

mgr inż. Jacek Pękala
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Politechnika Krakowska

WPLYW MODELU PRODUKCJI NA PRZEPLYW INFORMACJI W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM

W omawianej pracy podjęto próbę opisanie przepływów danych między systemami przy użyciu języka B2MML zgodnie z normą ISA-95. Model przepływu informacji dla dowolnej pary systemów różni się od siebie w zależności od typu produkcji. Schemat przepływu determinowany jest przez treść i kontekst wymienianych informacji. Zastosowanie języka B2MML pozwala wykorzystać Część 1 i 2 standardu ISA-95 do budowy infrastruktury opartej na języku XML, mapować dane i regulować zakres transakcji międzysystemowych. Właściwe określenie ścieżek przepływu danych jest punktem wyjściowym do budowy warstwy oprogramowania pośredniczącego stanowiącego kwintesencję integracji między ERP a MES. Możliwości integracyjne systemów ERP zostały sprawdzone na przykładzie systemu IFS. Omawiana w artykule problematyka jest częścią pracy doktorskiej dotyczącej integracji systemów biznesowych (ERP) i zarządzania produkcją (MES) w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

PRODUCTION MODEL INFLUENCE ON DATA FLOW IN MANUFACTURING COMPANY

This study is an attempt to describe the data flow between systems using B2MML language and basing on ISA-95 standard. The work flow model for any pair of systems is different depending on the type of production. Data flow scheme is determined by content and context of information exchanged. B2MML application use Part 1 and 2 of ISA-95 standard to build an infrastructure based on XML, map data and expand transactions. Proper data flows identification is the starting point to build a middleware layer which is the essence of integration between ERP and MES. Integration capabilities of ERP systems have been tested on the example of IFS system. Issue discussed in this paper is part of PhD thesis on the Business-To-Manufacturing systems integration in production company.

1. WPROWADZENIE

W bogatej kolekcji standardów dotyczących szeroko rozumianego środowiska produkcyjnego znaleźć można specyfikację znaną jako ISA-95, która prezentuje koncepcję integracji dwóch różnych klas systemów: systemu zarządzania przedsiębiorstwem (ERP) oraz systemu zarządzania wykonaniem produkcji (MES). ISA-95 pomaga w ramach integracji wypełnić luki komunikacyjne i normalizuje przepływ informacji między tymi systemami [2, 10]. Część 1 i 2 standardu ISA-95 określa treść i kontekst informacji wymaganych w procesie wymiany między warstwą zarządczą przedsiębiorstwa, którą wspierają systemy klasy ERP, a warstwą sterowania produkcją będącej domeną działania systemów MES. Część 3 standardu ISA-95 zawiera modele czynności oraz informacje dotyczące przepływu danych związanych z wytwarzaniem pozwalających na integrację systemów biznesowych oraz systemów sterowania produkcją. Język B2MML (*Business To Manufacturing Markup Language*) jest implementacją stworzoną na bazie języka XML i w oparciu o wiedzę zawartą w standardzie ISA-95 rozpoznawanego na międzynarodowej arenie pod akronimem IEC/ISO 62264.

B2MML składa się z zbioru schematów XML zdefiniowanych za pomocą opracowanego przez konsorcjum World Wide Web języka schematów XML – XSD (XML Schema Definitions) i wykorzystujących modele danych przygotowanych w ramach standardu ISA-95.

2. MODELE PRODUKCYJNE

Produkcję różnie się definiuje w zależności od ujęcia. Jeśli spojrzeć na nią przez pryzmat zarządzania to należałoby ją określić jako wzajemnie uwarunkowane i powiązane ze sobą procesy pracy. W literaturze naukowej wyróżnia się wiele typów, form, odmian produkcji analizowanej podług najróżniejszych kryteriów. Jednym z nich jest ciągłość wytwarzania, dzięki któremu możemy określić trzy podstawowe modele (typy): produkcję ciągłą, produkcję wsadową oraz produkcję dyskretną. Każda z nich ma swoją określoną specyfikę, która znacząco wpływa na charakter przepływu danych pomiędzy systemami.

2.1. Produkcja ciągła

Charakteryzuje się ona ciągłym, nieprzerwanym przepływem materiału. Jakkolwiek przerwa z reguły wiąże się z dużymi stratami i kosztami. Przykłady produkcji ciągłej znaleźć często można w przemyśle naftowym, gazowym, chemicznym czy metalurgicznym. Ciągła produkcja najczęściej stosowana jest w przypadku produktów, które wytwarza się w identyczny sposób. W ciągłym modelu wytwarzania produkt może być wyrobem końcowym, ale może również stanowić wsad do innego procesu. Model ciągły cechuje nieodwracalność, co odróżnia go od dyskretnego modelu wytwarzania. Procesy produkcyjne wymagają nieustannej kontroli na poziomie realizacji produkcyjnej realizowanej najczęściej przez pracowników działów utrzymania ruchu czy jakości. Informacje związane z kontrolą procesów nie są jednak kluczowe z biznesowego punktu widzenia, toteż z reguły poświęca się im mniej miejsca w raportach z produkcji. Istotniejsze dla menedżerów czy kierowników wyższego szczebla są otrzymane produkty, podlegające rejestracji w magazynie lub będące zapasem produkcyjnym w toku (ang. *Work In Progress* – WIP). Mogą one podlegać dalszej obróbce w dowolnym procesie produkcyjnym [3].

