

ANALIZA STOPNIA INTEGRACJI PROCESÓW I SYSTEMÓW W MODELU DOJRZAŁOŚCI TECHNOLOGICZNEJ FIRMY PRODUKCYJNEJ *MANUTECH MATURITY MODEL* (MTMM) W PRZEMYSŁE 4.0

Jarosław GRACEL, Piotr ŁEBKOWSKI

Streszczenie: Strategia Przemysłu 4.0 jest sukcesywnie wdrażana przez największe zachodnioeuropejskie firmy produkcyjne. Przekłada się to bezpośrednio na wyzwania (szanse) dla fabryk ulokowanych w Polsce. Jednym z fundamentalnych elementów procesu wdrażania inicjatyw Przemysłu 4.0 jest integracja w czasie rzeczywistym (Real-time integration) procesów i systemów produkcyjnych oraz łańcucha wartości. Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie podejścia do analizy stopnia integracji procesów i systemów w autorskim modelu dojrzałości technologicznej ManuTech Maturity Model (MTMM) wraz z wynikami badania dojrzałości przeprowadzonego w firmie produkcyjnej z sektora FMCG.

Słowa kluczowe: Przemysł 4.0, dojrzałość technologiczna, integracja procesów, integracja systemów, integracja w czasie rzeczywistym, ManuTech Maturity Model, MTMM

1. Wprowadzenie

Zapoczątkowana w roku 2011 inicjatywa Przemysłu 4.0 jest sukcesywnie wdrażana przez największe kraje zachodnioeuropejskie oraz firmy produkcyjne. W proces wdrażania są zaangażowane strategicznie między innymi koncerny Bosch [1], Volkswagen [2], BASF [3], Electrolux [4]. Zaangażowanie jest realizowane w obszarze definicji strategii cyfryzacji do Przemysłu 4.0, wdrażania strategii, a także realizacji programów badawczych dotyczących Przemysłu 4.0. Przekłada się to także na oddziały tych fabryk w Polsce oraz polskie firmy, które są poddostawcami dla firm międzynarodowych. Ma to znaczący wpływ na konkurencyjność polskich fabryk, które zaoferowane często odbiegają poziomem w zakresie automatyzacji i cyfryzacji. Fundamentem do wdrażania inicjatyw Przemysłu 4.0 jest dostępność danych z procesów produkcyjnych, które powinny być zbierane automatycznie. Współczesny przemysł usługowy i wytwórczy [5] nie może się obejść bez szeroko rozumianej automatyzacji i robotyzacji. Przeważająca część procesów nie może być w ogóle zrealizowana bez sterownika, komputerowego wspomaganie, bazy danych i bazy wiedzy. Następnie powinna nastąpić integracja w czasie rzeczywistym kluczowych procesów w poziomym, pionowym oraz end-to-end engineering łańcuchu wartości. Integracja w czasie rzeczywistym (Real-time integration) procesów i systemów jest jednym z fundamentalnych elementów w procesie wdrażania inicjatyw Przemysłu 4.0 i przechodzenia na wyższe poziomy dojrzałości technologicznej.

2. Przemysł 4.0 – definicje

Jedną z najpełniejszych definicji Przemysłu 4.0 brzmi [6]: Przemysł 4.0 to zbiorcze określenie dla innowacyjnych technologii działających w połączeniu z koncepcją organizacji

łańcucha wartości. Dzięki modułowym inteligentnym fabrykom (Smart Factories) systemy cyber-fizyczne (CPS) sprawują monitoring nad procesami fizycznymi i pozwalają na tworzenie wirtualnych „bliźniaków” świata fizycznego (Digital-Twin) oraz realizację decyzji w środowiskach zdecentralizowanych. Poprzez zastosowanie technologii *Przemysłowego Internetu Rzeczy*, Systemy cyber-fizyczne komunikują się i współpracują z innymi systemami oraz zespołami ludzkimi w czasie rzeczywistym. Poprzez Internet Usług, mogą być oferowane i wykorzystywane przez użytkowników łańcucha wartości, zarówno wewnętrzne jak i między-organizacyjne usługi. W niedalekiej przyszłości firmy będą tworzyły globalne sieci wartości integrujące maszyny i linie produkcyjne, systemy magazynowe oraz fabryki zbudowane według idei systemów cyber-fizycznych (CPS, Cyber-Physical Systems) [7]. Przemysł 4.0 w szczególności eksponuje ideę spójnej cyfryzacji i łączenie wszystkich jednostek wytwarzających wartość w gospodarce [8].

