

Mirosław ZABOROWSKI
Akademia WSB

MODEL STRUKTURALNY ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW STEROWANIA PROCESAMI PRZEDSIĘBIORSTWA

Streszczenie. W pracy przedstawiono model hierarchicznej struktury systemów sterowania procesami przedsiębiorstwa. Zgodnie z paradygmatem zarządzania rekurencyjnego przedsiębiorstwo przedstawiono jako system zakładów, zakład jako system warsztatów, warsztat jako system stanowisk roboczych, a stanowisko robocze jako system bazowych systemów sterowania pojedynczymi czynnościami bazowymi. Każdy z tych systemów biznesowych, z wyjątkiem stanowiska roboczego, jest trójwarstwowym systemem sterowania, obejmującym zarządzanie biznesowe procesami biznesowymi, zarządzanie koordynacyjne czynnościami operacyjnymi oraz zarządzanie dyspozytorskie czynnościami biznesowymi, które są procesami biznesowymi niższego poziomu.

STRUCTURAL MODEL OF INTEGRATED ENTERPRISE PROCESS CONTROL SYSTEMS

Summary. The paper presents a model of hierarchical structure of enterprise process control systems. In accordance with the recursive management paradigm, an enterprise is presented as a system of plants, a plant as a system of workshops, a workshop as a system of workstations, and a workstation as a system of base control systems for individual base activities. Each of these business systems, with the exception of the workstation, is a three-layer control system comprising business management of business processes, coordination management of operational activities, and dispatch management of business activities, which are lower-level business processes.

1. Wprowadzenie

Przedmiotem tej publikacji jest model pojęciowy struktury zintegrowanych systemów sterowania procesami przedsiębiorstwa, krócej – **model EntPC** (Enterprise Process Control). **Przedsiębiorstwo**, według definicji Eurostatu [7], jest samodzielną jednostką organizacyjną, przeznaczoną do produkcji towarów lub usług. **Proces biznesowy** jest to zbiór logicznie powiązanych czynności, wykonywanych w celu osiągnięcia określonego wyniku biznesowego [4]. Procesy biznesowe, często przedstawiane jako „przepływy prac” (ang. *workflow*) [1, 10, 11], dzielą się na wytwórcze i usługowe, w tym administracyjne [10]. W modelu EntPC **systemami**

biznesowymi są wszelkie systemy organizacyjne należące do struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa, które mogą wykonywać procesy biznesowe.

Sterowanie jest to celowe oddziaływanie jednego obiektu, nazywanego jednostką sterującą (ściślej: realizatorem algorytmu sterowania), na drugi obiekt, nazywany obiektem sterowania [5]. W systemach EntPC każdy system biznesowy jest systemem sterowania, w którym obiektem sterowania jest zbiór wykonywanych w nim czynności biznesowych [14, rys. 1]. Z paradygmatu zarządzania rekursywnego [1, fig. 1.9] wynika, że system biznesowy przedsiębiorstwa jest jednostką biznesową na wyższym poziomie organizacyjnym, a jednostka biznesowa jest systemem biznesowym niższego poziomu, albo (na poziomie najniższym) systemem sterowania czynnością bazową (rys. 1). Każda czynność procesu przedsiębiorstwa, jeśli nie jest czynnością bazową, jest procesem niższego poziomu.

W standardzie ISA-95 diagramy klas języka UML są stosowane, w odpowiednio uproszczonej notacji, do prezentacji związków między pojęciami opisującym strukturę zintegrowanych systemów zarządzania i sterowania procesami wytwórczymi [11]. W podobny sposób, przy nieco innej notacji, diagramy klas są używane w modelu EntPC do opisu sterowania procesami biznesowymi we wszelkich przedsiębiorstwach. Na diagramach klas modelu EntPC występują tylko te elementy notacji UML, które reprezentują klasy oraz związki asocjacji, uogólnień, agregacji i kompozycji. Dodatkowo mogą na nich wystąpić związki asocjacji skierowanych, reprezentujące kolejność czynności lub przepływy zasobów i produktów (rys. 1), oraz asocjacji danych z notacji BPMN [12, fig. 4.103], reprezentujące przepływy informacji i decyzji (rys. 3).

