

Mirosław ZABOROWSKI

## ZARYS METAMODELU STEROWANIA PROCESAMI W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRZEMYSŁOWYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metamodel zintegrowanych systemów sterowania i zarządzania procesami w przedsiębiorstwach przemysłowych. Jest to model pojęciowy hybrydowych systemów sterowania w czasie rzeczywistym, opracowany w formie diagramu klas uproszczonego języka UML, wzorowanego na diagramach standardu ISA-95. Metamodel ten został wyprowadzony z metamodelu procesów biznesowych i ze struktury klasycznego układu sterowania ze sprzężeniem zwrotnym.

## OUTLINE OF THE METAMODEL OF PROCESS CONTROL IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Summary.** The paper presents a metamodel of integrated systems of process control and management in industrial enterprises. It is a conceptual model of hybrid real-time control systems, which is developed in the form of a simplified UML class diagram, modeled on the diagrams of the ISA-95 standard. The metamodel has been deduced from the business process metamodel and from the structure of the classical closed-loop control system.

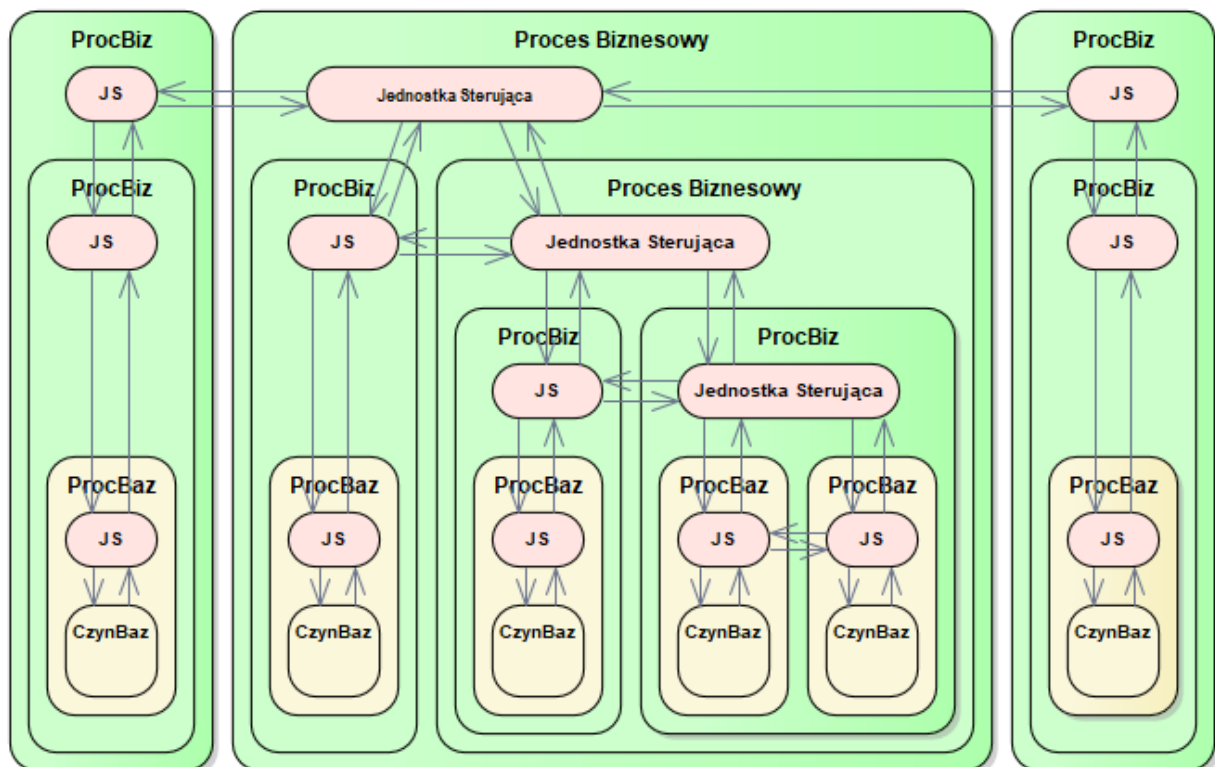
### 1. Wprowadzenie

**Przedsiębiorstwo**, według definicji Eurostatu [7], jest samodzielną jednostką organizacyjną, przeznaczoną do produkcji towarów lub usług w celu zaspokajania potrzeb konsumentów i potrzeb innych przedsiębiorstw. **Proces biznesowy** jest to zbiór logicznie powiązanych czynności, wykonywanych w celu osiągnięcia określonego wyniku biznesowego [5]. Procesy biznesowe dzielą się na wytwórcze, usługowe i administracyjne, których wynikami są odpowiednio produkty materialne, usługi i produkty informacyjne [1][13].