2.1. Przemysł 4.0 – wyzwania dla polskiego sektora produkcyjnego

Przemysł 4.0 oznacza dla polskiego przemysłu szereg wyzwań. W raporcie „Cyfrowa Polska” opracowanym przez firmę McKinsey [9], wskazano na znacząco niższy stopień cyfryzacji Polski w relacji do Stanów Zjednoczonych i Europy Zachodniej. „Indeks cyfryzacji” Polski jest o 34% niższy od Europy Zachodniej. Dodatkowo w tym samym badaniu McKinsey wskazuje, że „luki cyfryzacji” w relacji do Europy Zachodniej w sektorach gospodarki, takich jak „zaawansowana produkcja przemysłowa” i „prosta produkcja przemysłowa” wynoszą odpowiednio: 45% i 78%. Z badań poziomu automatyzacji polskich zakładów produkcyjnych [10] wynika, że tylko 15% fabryk jest w pełni zautomatyzowanych, a aż 76% wskazuje na częściową automatyzację. Co więcej, według Międzynarodowej Federacji Robotyki [11] gęstość robotyzacji w Polsce, która wynosiła w roku 2013 – 19: jest prawie 15 razy mniejsza niż w Niemczech (292) i 4 razy mniejsza od średniej w krajach europejskich (82). Ponadto cały czas niewielka część fabryk korzysta z systemów IT do operacyjnego zarządzania i sterowania produkcją (MES). Dzięki tym badaniom widać, że dla zarządzających polskimi fabrykami niestety cały czas aktualne są jeszcze wyzwania trzeciej rewolucji przemysłowej. Kolejnym wyzwaniem wskazywanym w wielu badaniach jest brak gotowości kadry inżynierskiej do wdrażania inicjatyw Przemysłu 4.0. Badania rozwoju inżynierów prowadzone przez ASTOR, mówią, że tylko co trzecia polska firma w sektorze produkcji posiada programy rozwoju dla inżynierów [12]. Potwierdza się to w badaniu „Digital IQ” przeprowadzonym przez PwC wskazano, że brak wykwalifikowanych zespołów jest problemem we wdrażaniu cyfrowej transformacji dla 69% firm [13]. Wyzwaniem dla firm produkcyjnych jest też zbudowanie systemowego podejścia do zarządzania innowacjami [14], które pozwoli na zmianę w obszarach kultury organizacyjnej oraz skuteczne budowanie strategii innowacji i strategii technologicznej, rozwoju technologii (w tym technologii produkcyjnych).

2.2. Przemysł 4.0 – wpływ na zarządzanie produkcją i technologie produkcyjne

Analiza literatury w zakresie Przemysłu 4.0 pozwala na stwierdzenie, że wdrażanie strategii i inicjatyw Przemysłu 4.0 wymusza także modyfikację metod i filozofii zarządzania produkcją, systemów produkcyjnych, a także wpływa na rozwój technologii produkcyjnych [8, 15, 16]. Do głównych technologii produkcyjnych składających się na pojęcie Fabryki 4.0 (Factory 4.0) są zaliczane [8, 16, 17]: inteligentne czujniki (intelligent sensors), wytwarzanie addytywne (3D printing/additive manufacturing), zaawansowane materiały (advanced

materials), systemy cyber-fizyczne (CPS), w pełni zintegrowane systemy automatyzacji i robotyzacji, roboty współpracujące (cobots), pojazdy autonomiczne (autonomous vehicles), przetwarzanie w chmurze (cloud computing) and analityka dużych zbiorów danych (big data), wirtualna i rozszerzona rzeczywistość (VR, AR) oraz zaawansowane systemy gromadzenia i udostępniania energii. Do największych wyzwań w zakresie tworzenia i wdrażania technologii produkcyjnych są zaliczane [7]: standaryzacja i otwarte standardy wspierające budowanie architektury referencyjnej, zarządzanie złożonymi systemami, dostarczanie szerokopasmowej infrastruktury internetowej dla przemysłu, bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo. Wyzwaniem technologicznym jest także konwergencja systemów IT oraz OT (Operational Technologies) [18].

Przeciwważą dla wyzwań są prognozowane korzyści wynikające z zaangażowania w Przemysł 4.0. Pełne wdrożenie koncepcji Przemysłu 4.0 może pozwolić osiągnąć niespotykany dotąd poziom wydajności operacyjnej i przyspieszyć wzrost produktywności, co należy przyjąć za dużą zaletę. Nowe rodzaje zaawansowanej produkcji i procesów przemysłowych, integracji oraz współpracy maszyny i urządzeń do pracy ludzkiej pozwoli na pełną elastyczność systemów produkcyjnych przedsiębiorstwa [19]. Należy także pamiętać, że stopień i jakość wdrożenia technologii produkcyjnych będą w znaczącym stopniu wpływać na dojrzałość technologiczną firmy produkcyjnej.

2.3. Archetypy fabryk przyszłości

Rozwijając zagadnienie czwartej rewolucji przemysłowej, należy wskazać, że w najprostszym ujęciu, jako konsumenci, społeczeństwo będzie mogło wraz z upływem czasu zamawiać (poza samochodami) inne w pełni spersonalizowane dla siebie produkty, także te codziennego użytku. Jest to urzeczywistnienie idei „mass customization”. Będzie to możliwe dzięki temu, że 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 [20]. W [21] zaproponowane zostało przyjęcie nowej klasyfikacji archetypów (rys. 1), w której fundamentem każdego archetypu będzie orientacja na klienta, dążenie do eliminacji materiałów drukowanych z procesu produkcyjnego (*paperless factory*) oraz wdrażanie inicjatyw ciągłego doskonalenia z wykorzystaniem cyfrowych narzędzi analitycznych (Lean 2.0).



Rys. 1. Cztery archetypy fabryk przyszłości, opracowanie własne na bazie

Źródło: [21]

Niezależnie od strategii rozwoju wybranej przez firmę produkcyjną, bez integracji czasu rzeczywistego procesów, nie będzie możliwe osiągnięcie oczekiwanego poziomu doskonałości operacyjnej i wykorzystania pełnego spektrum technologii.

