

Bartosz OGRODOWCZYK*, Jarosław BADUREK**

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII HOŁONOWYCH W ŚRODOWISKU CHMUROWYM PRZEDSIĘBIORSTWA

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2016.070.13

Celem artykułu jest wskazanie możliwości stosowania technologii holonowych dla implementacji chmurowego przetwarzania danych (*cloud computing*, CC) oraz chmurowego wytwarzania (*cloud manufacturing*, CM) w przedsiębiorstwie wirtualnym. Przyjęto następujący schemat wywodu: wyszczególnienie cech wspólnych oraz wyróżniających, występujących pomiędzy chmurą obliczeniową a wytwarzaniem chmurowym przedsiębiorstwa wirtualnego, a następnie zbadanie możliwości implementacji holonowych w rozważanym zakresie z uwzględnieniem studium przypadku w praktyce przemysłowej.

Słowa kluczowe: *cloud computing*, *cloud manufacturing*, obliczenia chmurowe, wytwarzanie chmurowe, technologie holonowe, przedsiębiorstwo wirtualne

1. PRZEDSIĘBIORSTWO WIRTUALNE – KOLEJNY ETAP EWOLUCJI ORGANIZACJI

Procesy globalizacyjne oraz postęp techniczny przyczyniły się do powstania nowych rodzajów struktur organizacyjnych i modeli opisujących funkcjonowanie przedsiębiorstw. Jednym z nich jest przedsiębiorstwo wirtualne, które jest wynikiem ewolucji obliczeń chmurowych CC do wytwarzania chmurowego CM. Przedmiotowa ewolucja postępuje zarówno w ujęciu przestrzennym (otoczenie przedsiębiorstwa), jak i technologicznym. Jedną z cech tej zmiany jest próba wykorzystania coraz bardziej popularnego rozwiązania, które zawiera się w osiągnięciach obliczeń chmurowych, do rozwoju wyspecjalizowanych procesów w przedsiębiorstwie wirtualnym (w tym przypadku procesów wytwórczych). Jednocześnie nasuwa się tu pytanie o możliwości implementacji konkretnych technologii w war-

* Doktorant Politechniki Gdańskiej, Wydział Zarządzania i Ekonomii.

** Zakłady Homanna, Dissen, Dolna Saksonia, Niemcy.

stwie fizycznej przedsiębiorstwa w środowisku chmurowym. Wydaje się, że efektywnym rozwiązaniem mogą tu być systemy holonowe HMS (*holonic manufacturing system*) pozwalające na wykorzystywanie elastycznych agentów software'owych w sferze urzędzeń wytwórczo-logistycznych.

Przedsiębiorstwo wirtualne, w którego definicji podkreśla się istotę akcentu kładzionego na szerokie wykorzystanie informacji i technologii informacyjnej, staje się punktem wyjścia do rozważań na temat wytwarzania w chmurze. W literaturze przedmiotu spotyka się wiele definicji przedsiębiorstwa wirtualnego. W tym kontekście wspomina się przede wszystkim o organizacjach używających ICT (*information and communication technology*), w trakcie realizacji procesów globalizacyjnych. Zatrudnieni w takiej organizacji pracownicy wykonują swoje zadania w wirtualnych biurach (które obecnie stanowią komputery osobiste połączone z siecią internetową), produkują wyroby w fabrykach wirtualnych, umiejscowionych w każdym zakątku świata. Siłą napędową organizacji wirtualnej jest innowacyjność, która wspierana jest przez „wirtualną” kadrę badawczą. Połączenie w sieci umożliwia przeprowadzenie wirtualnej burzy mózgów, daje sposobność do wymiany odkryć, wniosków, koncepcji i pomysłów. Z drugiej strony – w ujęciu strategicznym – przedsiębiorstwo wirtualne to nietrwały, tymczasowy alians firm, sprawiający, że niewielkie przedsiębiorstwa dzielą się swoimi zasobami, w celu wytworzenia nowego produktu i zdobycia nowych rynków (Davidescu, 2012). Połączenie tych przedsiębiorstw, skądinąd o charakterze oportunistycznym, sprawia, że w koniunkcji stanowią one jedną dużą organizację. Dla nich określenie „wirtualny” będzie oznaczać transfer i syntezę korzyści, zarezerwowaną do tej pory dla dużych organizacji. Tymczasowość tego zjawiska prowadzi do sytuacji, w której (w przypadku braku spójnego celu biznesowego) następuje wygaszenie dotychczasowej współpracy lub utworzenie nowej konfiguracji z nowym celem biznesowym (Goranson, 1999).

Jedną z pierwszych definicji przedsiębiorstwa wirtualnego zaproponowali Byrne, Brandt i Port (1993) – podkreślali w niej tymczasową relację, która zachodzi między przedsiębiorstwami rozlokowanymi w węzłach sieci, połączonych w nią przy użyciu technologii informacyjnej. Jagdev i Brown (1998) do wcześniejszej definicji dodają dodatkowe elementy wyróżniające, to znaczy wspominają o projektowym podejściu w trakcie realizacji zadań oraz zwracają uwagę na stosunkowo krótki czas istnienia przedsiębiorstwa wirtualnego.

