychczasowej rewolucji towarzyszyło dosyć powolne i stabilne tempo wdrażania innowacyjnych technologii w oddalonych od siebie strefach gospodarczych. Jednak tempo rozprzestrzeniania nowych sposobów automatyzacji oraz aplikacji IT rośnie w ostatnich latach, a technologie ewoluują szybciej niż kiedykolwiek, co może wskazywać na nieproporcjonalnie większe zmiany w krótszych okresach. Warto zwrócić uwagę na

praktycznie całkowicie zsynchronizowany rozwój technologii IT w krajach rozwiniętych oraz rozwijających się, spowodowany głównie znacznym upowszechnieniem dostępu oraz zwiększeniem szybkości internetu. Korzyści z tego wynikające umożliwiają pracę nad oprogramowaniem przedsiębiorstwom zatrudniającym pracowników z różnych krajów a nawet kontynentów. Technologie usprawniające i przyspieszające produkcję aplikacji rozprzestrzeniają się w ogromnym tempie a do zdobywania wiedzy na ich temat wystarczy urządzenie obsługujące przeglądarkę internetową. Również koszty nabycia wystarczająco zaawansowanego sprzętu komputerowego do rozwoju oprogramowania znacznie się zmniejszyły.

Szczególny rytm innowacji i globalizacja tworzą dynamiczną konkurencję w środowisku biznesowym. Oznacza to krótsze cykle życia produktów i usług, co wymaga elastyczności i szybkiego podejmowania decyzji. Ponieważ Industry 4.0 proponuje modularne, automatycznie konfiguruje się systemy, których parametry można łatwo zmieniać skracając w ten sposób czas wejścia na rynek, może to być dobra odpowiedź na to wyzwanie. Ponadto, system ten może wytwarzać spersonalizowane produkty, przy niskich kosztach, oferując stosunkowo krótki czas produkcji co umożliwi osiągnięcie zysku na bardzo małych rynkach. Jest to dokładne odwzorowanie wspomnianej koncepcji "długiego ogona" Andersona. Demografia była ważna w trzech rewolucjach i będzie jednym z motorów Industry 4.0. Populacja rośnie znacznie od końca XVIII wieku. Zapewniło to wzrost popytu i zwiększenie ilości miejsc pracy - czynników, które pomogły w zmianach. Jednak tempo wzrostu populacji znacznie spada. Zwłaszcza w krajach uprzemysłowionych populacja się starzeje. Oznacza to niedobór siły roboczej, który może być jedną z przyczyn szybszego wprowadzania automatyzacji. Może mieć również wpływ na popyt, ponieważ osoby powyżej 64 roku życia wydają mniej w większości sektorów gospodarczych z wyjątkiem medycznego. Industry 4.0 obejmuje zestaw technologii, które wymagają mniejszej intensyfikacji pracy, mogą przedłużyć czas wieku produkcyjnego wykwalifikowanych pracowników i mogą podnieść sprzedaż w odpowiedzi na bardzo specyficzne wymagania. Te cechy postępu technologicznego, scenariusza ekonomicznego i demografii były kluczowe dla trzech poprzednich rewolucji. Chociaż technologie Industry 4.0 są bardziej ewolucyjne niż destrukcyjne, ich połączenie i kontekst, w którym się rozwijają, obiecują znaczący wpływ na gospodarkę i społeczeństwo, które w rzeczywistości charakteryzowałyby rewolucję. Systematyczne podejście i analizy przyczyniają się do lepszego zrozumienia Industry 4.0 jako nowej rewolucji. Jest to ważne, ponieważ istnieje pewien sceptycyzm w tej kwestii. Przemysł 4.0 wymaga współpracy i stanie się rzeczywistością, gdy firmy uwierzą i zainwestują [8].

