

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWAŃ TECHNOLOGII INTERNETU RZECZY DLA SZEREGOWANIA ZADAŃ PRODUKCYJNYCH W MŚP

Jakub PIZOŃ, Jerzy LIPSKI

Streszczenie: W artykule zaprezentowano dyskusję możliwości zastosowań technologii Internetu rzeczy (IoT) ze względu na jej kluczowe cechy (identyfikowalność stanu maszyn, strumienie danych, koszty) w perspektywie realizacji funkcji szeregowania zadań produkcyjnych w produkcji potokowej w MŚP. Istotą opisanego rozwiązania jest fakt, że przy zastosowaniu technologii IoT, możliwe jest pozyskanie danych produkcji w czasie rzeczywistym, które użyte w procesie dotychczasowego szeregowania z użyciem obecnych w MŚP narzędzi, mogą być podstawą do lepszego szeregowania produkcji potokowej przy nieznacznej ingerencji w system produkcyjny.

Słowa kluczowe: Internet rzeczy, szeregowanie, planowanie, chmura obliczeniowa, algorytmy.

1. Wstęp

Znamienne jest to, że pomimo zaawansowania, jakie prezentuje poziom współczesnej technologii produkcyjnych, w dalszym ciągu w zależności od rodzaju produkcji czy też przedsiębiorstwa wciąż pojawiają się pytania dotyczące tego jak planować produkcję by produkować wydajniej, szybciej, zachowując wysoką, jakość.

Pytania te pojawiają się bez względu na poziom organizacji i rodzaj produkcji. Ta charakterystyka stałych, co do istoty wyzwań wytwarzania wymaga kontynuowanych poszukiwań nowych odpowiedzi – oczywiście adekwatnych do obecnego stanu wiedzy w zakresie dziedziny wytwarzania. W przypadku szeregowania pomimo wzrostu możliwości technologicznych, optymalizacja szeregowania zadań produkcyjnych w produkcji potokowej w MŚP, pod wieloma względami wciąż stanowi złożone i trudne zadanie. Tym samym rzadko trafia do codziennej praktyki przemysłowej hali produkcyjnej. Co więcej, planowanie jest często postrzegane jako ściśle teoretyczne i zupełnie oderwane od rzeczywistości zadanie [1]. Co więcej, ze względu na brak danych i metod, szeregowanie niejednokrotnie realizowane jest intuicyjnie bez bezpośredniego odniesienia do realnych procesów produkcyjnych realizowanych na hali produkcyjnej.

Współcześnie intensywny rozwój rozwiązań informatycznych objawia się poprzez rozwój narzędzi informatycznych wspierających także procesy poszukiwania rozwiązań w dziedzinie procesów wytwarzania. Jednak wykorzystanie tych narzędzi (chmura obliczeniowa, Internet rzeczy) w perspektywie wytwarzania wymaga także prowadzenia prac badawczych, których celem będzie optymalne zastosowanie tych nowoczesnych technologii w Inżynierii Produkcji.

1.2. Internet rzeczy

Technologia określana mianem Internet rzeczy, (ang. Internet of Things, IoT) określa automatyczną komunikację między aktywnymi elementami systemów technicznych, jednoznacznie identyfikowalnych, które mogą pośrednio albo bezpośrednio gromadzić, przetwarzać lub wymieniać dane za pośrednictwem sieci komputerowej. Do tego typu elementów i przedmiotów zaliczają się między innymi urządzenia gospodarstwa domowego, maszyny, artykuły oświetleniowe i grzewcze. Termin pierwszy raz został użyty przez Kevina Ashtona w 1999 roku w prezentacji Procter & Gamble (P&G) zatytułowanej „Internet of Things”. Ashton zaproponował wykorzystanie transmisji danych przez Internet z wykorzystaniem RFID do sterowania łańcuchem dostaw w P&G.

Współcześnie obszar zastosowań tej technologii znacznie rozszerza się i jest wykorzystywany w coraz to nowych obszarach. Dotychczas technologia ta znajduje zastosowanie:

- sprzęt AGD i multimedialny,
- inteligentny dom,
- systemy bezpieczeństwa,
- systemy ochrony zdrowia i życia,
- marketing w handlu detalicznym,
- systemy produkcyjne,
- logistyka,
- inne zastosowania np. w hodowli i uprawach roślin [2].