Nawiązanie do holarchicznych relacji między przedsiębiorstwami to punkt wyjścia dla definicji Mezgara, Kovacsa i Paganelliego (2000). U nich w centrum działania przedsiębiorstwa wirtualnego leży cel biznesowy, który decyduje o trwałości wirtualnej relacji. W chwili zrealizowania założeń biznesowych, połączenie i cała struktura wirtualnego przedsiębiorstwa ulega rozpadowi.

Dla Martinezza, Fouletiera, Parka i Favrela, (2001) wirtualne przedsiębiorstwo jest strukturą, która zawiera w sobie globalny łańcuch dostaw pojedynczego pro-

duktu, w otoczeniu organizacji, w których relacje to dynamiczne i skomplikowane struktury sieciowe. Głównym zadaniem wirtualnego przedsiębiorstwa staje się kreacja i dostarczanie odpowiednich narzędzi, które będą stanowić trzon środowiska wirtualnego oraz umożliwią zarządzanie zasobami dostarczonymi przez zaangażowane w sieci organizacje. Wsparcie i utrzymanie sieci ma doprowadzić uczestników do osiągnięcia celu biznesowego.

Na podobnych założeniach opierają się prace Chen, Chen, Wang, Chu i Yang (2007). Prezentują oni model ułatwiający zarządzanie operacjami wspólnymi, co gwarantuje współdzielenie zasobów pomiędzy projektami oraz wzmacnia i zabezpiecza procesy decydujące o współpracy, sprawia, że wymiana informacji jest transparentna i informacja dostarczana jest zawsze na czas. Przedsiębiorstwa wirtualne to organizacje o dynamicznym charakterze, które wymagają dostosowania łańcuchów dostaw. W tych przedsiębiorstwach dopasowanie takie odbywa się w sposób zwinny (agile, agilny) (Gunasekaran, Lai i Cheng, 2008).

Presley, Sarkis, Barnett i Lilles (2001) wskazują, że przedsiębiorstwo wirtualne może być połączeniem o charakterze *joint-venture*, jednakże należy wskazać na tymczasowość istnienia, geograficzną rozłączność oraz dostarczanie zasobów i kluczowych kompetencji, wyłącznie w czasie istnienia celu biznesowego. Niezależne firmy, aby mogły działać w połączeniu, wymagają zatem odpowiednich metodyk i narzędzi zarządzania. Narzędzia takie muszą zapewnić i umożliwić uzyskanie stosownego poziomu wydajności, odpowiedzialności za zadania i pozyskiwania eksperckiej wiedzy (Khali i Wang, 2002). Z pomocą przychodzą rozwiązania webowe, w których systemy eksperckie umożliwiają wymianę i współdzielenie informacji o produkcie (Yoo i Kim, 2002).

Feng i Yamashiro (2006) uważają za organizację wirtualną międzynarodowe firmy, które mają w swoim portfolio złożone produkty. Niektórzy autorzy wskazują, że skomplikowanie relacji pomiędzy organizacjami tworzącymi wirtualne przedsiębiorstwo wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych na infrastrukturę IT, co może przyczyniać się do zaniechania w tworzeniu takich struktur przez małe i średnie przedsiębiorstwa (Davidrajuh, 2003). Z drugiej strony inni autorzy przytaczają argumenty, które dowodzą, że uczestnictwo w ramach organizacji wirtualnej nie musi być zarezerwowane wyłącznie dla dużych korporacji. Uczestnictwo w takiej sieci może być szansą na zwiększenie konkurencyjności dla małych i średnich przedsiębiorstw np. Hsu i Hsu (2008).

2. WYTWARZANIE ZORIENTOWANE NA USŁUGI

Na zmiany charakteru procesów wytwórczych wpływają potrzeby klientów, nowe rodzaje relacji pomiędzy organizacją wytwórczą a jej klientami wzmacniane przez wzrost znaczenia sieci oraz łatwiejszy dostęp do nowych technologii i urzą-

dzeń wytwórczych. Czynniki te powodują zmiany w całym procesie produkcyjnym, który tworzą nowe technologie, wspierane przez nowoczesne, automatyczne urządzenia, połączone w sieć, z coraz większymi możliwościami wymiany informacji i wiedzy. Cała ta korzystna transformacja dzieje się w otoczeniu innowacyjnym, którego celem jest dostarczanie jak najbardziej doskonałych produktów, dopasowanych do indywidualnych potrzeb klientów (Silva i Nof, 2015). Innowacja jest głównym czynnikiem w procesie tworzenia nowych rozwiązań produktowych. Dotyczy ona zarówno sfery wytwórczej, jak i samej istoty produktu. Przyczyniać się może do skrócenia fazy analitycznej, która dotyczy rozpoznania wymagań klienta. Wykorzystywane są przy tym rozwiązania sieciowe, zbliżające klienta do samego procesu projektowania nowego produktu. I w taki oto sposób powstaje realna korzyść, która wypełnia wymagania definicyjne masowej kustomizacji. Ponadto nowe produkty zaczyna tworzyć się zanim stare zostaną wycofane z rynku. Cały proces koncepcyjny jest prowadzony w kooperacji z klientami, co z pewnością prowadzi do redukcji ryzyka niedopasowania końcowego produktu do oczekiwań klienta. Występuje tutaj czynny udział każdej ze stron zainteresowanych ostatecznym produktem (Silva i Nof, 2015).