Procesami przedsiębiorstwa są też procesy produkcyjne, pomocnicze i zarządcze [1]. Są to **procesy operacyjne**, które mogą być interpretowane jako fragmenty procesów biznesowych, przy czym każdemu procesowi biznesowemu odpowiada jeden **proces produkcyjny**. W wytwórczych systemach organizacyjnych procesy produkcyjne są wytwórcze, ale procesy zarządcze są administracyjne, a procesy utrzymania ruchu, należące do procesów pomocniczych, są procesami usługowymi. W standardzie ISA-95 wśród procesów pomocniczych wyróżnia się także procesy kontroli jakości i procesy magazynowania [2]. Procesy operacyjne, tak jak biznesowe, mają określone cele, przy

czym celem procesów produkcyjnych jest zaspokojenie potrzeb odbiorców produktów, celem procesów utrzymania ruchu jest przygotowanie danego systemu organizacyjnego do produkcji, a celem **procesów zarządczych** jest opracowanie informacji i decyzji potrzebnych do zarządzania procesami przygotowawczymi i produkcyjnymi.

Trzecim pojęciem występującym w tytule tej publikacji jest sterowanie. **Sterowanie** jest to celowe oddziaływanie jednego obiektu, nazywanego **urządzeniem sterującym** (ściślej: **realizatorem algorytmu sterowania**), na drugi obiekt, nazywany **obiektem sterowania** [6]. Dlatego **proces przedsiębiorstwa**, zarówno biznesowy jak i operacyjny, można zdefiniować jako uporządkowany zbiór wspólnie sterowanych czynności, których ogólnym celem jest zaspokojenie potrzeb klientów przedsiębiorstwa. Bezpośrednim wnioskiem z tej definicji jest istnienie, formalne lub nieformalne, **jednostki sterującej** w każdym procesie przedsiębiorstwa. Dlatego w [16] mówi się o procesach samosterujących. Obiektem sterowania w procesie jest zbiór jego czynności, a każda z nich, jeśli nie jest czynnością bazową, jest procesem niższego poziomu. Dzięki temu sterowanie procesami przedsiębiorstw może być zdecentralizowane w hierarchicznej strukturze organizacyjnej i w wielostadialnej strukturze związków między procesami dostawczymi i odbiorczymi (rys. 1) [16].



Rys. 1. Szkic sprzężeń między jednostkami sterującymi procesów przedsiębiorstwa

Czynność bazowa jest obiektem sterowania w bazowym systemie sterowania, który z tego powodu może być uważany za proces bazowy, a widziany z zewnątrz – za czynność stadialną w elementarnym systemie biznesowym. Np. układ regulacji temperatury w podgrzewaczu wody można interpretować jako proces bazowy, zawierający czynność podgrzewania, której atrybutem, odczytywanym przez jednostkę sterującą procesu, jest temperatura wody.

Przedstawione wyżej analogie strukturalne komputerowych systemów sterowania automatycznego i komputerowych systemów wspomagających zarządzanie, są zgodne z tezą, że podstawy teoretyczne analizy i projektowania tych systemów są wspólne [6]. To spostrzeżenie w ostatnich latach ma znaczenie nie tylko poznawcze, ale i praktyczne. Rozwój przemysłu 4.0 sprawia, że możliwe staje się szybkie przetwarzanie olbrzymich ilości danych, potrzebnych do zarządzania operacyjnego w czasie rzeczywistym, a z drugiej strony rosnące tempo zmian krytycznych zmiennych biznesowych, np. zmiany cen energii elektrycznej kilka razy na godzinę, ceny materiałów i energii w momencie ich zużycia, wartość produktów w momencie ich wyprodukowania, wymaga zarządzania rentownością operacyjną w czasie rzeczywistym [12]. To sprawia, że od automatyków oczekuje się coraz częściej nadzoru nie tylko nad systemami sterowania operacjami technologicznymi, lecz także nad systemami zarządzania ich opłacalnością [12].

Kluczowa jest tu znajomość podstaw teorii sterowania, której przedmiotem jest właśnie sterowanie w czasie rzeczywistym, ale trzeba też wiedzieć, jak opisać problemy zarządzania procesami przedsiębiorstw w kategoriach tej teorii. Dlatego potrzebny jest wspólny **metamodel systemów sterowania i zarządzania**, czyli model związków między pojęciami reprezentującymi elementy tych systemów. Najbardziej znany metamodel zintegrowanych systemów zarządzania przedsiębiorstwami przemysłowymi i sterowania ich procesami wytwórczymi (ciągłymi, wsadowymi i dyskretnymi) jest treścią standardu ISA-95 (IEC 62264) [3]. Standard ten, istniejący od roku 1990 jest wciąż rozwijany i modyfikowany. W ostatnich latach celem tych zmian i uzupełnień jest dostosowanie standardu do wymagań przemysłu 4.0 [9][12].