Charakter produkcji ciągłej wymusza na procesie wymiany danych pomiędzy systemami ERP i MES, aby definicja produktu, a także zdolności produkcyjne były znane przed jego realizacją. Nie dopuszcza się zmian definicji w trakcie trwania produkcji. Wszelkie dane podstawowe dotyczące produkcji muszą być określone przed jej rozpoczęciem. Ilość danych potrzebnych do stworzenia zlecenia produkcyjnego jest niewielka, dlatego można zastosować duży horyzont czasowy podczas ustalania harmonogramu (np. dwa tygodnie). Synchronizacja danych pomiędzy systemami jest rzadka i z reguły sprowadza się do regularnego raportowania przebiegu produkcji. Informacje zwrotne wykorzystywane w pętli sprzężonego obiegu danych mogą być wysyłane ręcznie bądź automatycznie (np. przy krótkim czasie realizacji pojedynczego wyrobu).

2.2. Produkcja wsadowa

Produkcja wsadowa jest „przerywaną” odmianą wytwarzania, gdzie produkty wyrabiane są w partiach. Nieciągłość toku produkcji jest najbardziej znaczącą różnicą między produkcją wsadową a ciągłą. W produkcji ciągłej surowce (półfabrykaty) przechodzą transformację w ramach nieprzerwanego strumienia przepływu materiału, w produkcji wsadowej zaś materiały ulegają reakcji, np. w zbiornikach. Przykładowo produkcja wsadowej dostarcza

przemysł spożywczy czy farmaceutyczny. Produkcja wsadowa bardzo często ma charakter powtarzalny, gdzie w kolejnych cyklach produkcyjnych wytwarzane są te same produkty, ale w różnych wariantach (mogą się np. różnić kolorem). To oznacza, że po zakończeniu każdej partii maszyny wymagają zatrzymania, by móc je przygotować do produkcji następnej partii. Czas oczekiwania między partiami (przerwy) jest największym mankamentem produkcji wsadowej. By zmniejszyć przerwy, produkcję wykonuje się raczej według harmonogramu produkcji, niż na zlecenia produkcyjne [9].

Wielowariantowość wyrobów końcowych w produkcji wsadowej pozwala na zawarcie definicji produktu (receptury) w ramach harmonogramu produkcji wymienianego między systemami, a tak że materiałów (składników) z jakich jest wykonywany. Takie rozwiązanie dopuszcza możliwość modyfikacji produktów. Zwiększa się czystość przesyłania informacji. Zwiększa się także ilość i poziom szczegółowości informacji przesyłanych między ERP a MES w porównaniu z produkcją ciągłą. Informacje gromadzone na niższych szczeblach struktury informacyjnej są obiektem zainteresowania nie tylko pracowników operacyjnych, kontrolerów procesów czy kontrolerów jakości, ale przykuwają one też uwagę pracowników na stanowiskach kierowniczych. Istotnym z ich punktu widzenia stają się informacje o zużyciu materiałów na wykonanie konkretnych partii z dokładnością do każdej z faz pojedynczego wsadu, o powstałych brakach czy odpadach, a także rzeczywisty czas wytworzenia wyrobu każdej partii. Dane te wymagają czystszej synchronizacji (przynajmniej z dokładnością do jednej partii) aniżeli w przypadku produkcji ciągłej.