Personalizacja produktowa wymaga zmian w dotychczasowym paradygmacie wytwórczym. Zakłada się przy tym, że żadna z organizacji nie jest w stanie prowadzić wszystkich procesów wytwórczych tak, aby dostarczyć całościowy system produkcyjny zorientowany usługowo. Jest to jeden z powodów, który przyczynia się do tworzenia korzystnego środowiska do współpracy pomiędzy firmami. Ma to na celu zwiększanie ich zdolności produkcyjnych. W takiej relacji usługi stają się przedmiotem wymiany pomiędzy nimi. Organizacje tworzą i rozwijają w rezultacie sieć wytwórczą, bazującą na usługach. Członkowie sieci czynnie uczestniczą w tworzeniu nowych produktów, zarządzaniu produkcją i zapewnieniu jakości, tworzeniu i utrzymywaniu infrastruktury itp. Dzięki temu możliwe staje się dostarczanie na czas produktów nowych, kustomowych i zgodnych z wymogami jakościowymi. W całym procesie wytwórczym każda z firm jest specjalistą w danej dziedzinie. Wspiera w ten sposób poszczególne etapy procesu wytwórczego (Gao et al., 2009).

Jedną z metod równoważenia kosztów ponoszonych w nowoczesnych systemach produkcyjnych jest podział pracy i kosztów na poszczególnych partnerów sieci. Według założeń tej koncepcji korzystniejsze dla firmy jest posiadanie partnerów i dostawców zaangażowanych w etapy procesu wytwórczego (np. w fazie designu będzie to co-design, zaś w fazie produkcji koprodukcja) (Silva, 2014). Obecnie istnieje w tej dziedzinie luka badawcza. Dotychczas nie wiadomo jak miałyby wyglądać ewolucja procesów w systemach produkcyjnych zorientowanych usługowo. Nie rozstrzygnięto też, jak miałyby wyglądać proces projektowania architektury przedsiębiorstwa i jego procesy operacyjne (Silva i Nof, 2015). Niemniej jednak wiadomo, że taka usługowa orientacja systemu produkcyjnego wymaga

ściślejszej współpracy wspieranej najnowszymi osiągnięciami z dziedziny IT. Na przykład nowatorska koncepcja Internetu rzeczy (IoT – *Internet of things*) umożliwia ulokowanie fizycznego przedsiębiorstwa w systemie cyber-fizycznym. System taki jest samorządzącym się układem, stworzonym z maszyn, które posiadają wbudowane sensory (tzw. agent), połączonych w sieć, która umożliwia wymianę informacji poprzez protokoły internetowe (Silva, 2014). W związku z tym **podejmowane są próby tworzenia nowych form organizacji produkcji – należą do nich holonowe systemy produkcyjne HMS (*holonic manufacturing system*)** (Borangiu, Trentesaux i Thomas, 2014), których znaczenie w aspekcie praktycznym omówiono w rozdziale 4.

3. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA OBLICZEŃ I WYTWARZANIA W CHMURZE

Osiągnięcia obliczeń w chmurze nie pozostały niezauważone przez naukowców zajmujących się systemami wytwórczymi. Fakt ten doprowadził do powstania odpowiednika wytwórczego dla obliczeń w chmurze. Jest to wytwarzanie w chmurze. Czynnikiem niezbędnym do tego, by wytwarzanie w środowisku chmurowym mogło istnieć, jest wirtualizacja. Jest ona fundamentem, dzięki któremu w ramach platformy chmurowej zasoby wytwórcze mogą być współdzielone. Wymaga się przy tym, aby wytwarzanie w środowisku chmurowym bazowało na efektywnej wirtualizacji, zdolnej do gromadzenia informacji o zasobach i możliwościach produkcyjnych (Liu i Li, 2012).

Wytwarzanie w środowisku chmurowym jest połączeniem założeń koncepcji obliczeń w chmurze oraz koncepcji SOA (*service-oriented architecture*). Wynika z tego, że wytwarzanie takie jest traktowane jako usługa na żądanie. Za cel takiego systemu stawia się spójną organizację procesów oraz zasobów produkcyjnych ulokowanych w różnych organizacjach. Spójność taka rozumiana jest tutaj w znaczeniu integracji środowisk wytwórczych przedsiębiorstw połączonych w sieci wytwórcze. Wymuszone jest zatem tworzenie rozwiązań wirtualnych, które określane są mianem puli zasobów wirtualnych, będących rezultatem wirtualizacji (Wu i Yang, 2010).