3. Rola integracji kluczowych procesów w Przemysle 4.0

W trakcie prowadzonych badań nad Przemysłem 4.0 zostały wyodrębnione kluczowe zasady w projektowaniu (design principles) komponentów/systemów Przemysłu 4.0 [22]: międzyoperacyjność (interoperability), wirtualizacja (virtualization) – tworzenie wirtualnych modeli fabryk oraz modeli symulacyjnych, decentralizacja (decentralization), zdolności decyzyjne w czasie rzeczywistym (real-time capability) – dostęp do wszystkich kluczowych informacji nt. procesów biznesowych i produkcyjnych w sposób automatyczny pobieranych z maszyn i urządzeń, orientacja na usługi (service orientation) – otwarcie na wykorzystanie aktywów (fabryki, technologii, zespołów ludzkich) na potrzeby usługowego wykorzystania dla innych fabryk, modułowość (modularity) – zdolność systemu do elastycznej adaptacji do zmieniającego się zapotrzebowania sezonowego, bądź zmieniającej się specyfikacji, zastępowalność, bądź skalowalność modułów. Wszystkie z wymienionych powyżej zasad wymagają w sposób pośredni lub bezpośredni integracji czasu rzeczywistego procesów produkcyjnych i biznesowych.

Rola integracji danych cyfrowych została potwierdzona przez Grupę Roboczą ds. Przemysłu 4.0 powołaną przez niemieckie Ministerstwo Gospodarki, główne jednostki naukowe i stowarzyszenia inżynierów, które rozpoczęły pracę w roku 2013 i zalecały koncentrację badań w trzech strategicznych tematach związanych z cyfrową integracją sieci przedsiębiorstw w łańcuchach wartości oraz kluczowych procesów biznesowych [23]:

- horyzontalnej (poziomej) integracji łańcucha wartości,
- cyfrowej integracji *end-to-end* inżynierii w całym łańcuchu wartości,
- integracji pionowej (*vertical integration*) oraz usieciwionych systemów produkcyjnych.

Automatyczne pobieranie, gromadzenie, przechowywanie i udostępnianie danych w relacji: maszyny-ludzie-systemy jest warunkiem koniecznym rozpoczęcia inicjatywy strategicznej Przemysłu 4.0 w każdej firmie produkcyjnej [8]. W badaniu McKinsey Industry 4.0 Global Expert Survey 2016 [16] – wskazywane jest, że 6 na 10 firm produkcyjnych spotkało się z licznymi barierami zarządczymi podczas próby wdrażania transformacji Przemysłu 4.0. Do głównych barier zaliczane są m.in. problemy z przekonaniem decydentów odnośnie konieczności inwestycji w podstawową architekturę informatyczną, wyzwania związane z integracją danych pochodzących z różnych źródeł w celu ułatwienia współpracy i koordynowania działań w Przemysle 4.0. Rola integracji wymiany informacji między jest także wskazywana jako kluczowa w systemach optymalizacji firm produkcyjnych [24] czasu rzeczywistego (Real-Time Operational Excellence).

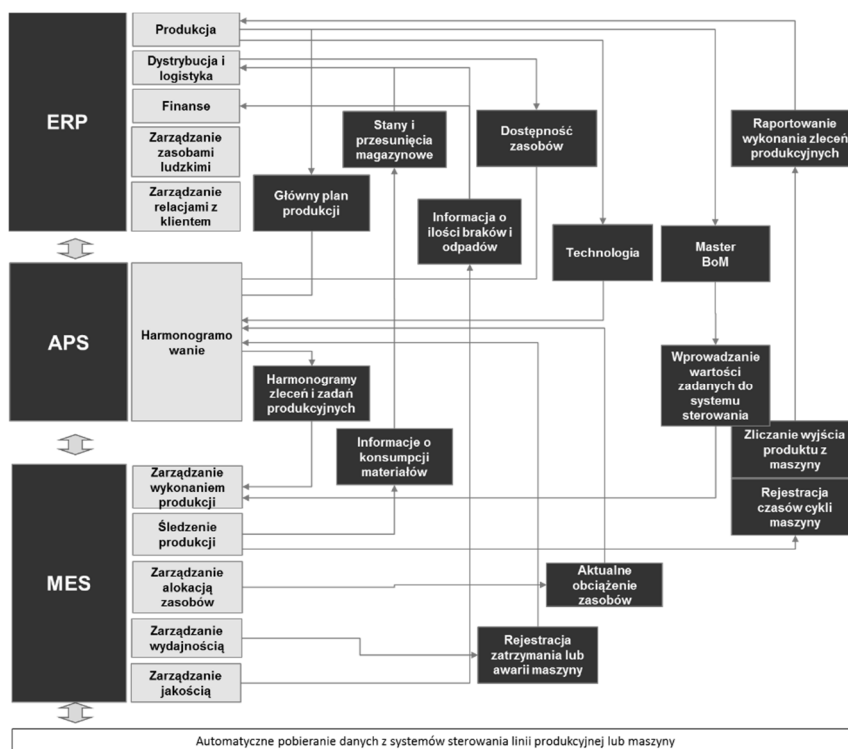
3.1. Modele integracji procesów

Integracja danych w procesach zarządzania produkcją jest znanym przedmiotem badań. Międzynarodowa organizacja ISA (International Society of Automation) oraz MESA International zdefiniowała i opisała standard klasyfikacji systemów w obszarze produkcji oraz modele wymiany danych w procesach zarządzania produkcją – standard ANSI/ISA S-95 [25]. Równoległa koncepcja standaryzacji kluczowych procesów i funkcji systemów

zarządzania produkcją klasy MES została opisana przez organizację MESA International [26]. Standard ANSI/ISA S-95 znalazł zastosowanie w wielu projektach integracji danych realizowanych w międzynarodowych firmach produkcyjnych, m.in. w firmie Arla Foods [27].