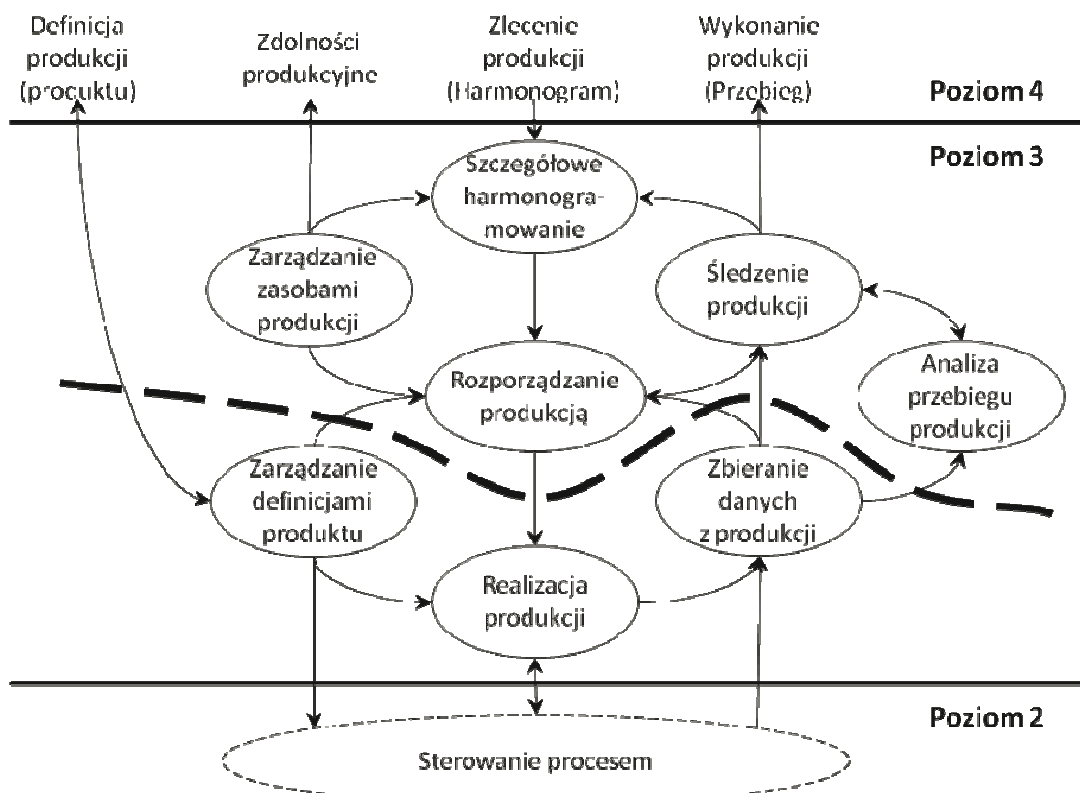
2.3. Produkcja dyskretna

Największą zaletą produkcji dyskretniej i zarazem jej największym wyzwaniem jest jednoznaczne oznakowanie każdego wytworzonego wyrobu. Wytwarzanie jednostkowych, identyfikowalnych produktów pozwala na przechowywanie pełnej historii produktu. Dzięki temu możliwe jest tak śledzenie wyrabianego przedmiotu w dalszych etapach jego życia. Ponadto wyroby mogą być wytwarzane w różnej liczbie: jednostkowo, w małych, średnich lub wielkich seriach, bądź masowo. Głównym elementem każdego produktu jest lista składowa (ang. *Bill of Materials* – BOM) odzwierciedlająca surowcowy skład wyrobu gotowego. Produkcja dyskretna wymaga śledzenia wytwarzania każdego pojedynczego wyrobu. Oznacza to pełną identyfikowalność niezależnie od stopnia złożoności produktów każdego materiału, półproduktu, komponentu czy wyrobu gotowego, a także procesów produkcyjnych. Duża złożoność produkcji wymaga sporych nakładów pracy związanych z kontrolą zapasów, kontrolą jakości, a także kładzie nacisk na podniesienie efektywności poprzez zmniejszenie czasu realizacji zamówień czy ograniczenie kosztów materiałów i odpadów [4].

Produkcja jest realizowana na podstawie zleceń produkcyjnych. Każde zlecenie produkcyjne przesyłane z systemu ERP do MES zawierać musi nie tylko definicję produktu, ale także definicję zużywanych zasobów materiałowych, informacje o statystycznych kontrolach jakości, a nawet o marszrutach technologicznych czy czasie realizacji konkretnego produktu wyznaczającego cykl (takt, tempo) produkcji. Ilość migających danych rośnie wprost proporcjonalnie do liczebności elementów produkowanych. Raporty zwrotne zamknięte mają charakter dynamiczny. Znaleźć w nich można BOM, informacje o czasie i przebiegu operacji, wynikach kontroli jakości czy zapasów. Dane wymieniane są synchronicznie z wysoką czystością (np. co jedną sekundę).

3. ZASTOSOWANIE B2MML

Obecna definicja specyfikacji B2MML opiera się na pewnych założeniach dotyczących modelu czynności biznesowych występujących w przedsiębiorstwie produkcyjnym oraz czynności związanych z samą produkcją. Rozgraniczenia funkcjonalności systemów i obszaru ich działania dokonać można na bazie modelu czynności (Activity Model) przedstawionego w trzeciej części standardu ISA-95. Wskazuje on funkcje, jakie winny być realizowane na drugim, trzecim i czwartym poziomie struktury informacyjnej przedsiębiorstwa. Hipotetycznie, funkcje systemów zarządzania przedsiębiorstwem (ERP) powinny ograniczać się do poziomu 4, systemów zarządzania produkcją (MES) – do poziomu 3, a systemy sterowania (SCADA) powinny działać w ramach poziomu 2. W praktyce jednak niektóre funkcjonalności systemów „pokrywają się” i zapewniane są przez różne systemy, nie tylko MES czy ERP, ale także takie jak WMS, LIMS, AMS. Dlatego istotne jest rozdzielenie odpowiedzialności tych systemów za poszczególne działania w przedsiębiorstwie. Przykładowe rozgraniczenie obszarów działania systemów ERP i MES w oparciu o model czynności produkcyjnej zostało przedstawione linią przerywaną na rys. 1.