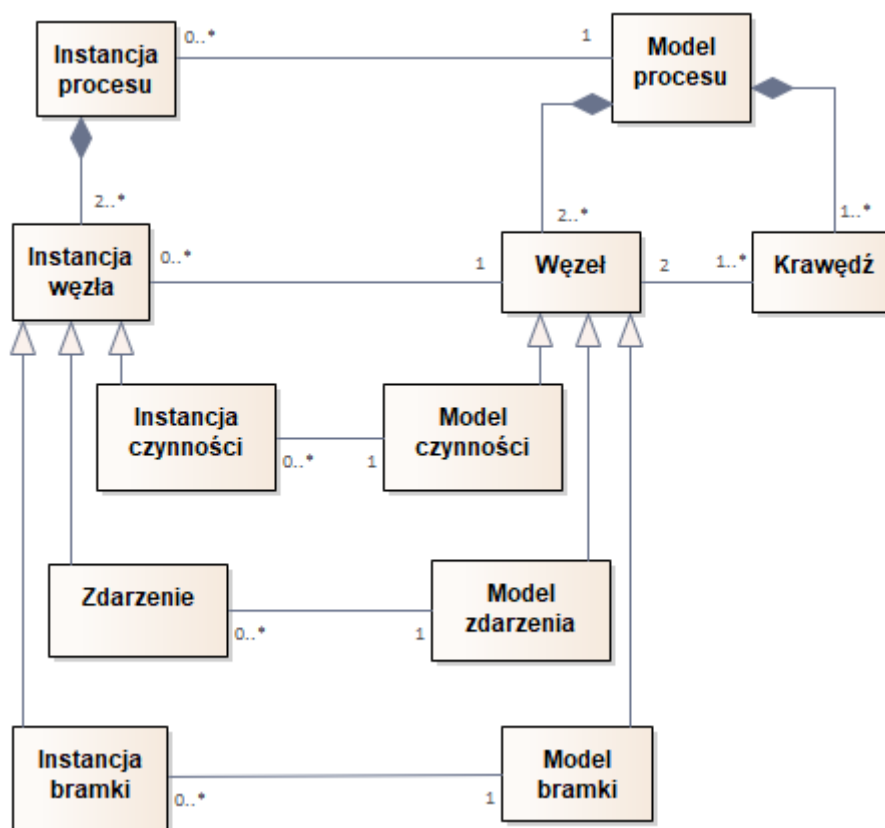
Omawiany tu metamodel EntPC (Enterprise Process Control) ma formę graficzną wzorowaną na diagramach klas uproszczonego języka UML, jak w standardzie ISA-95 i w metamodelu warstwy biznesowej języka ArchiMate, przeznaczonego do modelowania architektury przedsiębiorstw usługowych [4]. Zakres zastosowań metamodelu EntPC jest podobny jak dla standardu ISA-95, lecz jest to tylko model teoretyczny i nie obejmuje wielu istotnych dla praktyki szczegółów. Bezpośrednim celem prac nad metamodelem EntPC jest stworzenie wspólnego systemu pojęć występujących w modelach matematycznych algorytmów sterowania i zarządzania w czasie rzeczywistym, w tym algorytmów harmonogramowania operacyjnych procesów produkcyjnych.

## 2. Metamodel procesów biznesowych

Metodologicznym punktem wyjścia do tych prac jest diagram klas języka UML pokazujący, że model graficzny procesu biznesowego jest grafem, którego węzły przedstawiają czynności, zdarzenia i bramki, a łączące je krawędzie reprezentują kolejność działania czynności i zdarzeń (rys. 2) [15]. Ta struktura obowiązuje dla wspólnego modelu procesów, a zatem dla metamodelu klasy procesów, ale też dla każdego konkretnego procesu, czyli dla instancji klasy procesów, co pokazano dodatkowo na rysunku 2 wraz ze związkami „1 do wiele” między klasami obiektów i ich instancjami. Diagram z rysunku 2 przedyskutowano w [15] dla notacji BPMN, ale jest on też adekwatny dla omawianej tamże notacji EPC (Event-driven Process Chains), w której czynnościom, zdarzeniom i bramkom odpowiadają funkcje, zdarzenia i złącza

logiczne. Nawiązując do przyjętej definicji procesu przedsiębiorstwa warto zwrócić uwagę, że nazwa notacji „łańcuchy procesów sterowanych zdarzeniami” [8] sugeruje, że jednostki sterujące procesów powinny zawierać elementy reagujące na zdarzenia.