Istotą technologii Internetu rzeczy jest możliwość uzyskiwania danych o stanie unikalnych jednostkowych obiektów (maszyn, produktów) w wybranym czasie (rzeczywistym bądź zbliżonym rzeczywistemu) pod względem wymaganych parametrów: temperatura, drgania, lokalizacja, położenie w osi X/Y/Z, czy innych wybranych ze względu na potrzeby produkcji.

Jakie dane są pozyskane zależy tylko i wyłącznie od zdefiniowanych potrzeb, a także od gradualności obserwowanych obiektów. Tym samym monitoring może być prowadzony w celu obserwacji parametrów przepływu części na linii produkcyjnej jak i przemieszczania kontenerów w porcie przeładunkowym. To co kluczowe, technologia pozwala uzyskiwać dane w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwy jest zapis i analiza wybranych parametrów. Co z kolei, umożliwia natychmiastową reakcję w przypadku wystąpienia przestojów lub zidentyfikowania innych problemów charakteryzowanych przez pobrane stany parametrów.

Pozyskiwanie stanów parametrów przedmiotów, maszyn i układów elektronicznych dzięki zastosowanym technicznym interfejsom komunikacyjnym. Zadaniem wykorzystywanego interfejsu jest transfer danych do innego urządzenia – tego samego rzędu – bądź też do jednostki przetwarzającej ogólny zbiór danych. Dane transferowane przez dołączone interfejsy stanowią wyniki pomiarów różnego rodzaju czujników zainstalowanych na urządzeniach IoT. Mogą też transferować odpowiednio przetworzone lokalnie dane.

Urządzenia IoT działają w modelu podobnym do architektury komputerowej z wydzieloną warstwą bazy danych, logiki i prezentacji. Stanowią rodzaj cienkiego klienta, który ma możliwość przetworzenia danych czujnika na dane do wysłania do sieci. W zależności od potrzeb urządzenie IoT może odbierać i przetwarzać lokalnie wybrane dane. Dlatego też, w roli urządzeń IoT mogą występować proste układy elektroniczne, jak i zaawansowane urządzenia. Do implementacji rozwiązań IoT stosuje się znaczniki RFID,

beacony lub też bardziej zaawansowane rozwiązania w postaci mikrokontrolerów [3].

Ideowym urządzeniem IoT jest elektroniczny znacznik – beacon. Beacon to urządzenie, którego głównym zadaniem jest emisja stałego, unikalnego sygnału radiowego odpowiadającego częstotliwościom Bluetooth. Sygnał ten zawiera unikalny znacznik, który jednoznacznie charakteryzuje dane urządzenie identyfikujące jakiś fizyczny obiekt. Urządzenie standardowo wykorzystuje technologię Bluetooth Low Energy i może działać zasilane niewielką baterią nawet przez rok. Jego funkcjonalność może być odpowiednio rozszerzana o dodatkowe czujniki. Beacon, jako urządzenie nie ma zdefiniowanego kształtu bądź koloru. Tym samym może zostać obudowany dowolną obudową zapewniającą bezpieczeństwo układu elektronicznego. Odczytując sygnał beacona, możliwe jest określenie mocy otrzymywanego sygnału, a tym samym wskazanie odległości od urządzenia odczytującego – skanera, telefonu komórkowego czy też dedykowanej stacji.



Rys. 1 Beacon produkowany przez firmę Comarch [3]

Wartość dodaną zastosowania urządzeń klasy IoT, nie stanowią same urządzenia, ale możliwości aplikacyjne wykorzystania identyfikowalności obiektów przestrzeni przy zastosowaniu oprogramowania analizującego przekazywany przez urządzenia sygnał. Oprogramowanie odbiera sygnał, sprawdzany jest unikalny identyfikator urządzenia i zgodnie z wbudowaną logiką przetwarzane są dane produkcji.