W modelach matematycznych używanych w systemach sterowania nazwie każdego pojęcia odpowiada zbiór jej desygnatów, czyli zbiór wszystkich konkretnych bytów, które są reprezentowane przez to pojęcie. Stąd każdej klasie odpowiada zbiór jej obiektów. W notacji EntPC symbol tego zbioru może być umieszczony na diagramach klas obok nazwy tego pojęcia, jak pokazano na diagramie z rysunku 1. W skróconej notacji EntPC widoczne są tylko symbole zbiorów obiektów klas (rys. 2, 3), natomiast nazwy pojęć można odczytać z wykazu tych symboli, albo w tekście towarzyszącym diagramowi.

2. Procesy biznesowe i systemy biznesowe

W modelu EntPC **proces biznesowy** $p \in Pb$, wykonywany w **systemie biznesowym** $s \in Sb$, jest skończonym, uporządkowanym zbiorem wspólnie sterowanych czynności biznesowych $a \in Ab$, których celem jest zaspokajanie potrzeb klientów przedsiębiorstwa, albo potrzeb innych systemów biznesowych, należących do przedsiębiorstwa lub do jego otoczenia (rys. 1). **Systemem biznesowym** $s \in Sb$ jest każde przedsiębiorstwo i każdy konkretny system organizacyjny w przedsiębiorstwie, który może wykonywać procesy biznesowe.

Jednostka biznesowa jest zasobem wyposażenia $r \in Re$, który w systemie biznesowym może wykonywać czynności biznesowe. W standardzie ISA-95 [11] zasoby wyposażenia są nazywane „obiektami wyposażenia o określonych rolach”. Zgodnie z paradygmatem zarządzania rekursywnego [1, fig. 1.9] klasa jednostek biznesowych ma dwie podklasy – klasę systemów biznesowych $s \in Sb$ niższego

poziomu i klasę **bazowych systemów sterowania** $s \in Sbb$, w których obiektami sterowania są pojedyncze **czynności bazowe** $a \in Abb$ (rys. 1).

W hierarchicznej strukturze organizacyjnej modelu EntPC systemami biznesowymi i systemem bazowym są

- | | | |
|--|---------------------|----------|
| • przedsiębiorstwo, | enterprise | poziom 5 |
| • zakład roboczy, | plant | poziom 4 |
| • warsztat roboczy, | workshop | poziom 3 |
| • stanowisko robocze | workstation | poziom 2 |
| • system sterowania czynnością bazową | base control system | poziom 1 |

W modelu EntPC jednostkami biznesowymi przedsiębiorstwa są zakłady prowadzące działalność gospodarczą w określonych umiejscowieniach. Jednostkami biznesowymi zakładu są warsztaty, warsztatu – stanowiska robocze, a stanowiska roboczego – bazowe systemy sterowania. Procesy biznesowe zakładu, warsztatu i stanowiska roboczego są odpowiednio czynnościami biznesowymi przedsiębiorstwa, zakładu i warsztatu. Proces bazowy jest czynnością biznesową stanowiska roboczego.

System biznesowy widziany z zewnątrz jest jednostką biznesową wyższego poziomu organizacyjnego. Z drugiej strony, jednostka biznesowa $r \in Re$ jest systemem biznesowym niższego poziomu $s \in Sb \subset Re$, a na poziomie najniższym – **systemem bazowym** $s \in Sbb \subset Re$ (rys. 1). Analogicznie, czynność biznesowa $a \in Ab$ jest procesem biznesowym niższego poziomu $p \in Pb \subset Ab$, a na poziomie najniższym – **procesem bazowym** $p \in Pbb \subset Ab$.