### 2.3. Internet rzeczy i systemy cyber-fizyczne w kontekście Industry 4.0

Internet rzeczy - Internet of Things to technologie umożliwiające podłączenie powszechnie znanych i wykorzystywanych urządzeń do Internetu, a także zdalny dostęp do tych urządzeń oraz możliwość sterowania nimi z każdego miejsca posiadającego dostęp do Internetu. W praktyce IoT umożliwiają globalne funkcjonowanie przedsiębiorstwom, które posiadają innowacyjne technologie, a brakuje im rozległej międzynarodowej sieci dystrybucji i obsługi. W ujęciu technicznym te zjawiska określane są jako Przemysłowy Internet Rzeczy (Industrial Internet of Things - IIoT). Jedną z aplikacji technologii IIoT są zintegrowane sieci monitorowania - systemy bezprzewodowych czujników, których wdrożenie na liniach produkcyjnych jest bezpieczniejsze, szybsze, mniej inwazyjne oraz tańsze niż ich przewodowych odpowiedników. Sieci czujników zbierają ogromne ilości danych, na których możliwe jest budowanie analiz oraz obliczanie wskaźników wydajnościowych w czasie rzeczywistym,

usprawniających podejmowanie szybkich decyzji. Wraz z ciągłym rozwojem technologii mobilnych - potencjalną innowacją czysto komercyjną jak i przemysłową, koncepcja Internet of Things schodzi na drogę, w której rozwija się jako wszechobecna globalna sieć komputerowa, w której wszystko i wszyscy są podłączeni do internetu. IoT stale się rozwija i jest popularnym tematem badań, w którym granica zakresu możliwości jest jeszcze nieznana, co postawiło ją na progu przekształcenia obecnej formy Internetu w zmodyfikowaną i zintegrowaną wersję. Liczba urządzeń korzystających z usług internetowych rośnie każdego dnia, a połączenie wszystkich urządzeń za pomocą przewodowej lub bezprzewodowej sieci zapewni potężne źródło wiedzy, informacji oraz dostępu do danych na wyciągnięcie ręki [9]. Koncepcja umożliwienia interakcji pomiędzy inteligentnymi maszynami na linii produkcyjnej jest najnowocześniejszą technologią, ale podstawy technologii tworzących IoT nie są dla nas czymś nowym. IoT to podejście polegające na gromadzeniu danych uzyskiwanych z różnych rodzajów urządzeń na dowolną platformę wirtualną w istniejącej infrastrukturze internetowej. Przewiduje się, że do 2020 roku podłączonych do sieci zostanie ponad 25 miliardów urządzeń, co jest ogromną liczbą, więc istniejąca obecnie architektura Internetu z protokołami TCP / IP, przyjęta w 1980 roku, wydajnościowo nie jest w stanie obsłużyć sieci tak dużej jak IoT. Spowodowało to potrzebę stworzenia nowej otwartej architektury, która może rozwiązać wiele problemów związanych z bezpieczeństwem i jakością usług sieciowych, a także może obsługiwać istniejące aplikacje przy użyciu otwartych protokołów. Bez odpowiedniego zapewnienia prywatności, IoT prawdopodobnie nie zostanie przyjęte przez wielu. Dlatego ochrona danych i prywatność użytkowników to kluczowe wyzwania dla IoT. W celu dalszego rozwoju Internet of Things zaproponowano wiele wielowarstwowych struktur bezpieczeństwa oraz konwencji przestrzeganych podczas tworzenia oprogramowania oraz sprzętu związanego z tą technologią [10].

Jedną z koncepcji Industry 4.0 jest projekt nowoczesnej fabryki opartej o wspomniane wcześniej systemy cyber-fizyczne oraz Internet of Things. Docelowo wyznacznikiem Smart Factory ma być jej kompletna autonomia oraz modularne oprogramowanie dla każdego etapu produkcji i cyklu życia produktu - zaczynając od procesu planowania produkcji w systemach ERP aż do produkcji zasadniczej i jej utrzymaniu (Resource Management Software). Z koncepcyjnego założenia inteligentna fabryka może wymieniać dane z pokrewnymi przedsiębiorstwami celem optymalizacji produkcji i dostosowania się do dynamicznych zmian w wymaganiach klientów. Ponadto do technologii składających się na termin Smart Factory można przypisać również: chmury obliczeniowe (cloud computing), autonomiczny transport na liniach produkcyjnych jak inteligentne przenośniki poziome i pionowe oraz zastosowanie druku 3D np. do zwiększenia możliwości szybkiego dostarczenia części alternatywnych [11].