Chmura (*cloud*) rozumiana jest jako układ złożony z warstwy zasobów komputerowych i warstwy informacji, do których zapewniony jest szybki dostęp z możliwością rozdziału zasobów na żądanie użytkownika, z komunikacją ustanowioną przez sieć. Jest to w pewnym sensie składowisko zasobów, które dzięki swojej naturze umożliwia dynamiczny dostęp do nich oraz przydział i zarządzanie nimi. Wytwarzanie w środowisku chmurowym związane jest zatem z podejściem usłu

gowym w obszarze dostępu do infrastruktury informatycznej i wpływa na jej rozwój (Li et al., 2010). Jest również traktowane jako nowy, zorientowany na sieci, paradygmat wytwórczy, którego celem jest dążenie do obniżki kosztów wytwórczych, skrócenie czasu realizacji zamówienia przez współdzielenie zasobów i ich efektywną koordynację. Skupia się przy tym zasoby wytwórcze w postaci usług na żądanie, formuje tzw. chmurę wytwórczą i umożliwia dostęp do niej użytkownikom sieci. Jest to platforma, która opiera się na osiągnięciach technologicznych obliczeń w chmurze, Internetu rzeczy, zawiera w sobie elementy inteligentnego zarządzania, wspiera efektywną współpracę i dynamiczne przydzielanie i podział zasobów. Wszystkie wspomniane wcześniej elementy połączone są ze sobą poprzez Internet tak, aby w sposób automatyczny wykonywać różne zadania wytwórcze (Tao et al., 2011). **Bardzo ważną cechą platformy wytwarzania chmurowego jest jej umiejętność automatycznej analizy i filtrowania zapytań od użytkowników, co gwarantuje wyszukanie niezbędnych informacji wytwórczych, wolnych maszyn i innych zasobów, i dostarczenie ich w formie kompletnej informacji decyzyjnej.** Ponadto użytkownicy sieci wytwórczej mogą zdalnie korzystać z platformy i zasobów wytwórczych, nie ponosząc przy tym kosztów inwestycyjnych związanych z ich realnym zakupem. Proces wirtualizacji odbywający się w chmurze wytwórczej jest bardziej skomplikowany od tego, który ma miejsce w chmurze obliczeniowej. Związane jest to z tym, że poza zasobami cyfrowymi występują zasoby materialne (maszyny, ludzie, materiały), które z natury tworzą skomplikowane zależności i relacje i muszą być poddawane wirtualizacji w sposób izomorficzny. Stanowi to trudność zwłaszcza na etapie opracowywania modelu informacyjnego. Poza tym wytwarzanie w środowisku chmurowym jest dynamicznym obrazem fizycznej struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa. Wymaga zatem elastycznych metod mapowania, w celu uniknięcia błędów w przydziale zasobów. Jednym z czynników decydujących o wyborze zasobów jest wielkość jednostki wytwórczej. Współpraca pomiędzy organizacjami dotyczy jednostek o szerszym zakresie np. wielkość magazynu, natomiast współpraca między maszynami będzie operować na innych danych np. rodzaj urządzenia, lokalizacja zasobu, rodzaj narzędzia obróbczego itp. W związku z tym nie wystarcza proste opisywanie zależności pomiędzy zasobami. Wymagane jest raczej ilustrowanie zależności, ukazujące ich wielowymiarową relację. Dotychczas stosowane metody wymiany informacji (XML/SOAP/WSDL/UDDI/OWL), stosowane szeroko w usługach sieciowych i sieciach semantycznych, nie nadają się do prostego przeniesienia na wytwarzanie chmurowe. Wielość informacji decydujących o sprawności systemu wytwórczego nie nadaje się do prezentacji z użyciem rozwiązań stosowanych do usług sieciowych w bezpośredni sposób. Metody te wymagają ewolucji i dostosowania do natury wytwarzania w środowisku chmurowym (Liu i Li, 2012). W poniższej tabeli 1 przedstawiono charakterystykę porównawczą koncepcji obliczeń w chmurze i wytwarzania w środowisku chmurowym.

Tabela 1. Charakterystyka porównawcza obliczeń i wytwarzania w środowisku chmurowym (opracowanie własne na podstawie przeglądu literatury)