3.2. Przykładowa integracja procesów planowania – harmonogramowania i sterowania produkcją (ERP – APS – MES)

Przykładem dojrzałego podejścia do integracji procesów (bazując na standardzie ANSI/ISA-S95) jest integracja czasu rzeczywistego procesów zarządzania produkcją, planowania produkcji oraz harmonogramowania produkcji z wykorzystaniem systemu ERP oraz specjalizowanych systemów klasy APS (Advanced Planning and Scheduling) i MES (Manufacturing Execution System) [28]. Przykładowe komunikaty wymieniane pomiędzy systemami ERP, APS, MES zostały zaprezentowane na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe komunikaty wymieniane między systemami ERP, APS, MES
Zródło: [28]

Automatyczne pobieranie z systemów ERP oraz MES kompletu informacji wymaganych do obliczenia harmonogramu powoduje, że plany utworzenie w systemie APS bazują na rzetelnych i aktualnych, a nie planowanych danych, wprowadzonych niejednokrotnie z błędami. Harmonogram produkcji tworzony jest więc bazując na informacjach o zapotrzebowaniu na zlecenia z głównego planu produkcji, planowanej dostępności i kosztach zasobów materialnych i ludzkich, informacjach o aktualnych możliwościach

finansowych z systemu ERP oraz aktualnej informacji o stanie realizacji produkcji w toku z systemu MES. Wybranie i zatwierdzenie konkretnego harmonogramu przez planistę powoduje automatyczną transformację harmonogramu na konkretne zlecenia (zadania) produkcyjne i wyświetlenie ich na panelach (interfejsach systemu MES) w gniazdach roboczych. Następnie integracja systemu MES ze sterownikami programowalnymi maszyn powoduje automatyczne śledzenie wykonania zleceń oraz rejestrowanie wszystkich zdarzeń awaryjnych, przestojów, braków surowców i braków jakościowych produkowanych wyrobów, które mogą wpływać na przesunięcie terminu zakończenia zlecenia. Ponadto na podstawie tych danych można podjąć natychmiastowe działania interwencyjne polegające na stworzeniu nowego harmonogramu przez system APS lub/i negocjacje z klientem w celu wspólnego podjęcia decyzji na temat terminu realizacji zlecenia. Z kolei po zakończeniu zlecenia od razu dział logistyki i sprzedaży otrzymuje taką informację z systemu MES i może zrealizować wysyłkę do klienta. System ERP otrzymuje z systemu MES także realne dane o kosztach wytworzenia (tj. kosztach materiałów, odpadów, energii elektrycznej i mediów, zasobów ludzkich) w czasie rzeczywistym, co pozwala na bieżącą kontrolę zyskowności w kontekście konkretnych zamówień, grup produktów, grup maszyn lub zespołów ludzkich.

Analiza opisanego scenariusza integracji pokazuje potencjał wynikający z całkowitej automatyzacji pozyskiwania danych produkcyjnych oraz ich automatycznej wymiany między kluczowymi procesami w obszarze zarządzania produkcją.

4. Model dojrzałości technologicznej ManuTech Maturity Model (MTMM)

Jak wskazują dane, dla polskich firm produkcyjnych główne wyzwania technologiczne są związane z Przemysłem 3.0, w którym dominuje obecnie trend budowania w firmie infrastruktury do automatycznego zbierania danych na temat produkcji, z maszyn i linii produkcyjnych oraz automatyzacja i robotyzacja podstawowych czynności niebezpiecznych oraz uciążliwych dla ludzi, np. pakowanie wyrobów gotowych, układanie produktów na paletach. Przegląd polskiego sektora produkcyjnego daje obraz wyzwań w wielu wymiarach. Z tego powodu zasadne było zaprojektowanie modelu oceny dojrzałości technologicznej dla firm produkcyjnych – ManuTech Maturity Model (MTMM) [29], który będzie narzędziem wspierającym kompleksową ocenę dojrzałości z perspektywy dyrektora zakładu produkcyjnego lub dyrektora produkcji.

4.1. Ocena dojrzałości

Dojrzałość jest definiowana, jako dokładny proces jednoznacznego definiowania, mierzenia, zarządzania i sterowania ewolucyjnego rozwoju jednostki [30]. Dojrzałość jest związana z ewolucyjnym postępowaniem w demonstrowaniu konkretnych zdolności lub dążeniu do określonych celów, począwszy od stanu początkowego aż do zakładanego stanu końcowego. Modele oceny dojrzałości [31] są definiowane, jako narzędzia służące do oceny (oszacowania) stopnia dojrzałości konkretnych elementów oraz wyboru odpowiednich akcji, które prowadzą konkretne elementy na wyższy poziom dojrzałości. Model dojrzałości [32] to sprawdzona technika, która wnosi dużą wartość w mierzeniu różnych aspektów procesów oraz organizacji. Jest sposobem na zorganizowane i systemowe zarządzanie rozwojem firmy produkcyjnej.