Systemy cyber-fizyczne jako kompletne, modularne struktury obejmujące urządzenia linii produkcyjnych, które podejmują decyzje w czasie rzeczywistym oraz mają możliwość globalnej komunikacji pomiędzy przedsiębiorstwami z całego świata. Koncepcja ta może się wiązać z powstaniem szeroko rozwiniętych oraz dynamicznie konfigurujących się struktur organizacyjnych, które wprowadzą nieosiągalne do tej pory poziomy efektywności, przy równoczesnym zmniejszeniu udziału czynnika ludzkiego. Wszystko co dzieje się w rzeczywistości podczas procesów produkcyjnych jest śledzone i wizualizowane w systemach informatycznych oraz odwrotnie - wszystkie dane zbierane i obliczane w czasie pracy maszyn w systemie mogą mieć realny i natychmiastowy wpływ na podejmowanie decyzji na trwającej produkcji. Systemy są uniwersalne, najczęściej podstawy systemów implementują podobną logikę i

spełniają określone założenia CPS, natomiast indywidualne przedsiębiorstwa planujące wdrażać system wymagają wprowadzenia zmian lub nowych funkcji spełniających wymogi branży. Maszyny podłączane do systemów cyber-fizycznych powinny cechować się wysokim stopniem automatyzacji oraz zastosowaniem algorytmów z dziedziny sztucznej inteligencji. W przetwarzaniu danych sterowanych systemy CPS są wspomagane przez chmury obliczeniowe, które pozwalają na bardzo szybkie przetwarzanie danych w ramach bezpiecznych serwisów. Chmury obliczeniowe składają się głównie z systemów analitycznych i kalkulacyjnych. Centralizacja gromadzenia i przetwarzania danych powoduje znaczną oszczędność czasu i pieniędzy poprzez zmniejszenie liczby zasobów ludzkich oraz sprzętowych potrzebnych do funkcjonowania takiego układu. Znaczące zmniejszenie rozproszenia prywatnych serwerowni oraz ilości pracowników wymaganych do ich zarządzania znacznie przyczynia się do zmniejszenia czasu potrzebnego na realizację nowych projektów oraz ograniczenia kosztów. Jedną z najważniejszych koncepcji cloud computing jest możliwość dostępu do wszystkich danych z dowolnego miejsca posiadającego dostęp do Internetu. Z punktu widzenia przedsiębiorstw produkcyjnych zastosowanie chmur obliczeniowych pozwala pracownikom produkcji na dostęp do natychmiastowych kluczowych analiz dotyczących obecnego stanu pracy maszyny, wielkości produkcji, jakości produktu, stanów magazynowych, awaryjności i dostępności urządzeń, co jednoznacznie przekłada się na podejmowanie dobrych i szybkich decyzji. Centralizacja danych wymaga od zespołów IT stosowania zaawansowanych systemów zabezpieczających dane poprzez ich zaciemnianie i szyfrowanie oraz systemów o uporządkowanej i bezpiecznej architekturze. Wartość rynkowa oraz zarobki najpopularniejszych dostawców chmur jak Microsoft Azure, Amazon Web Services oraz Google Cloud Platform w ostatnich latach wzrastają w bardzo szybkim tempie. Świadczy to o rosnącej popularności relatywnie nowej technologii [12].

### Podsumowanie

Obecny popyt technologiczny i komercyjny wymusza opracowywanie szybszych i tańszych metodologii projektowania i realizacji konstrukcji. Popularność stosowania technologii Industry 4.0 stale rośnie. Dane gromadzone przez systemy ERP podczas pracy linii produkcyjnej oraz procesów logistycznych można wykorzystać jako podstawę działania bardziej inteligentnych technologii wchodzących w zakres Industry 4.0. Umożliwia to znacznie szybsze wdrażanie systemów cyber-fizycznych oraz aplikacji bazodanowych zapewniających wizualizację produkcji i korzystających z chmur obliczeniowych. Platformy chmurowe są bardzo ważnym oprogramowaniem stosowanym w kontekście rozwiązań przemysłowych Industry 4.0. Praca z chmurami obliczeniowymi staje się coraz bardziej intuicyjna, ze względu na stosowanie przyjaznych i uproszczonych interfejsów użytkownika, zwiększanie dostępności oraz automatyzację współdziałania ze znanymi i powszechnie używanymi technologiami. Wykorzystanie aplikacji internetowych do optymalizacji pracy stanowisk przy liniach produkcyjnych pozwala monitorować działanie parku maszynowego oraz postępu procesów produkcyjnych w czasie rzeczywistym. Operatorzy maszyn, korzystając ze stanowisk wyposażonych w tablety lub komputery odpowiednie do pracy w warunkach produkcyjnych mają dostęp do informacji na temat zlecenia, przebiegu produkcji oraz ułatwiona jest szybsza komunikacja między innymi pracownikami oraz działami przedsiębiorstwa. Wszystkie informacje przetwarzane przez aplikację webową i współpracujące z nią serwisy bazodanowe można wykorzystywać do podejmowania natychmiastowych decyzji i przeciwdziałaniu występowania nieprawidłowości na bieżąco jak również po długim okresie czasu od zakończenia zlecenia. Informacje są przechowy-