1.2. Szeregowanie zadań

Problemy szeregowania zadań odwołują się do elementarnych pojęć takich jak: zadania (zlecenia) oraz zasoby. Zadania definiowane są, jako ciąg czynności zwanych operacjami, z których każda wymaga zaangażowania określonych zasobów. Tym samym, zadaniem może być proces obróbki części w przemyśle maszynowym, czy też przetworzenie partii surowca – w przemyśle petrochemicznym. Zasobami są urządzenia, personel, materiały, kapitał czy też surowce energetyczne potrzebne do realizacji zadań. Zarówno zadania jak i zasoby posiadają swoje cechy charakterystyczne. Kluczowymi parametrami wymienianymi w perspektywie zadań to, między innymi, termin gotowości (termin pojawienia się zadania), żądany termin zakończenia, wywłaszczalność (dopuszczenie przerywania wykonywania), podzielność operacji (dopuszczenie dekompozycji operacji), sposoby wykonywania operacji (szczegółowe żądania zasobowe, alternatywne sposoby wykonywania) [4]. Natomiast sam problem szeregowania dotyczy ustalenia kolejności wykonywania operacji (zadań) na zasobach produkcyjnych. Wiąże się to najczęściej z opracowaniem i wykonaniem odpowiedniego algorytmu [5].

Współcześnie na realizację szeregowania zadań, podobnie jak na inne zagadnienia inżynierii produkcji, znacząco wpływają nowoczesne trendy informatyczne. Do tych trendów należą:

- Internet rzeczy – technologia stymulująca rozwój systemów cyber-fizycznych, które są podstawą do rozwoju idei np.: Industrie 4.0 (Niemcy) i Smart Manufacturing (USA),
- Chmura obliczeniowa – rozwiązania umożliwiające zastosowanie zdalnego dostępu do mocy obliczeniowej, niezbędnej do obliczeń algorytmów szeregowania o dużej złożoności,
- Big Data – termin odnoszący się do przetwarzania i analizy dużych zbiorów nie strukturyzowanych danych. W przypadku szeregowania może posłużyć do wzbogacenia sposobów harmonogramowania o wiedzę wynikającą z analizy danych procesu produkcyjnego,
- Mobilność, bezzałogowość i możliwość zdalnego zlecenia operacji – brak operatorów, a zatem mniejsze koszty i możliwość pełnego monitoringu i interakcji z procesem z dowolnego miejsca w dowolnym czasie. Tym samym stymuluje rozwój narzędzi szeregowania, już nie w skali przedsiębiorstwa ale grup przedsiębiorstw,
- Planowanie jako usługa – możliwość rozwoju internetowych platform do zdalnej analizy danych. Usługą końcową świadczoną klientowi jest harmonogram o jakości uzależnionej od zaangażowanej i opłaconej mocy obliczeniowej [1].

Powyższe trendy wskazują szeroki obszar zastosowań w obrębie szeregowania zadań produkcyjnych. Niemniej jednak realizacja wdrożeń konkretnych rozwiązań szeregowania musi być poprzedzona wnikliwą analizą założeń i określeniem możliwości zastosowań.

2. Możliwości zastosowań technologii Internetu rzeczy

Aplikacyjność technologii Internetu rzeczy wiąże się z możliwością jej zastosowania bez znamiennej ingerencji w proces produkcyjny. Istotne jest to, że urządzenia IoT są wkomponowywane w strukturę dotychczasowego systemu. Poszczególne maszyny procesu wyposażane są w niewielkie urządzenia transferujące dane (pobierane z sensorów) na temat stanu danej maszyny.

Realizowany cykl produkcyjny nie zmienia się. Niemniej jednak dzięki zastosowanemu rozwiązaniu, ilość danych na temat cyklu produkcyjnego znacznie wzrasta, adekwatnie do ilości zastosowanych urządzeń i wybranego obszaru monitorowania. Tym samym zmiana zachodzi głównie na poziomie informacyjnym.

Kluczową cechą takiego rozwiązania jest fakt, że dane pozyskiwane w obrębie cyklu są to dane rzeczywiste bądź bliskie danym rzeczywistym (pobierane i analizowane w wybranym odstępnie czasowym). Dane przekazywane są przez urządzenia monitorujące IoT w ustandaryzowanym formacie pozwalającym na identyfikowalność maszyny, narzędzia, a także umożliwiające ich sprawne akumulowanie w obrębie wybranej struktury bazy danych (relacyjna, grafowa). Zebrane dane mogą być podstawą do analizy działania procesu produkcyjnego z wykorzystaniem narzędzi obróbki danych w oparciu o zestaw kryteriów zarówno technicznych jak i ekonomicznych.

2.1. Algorytmy szeregowania

Problem sformułowania odpowiedniego algorytmu pozwalającego na ustalenie właściwego uszeregowania zadań produkcyjnych dla konkretnego problemu jest przedmiotem wielu opracowań [1].