Cecha	Cloud Computing	Cloud Manufacturing
Pojęcie	Model obliczeniowy z łatwym i wszechobecnym dostępem na żądanie do puli zasobów (Mell i Grance, 2015). Umożliwia korzystanie z zasobów IT i aplikacji komputerowych przez sieć internetową. Usługi dla klientów są skalowalne i dopasowane do ich zapotrzebowania (Ambrust et al., 2010).	Komputerowy model wytwórczy, zorientowany na wytwarzanie usługowe. Potomek zaawansowanych systemów wytwórczych, wspierany obliczeniami w chmurze i innymi nowoczesnymi rozwiązaniami ze sfery IT (np. Internet rzeczy) (Li et al., 2010).
Architektura	Wyróżnia się warstwy: fizyczną, wirtualną i chmury obliczeniowej.	Wyróżnia się warstwy: użytkownika, WEB, brokera, ontologii, wirtualizacji, fizyczną i wytwórczą.
Wirtualizacja	Wirtualizacja wszystkich zasobów i ich współdzielenie i rozdział dla wielu użytkowników (Mustafa, Nazir, Hayat, Ar i Madani, 2015).	Wymóg zaistnienia wirtualizacji. Dzięki wirtualizacji i enkapsulacji zasoby wytwórcze mogą być współdzielone (Silva i Nof, 2015).
Zasoby	Wymagają zarządzania: zasoby energetyczne, uprawnienia dostępu, równoważenie obciążenia sieci i zasobów, finanse (maksymalizacja zysków).	Zasoby reprezentujące gotowe do realizacji zamówienia klientów. Warstwa obliczeniowa – te same co w chmurze obliczeniowej.
Bezpieczeństwo i ryzyko	Poufność, prywatność, integralność danych (Xiao i Xiao, 2013).	Występują dwa rodzaje użytkowników: klienci żądający zasobów i wytwórcy, publikujący dostęp do swoich zasobów (Tao, Hu i De Zhou, 2008). Do transakcji pomiędzy nimi dochodzi na platformie chmurowej. Działa ona w sieci Internetowej. (Tao, Cheng i Zhang, 2015).
Komunikacja	Sieciowy dostęp do puli współdzielonych zasobów (Ambrust et al., 2010). Warstwa cienkiego klienta i specjalna warstwa serwerowa.	Komunikacja pomiędzy maszynami wykorzystuje sensory, RFID, urządzenia bezprzewodowe. Odpowiadają one za przechwytywanie sygnałów z otoczenia. Komunikacja pomiędzy użytkownikami odbywa się z użyciem sieci i technologii Web 2.0 (Dazhong, Rosen, Wang i Schaefer, 2014)

4. PRZYKŁAD APLIKACJI HOLONOWEJ W ŚRODOWISKU PRODUKCYJNYM

Jak pokazano wcześniej, środowisko chmurowe stanowi eskalację wirtualnego i w obu przypadkach aktualne pozostaje pytanie o sposób fizycznej implementacji informacyjnego wymiaru przedsiębiorstwa. Innymi słowy: w jaki sposób dokonać połączenia fizycznej oraz informacyjnej warstwy przedsiębiorstwa, tak aby zachować korzystne cechy chmurowości (tab. 1). Taką szansę daje model holonowy, którego podstawowy obiekt, w dosłownym tłumaczeniu greckiego neologizmu, ma właściwości „całoczęściowe” (Harjes i Scholz-Reiter, 2014) prowadzące do specyficznej struktury zwanej holarchią (*holarchy, holonic hierarchy*) i w efekcie systemu HMS (*holonic manufacturing system*).

Minimum wymagań jakie przypisuje się holonowi, to autonomiczność i kooperatywność. Możemy zatem stwierdzić, że **HMS to autonomicznie kooperująca holarchia**, a więc struktura odpowiadająca cechom chmurowo-wirtualnym IT. Wytwórca holon to autonomiczny i kooperujący moduł, odpowiedzialny za przetwarzanie przepływów materialno-informacyjnych w systemie produkcyjnym. Pokazana charakterystyka holonów sugeruje możliwość ich implementacji przy pomocy rozwiązań multiagentowych (*multiagent*) (Borangiu et al., 2014).

Z kolei właściwości HMS w środowisku produkcyjnym ilustrują przykłady praktyczne, udokumentowane m.in. w pracach (Braatz et al., 2000). W szczególności odwołamy się do studium referencyjnego (fragmentu), sterowania holonowego przepływu materiałów w systemie wytwórczym (Braatz i Ritter, 2001). Głównym składnikiem prezentowanego projektu jest holonowy system transportowy HST (w dalszym ciągu przykładu posługujemy się polskimi odpowiednikami nazw dokumentacji oryginalnej). Obejmuje on holonowe pojazdy transportowe HPT, wraz ze zrobotyzowanymi urządzeniami załadowniczo-wyładowczymi (ZUZ). HST obsługuje system wytwórczy (obróbka odlewów silników).

Poza obrabiarkami (OBR) wyróżniamy w systemie automatyczny magazyn wysokiego składowania jako wejściowy (MWE) oraz magazyn wyjściowy (MWY). Dalsze składniki to strefa parkowania (SP), stacja ładowania akumulatorów (SŁA) i (pod)system sterujący (SYS). W systemie obróbczym zastosowano redundancję (dublowanie) obrabiarek. Jako główny cel konstruowania sformułowano osiągnięcie maksymalnej wydajności systemu wytwórczego przy zachowaniu łatwości jego rekonfigurowania. W szczególności mamy w praktyce do czynienia z następującymi warunkami produkcyjnymi:

- MWY ma aktualne informacje o dziennym zapotrzebowaniu produkcyjnym, po osiągnięciu planu następuje zatrzymanie wytwarzania,
- w systemie mogą wystąpić zakłócenia, np. podczas przesyłania wiadomości w komunikacji bezprzewodowej.