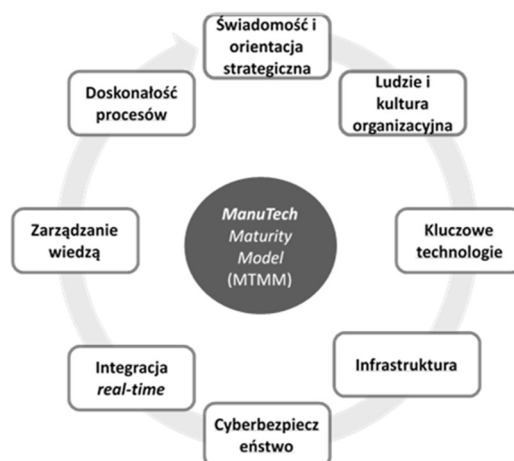
4.2. Model MTMM – założenia

W wyniku szczegółowej analizy luk w istniejących modelach oceny dojrzałości w dziedzinie Przemysłu 4.0 oraz wieloletnich doświadczeń autorów w zakresie budowania strategii rozwoju technologii produkcyjnych został zdefiniowany i zaprojektowany autorski model dojrzałości technologicznej dla firm produkcyjnych, *ManuTech Maturity Model* (MTMM). Główne **założenia modelu dojrzałości MTMM** [28] to *m.in.*:

- uwzględnienie pryncypiów projektowania dla Przemysłu 4.0 [6]: interoperacyjności, wirtualizacji, decentralizacji, zdolności zarządczych w czasie rzeczywistym, orientacji na usługi oraz modułowości,
- koncentracja na technologiach produkcyjnych ważnych z punktu widzenia Przemysłu 4.0, a także branży, w której funkcjonuje firma,
- koncentracja na aspektach operacyjnych ważnych kadry zarządzającej średniego szczebla w procesie wdrażania strategii i inicjatyw Przemysłu 4.0,
- wyodrębnienie aspektów integracji w czasie rzeczywistym kluczowych procesów biznesowych w firmie produkcyjnej (a także strukturze sieciowej) jako niezależnego krytycznego wymiaru,
- możliwość praktycznego zastosowania jako narzędzia badawczego i analitycznego.

Model *ManuTech Maturity Model* (MTMM) został szczegółowo opisany szczegółowo w [28, 33] składa się z 8 wymiarów (rys. 3):

1. Kluczowe technologie (*Core technologies*),
2. Ludzie i kultura organizacyjna (*People and Culture*),
3. Zarządzanie wiedzą (*Knowledge Management*),
4. Integracja w czasie rzeczywistym (*Real-Time Integration*),
5. Infrastruktura (*Infrastructure*),
6. Świadomość i orientacja strategiczna (*Strategic awareness & alignment*),
7. Doskonałość procesowa (*Process excellence*),
8. Cyberbezpieczeństwo (*Cybersecurity*).



Rys. 3. Model dojrzałości ManuTech Maturity Model (MTMM)

Stosując opracowane kroki postępowania oraz weryfikując poszczególne wymiary opisane w modelu, wśród których są nie tylko wymiary techniczne, organizacja będzie się mogła szybciej/zwinniej przystosować do implementacji nowoczesnych technologii i procesów będących fundamentem dla czwartej rewolucji przemysłowej. Opracowany model będzie docelowo przydatnym narzędziem wspierającym kompleksową ocenę dojrzałości z perspektywy dyrektora zakładu produkcyjnego lub dyrektora produkcji [33]. W niniejszym artykule zostanie rozwinięty wymiar Integracja w czasie rzeczywistym (*Real-Time Integration*), który jest krytycznym składnikiem modelu dojrzałości MTMM.

4.3. Integracja procesów i systemów w czasie rzeczywistym (real-time integration) w modelu MTMM

Wymiar integracji procesów wymiar określający stopień integracji firmy w łańcuchach wartości oraz stopień automatyzacji wymiany danych w zakresie kluczowych procesów i systemów (w pionowym, poziomym i inżynierskim łańcuchu wartości) jest krytyczny w procesie podnoszenia dojrzałości technologicznej firmy, ponieważ:

- stopień integracji procesów i systemów wpływa na szybkość dostępu do danych i informacji, co przekłada się na szybkość podejmowania decyzji,
- dane gromadzone i przesyłane automatycznie (w czasie rzeczywistym) są w znacznym stopniu pozbawione zakłóceń (niedokładności). Podniesienie jakości danych wpływa na jakość analiz i trafność podejmowanych decyzji,
- wysoki stopień integracji procesów umożliwia automatyczne pozyskiwanie informacji i uzupełnianie bazy wiedzy technologicznej i produkcyjnej o precyzyjne dane nt. efektywności procesów. To z kolei, może wpłynąć na wzrost stopnia dojrzałości w wymiarze „Zarządzanie wiedzą” [33], a także w długiej perspektywie czasu umożliwić implementację algorytmów uczenia maszynowego (Machine Learning),
- pełna automatyzacja wymiany danych między systemami i procesami wpływa na redukcję czasu, który jest poświęcany przez personel fabryki i manualne wprowadzanie i przesyłanie danych, który jest stratą z perspektywy strumienia wartości. Z kolei uwolniony czas może przełożyć się na uwolnienie potencjału innowacyjnej firmy.