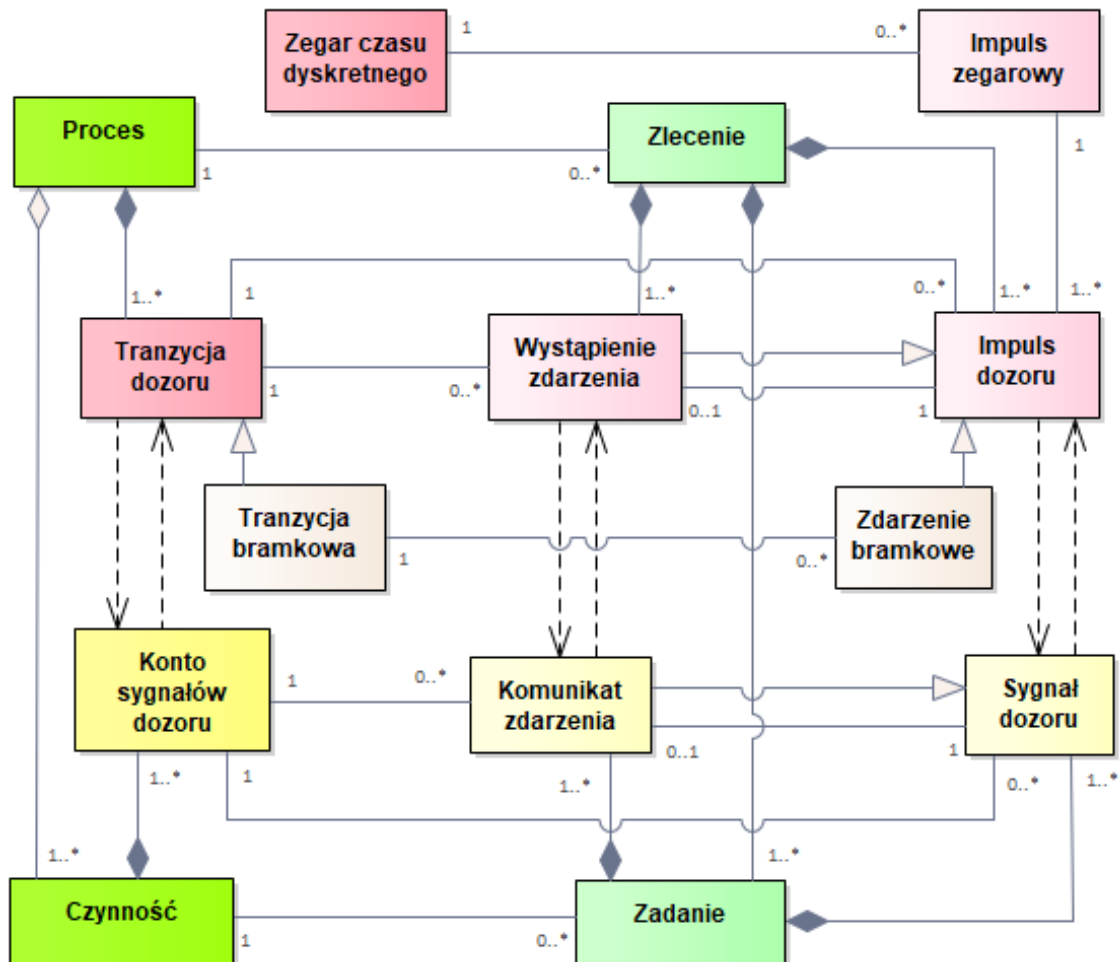
W metamodelu EntPC dla procesów przedsiębiorstwa sterowanych w czasie rzeczywistym (rys. 3), nazwy „proces” i „czynność” odnoszą się do ich modeli, natomiast instancjami procesu i czynności są **zlecenia** (pracy) i **zadania** (wykonania czynności). Związek między procesami i czynnościami jest związkiem słabej agregacji, ponieważ w wytwórczych procesach biznesowych często się zdarza, że ta sama czynność jest elementem różnych procesów. Związek między zleceniami i zadaniami pozostaje związkiem kompozycji, ponieważ w trakcie konkretnego wykonania danego procesu czynność jest wykonywana tylko w tym procesie. Ważną różnicą między zadaniami i zdarzeniami jest czas ich trwania, który dla zdarzeń jest zerowy, a dla zadań musi być dodatni, co w komputerowych systemach sterowania oznacza, że nie może być krótszy od jednego okresu próbkowania.



Rys. 2. Metamodel procesów biznesowych i ich instancji według [15, rys. 3.16]

Zdarzenia analizowane w [15] w ramach dyskusji nad metamodeliem procesów biznesowych reprezentują przejścia między stanami, występujące w cyklu życia instancji czynności, jeśli są spełnione określone warunki. Dlatego modelem zdarzeń w metamodelu EntPC jest **tranzycja dozoru**, wzorowana na tranzycjach w kolorowanych sieciach Petriego (CPN) [11]. Trzeba jednak zauważyć, że w praktyce bardzo często zdarzenie jest definiowane jako komunikat o zdarzeniu, np. „zlecenie odrzucone”, „zadanie zakończone” itp.. Dotyczy to np. procesów administracyjnych, modelowanych jak w notacji EPC [8], a także procesów wytwórczych, np. zdarzeń

operacyjnych w systemach opisywanych standardem ISA-95 [3][9]. Dlatego w metamodelu EntPC, aby uniknąć nieporozumień, instancje zdarzenia odpowiadają dwa elementy – **wystąpienie zdarzenia** i **komunikat zdarzenia**, powiązane przepływem informacji podczas zapisu lub odczytu. Miejscem informacji dla komunikatów zapisywanych lub odczytywanych przez wystąpienia danej tranzycji jest **konto sygnałów dozoru** (rys. 3).