Z tego też powodu dziedzina harmonogramowania dyskretnych procesów wytwarzania charakteryzuje się znaczną różnorodnością zarówno modeli jak i metod zwykle dedykowanych dla wąskich klas zagadnień. Dlatego też, często dla tego samego NP-trudnego problemu, można znaleźć na łamach dostępnej literatury kilka, a nawet kilkanaście różnych algorytmów o istotnie różnych cechach numerycznych. Zatem wybór algorytmu zależy przede wszystkim od stosunku kosztu poszukiwania rozwiązania optymalnego w porównaniu z zyskami otrzymanymi z wdrożenie otrzymanego rozwiązania [4]. Tym samym sporządzenie odpowiedniego algorytmu wymaga badań bądź też zakupu gotowego rozwiązania informatycznego, które niejednokrotnie bez implementacji dedykowanych algorytmów nie spełnia oczekiwań danego przedsiębiorstwa i jego procesów produkcyjnych.

2.2. Trudności szeregowania w MŚP

W MŚP zajmujących się produkcją potokową problemy szeregowania stanowią jedno z kluczowych wyzwań. Praktyka wskazuje, że wynika to bezpośrednio ze specyfiki działania w dynamicznym otoczeniu, różnorodności zleceń produkcyjnych oraz braku wykwalifikowanej kadry. Dlatego też, niejednokrotnie harmonogramowanie zadań produkcyjnych opiera się w znacznej części na intuicji kierownika produkcji, bądź osoby zarządzającej produkcją. Co więcej, najczęściej punktem wyjścia do sporządzenia szeregowania zadań stanowią tylko i wyłącznie normatywy pracy maszyn. Nie są przy tym uwzględniane realne dane odnoszące się bezpośrednio do środowiska produkcji i zużycia maszyn. Taki sposób planowania, o ile pozwala realizować bieżące szacowanie dotyczące przyjęcia nowego zlecenia nie zapewnia wiarygodnej informacji zarządczej, gdyż bazuje tylko na danych a priori – bez odniesienia się do stanu aktualnego procesów.

W celu wsparcia realizacji tych procesów przedsiębiorstwa wdrażają rozwiązania systemów informatycznych usprawniających proces planowania [6]. Jednak stanowią one zazwyczaj „pudełkowe” systemy, niezintegrowane w obrębie całego przedsiębiorstwa. Dlatego też, pomimo wielu różnych źródeł danych (bazy danych zainstalowanych systemów), nie ma możliwości przeanalizowania pełnej informacji generowanej przez system produkcyjny, mogących posłużyć do lepszego szeregowania zadań. Z kolei, wdrożenie dedykowanych rozwiązań wiąże się ze znacznymi nakładami finansowymi.

Rozwiązanie wskazanych trudności stanowi perspektywę dla rozwiązań implementujących technologię Internetu rzeczy.

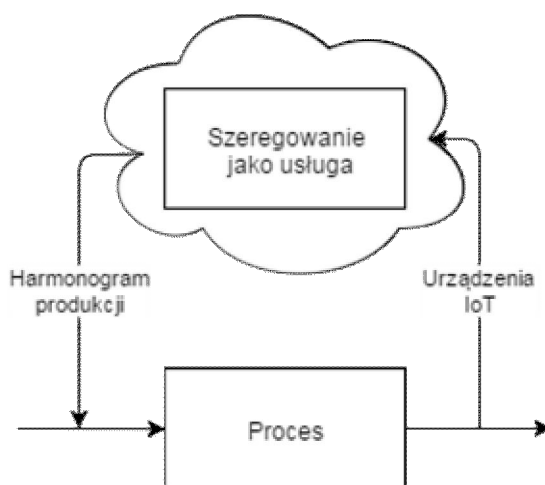
2.3. Możliwości zastosowań rozwiązań klasy IoT w MŚP

IoT wymaga korzystania ze wspólnego modelu danych pozwalającego na opisanie zamówień, produktów i procesów [7]. Tym samym technologia ta jest w stanie zapewnić i dostarczać duży wolumen strukturalnych danych produkcyjnych w czasie rzeczywistym. Pozyskane dane mogą być wysłane zarówno do lokalnych serwerów jak i zewnętrznie. Mogą też zostać obsługane przez zewnętrzne oprogramowanie udostępniane z poziomu technologii chmury obliczeniowej.