Z głównego celu systemu wytwórczego wynikają jego zadania oraz zadania HST, w szczególności:

- realizacja zadań transportowych OBR-MWE-MWY,
- eliminowanie zagnieźdżeń (*deadlock*) lub konfliktów/kolizji HPT.

W tabeli 2 przedstawiono wybrane zadania systemowe ilustrujące zdecentralizowany (*distributed*) charakter sterowania – obrabiarki, nie posiadają szczegółowych informacji na temat procesów wytwarzania, a jedynie ograniczają się do wysyłania informacji o swoim stanie i realizacji zadań obróbczych. Wreszcie dynamika systemu zostanie pokazana na przykładzie dwóch możliwych grup scenariuszy – w trybie regularnym (tab. 3) i nieregularnym tj. zakłóceniovym (tab. 4).

Tabela 2. Zadania urządzeń systemu wytwórczego (oprac. własne na podst. (Braatz i Ritter, 2001))

Zadanie/ urządzenie	Wejście	Przetwarzanie	Wyjście
OBR			
Obróbka	część nieobrobiona	obróbka	część obrobiona
Przesłanie statusu maszyny	status maszyny	identyfikacja i wysyłka danych	wysłany status
Przemieszczenie części	część	transport bufor wejściowy – stanowisko obróbcze – bufor wyjściowy	zwiększona lub zmniejszona o 1 liczba części w buforze
SŁA			
Ładowanie akumulatorów HPT	HPT w pozycji do ładowania	ładowanie do maksimum pojemności akumulatora	HPT z całkowicie naładowanym akumulatorem
SYS			
Przydział toru HPT	życzenie przydziału HPT	sprawdzenie możliwości przydziału i jego udzielenie lub odrzucenie	przydzielony tor lub odrzucone życzenie przydziału
MWE			
Pozycjonowanie części	część i życzenie typu części HPT	transport części do bufora magazynu	zmniejszenie liczby części MWE o 1
MWE			
Pozycjonowanie części	część	transport z bufora wejściowego MWY do składowania	zwiększenie liczby części MWY o 1
Zakończenie wytwarzania	liczba obrobionych części i plan dzienny	kontrola czy liczba obrobionych części osiągnęła plan	zakończone wytwarzanie
Meldowanie HPT	telegram, lista aktywnych HPT	zameldowanie lub wymeldowanie HPT	zameldowany lub wymeldowany HPT

Tabela 2 cd.

Zadanie/ urządzenie	Wejście	Przetwarzanie	Wyjście
HPT			
Odbiór części	część w buforze wyjściowym OBR lub MWE	przejęcie części z bufora	część w ZUZ
Przekazanie części	część	transport części z ZUZ do bufora wejściowego OBR lub MWY	część w buforze
Przesłanie oferty transportowej	pozycja HPT	obliczenie kosztu transportu	wysłany telegram ofertowy
Negocjacje transportowe	baza danych produkcyjnych	obliczenia transportowe	negocjowane zlecenie transportowe
Tryb energooszczędny	status HPT po zakończeniu zlecenia	przejście do stanu energooszczędnego	HPT zdolny jedynie do wymiany danych
Restart automatyki	sygnał o zakłóceniu	restart automatyki	HPT gotowy do pracy

Tabela 3. Tryb regularny systemu wytwarzania (oprac. własne na podst. (Braatz i Ritter, 2001))

Scenariusze	Założenia	Akcje	Efekty
Inicjalizacja systemu wytwarzania	tryb energooszczędny, HTP, OBR, MWE, MWY zastosowane	telegram startu od systemu zewnętrznego dla HST, OBR, MWE, MWY	HST, OBR, MWE, MWY w gotowości do pracy
Zgłoszenie HPT do magazynu	HPT posiada dostęp do bazy danych produkcyjnych	HPT zgłasza się do magazynu, otrzymuje potwierdzenie	HPT zameldowany
Wymeldowanie HPT z magazynu	HPT zameldowany, zbyt wiele aktywnych HPT	HPT zgłasza się do magazynu i otrzymuje potwierdzenie	HPT wymeldowany
Negocjacje zlecenia	co najmniej jeden aktywny HPT	wysłanie statusu OBR do HST, HPT rozpoznaje potrzebę transportu i wysła jego ofertę, po negocjacjach mogą zgłaszać się tylko HPT z lepszymi ofertami	przydział zlecenia transportowego do określonego HPT
Jazda HPT	HPT ma zlecenie lub jedzie do SŁA	przekazanie celu jazdy (znacznik OBR), przydział trasy i rezerwacja trasy alternatywnej	HPT u celu

Tabela 3 cd.