Rys. 3. Metamodel procesów przedsiębiorstwa sterowanych zdarzeniami w czasie rzeczywistym

Każda tranzycja dozoru ma:

- procedurę odczytu danych wejściowych,
- **funkcję dozoru**, która jak w CPN [11] bada warunki wystąpienia tranzycji,
- **procedurę tranzycyjną**, analogiczną do segmentu kodu w CPN [11], oraz
- procedurę zapisu komunikatów.

**Impulsy dozoru**, czyli zadziałania tranzycji dozoru, występują w każdej chwili czasu dyskretnego, natomiast wystąpienia zdarzeń tylko w niektórych, co pokazuje związek „1 do (0 lub 1)” na rys. 3. **Bramki logiczne** z metamodelu na rys. 2 są szczególnymi tranzycjami dozoru, w których procedury tranzycyjne są funkcjami logicznymi, wskazującymi wybrane ścieżki wyjściowe.

W standardzie BPMN zdarzenia dzielą się na początkowe, końcowe i pośrednie. W metamodelu EntPC są też dzielone na decyzyjne i informacyjne, przy czym zdarzenia

początkowe są zawsze decyzyjne, ponieważ ich komunikaty zawierają decyzje dotyczące startującego zadania lub zlecenia, zdarzenia końcowe są zawsze informacyjne, ponieważ ich komunikaty zawierają informacje o zakończonym zadaniu lub zleceniu, a zdarzenia pośrednie są informacyjne, gdy ich komunikaty zawierają informacje o tej części zadania, która kończy się w chwili zdarzenia, albo decyzyjne, gdy komunikaty zawierają decyzje dotyczące rozpoczynającej się części zadania. Przepływ informacji i decyzji w sygnałach dozoru pokazano na rys. 3 za pomocą linii przerywanych, ze strzałkami skierowanymi odpowiednio w górę i w dół.

Informacje i decyzje na kontach sygnałów w metamodelu EntPC dotyczą czynności należących do danego procesu, więc konta te są kompozycyjnie związane z czynnościami. Z drugiej strony tranzycje odczytujące te informacje lub zapisujące te decyzje są elementami jednostki sterującej procesem, a zatem są pośrednio komponentami tego procesu (rys.4).