Rys. 1. Model czynności produkcyjnej z przykładowym rozgraniczeniem obszarów działania systemów ERP i MES

Linia rozdzielająca domeny systemów wytycza interfejs między nimi. Sprawę jeszcze bardziej komplikuje fakt, że linia „odpowiedzialności” nie zawsze jednak pokrywa się z linią samej integracji, która wytyczana jest według innych zasad. Integracja definiowana jest w oparciu o decyzje techniczne, w tym dostępność systemów, dostępność technologii i narzędzi informatycznych, ich złożoność itp. Odnosi się to również do innych czynności i systemów wspomagających, czyli kontroli jakości, kontroli zapasów oraz utrzymania ruchu, gdzie linia „odpowiedzialności” i integracji kaskadowo przebiega inaczej niż w przypadku czynności produkcyjnych [1].

Interakcje między tymi czynnościami stają się bardziej skomplikowane, jeśli weźmiemy pod uwagę różnice w odcie produkcji. Sprawna produkcja wymaga większej liczby transakcji i bardziej złożonej wymiany danych zależnej od ilości danych, poziomu ich szczególności i częstotliwości przesyłania między systemami zarządczymi a systemami sterowania produkcją. Biorąc pod uwagę te zawiłości, trudno znaleźć wspólną wykładnię dla wszystkich modeli przy tworzeniu przepływu danych. Specyfikacja B2MML pozwala na przynajmniej częściowe ujednoczenie i unormowanie procesu przesyłania danych.

3.1. Schematy B2MML

Język B2MML zawiera cztery podstawowe schematy zasobów:

- personel
- sprzęt (wyposażenie)
- materiał (energia)
- operacja (jednostka pracy).

Język B2MML dostarcza także czterech kolejnych schematów odnoszących się do różnych aspektów związanych z czynnościami operacyjnymi:

- harmonogram
- zdolność
- definicja
- przebieg (raport z realizacji).

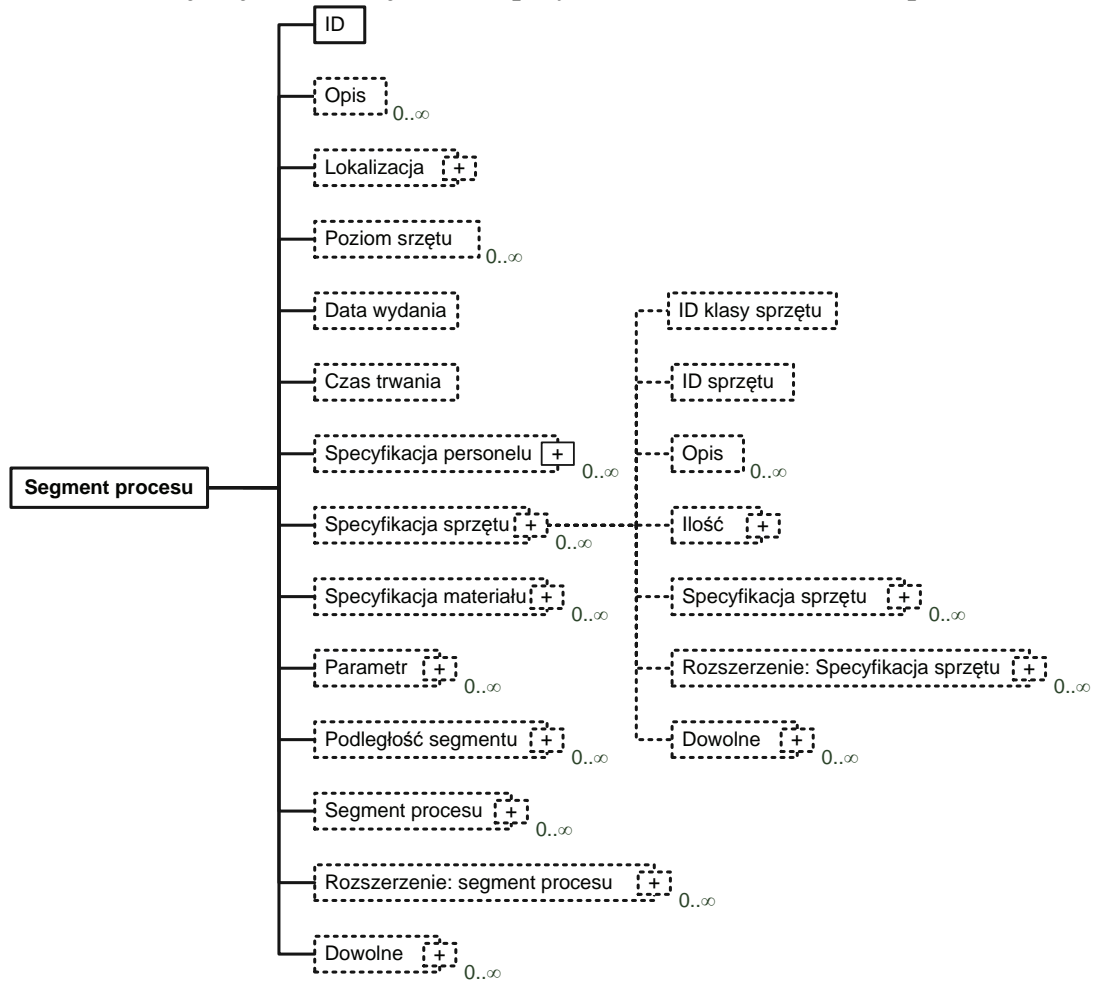
Każda z czterech powyższych kategorii informacji dotyczy się czynności produkcji. Zatem dla niej będziemy mieć harmonogram produkcyjny, zdolność produkcyjną, definicję produktu i przebieg produkcji. Schematy te mają również zastosowanie do trzech czynności okołoprodukcyjnych: utrzymania ruchu, kontroli jakości i kontroli zapasów. Każda wiadomość składać się może z informacji podanych w strukturze zgodnej z powyższymi schematami [8].