Scenariusze	Założenia	Akcje	Efekty
Odbiór części	HTP w pozycji odbioru OBR/MWE, część w buforze wyjściowym	HTP wysyła telegram z typem części do OBR/MWE i otrzymuje potwierdzenie oraz wysyła telegram gdy część w ZUZ	zmniejszenie liczby części OBR/MWE o 1
Przekazanie części	HTP w pozycji przekazania do OBR/MWY, wolne miejsce w buforze wejściowym	HTP wysyła telegram do OBR/MWY i otrzymuje potwierdzenie oraz wysyła telegram gdy część w buforze	zwiększenie liczby części OBR/MWY o 1
OBR obrabia część	część w buforze wejściowym, wolne miejsce w buforze wyjściowym	odbiór części, obróbka, przekazanie do wyjścia	zwiększenie liczby części bufora wyjściowego OBR o 1
Zakończenie wytwarzania	plan dzienny wykonany	MWY wysyła telegram zakończeniowy do HST, HPT i OBR, kończą rozpoczęte akcje i przechodzą do trybu energooszczędnego	wytwarzanie zakończone

Tabela 4. Przykłady sytuacji w nieregularnym trybie systemu wytwarzania (opracowanie własne na podstawie (Braatz i Ritter, 2001))

Scenariusze	Założenia	Akcje	Efekty
Zwykłe zakłócenia	zakłócenia w napędzie HPT bez części	restart	gotowość HPT
Złożone zakłócenia	zakłócenia w napędzie, HPT w pozycji krytycznej	telegram o zakłóceniu do HST, usunięcie zakłócenia	gotowość HPT
Zakłócenia OBR	złamanie narzędzia	telegram o zakłóceniu do HST, wymiana narzędzia	gotowość OBR
Ładowanie akumulatorów	stan akumulatorów HPT krytyczny	telegram do SŁA i jej zablokowanie dla innych HPT, ładowanie akumulatorów	akumulatory HPT całkowicie naładowane

Tabele 2, 3 i 4 należy traktować łącznie z uwagi na celową agregację informacji w nich zawartych. W tabeli 2 scharakteryzowano urządzenia w systemie wytwórczym, po czym rozważono scenariusze z nimi związane: w trybie regularnym (tab. 3)

i nieregularnym (tab. 4). Przytoczony przykład ilustruje autonomiczno kooperacyjny dualizm systemu HMS, co predestynuje takie rozwiązania do implementacji w środowisku chmurowym. Wariantowo istnieje tu możliwość całkowitej rezygnacji z instancji centralnej HST i rozłożenie sterowania między poszczególnymi HPT. Pozwala to na elastyczne konfiguracje odpowiadające ideałom wytwarzania chmurowego. Dodajmy, że holony transportowe są autonomiczne, gdyż zarządzają swoimi zasobami i prowadzą negocjacje dotyczące podejmowania zleceń transportowych po rozpoznaniu sytuacji w systemie. Z kolei reguły kooperacyjne powodują konieczność wymiany informacji między holonami dotyczącymi ich stanu i stanu otoczenia (obrabiarek, magazynów, systemu zewnętrznego). Infrastrukturę dla tej wymiany tworzy chmura obliczeniowa przedsiębiorstwa.

5. PODSUMOWANIE

W artykule wskazano na podobieństwa jak i różnice występujące pomiędzy obliczeniami w chmurze i wytwarzaniem w środowisku chmurowym. W pracy opisano kolejny etap ewolucji systemów wytwórczych, którym jest przedsiębiorstwo wirtualne – fundament niezbędny dla funkcjonowania nowatorskich rozwiązań z zakresu technologii chmurowych. W związku z tym opisano korzyści, które pojawiają się w momencie dostosowania przedsiębiorstwa do założeń przedsiębiorstwa wirtualnego. Wskazano również na niedostatki i luki badawcze w opracowywaniu rozwiązań w procesie modelowania i organizacji systemu wytwórczego w środowisku chmurowym. Rozważając modele dogodne dla implementacji chmurowości obliczeniowo-wytwórczej, wskazano na uniwersalny model holonowy, pozwalający na stosowanie elastycznych agentów software'owych w produkcji i logistyce. Propozycję takiego podejścia zilustrowano w studium przypadku z praktyki przemysłowej.

LITERATURA

1. Ambrust, M., Fox, A., Grif, R., Joshep, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 54(4), 50-58.
2. Borangiu, T., Trentesaux, D., Thomas, A. (2014). Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics. Springer International Publishing Switzerland.
3. Braatz, A., Flake, S., Müller, W. Westkämper, E. (2000). Prototyping einer Fahrzeugsteuerung in virtueller 3D-Umgebung. In: *Proceedings der Tagung am Institut für Simulation und Graphik de Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am 23.und 24. März 2000*. München: Fraunhofer Gesellschaft.