Strukturalna postać przesyłanych danych umożliwia ich filtrowanie w czasie bieżącym już na poziomie gromadzącym dane bezpośrednio z poziomu produkcji – z urządzeń klasy IoT. Co daje możliwość by na bieżąco aktualizować statyczne dane normatywów danymi aktualnej produkcji bez instalacji dodatkowego oprogramowania. Pozwoli to wykorzystać dotychczas stosowane metody szeregowania oraz oprogramowanie (oszczędność

w wymiarze poniesionych kosztów) jak i pozwoli na to by analizować dane procesu pod względem wiedzy ukrytej w celu dalszej optymalizacji.

Wskazane możliwości otwierają też perspektywę implementacji rozwiązania harmonogramowania jako usługi w chmurze obliczeniowej. Usługa harmonogramowania polegałaby na wytworzeniu harmonogramu na podstawie danych dostarczonych z poziomu urządzeń IoT. Dostępność dużej mocy obliczeniowej umożliwia efektywne zastosowanie zaawansowanych algorytmów sztucznej inteligencji.



Rys. 2. Szeregowanie jako usługa

Wskazane możliwości zastosowań nie wymagają wymiany parku technologicznego. Co najwyżej niezbędne będzie jego rozszerzenie o komponenty monitorujące i przekazujące stan urządzenia. Co więcej, możliwe jest wykorzystanie dostępnych i tanich urządzeń IoT, typu Arduino czy Rasberry Pi. Należy podkreślić, że stosowanie urządzeń IoT jest niezależne od stosowanych technologii wytwarzania i może być dowolnie dostosowywane do indywidualnych wymagań.

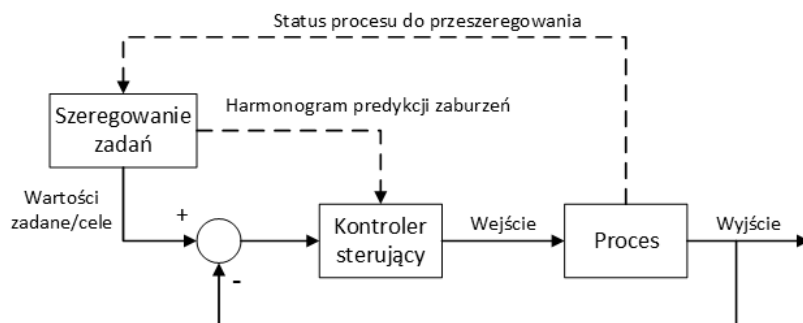
Implementacja technologii Internetu rzeczy wymaga jednak zmiany formy zarządzania w obrębie sterowania procesem produkcyjnym. Tym samym niezbędna jest bezpośrednia integracja szeregowania i wykorzystania kontroli. Jest to ważne ze względu na fakt, że wymagana jest kontrola wykonywania obliczeń i podejmowania decyzji jednocześnie dla wielu elementów w różnych wymiarach czasowych. Mechanizm stanowiący integrację tych dwóch komponentów przedstawia rys. 3.

W przedstawionym schemacie kontroler zapewnia stabilne działanie procesu, poprzez śledzenie zmiennych celów wyznaczonych przez komponent harmonogramowania.

Istota integracji planowania i kontroli jest realizowana przez:

- dostarczenie harmonogramu do systemu sterowania,
- przekazywanie informacji zwrotnej o stanie procesu do mechanizmu planowania, który wykorzystuje te dane do wykonywania harmonogramu, a także predykcji zaburzeń wpływających na wydajność procesu i oryginalny harmonogram [8].

Rozwiązanie udostępnione w modelu usługowym na dedykowanej platformie, z jednej strony będzie stanowić wsparcie osób na bieżąco planujących produkcję MŚP jak i tworzy perspektywę dla wykorzystywania wysokiej klasy rozwiązań sztucznej inteligencji.



Rys. 3 Integracja szeregowania i sterowania [8]

2.4. Platforma szeregowanie jako usługa

Platforma szeregowania jako usługi stanowi koncepcję architektury systemu komputerowego, w jakiej może zostać zastosowana technologia IoT w obrębie szeregowania procesów realizowanych przez przedsiębiorstwo produkcyjne.

Architektury systemu tworzą trzy warstwy:

- warstwa produkcji,
- warstwa sterowania,
- warstwa komunikacji.