Przedstawiona tu hierarchia systemów biznesowych w modelu EntPC jest nieco inna od hierarchii wyposażenia przedsiębiorstwa w standardzie ISA-95 [11, fig. 1-5]:

- | | |
|---------------------|-------------------|
| • przedsiębiorstwo | enterprise |
| • umiejscowienie | site |
| • obszar (wydział) | area (department) |
| • centrum robocze | work center |
| • jednostka robocza | work unit |

W standardzie ISA-95 nazwa „centrum robocze” może dotyczyć linii produkcyjnej złożonej z pracujących kolejno jednostek roboczych, co nie jest zgodne z definicją APICS [4]. W modelu EntPC linia produkcyjna jest warsztatem.

W standardzie ISA-95 przedsiębiorstwo, umiejscowienie i jednostka robocza odpowiadają w modelu EntPC przedsiębiorstwu, zakładowi i stanowisku roboczemu, natomiast obszar (wydział) i centrum robocze nie występują jako systemy organizacyjne, lecz jako **segmenty operacyjne** $s \in So$, będące grupami równoległych pracujących jednostek biznesowych. Centrum robocze jest grupą równoległych stanowisk roboczych w warsztacie, a wydział jest grupą równoległych warsztatów w zakładzie. W elementarnym systemie biznesowym, czyli w stanowisku roboczym, segmenty operacyjne nie występują. W standardzie ISA-95 segmentowi operacyjnemu odpowiada segment procesowy [11].

Każdy system biznesowy jest systemem. W tej publikacji korzysta się z definicji **systemu ontologicznego** według Dietza [6], zgodnie z którą **system** jest to byt o określonym składzie, otoczeniu, produkcji i strukturze. Skład i otoczenie systemu są rozłącznymi zbiorami elementów tej samej kategorii. Struktura systemu jest zbiorem

więzów oddziaływania między elementami wchodzącymi w skład systemu oraz między nimi i elementami otoczenia. Produkcja oznacza, że elementy wchodzące w skład systemu produkują produkty dostarczane do elementów otoczenia [6].

Pojęciem alternatywnym dla systemu ontologicznego jest **system teleologiczny**. Jest to system widziany z zewnątrz, o nieokreślonej strukturze wewnętrznej. Modelem systemu teleologicznego jest model czarnej skrzynki, opisujący zależności przyczynowo – skutkowe między jego zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi [6]. Przykładem jest jednostka biznesowa, której struktura wewnętrzna nie jest znana. Odpowiadający jej (zgodnie z paradygmatem zarządzania rekursywnego) system biznesowy niższego poziomu ma znaną strukturę, więc do niego stosuje się model ontologiczny, czyli model „białej skrzynki” [6].

Procesy biznesowe są powszechnie dzielone na wytwórcze, w których wytwarzane są produkty materialne, oraz usługowe, których wynikiem są usługi [10]. W języku ArchiMate **usługa** jest to zachowanie (czynność) elementu strukturalnego widziane z zewnątrz przez elementy strukturalne korzystające z tego zachowania [3]. Usługa, jako wynik procesu usługowego, często zaliczana jest do produktów [1], lecz w modelu EntPC jest inaczej, ponieważ w tym modelu każdy produkt $q \in Q$, który nie przestaje istnieć po odbiorze przez inny system biznesowy, staje się jego zasobem $r \in Rc$ lub półproduktem procesu odbiorczego $q \in Qqc$ (rozdz. 3), a nie jest to prawdą w przypadku usługi.

W modelu EntPC procesy biznesowe dzielą się na

- **procesy wytwórcze** manufacturing processes
- **materialne procesy usługowe** tangible service processes
- **niematerialne procesy usługowe** intangible service processes

Produkty procesów wytwórczych i materialnych procesów usługowych są materialne, a po odbiorze stają się zasobami lub półproduktami materialnymi. Produkty procesów niematerialnych są niematerialne, a po odbiorze stają się zasobami niematerialnymi lub prawnymi.