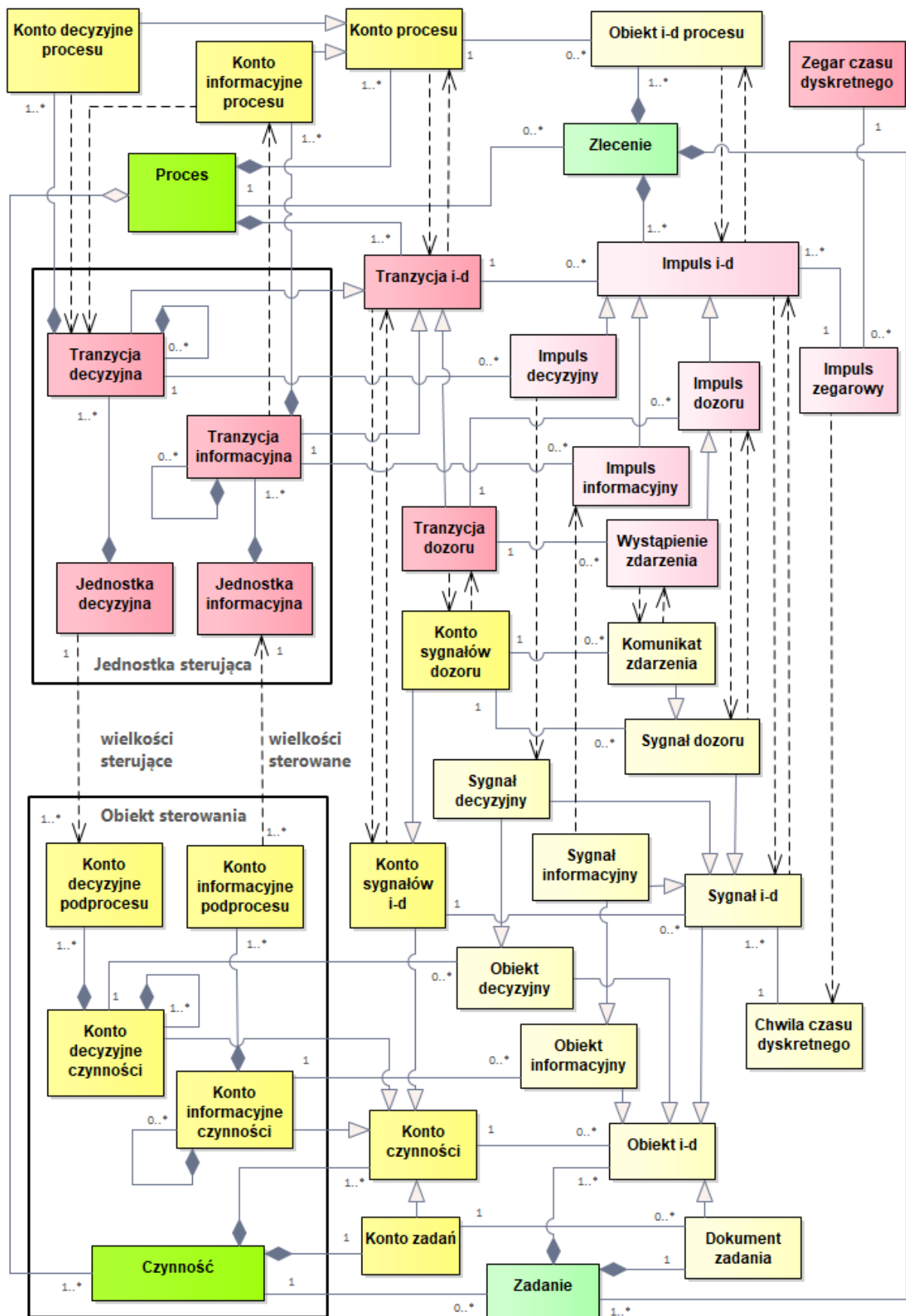
### 3. Zarys metamodelu EntPC

Czynności należące do określonego procesu wymagają sterowania w czasie rzeczywistym nie tylko w chwilach wystąpienia wyjątkowych zdarzeń, lecz także w toku wykonywania zadań, kiedy powinny działać algorytmy sterowania normalnym przebiegiem procesu. Wymaga to odpowiedniego uogólnienia metamodelu procesów sterowanych zdarzeniami (rys. 3).

W klasycznej teorii sterowania za metamodel systemu sterowania, opisujący związki między jego podstawowymi pojęciami, można uważać schemat blokowy. Najczęściej omawiany system sterowania ze sprzężeniem zwrotnym składa się z obiektu sterowania i urządzenia sterującego, powiązanych przepływami informacji i decyzji w formie wektorów wielkości sterujących i sterowanych [6, fig. 1.4]. Struktura ta jest widoczna w lewej części diagramu klas metamodelu EntPC (rys. 4).

**Obiektem sterowania** w procesie jest zbiór czynności, z których każda ma swoje **konta informacyjne i decyzyjne**, czyli miejsca pamięci, z których odczytywane są informacje o czynności i w których są zapisywane dotyczące jej decyzje. Z drugiej strony jednostka sterująca procesem, czyli realizator algorytmu sterowania procesem, składa się z jednostki decyzyjnej i jednostki informacyjnej. **Jednostka decyzyjna** opracowuje decyzje (oraz zamówienia do procesów dostawczych, por. rys.1) i zapisuje je na kontach decyzyjnych czynności (oraz procesów dostawczych). **Jednostka informacyjna** nie jest urządzeniem pomiarowym, ale urządzeniem odczytu danych z informacyjnych kont czynności (oraz procesów dostawczych) i przetwarzania danych na zagregowane informacje o stanie procesu, zapisywane na informacyjnych kontach procesu. **Konta procesów** działają podobnie jak **konta ich czynności**, ponieważ proces widziany z zewnątrz jest czynnością w procesie nadrzędnym (por. rys. 1). Urządzenia pomiarowe występują tylko w czynnościach bazowych, które formalnie reprezentują bazowe obiekty sterowania. Urządzenia sterujące z klasycznej teorii sterowania są jednostkami sterującymi procesów bazowych.

Jeśli czynność jest **podprocesem różnych** procesów, a tak może być ze względu na wyżej wzmiankowany związek słabej agregacji między czynnościami i procesami, to jednostki sterujące każdego z tych procesów komunikują się z kontami tej czynności poprzez odpowiednie subkonta podprocesów (rys. 4).



Rys. 4. Metamodel systemów EntPC

W komputerowych systemach sterowania jednostki informacyjne i decyzyjne, a także ich tranzycje składowe, wykonują procedury przetwarzania informacji i decyzji w kolejnych chwilach czasu dyskretnego. Wszystkie te obiekty są szczególnymi przypadkami **tranzycji informacyjno-decyzyjnych**, będących uogólnieniami zdefiniowanych wyżej tranzycji dozoru. Ich wykonania, czyli **impulsy i-d** (rys. 4) zapisują lub odczytują **sygnały i-d** na odpowiednich **kontach sygnałów i-d**, będących szczególnymi przypadkami kont czynności. Tranzycje dozoru, impulsy dozoru, sygnały dozoru i konta sygnałów dozoru (rys. 3) są szczególnymi przypadkami tranzycji i-d, impulsów i-d, sygnałów i-d oraz kont sygnałów i-d z metamodelu EntPC (rys. 4).