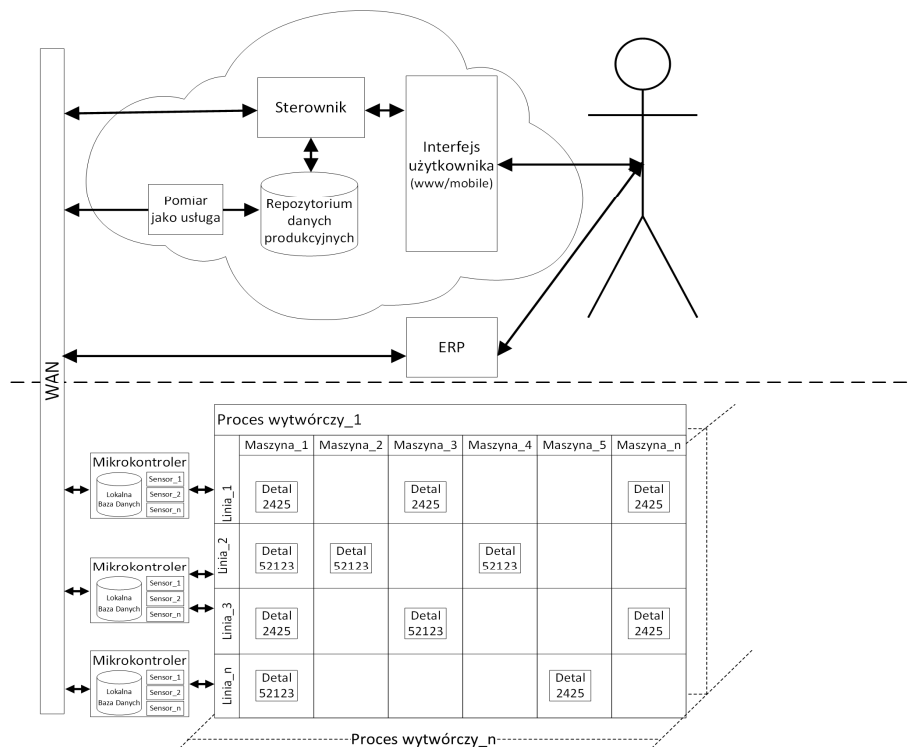
Warstwa produkcji odpowiedzialna jest za wykonanie instrukcji zarządzania procesami. Warstwa sterowania zajmuje się bieżącą analizą danych i generowaniem decyzji w zakresie zarządzania produkcją. Decyzje zarządzania generowane są na podstawie funkcji sterowania realizujących algorytmy szeregowania [9].

Kluczowym dla tej koncepcji jest komunikacja w modelu i integracja urządzeń IoT z rozwiązaniem technologii chmury obliczeniowej. To rozwiązanie jest realizowane przy pomocy warstwy komunikacji realizowanej poprzez sieć komputerową i interfejs gromadzenia danych działający w modelu usługowym pomiar jako usługa (ang. Sensing as a Service). Usługa odwzorowuje urządzenia fizyczne w warstwie oprogramowania, w ten sposób umożliwiając zdalną konfigurację i pobieranie danych. To właśnie na tym poziomie dokonywane jest przesyłanie dużej ilości danych zgromadzonych w systemach produkcyjnych do obszaru analizy (szeregowania). Na podstawie uzyskanych danych można efektywnie (w zależności od wymiaru dostępnej mocy obliczeniowej jak i złożoności zastosowanych algorytmów szeregowania) wykonać analizę zachodzących procesów w systemie produkcyjnym, pod względem jego wydajności i niezawodności [10].

Ideowy proces wytworzenia opisanego systemu powinien być zgodny z dobrymi praktykami projektowania systemów, a także dostępnymi metodykami opartymi na idei strukturalnego i wrażliwego projektowania. Projektowanie powinno obejmować:

- analizę systemu informacyjnego organizacji,
- strukturalizację zbiorów danych,
- modelowanie procesów biznesowych i przepływów informacji,
- oraz wykonanie implementacji w wybranej technologii informatycznej [11].

System może być tworzony jak i wdrażany jako rozwiązanie dedykowane. Co więcej, może korzystać z już dostępnych na rynku rozwiązań, takich jak na przykład Microsoft Azure IoT Suite.