5. Ocena integracji procesów firmy produkcyjnej w branży FMCG

Istotność integracji w czasie rzeczywistym procesów produkcyjnych i biznesowych w przedsiębiorstwie uzasadniono w rozdziale 4. Ma to znaczenie w większości działów przemysłu, a w szczególności w branżach charakteryzujących się produkcją o wysokim wolumenie i konkurującymi kosztami. Jedną z takich branż jest produkcja dóbr szybkozbywalnych (FMCG, Fast Moving Consumer Goods), np. produkcja napojów, produkcja wyrobów czekoladowych. W niniejszym artykule autorzy zaprezentują wyniki badania jakościowego stopnia integracji procesów w firmie produkcyjnej z tego sektora.

5.1. Stopień zintegrowania procesów

Celem badania było określenie stopnia integracji procesów i zidentyfikowanie nieefektywności w przepływie informacji w pionowym (wewnętrznym) łańcuchu wartości między fazami łańcucha wartości: opracowanie produktu, planowanie, wytwarzanie.

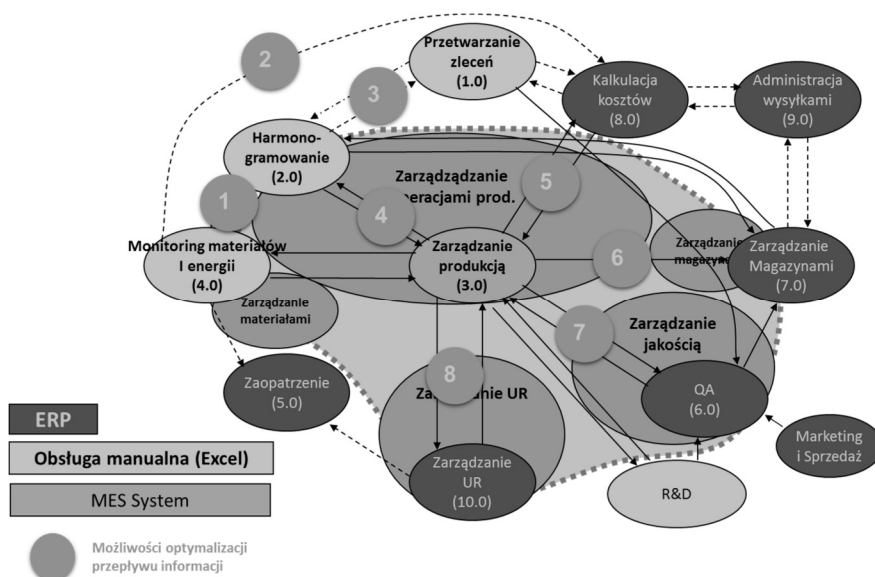
W metodzie oceny stopnia integracji procesów i systemów zostały przyjęte następujące założenia:

- na potrzeby analizy przyjęto klasyfikację procesów oraz modelu przepływu danych według standardu ANSI/ISA S-95,
- liczba kluczowych procesów (w oparciu o standard ISA S-95): 10
- zdefiniowana następujące poziomy integracji procesów: 1. brak integracji (dokumenty papierowe), 2. brak integracji (dokumenty elektroniczne przesyłane przez pracowników), 3. Integracja częściowa (dane automatycznie eksportowane

z jednego systemu i ręcznie wprowadzane do drugiego), 4. integracja pełna (dane przesyłane automatycznie między systemami).

- komunikacja między procesami powinna być dwukierunkowa (nadawanie i odczyt),
- krytycznym procesem biznesowym jest zarządzanie produkcją (3.0), który wymaga integracji w czasie rzeczywistym z 7 innymi procesami.

Na potrzeby badania jakościowego opracowano ustandaryzowane ankiety, które zostały wykorzystane do przeprowadzenia wywiadów grupowych z pracownikami firmy reprezentującymi następujące działy: dział produkcji, dział utrzymania ruchu, dział zapewnienia jakości, dział IT, dział inżynieringu, dział logistyki wewnętrznej. W wyniku badania określono wynikowy poziom dojrzałości w wymiarze „Integracja w czasie rzeczywistym” na 72 pkt z maksymalnych 128, czyli 56%, co w nomenklaturze oceny efektywności firm produkcyjnych jest wynikiem przeciętnym. Z całkowitej liczby możliwych scenariuszy komunikacji między procesami (definiowanej jako na poziomie ogólnym, jako komunikacja procesu A z procesem B wynoszącej) 32, 6 było realizowanych w pełni automatycznie (poziom 4 - Pełna integracja procesów), 3 na poziomie 3, 16 na poziomie 2, 7 na poziomie 1. W wyniku przeprowadzonego badania zidentyfikowano także 8 głównych obszarów nieefektywności integracji i wymiany danych między procesami i systemami (rys. 4).



Rys. 4. Przykładowa analiza stopnia integracji procesów
Źródło: opracowanie własne autorów na bazie [25]

Kluczowym aspektem badania była identyfikacja nieefektywności w integracji procesów. W tabeli 1. zostały opisane przykładowe nieefektywności w integracji procesów biznesowych związanych z produkcją zidentyfikowane w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Tab.1. Analiza nieefektywności w integracji procesów i systemów