#### 4. Kierunki rozwoju metamodelu EntPC

Systemy organizacyjne przedsiębiorstw przetwarzają zasoby nieodnawialne (przedmioty pracy) na produkty za pomocą swoich zasobów odnawialnych (środków pracy) [13]. Przy tym zmieniają się atrybuty ilościowe i jakościowe zasobów nieodnawialnych i produktów oraz atrybuty stanu zasobów odnawialnych. Dlatego każdy metamodel sterowania procesami przedsiębiorstw powinien zawierać model związków zasobów i produktów oraz ich atrybutów z modelami procesów i systemów organizacyjnych.

W standardzie ISA-95 zasoby i produkty, łącznie nazywane „obiektami” [3, part 2, table 251][14, page 155], dzielą się na zasoby ludzkie, zasoby wyposażenia, zasoby fizyczne i materiały, a w każdej z tych kategorii obiekty są kompozycyjnie związane ze swymi atrybutami, nazywanymi „właściwościami”. Materiały dzielą się na „materiały zużywane” i „materiały wyprodukowane”. Pojęcia procesu i czynności nie występują explicite w standardzie ISA-95, ale istnieje „segment operacji”, obejmujący przydzielone do niego zasoby i będący stadium określonej marszruty produktu. Oddzielnie definiowany jest „przepływ prac”, odnoszący się do szablonu procesu.

W metamodelu EntPC „obiektem ISA” [14] odpowiadają „zasoby” i „produkty”. Zasoby dzielą się na zasoby zużywalne, odpowiadające „materiałom zużywanym” i zasoby używalne, czyli zasoby ludzkie (jak w ISA-95), zasoby fizyczne (jak w ISA-95) i zasoby organizacyjne, odpowiadające „zasobom wyposażenia” w ISA-95. Produkty, odpowiadające „materiałom wyprodukowanym”, są przekazywane jako produkty dystrybucyjne do innych systemów biznesowych, gdzie są odbierane jako kooperacyjne zasoby zużywalne lub używalne. Dodatkowo, ze względu na potrzebę opisu dynamiki procesów wytwórczych, wprowadzono do metamodelu EntPC „przedmioty produkcji w toku”. Każda z wyżej wymienionych kategorii obiektów ma związki asocjacji „1 do 1” z odpowiednimi podklasami klasy kont czynności (rys. 4), dzięki czemu możliwe jest łatwe rozwinięcie metamodelu EntPC na zasoby i produkty przedsiębiorstwa oraz ich atrybuty.

Co więcej, metamodel EntPC można uogólnić na procesy i czynności grupowe, wykonywane współbieżnie przez systemy biznesowe i ich jednostki biznesowe. Zatem w uogólnionym modelu EntPC konta zasobów ludzkich, zasobów fizycznych, zasobów organizacyjnych, zasobów zużywalnych, produktów i przedmiotów produkcji w toku istnieją zarówno dla procesów i czynności biznesowych, jak i dla systemów i jednostek biznesowych.



W szczególności, konta systemów biznesowych istnieją dla przedsiębiorstwa jako całości, a niektóre z nich mają związki 1 do 1 z elementami planu kont systemu rachunkowości finansowej. W przykładowym planie kont, analizowanym w [10, rozdz. 5], konta te odpowiadają wybranym kontom następujących zespołów :

- konta zasobów fizycznych            zespół 0    majątek trwały
- konta zasobów ludzkich            zespół 2    rozrachunki i roszczenia
- konta zasobów kooperacyjnych    zespół 3    materiały i towary
- konta zasobów zużywalnych        zespół 3    materiały i towary
- konta zadań (rys. 4)                zespół 4    koszty według rodzaju
- konta zadań (rys. 4)                zespół 5    koszty według typów działalności
- konta produkcji w toku            zespół 6    produkty i rozliczenia
- konta produktów    międzyokresowe
- konta produktów dystrybucyjnych   zespół 7    przychody i koszty ich osiągnięcia

W standardzie ISA-95 pojęcia systemu organizacyjnego i jednostki organizacyjnej nie występują *explicite*, ale zdefiniowano hierarchię urządzeń wyposażenia (role-based equipment hierarchy), której elementami są systemy organizacyjne przedsiębiorstwa (enterprise, site, area, work center, work unit) [3, part 1]. Dlatego w metamodelu EntPC zasoby organizacyjne mają związki 1 do 1 z jednostkami biznesowymi, które są podrzędnymi jednostkami organizacyjnymi w systemie biznesowym wykonującym dany proces.