Rys. 4 Pozyskanie danych procesu produkcyjnego przy pomocy systemów klasy IoT [9]

3. Podsumowanie

Technologia Internetu, ze względu na kluczowe cechy (identyfikowalność stanu maszyn, strumienie danych, koszty) ma duże możliwości zastosowań. Niemniej jednak zastosowanie tej technologii do szeregowania zadań wymaga wdrożenia rozwiązań pozwalających na pozyskiwanie danych procesu w czasie rzeczywistym. Dane te mogą posłużyć do bieżącej aktualizacji normatywów – stanowiących punkt wyjściowy do szeregowania zadań produkcyjnych. Nawet przy obecnych w MŚP metodach szeregowania oczekiwane są pozytywne efekty. Ze względu na strukturalną postać i elektroniczną postać danych produkcji potok danych może być analizowany wewnątrz i zewnątrz. Co tworzy możliwość dla rozwiązań dostarczanych w modelu usługowym z poziomu chmury obliczeniowej. Takie rozwiązanie jest szczególnie ważne dla MŚP zgłaszających problemy w pozyskaniu pracowników o odpowiednich kwalifikacjach.

Należy zaznaczyć fakt, że w przypadku zastosowań technologii takiej jak Internet rzeczy, efekty w postaci oszczędności zasobów czy też lepszego wykorzystania dostępnego czasu maszyn pojawiają się dopiero w perspektywie dość długiego czasu. Biorąc to pod uwagę celowym jest zastosowanie, przed wdrożeniem fizycznego rozwiązania, dedykowanej symulacji komputerowej opracowanego modelu procesów szeregowania zadań z uwzględnieniem danych historycznych. Dane takie powinny obejmować reprezentatywne czasowo i przedmiotowo zbiory parametrów produkcyjnych ważnych dla uszeregowania zadań. Symulacja taka pozwoli na porównanie osiągniętych parametrów wyjściowych dla metody szeregowania opartej o normatywy i parametrów możliwych

potencjalnie do osiągnięcia po zaadaptowaniu algorytmów szeregowania z wykorzystaniem technologii informatycznych IoT i chmury obliczeniowej. Prace nad opracowaniem i metodyką takiej symulacji są obecnie prowadzone w Politechnice Lubelskiej.

Pozwoli to, na weryfikację aplikacyjności tego typu rozwiązań w badanym przedsiębiorstwie.

Literatura

1. Harjunoski I.: Industrial perspectives on the deployment of scheduling solutions. *Computer Aided Chemical Engineering*, Elsevier, Volume 37, 2015, s. 63-70.
2. Lipski J.: Internet rzeczy w zastosowaniu do sterowania produkcją. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, 2015, s. 755-766.
3. Pizoń J., Koncepcja wdrożenia technologii „Internetu rzeczy” w systemie logistycznym przedsiębiorstwa. *Systemy Logistyczne Wojsk*, nr 43, 2015.
4. Smutnicki Cz.: Algorytmy szeregowania zadań. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012.
5. Bubnicki Z.: Teoria i algorytmy sterowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
6. Dostatni E., Lepieszko A., Nieścierowicz P.: Ocena wdrożeń systemów informatycznych w małych i średnich przedsiębiorstwach produkcyjnych. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, 2015, s. 666-677.
7. Ondemir O., Gupta S.M.: Quality management in product recovery using the Internet of Things: An optimization approach. *Computers in Industry*, Volume 65, Issue 3, April 2014, s. 491-504.
8. Baldea M., Harjunoski I.: Integrated production scheduling and process control: A systematic review, *Computers & Chemical Engineering*, Volume 71, 4 December 2014, s. 377-390.
9. Pizoń J., Lipski J.: Manufacturing Process Support Using Artificial Intelligence, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 791, Wrzesień, 2015, s. 89-95.
10. Cieplak T., Muryjas P.: Introduction to Basic Integration of Measurement Devices with Cloud Computing Services. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 791, Wrzesień, 2015 s. 34-41.
11. Milewska E.: Projektowanie systemu informatycznego wspomagającego pracę specjalisty – studium przypadku. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, 2015, s. 780-790.

Mgr inż. Jakub PIZOŃ
Dr hab. inż. Jerzy LIPSKI, prof. PL
Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38
tel.: (81) 538 4480
e-mail: jakub.pizon@pollub.edu.pl
j.lipski@pollub.pl