3.2. Model operacji w języku B2MML

Sercem modelu danych zgodnego z ISA-95 jest operacja, w standardzie znana pod pojęciem segmentu procesu (*Process Segment*). Operacja jest funkcjonalną jednostką spinającą dane i determinującą zawartość modelu wymiany. Wiaże ona bowiem zasoby wykorzystywane podczas danego procesu (znajdują się w definicji operacji) i stanowi zarazem element definicji, harmonogramu, zdolności i przebiegu czynności wytwórczych. Receptury partii w produkcji wsadowej czy marszruty definiowane w ramach produkcji dyskretnej składają się z operacji produkcyjnych, zatem operacja jako model danych jest niezależna od modelu produkcji. Na rys. 1 widać, iż schemat modelu operacji jest logiczną kolekcją zasobów ludzkich, zasobów materiałowych oraz zasobów sprzętowych potrzebnych do realizacji etapu procesu produkcyjnego. W ramach operacji z reguły definiowana jest pewna klasa (typ) zasobów (np. monterzy, blachy, prasy), ale procesowi produkcyjnemu przypisać również można konkretny zasób (np. monter Jan Kowalski). W operacji zazwyczaj określa się liczbę potrzebnych zasobów.

Identyfikacja segmentów procesu (operacji) wymaga zrozumienia procesów biznesowych w przedsiębiorstwie oraz ogólnej struktury procesów produkcji. Nie wszystkie operacje muszą odnosić się do produkcji. Istnieją co najmniej trzy ogólne typy operacji:

- produkcyjne – odnoszą się do przetwarzania surowców lub półfabrykatów na półprodukty lub produktów gotowych
- przemieszczeń – reguły dotyczące przepływu materiałów, ich śledzenia oraz lokalizacji produktów
- kontrolne – obejmują badanie jakości i przydatności materiałów lub produktów.



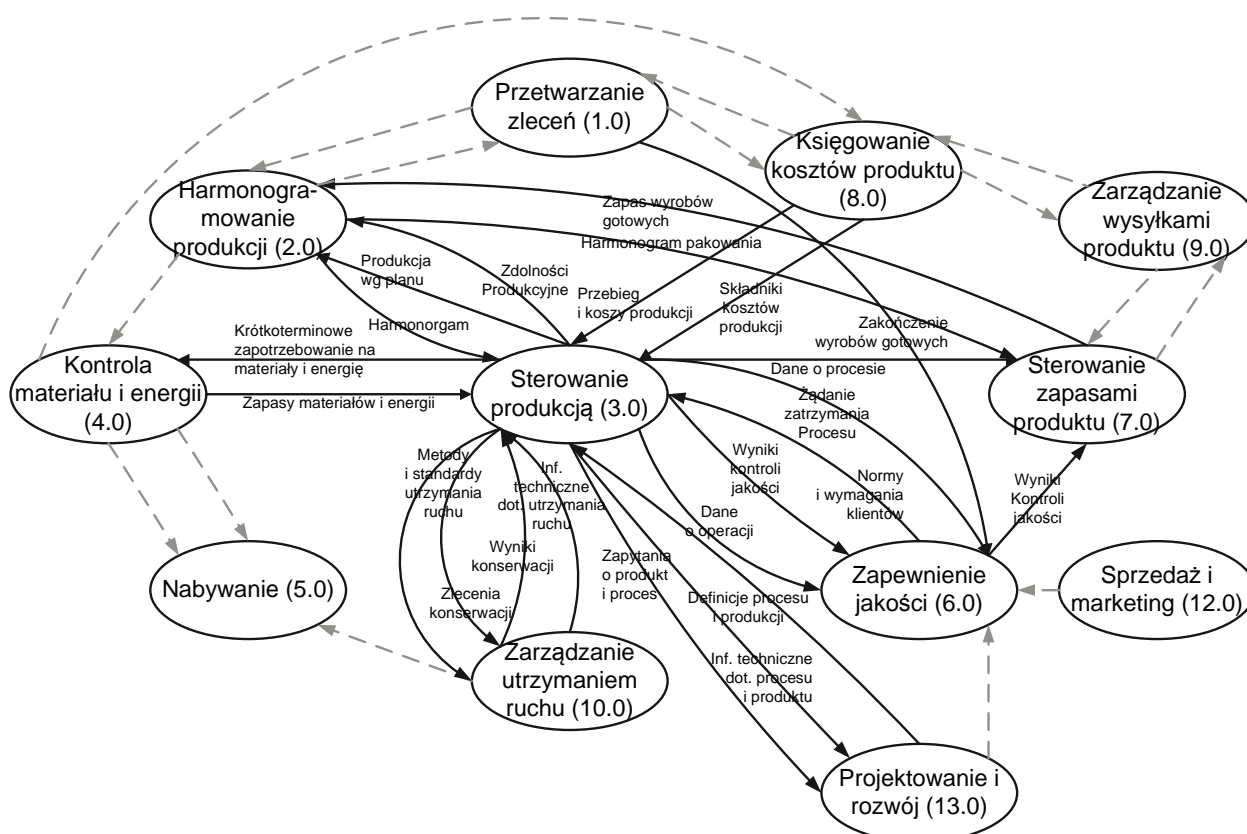
Rys. 2. Schemat B2MML operacji z rozwinięciem schematu specyfikacji sprzętu