W metamodelu EntPC hierarchia organizacyjna (przedsiębiorstwo (enterprise), zakład roboczy (site)), warsztat roboczy (workshop), stanowisko robocze (workstation)) nie jest hierarchią urządzeń wyposażenia, lecz hierarchią systemów biznesowych wielopoziomowego systemu sterowania procesami. Każdy system biznesowy jest jednostką biznesową nadrzędnego systemu biznesowego. Jest to zgodne z paradygmatem zarządzania rekursywnego [1, fig. 1.9] i z rekursywną strukturą systemu sterowania procesami biznesowymi przedsiębiorstwa (rys. 1). Jeśli różne jednostki biznesowe mogą wykonywać te same czynności stadialne, to można pogrupować je w segmenty stadialne. Segmentem stadialnym zakładu jest wydział (area w ISA-95), a warsztatu – centrum robocze (work center według APICS [5]).

Na każdym z czterech wymienionych tu poziomów hierarchii organizacyjnej potrzebne jest zarządzanie kooperacyjne procesami z różnych systemów biznesowych, zarządzanie wykonawcze grupami współbieżnych procesów operacyjnych, zarządzanie koordynacyjne czynnościami stadialnymi poszczególnych procesów i zarządzanie alokacją czynności stadialnych do jednostek biznesowych danego systemu. Dlatego metamodel EntPC systemu biznesowego dowolnego poziomu należy rozwinąć do tej samej wielowarstwowej struktury funkcjonalnej. Wyjątkowo w systemach elementarnych (w stanowiskach roboczych) zamiast zarządzania alokacją zadań występuje sterowanie bezpośrednie czynnościami bazowymi.

## 5. Wnioski

Komunikaty o wystąpieniu zdarzeń są kodowane za pomocą binarnych zmiennych dozoru, natomiast wartości zmiennych procesowych, będących atrybutami wszelkich sygnałów i-d, mogą być liczbami rzeczywistymi. Dlatego systemy sterowania i za-

rzządzania procesami przedsiębiorstw są zintegrowanymi systemami hybrydowymi, których podsystemami są zarówno bazowe układy regulacji ciągłej, jak i systemy szeregowania zadań, a także systemy planowania remontów, zarządzania w sytuacjach awaryjnych itp.

Stosowanie systemów zarządzania w czasie rzeczywistym poprawia rentowność przedsiębiorstw. Systemy te, wdrażane dzięki technikom Przemysłu 4.0, są przedmiotem zainteresowania nie tylko menadżerów, lecz także informatyków i automatyków. Metamodel EntPC jako wspólny system pojęć może im ułatwić pozyskiwanie potrzebnej wiedzy z każdej z tych specjalności. Może też być przydatny do tworzenia modeli optymalizacji zarządzania procesami z kryteriami minimalizacji kosztów opartymi na miarach księgowych. Jak stwierdzono w [12], takie modele mogą być bardziej akceptowalne przez kierownictwa firm, w przeciwieństwie do innych modeli, opartych tylko na kryteriach technicznych.

## LITERATURA

1. van der Aalst W., van Hee K.: *Workflow Management: Models, Methods and Systems*. Cooperative Information Systems Series, MIT Press, 2002.
2. ANSI/ISA-95: *Enterprise-Control System Integration, Part 3*, 2005.
3. ANSI/ISA-95: *Enterprise-Control System Integration, Part 1...4*, 2010...2018.
4. *ArchiMate 3.1 Specification*, The Open Group 2019.
5. Blackstone J.H., Cox J.F.: *APICS Dictionary*. 11 Edition, 2005.
6. Bubnicki Z.: *Modern Control Theory*. Springer-Verlag, 2005.
7. Eurostat Concepts and Definitions. <http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/>
8. Gabryelczyk R.: ARIS w modelowaniu referencyjnym: koncepcje, metody i narzędzia modelowania. W: Kasprzak T. (red.) *Modele referencyjne w zarządzaniu procesami biznesu*, Wyd. Difin, Warszawa 2005, pp. 106-156.
9. Gifford Ch., Daff D.: ISA-95 evolves to support smart manufacturing and IIoT. *InTech*, Nov/Dec 2017, pp. 22-29.
10. Januszewski A.: *Funkcjonalność informatycznych systemów zarządzania*, tom 1, PWN 2011.
11. Jensen K., Kristensen L.: *Coloured Petri Nets*. Springer-Verlag. Berlin 2009.
12. Martin P.: Automation professionals' new role: converging IT and OT. Applying real-time automation principles improves manufacturing results, *InTech*, Nov/Dec 2017, pp. 40-42.
13. Reijers H.: *Design and Control of Workflow Processes*. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
14. Scholten B.: *The road to integration. A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing*. ISA Publ. 2007.
15. Weske M.: *Business Process Management. Concepts, Languages, Architectures*. Springer-Verlag 2019.
16. Zaborowski M.: Data processing in self-controlling enterprise processes, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, vol. 67, No1 (2019), pp.3-20. DOI: [10.24425/bpas.2019.127333](https://doi.org/10.24425/bpas.2019.127333)