wane i mogą służyć do szybszej analizy reklamacji lub obliczenia wskaźników i wartości, które wymagają danych z dłuższych okresów czasu pracy.

### Bibliografia

1. Mallikarjuna S., Ahmad I., Azhar S., Implementation of Enterprise Resource Planning (ERP) Systems in the Construction Industry, w: International Journal of Construction Education and Research, s. 1-8, 2003.
2. Gospodarek T., Systemy ERP. Modelowanie, projektowanie, wdrażanie, Helion, 2015, Gliwice.
3. Mancia F., Regi M., Marchetti M., Lionetti S., Development of 13D Advanced Rapid Prototyping Multipurpose Structures with Micro and Nano Materials, w: Conference paper, CENTRO SVILUPPO MATERIALI S P A ROME, 2006, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a521890.pdf>
4. Mahesh V., Role of Computer Aided Design and Engineering in Product Development, w: Conference: International Conference on Advanced Materials, Manufacturing, Management, Thermal science, At Siddaganga Institute of Technology, Tumkur, 2013, [https://www.researchgate.net/publication/287207265\\_Role\\_of\\_Computer\\_Aided\\_Design\\_and\\_Engineering\\_in\\_Product\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/287207265_Role_of_Computer_Aided_Design_and_Engineering_in_Product_Development)
5. Jain P. K., Rathore N., Reverse Engineering Applications in Manufacturing Industries: an Overview, w: DAAAMINTERNATIONAL SCIENTIFIC BOOK, t. 45, s. 567-576, 2014.
6. Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., Rosenberg, M., How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective, w: International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, s. 37-44, t. 8, 2014.
7. Ferdinand-James D., Della Corte V., Jurčić I., Umachandran K., Industry 4.0: The New Industrial Revolution, w: Conference Proceedings of Contemporary Issues in Economy & Technology – CIET Split, Croatia: University of Split, s.138-156, 2018.
8. Klingenberg C., Antunes J., Industry 4.0: what makes it a revolution?, EurOMA, 2017, Edinburgh. EurOMA, 2017,
9. Sułkowski Ł., Kaczorowska-Spychalska D., Internet of Things. Nowy paradygmat rynku, Difin, 2018, Warszawa.
10. Waseem M., Mazhar S., Khairi A., Umar Farooq M., A Review on Internet of Things (IoT), w: International Journal of Computer Applications, s. 1-5, t. 1, 2015.
11. Schwab K., Czwartą rewolucja przemysłowa, Studio Emka, 2018, Warszawa.
12. European Commission, E-business integration, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-business\\_integration#Enterprise\\_resource\\_planning\\_.28ERP.29](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-business_integration#Enterprise_resource_planning_.28ERP.29).

### The use of innovative computer tools for the logistic improvement of the production process

The article discusses tools for improving production processes. The aim of the article was to compare them with a modern Industry 4.0 tool used to improve the production process. In the era of dynamically developing information systems, for monitoring production, acquiring large amounts of information during their work, it enables the implementation of advanced strategies in the area of maintenance and servicing of machines. The concept of Industry 4.0 remains at the center of the discussion of engineers and has a major impact on manufacturers of innovative machines as well as their end users. The combination of production processes with information technologies, which in themselves develop at a very fast

rate, makes the automation of production lines more flexible, merges logistic processes and optimizes the value chain. Industry 4.0 means the integration of intelligent machines, systems and the introduction of changes in production processes aimed at increasing production efficiency and introducing the possibility of flexible product changes.

---

**Keywords:** Industry 4.0, industrial revolution.

**Autorzy:**

Dr inż. **Ewa Kubińska-Jabcoń** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, ejabcon@gmail.com

Dr inż. **Mariusz Niekurzak** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, mniekurz@zarz.agh.edu.pl