Nazwy procesów	Opis nieefektywności
1. Monitoring mediów (4.0) – Harmonogramowanie (2.0)	Brak dostępu w czasie rzeczywistym do informacji na temat: - bieżących zużyć materiałów (surowców) na liniach produkcyjnych - zużycia mediów z podziałem na konkretne linie produktowe (lub produkty) pozwalający na optymalizację kosztów realizacji zleceń w trakcie harmonogramowania
2. Kalkulacja kosztów (8.0) – Monitoring materiałów i energii (4.0)	Brak możliwości raportowania w real-time z dowolną rozdzielczością czasową (minuty, godziny, zmiany, dni) zużyć materiałowych i mediów pozwalający na przyspieszenie procesu racjonalizacji kosztów i skrócenie czasu podejmowania decyzji, w ujęciu zarówno głównych liczników (facility) jak i kosztów energetycznych danego obszaru (utility).
3. Harmonogramowanie (2.0) – Przetwarzanie zleceń (1.0)	Brak wymiany informacji o zleceniach planowanych do realizacji między działem Logistyki wewnętrznej, Produkcji i R&D. Do uzgadniania harmonogramów wykorzystywane są arkusze Excel.
4. Harmonogramowanie (2.0) – Zarządzanie produkcją (3.0)	Brak informacji w czasie rzeczywistym nt. zaharmonogramowanych (zatwierdzonych) zleceń produkcyjnych bezpośrednio na stanowiskach roboczych, Brak informacji w czasie rzeczywistym do planistów o zidentyfikowanych zagrożeniach dla realizacji planu produkcyjnego.
5. Zarządzanie produkcją (3.0) – Kalkulacja kosztów (8.0)	Brak automatycznego generowanie raportu dla działu Controllingu o kosztach surowców, maszyn, mediów po zakończeniu danego zlecenia produkcyjnego
6. Zarządzanie produkcją (3.0) – Zarządzanie magazynem (7.0)	Informacje o bieżącej ilości wyprodukowanych zleceń (partii, sztuk, palet) są wpisywane ręcznie do systemu ERP, a następnie Dział logistyki jest powiadamiany e-mailem o zakończeniu wprowadzania danych.
7. Zarządzanie produkcją (3.0) – Zapewnienie jakości (6.0)	Brak automatycznego rejestrowania w systemach krytycznych parametrów „jakościowych”. Dane są gromadzone na arkuszach papierowych w sposób ręczny.
8. Zarządzanie produkcją (3.0) – Zarz. utrzymaniem ruchu (10.0)	Brak możliwości automatycznego generowania „zlecenia naprawy” i przesyłania do działu UR po wystąpieniu awarii lub przestoju. Brak możliwości podglądu aktualnego stanu pracy maszyn w dziale Utrzymania Ruchu

Zaprezentowane w niniejszym rozdziale wyniki badania stopnia integracji procesów i systemów w modelu dojrzałości MTMM dowodzą możliwości praktycznego zastosowania modelu. Wyniki badania i zidentyfikowane obszary nieefektywności zostały ocenione przez personel fabryki, jako przydatne sugestie optymalizacyjne. Badanie wskazało też, że integracja systemów i procesów jest dużym wyzwaniem w procesie budowania dojrzałości technologicznej firmy.

6. Wnioski

Celem artykułu było zaprezentowanie podejścia do oceny stopnia integracji procesów i systemów w autorskim modelu dojrzałości technologicznej ManuTech Maturity Model (MTMM) przeznaczonemu dla firm produkcyjnych wdrażających inicjatywy Przemysłu 4.0. W artykule zaprezentowano także wyniki badania poziomu dojrzałości w wymiarze Integracja w czasie rzeczywistym modelu MTMM przeprowadzonego w firmie produkcyjnej z sektora FMCG.

Podsumowując należy stwierdzić, że:

- integracja procesów i systemów jest wskazywana w literaturze i badaniach, jako kluczowy aspekt wdrażania inicjatyw Przemysłu 4.0,
- dojrzałość technologiczna firmy produkcyjnej jest w dużej mierze zależna od stopnia integracji w czasie rzeczywistym procesów i systemów. Z tego powodu uzasadnione było wyodrębnienie tego aspektu, jako niezależnego wymiaru w autorskim modelu dojrzałości ManuTech Maturity Model (MTMM),
- przedstawione w artykule podejście do oceny dojrzałości technologicznej w wymiarze Integracji w czasie rzeczywistym jest oparte o międzynarodowy standard ANSI/ISA-95, co zwiększa praktyczność jego stosowania i umożliwia badania międzynarodowe,
- autorzy przeprowadzili badania jakościowe w firmie produkcyjnej, w trakcie których przeprowadzono dokładną analizę stopnia integracji procesów i systemów oraz wskazano obszary nieefektywności,
- wykonane badanie może posłużyć do budowania rekomendacji, które procesy i systemy należy zintegrować w celu podnoszenia dojrzałości technologicznej firmy.

Planowana jest kontynuacja prac badawczych nad rozwojem i aplikacją autorskiego modelu dojrzałości technologicznej ManuTech Maturity Model (MTMM), a także badanie wpływu stopnia Integracji w czasie rzeczywistym na inne wymiary modelu, np. cyberbezpieczeństwo.

Literatura

1. Santos M.Y., Oliveira e Sá J., Andrade C., Vale F.: A Big Data system supporting. Bosch Braga Industry 4.0 strategy, International Journal of Information Management, Volume 37, Issue 6, 2017, s. 750-760.
2. PhD Event showcases work on Industry 4.0, e-mobility and autonomous driving. https://www.volkswagenag.com/en/news/2017/10/volkswagen_phd_event.html [7.01.2018].
3. Gentner S.: Industry 4.0: Reality, Future or just Science Fiction? How to Convince Today's Management to Invest in Tomorrow's Future! Successful Strategies for Industry 4.0 and Manufacturing IT. CHIMIA International Journal for Chemistry, Volume 70, Number 9, September 2016, s. 628-633.
4. Electrolux introduces augmented reality for remote maintenance at its factories. <http://www.electroluxgroup.com/en/electrolux-introduces-augmented-reality-for-remote-maintenance-at-its-factories-24061/>, [7.01.2018].
5. Kost G., Łebkowski P., Węsierski Ł.: Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych. Polskie Wydawnictwa Ekonomiczne S.A., Warszawa, 2013.
6. Hermann M., Pentek T., Otto B.: Design Principles for Industrie 4.0. A Literature Review. Working Paper, Technische Universität Dortmund, 01 / 2015, No. (1), 16.