Model operacji ma budowę rekursywną, albowiem każda operacja może zawierać inną operację. Ich rekurencyjna struktura pozwala na dostęp do różnych informacji w zależności od kontekstu. Na przykład, do harmonogramowania produkcji początkowo potrzebna będzie lista zasobów potrzebnych do realizacji zlecenia produkcyjnego. Jednak by móc rozdzielać konkretne zasoby, potrzebna jest znajomość całej sekwencji operacji produkcyjnych i marszrut składających się na zlecenie produkcyjne. Takie rozwinięcie jest szczególnie wygodne gdy informacje o przebiegu produkcji muszą być zebrane i ponownie alokowane w określonej strukturze danych wykorzystywanej w dalszej kolejności do chociażby raportowania i dalszych analiz.

4. PRZEPIY W DANYCH

W części 1 standardu ISA-95 zawarty został model funkcjonalny przepływu danych pomiędzy warstwą zarządczą i produkcyjną przedsiębiorstwa (rys. 3).

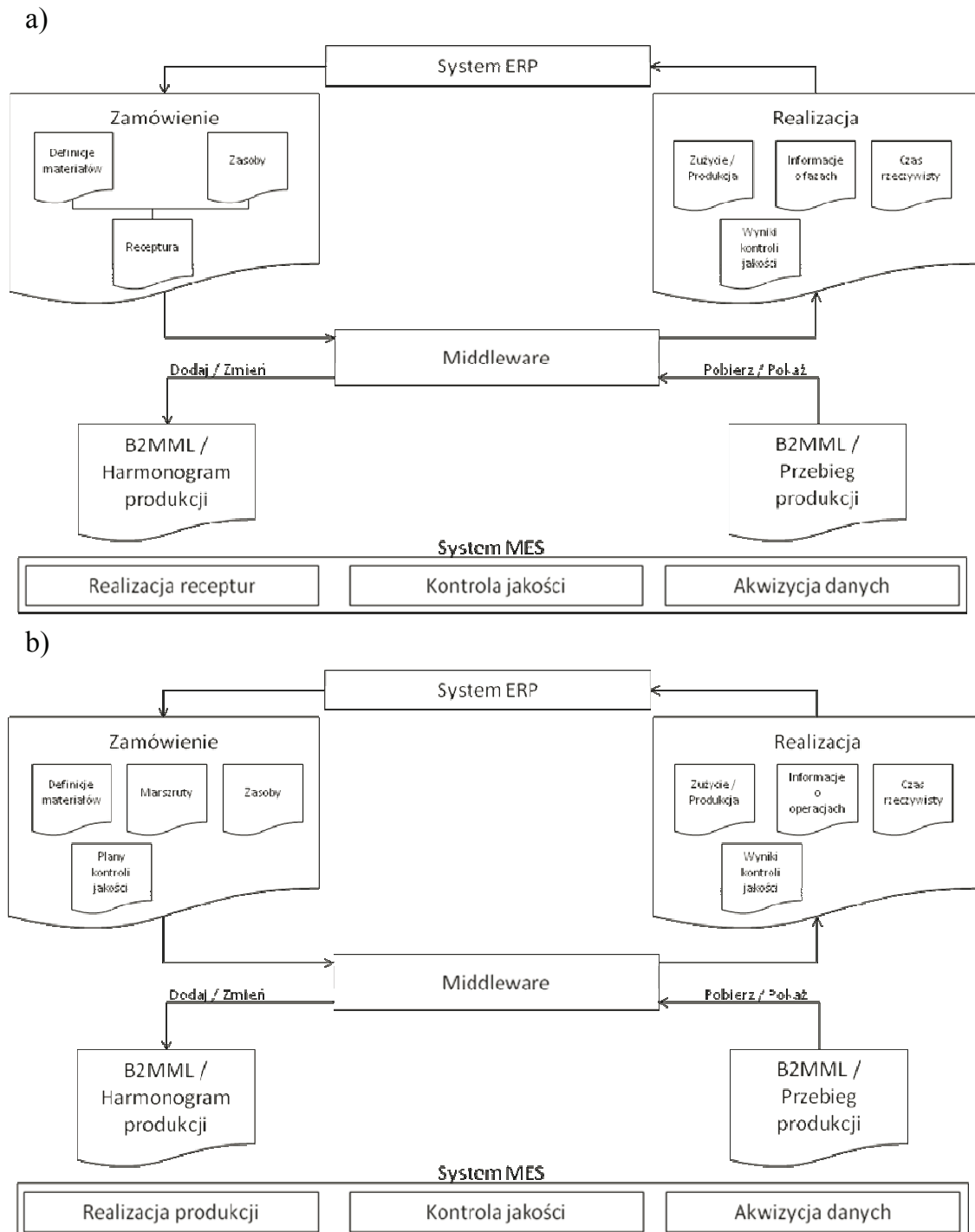
W modelu tym znajduje się aż 19 przepływów dotyczących systemów zarządzania przedsiębiorstwem i realizacji produkcji: harmonogram, produkcja według planu, zdolność produkcyjna, potwierdzenie przyjęcia zlecenia, krótko- i długoterminowe zapotrzebowanie na materiały i energię, zapasy materiałowe, składowiki kosztów produkcji, przebieg i koszty produkcji, wyniki kontroli jakości, normy i wymagania klientów, żądanie zatrzymania procesu, zapasy wyrobów gotowych, dane o operacji, harmonogram pakowania, definicje procesu i produktu, zlecenia konserwacji, wyniki konserwacji, metody i standardy utrzymania ruchu, informacje techniczne dot. utrzymania ruchu [7].