4. Braatz, A., Ritter, A. (2001). Spezifikation des verteilten Steuerungskonzeptes für den holonischen Materialfluss in einem werkstatorientiertenn Fertigungssystem auf der Basis autonomer, freifahrender Transportsysteme. *Referenzfallstudie Produktionstechnik, Fraunhofer*.
5. Byrne, J., Brandt, R., Port, O. (1993). The virtual corporation. *Business Week* 8, 36–40.
6. Chen, T., Chen, Y., Wang, C., Chu, H., Yang, H. (2007). Secure resource sharing on cross-organization collaboration using a novel trust method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(4), 421-435.
7. Davidescu, A. (2012). Virtual Enterprises Reach for Cloud Computing. *Journal of Mobile, Embedded and Distributed Systems*, 4(2).
8. Davidrajuh, R. (2003). Realizing a new e-commerce tool for formation of a virtual enterprise. *Industrial Management & Data Systems*, 103(6), 434-445.
9. Dazhong, W., Rosen, D., Wang, L., Schaefer, D. (2014). Cloud-Based Manufacturing: Old Wine in New Bottles? In: *Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing System*, 94-99.
10. Feng, D., Yamashiro, M. (2006). A pragmatic approach for optimal selection of plant-specific process plans in a virtual enterprise. *Journal of Materials Processing Technology* 173(2), 194-200.
11. Gao, J., Yao, Y., Zhu, C. Y., Sun, L., Lin, L. (2009). Service-oriented manufacturing: a new product pattern and manufacturing paradigm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 438-439.
12. Goranson, H.T. (1999). *The Agile Virtual Enterprise* 65–68. Westport: Quorum Books.
13. Gunasekaran, A., Lai, K., Cheng, T.C. (2008). Responsive supply chain: a competitive strategy in a networked economy. *Omega-International Journal of Management Science*, 36(4), 549-564.
14. Harjes, F., Scholz-Reiter, B. (2014). Integration aspects of autonomous control in event logistics. *Research in Logistics & Production*.
15. Hsu, H., Hsu, H. (2008). Systematic modeling and implementation of a resource planning system for virtual enterprise by Predicate/Transition net. *Expert Systems with Applications* 35 (4), 1841-1857.
16. Jagdev, H., Browne, J. (1998). The extended enterprise – a context for manufacturing. *Production Planning & Control* 9(3), 216-228.
17. Khali, O., Wang, S. (2002). Information technology enabled meta-management for virtual organizations. *International Journal of Production Economic* 75(1-2), 127-134.
18. Li, B., Zhang, L., Wang, S., Tao, F., Cao, J., Jiang, X., Chai, X. (2010). Cloud manufacturing: a new service-oriented networked manufacturing model. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 16(1), 1-16.
19. Liu, N., Li, X. (2012). A Resource Virtualization Mechanism for Cloud Manufacturing Systems. *IWEI 2012, LNBIP 122*, 46-59.
20. Martinez, M., Fouletier, P., Park, K., Favrel, J. (2001). Virtual enterprise-organization, evolution and control. *International Journal of Production Economics*, 74(1), 241-238.
21. Mell, P., Grance, T. (2015). NIST Cloud Computing Program. Pobrano 30 listopad 2015, z <http://www.nist.gov/itl/cloud/>.
22. Mezgar, I., Kovacs, G., Paganelli, P. (2000). Co-operative production planning for small- and medium-sized enterprises. *International Journal of Production Economics*, 64 (1-3), 37-48.

23. Mustafa, S., Nazir, B., Hayat, A., Ar, K. i Madani, S. (2015). Resource management in cloud computing: Taxonomy, prospects, and challenges. *Computers and Electrical Engineering*, 4.
24. Presley, A., Sarkis, J., Barnett, W., Liles, D. (2001). Engineering the virtual enterprise: an architecture-driven modeling approach. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 13(2), 145-162.
25. Silva, J. (2014). New trends in manufacturing: Converging to service and intelligent systems. *IFAC World Congress 2014*.
26. Silva, J., Nof, S. (2015). Manufacturing Service: From e-Work and Service-Oriented Approach towards a Product-Service Architecture. *IFAC*, 48-3, 1628.
27. Tao, F., Cheng, Y., Zhang, L. (2015). Advanced manufacturing systems: socialization characteristics and trends. *Journal of Intelligent Manufacturing*.
28. Tao, F., Hu, Y., De Zhou, Z. (2008). Study on manufacturing grid & its resource service optimal-selection system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(9–10), 1022-1041.
29. Tao, F., Zhang, L., Venkatesh, V., Luo, Y., Cheng, Y. (2011). Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(10), 1969-1976.
30. Wu, L., Yang, C. (2010). A Solution of Manufacturing Resources Sharing in Cloud Computing Environment. *CDVE 2010, LNCS 6240*, 247-252.
31. Xiao, Z., Xiao, Y. (2013). Security and privacy in cloud computing. *IEEE Communication Surveys Tutorials*, 15(2), 843-859.
32. Yoo, S., Kim, Y. (2002). Web-based knowledge management for sharing product data in virtual enterprise. *International Journal of Production Economics*, 75(1), 173-183.

IMPLEMENTATION OF HOLONS IN THE CLOUD ENVIRONMENT OF AN ENTERPRISE

Summary

The purpose of this paper is indication of possibilities of usage holons systems in cloud computing and cloud manufacturing environment within boundaries of virtual enterprise. This paper bases on schema: indication common and different features occurring between cloud computing and cloud manufacturing in virtual enterprise, and research of possibility of implementation holons in virtual enterprise using case study from industry.

Keywords: cloud manufacturing, cloud computing, holarchy, holons, virtual enterprise