7. Kagermann H., Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Acatech, Frankfurt/Main 2013, s. 4-7.
8. Gilchrist A., Industry 4.0, Roland Berger, Munich 2014.
9. Broniatowski M. (red): Cyfrowa Polska. Szansa na skok technologiczny do globalnej pierwszej ligi gospodarczej, McKinsey&Company, Forbes Polska, Warszawa 2016, s. 16.
10. Hajkuś J.: W jakie technologie inwestują firmy produkcyjne?, Raport, ASTOR, Kraków 2015.
11. IFR International Federation of Robotics: World Robotics 2015 (report), IFR, 2015,
12. Gracel J., Stoch M., Biegańska A., Rząca A.: Inżynierowie Przemysłu 4.0. (Nie)gotowi do zmian?, ASTOR Whitepaper, Kraków 2017.
13. Sieńko A., Łuba P. Kreczmar M. z zespołem: Digital IQ. Cyfrowy wyścig firm. Raport, PwC Polska. Warszawa 2017.
14. Knosala R.: Inżynieria produkcji. Kompendium wiedzy. Wydanie I, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2017.
15. Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., & Harnisch M.: Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group, 2015.
16. Chand S., Davis J., Gilchrist A.: Industry 4.0. McKinsey & Company, Whitepaper, 8(1), s. 4–7, 2016.
17. de Weck O., Reed D., Sarma S., Schmidt M: Trends in Advanced Manufacturing Technology. Production in the innovation Economy (PIE). Version 1.1. Massachusetts Institute of Technology, 2014.
18. Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., ... Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. {CIRP} Annals - Manufacturing Technology, 65(2), s. 621–641.
19. Wittbrodt P., Łapuńska I.: Przemysł 4.0 – wyzwanie dla współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych. (w:) Knosala R. (red.): Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T.II. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2017.
20. Schwab K.: The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, Davos 2016.
21. Gracel J.: 4 archetypy fabryk przyszłości. Biznes i Produkcja, nr 17 (2/2017), 2017, s. 6-10.
22. Hermann M., Pentek T., Otto B.: Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: Working Paper A Literature Review. Working Paper, Technische Universität Dortmund, 2015, s. 11.
23. Bauer H., Baur C., Mohr D., Tschiesner A., Weskamp T., Mathis R., Industry 4.0 after the initial hype. McKinsey Digital, Munich 2016.
24. Martin P. G.: The Value of Automation. International Society of Automation (ISA), 2015
25. Scholten B.: The Road to Integration. A Guide to Applying the ISA-S95 Standard in Manufacturing. International Society of Automation (ISA), 2007.
26. Leibert J.: MES Functionalities & MRP to MES. Data Flow Possibilities. MESA Whitepaper, 2. MESA International, 1997.
27. Svendsen A.: Applying S88, S95 and B2MML in Dairy Enterprise. Proceedings of World Batch Forum European Conference, World Batch Forum, 2004.
28. Kucharska E., Grobler-Dębska K., Gracel J., Jagodzinski M.: Impact of ERP-APS-MES systems integration on the effectiveness of decision making process in manufacturing companies. Communications in Computer and Information Science, 521, May 2015.
29. Gracel J., Łebkowski P.: The concept of Industry 4.0 related manufacturing technology

- maturity model (ManuTech Maturity Model, MTMM), Proceedings of 1st International Conference Decision Making in Manufacturing and Services, Zakopane 2017, s. 73-86.
30. Paulk M.C., Curtis B., Chrissis M.B., Weber C.V.: Capability Maturity Model for Software, Version 1, Carnegie Mellon University, (February), Pittsburgh 1993, s. 82.
 31. Kohlegger M., Maier R., Thalmann S.: Understanding maturity models results of a structured content analysis, Proceedings of IKNOW '09 and ISEMANTICS '09, (September), Graz 2009, s. 51-61.
 32. Proença D., Borbinha J.: Maturity Models for Information Systems – A State of the Art, Procedia Computer Science, 100(2), Lisbona 2016, s. 1042-1049.
 33. Gracel J., Makowiec M.: Zarządzanie wiedzą w modelu oceny dojrzałości technologicznej ManuTech Maturity Model (MTMM) w Przemysle 4.0. Przedsiębiorczość a źródła przewagi konkurencyjnej w gospodarce opartej na wiedzy. Wydawnictwo Katedry Zachowań Organizacyjnych, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie. Kraków 2017.

Mgr inż. Jarosław GRACEL
Dr hab. inż., Piotr ŁEBKOWSKI, prof. nadzw. AGH
Wydział Zarządzania
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
33-332 Kraków, ul. Antoniego Gramatyka 10
tel. +48 691 650 382
e-mail: jaroslaw.gracel@gmail.com
plebkows@zarz.agh.edu.pl