Rys. 3. Model funkcjonalny przepływu danych pomiędzy warstwą zarządczą i produkcyjną przedsiębiorstwa [5]

Liczba wykorzystywanych przepływów danych zależy od specyfiki działalności przedsiębiorstwa i w zasadzie dla każdego wyniki selekcji przepływów różnią się od siebie. Główną determinantą są procesy biznesowe. Zestaw procesów biznesowych zależy od wielu czynników: branży firmy, uwarunkowań rynkowych i wielu innych. Ale zależy tak że od modelu produkcyjnego wykorzystywanego w przedsiębiorstwie czy scenariuszy produkcyjnych. Do opisu wymaganych przepływów przydatny jest model czynności (*Activity Model*). Kluczem do zdefiniowania przepływów danych wydaje się być zrozumienie nie tylko treści przesyłanych wiadomości, ale także ich kontekst, za które odpowiadać powinna warstwa oprogramowania pośredniczącego (*middleware*). Dane przesyłane do

oprogramowania pośredniczącego są odpowiednio ustrukturyzowane i interpretowane w celu ich ewentualnego przetworzenia i dalszego przesyłania. Przetwarzanie i przesyłanie danych odbywa się przy użyciu specyfikacji B2MML. Dane w połączeniu w modelami transakcyjnymi podanym i w części 5 standardu ISA-95 stanowi podstawę do opisu przepływu danych. Przykładowy diagram przepływu danych został przedstawiony na rys. 4a i 4b.

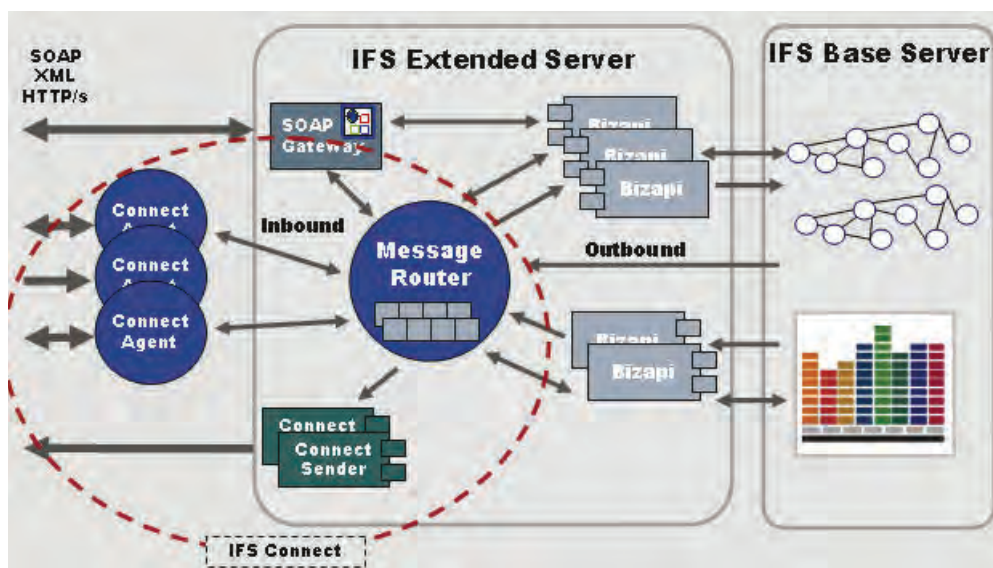


Rys. 4. Przykładowy diagram przepływu dla: a) produkcji wsadowej, b) produkcji dyskretniej, uwzględniający warstwę oprogramowania pośredniczącego

5. MOŻLIWOŚCI INTEGRACYJNE SYSTEMU IFS

W ramach prezentowanego zagadnienia dokonano analizy systemu ERP na przykładzie systemu IFS pod kątem obsługi danych generowanych podczas produkcji realizowanej w różnych modelach, a także dostępności narzędzi potrzebnych do wymiany danych z innymi aplikacjami. Po dokonaniu przykładowego wdrożenia produkcji wydziału t łocznij lekziej można wysunąć tezę, iż w ramach systemu IFS istnieje możliwość odwołania powtarzalnych i dyskretnych procesów produkcyjnych. W wszelkie surowce, półprodukty i wyroby gotowe definiowane są jako pozycje magazynowe. Pozycje te wykorzystywane są przy tworzeniu zasobów sprzętowych i elementów struktury produkcyjnej takich jak linia produkcyjna, marszruta, gniazdo. Na podstawie dostępności materiałów, zdolności produkcyjnych dokonywana jest analiza MRP, która generuje plan zapotrzebowania na zlecenia produkcyjne. Zlecenia te na bazie dostępnych zasobów są układane w harmonogram produkcyjny. System IFS zapewnia więc agregację i obsługę danych potrzebnych do wymiany z systemami klasy MES.

Ponadto, w systemie IFS zaimplementowane zostało rozwiązanie o nazwie IFS Connect, które pozwala na pośredniczenie w procesie integracji. Rozwiązanie to zapewnia obsługę wiadomości przychodzących i wychodzących czy transformację wiadomości XML. Pozwala ono również na zagnieżdżanie wiadomości w innych komunikatach. W procesie wymiany stosowane są łączniki (*connectors*) działające w oparciu o standardy komunikacji internetowej (http, https, smtp, ftp itp.). IFS Connect pozwala także na elektroniczną dystrybucję raportów i dokumentów w formie XML. W ydaje się być zatem narzędziem kompletnym w kontekście integracji z innymi systemami [6].



Rys. 5. Architektura IFS Connect [6]

6. PODSUMOWANIE

Zdefiniowanie odpowiednich przepływów danych w dla różnych modeli produkcyjnych niesie ze sobą szereg wielu wyzwań. W każdym z modeli obowiązują bowiem inne reguły, zasady działania. Pomocny w materii okazuje się standard ISA-95 i specyfikacja B2MML, które dostarczają wiele rozwiązań funkcjonalnych, metod, modeli itp. Na uwagę zasługuje

przede wszystkim schemat operacji, który jest wspólny dla każdego z modeli produkcyjnych i dzięki zhierarchizowanej strukturze danych można zagregować wokół niej wszystkie potrzebne dane.

Najistotniejsze w wyznaczaniu ścieżek przepływu danych wydaje się opanowanie kontekstu i zawartości informacji wymienianych. Każdemu modelowi produkcyjnemu wymaga oddzielnej identyfikacji elementów przesyłanych zawartych w opisie przepływu pracy. Warstwa pośrednicząca pozwala związać dane pochodzące z różnych środowisk ze sobą i wraz z modelami transakcyjnymi stanowi punkt wyjścia do utworzenia oprogramowania pośredniczącego realizującego nadrzędny cel integracji systemów klasy ERP i MES.

BIBLIOGRAFIA

1. Brandl D.: Manufacturing Operations Management making sense of the MES layer. White paper, 2002.
2. Cahill J.: Integrating Manufacturing Operations with B2MML Standards. Web site <http://www.emersonprocessxperts.com>, 2007.
3. Comarch CDN XL w produkcji procesowej. White paper Comarch ERP, 2009.
4. Comarch CDN XL w produkcji dyskretniej. White paper Comarch ERP, 2009.
5. Cottyn J., Stockman K., Van Landeghem H.: The Complementarity of Lean Thinking and the ISA 95 Standard. World Batch Forum, Barcelona 2008.
6. IFS Foundation1 Documentation 6.0.0
7. ISA-95.00.01–CDV3 DRAFT STANDARD Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology
8. Pękala J., Zajac J.: Applying the ISA-95 standard and Business To Manufacturing Markup Language for integration of information in production company. The 4th International Conference “Optimization of the Robots and Manipulators” OPTIROB 2009, pp. 195-200.
9. Skośrud B., Krenczyk D., Kalinowski K., Ćwikła G., Grabowik C.: Zintegrowany system wspomagania zarządzania produkcją w małych i średnich przedsiębiorstwach. Konferencja Inteltrans 2009. Kraków, 2009.
10. Skura K., Smolec Z.: Integracja systemów informatycznych w automatyzacji procesów produkcyjnych. PAR. Pomiary, Automatyka, Robotyka 7–8, 2005.