Procesy biznesowe składają się z wielu różnorodnych czynności operacyjnych, nazywanych w standardzie ISA-95 „operacjami”. W modelu EntPC rozróżnia się sześć kategorii **czynności operacyjnych** $a \in Ao$:

- **wytwórcze czynności operacyjne** $a \in Aro \subset Ao$,
- **logistyczne czynności operacyjne** $a \in Alo \subset Ao$,
- **modyfikacyjne czynności operacyjne** $a \in Amo \subset Ao$,
- **czynności operacyjne kontroli jakości** $a \in Aqo \subset Ao$,
- **niematerialne usługowe czynności operacyjne** $a \in Anto \subset Ao$,
- **administracyjne czynności operacyjne** $a \in Aao \subset Ao$

$$Ao = Aro \cup Alo \cup Amo \cup Aqo \cup Anto \cup Aao,$$

przy czym operacyjne czynności logistyczne i modyfikacyjne oraz czynności kontroli jakości są materialnymi operacyjnymi czynnościami usługowymi. Cztery pierwsze z wyżej wymienionych kategorii czynności odpowiadają czterem typom operacji:

- **operacje produkcyjne** production operations
- **operacje przepływu i gromadzenia zapasów** inventory operations
- **operacje utrzymania ruchu** maintenance operations

- **produkty fizyczne** $q \in Q_{ph}$, pochodzące z procesów wytwórczych, modyfikacyjnych, logistycznych i kontroli jakości,
- **produkty wyposażenia** $q \in Q_e$, pochodzące z (przygotowawczych) procesów wytwórczych i modyfikacyjnych oraz
- **produkty ludzkie** $q \in Q_h$, szkolone i transportowane w procesach modyfikacyjnych i logistycznych.

Ostatnią kategorią **produktów**

$$q \in Q = Q_{ph} \cup Q_e \cup Q_h \cup Q_{nt},$$

są

- **produkty niematerialne** $q \in Q_{nt}$,

które można opisywać jak „produkty” zdefiniowane formalnie w języku ArchiMate jako kolekcje usług określonych przez kontrakty zawarte między dostawcami i klientami [3]. Kontrakty określają m.in. terminy istnienia produktów usługowych. W szczególności produkty te mogą przestać istnieć po wykonaniu usługi, np. po koncercie muzycznym. Innymi przykładami są produkty usług bankowych, ubezpieczeniowych, doradczych, kulturalnych, ochroniarskich itd., które po odbiorze są ewidencjonowane jako zasoby niematerialne, a także decyzje administracyjne, które dla klientów są zasobami prawnymi.

Procesy i czynności biznesowe są w języku ArchiMate [3] zaliczane do **rdzennych elementów zachowania** przedsiębiorstw, nazywanych w modelu EntPC **obiektami funkcjonalnymi**, natomiast **rdzenne elementy strukturalne** to w modelu EntPC **zasoby** $r \in R$ i **produkty** $q \in Q$ oraz zdefiniowane niżej **przedmioty dostaw** $q \in Q_{in}$, **półprodukty** $q \in Q_q$, **produkty czynności** $q \in Q_a$, **przedmioty czynności w toku** $o \in O_q$, a także **produkty transferowe** $q \in Q_{out}$ i **przedmioty dostaw zwrotnych** $q \in Q_{rin}$, łącznie nazywane **obiektami strukturalnymi** $o \in O$ (rys. 1)

$$o \in O = R \cup Q \cup Q_{in} \cup Q_q \cup Q_a \cup O_q \cup Q_{out} \cup Q_{rin}.$$

Przyjęto umownie, że produkty procesów są nazywane krótko „produktami”, przedmioty produkcji w toku są półproduktami $q \in Q_q$ i przedmiotami czynności w toku $o \in O_q$, produkty czynności $q \in Q_a$ zaliczają się do półproduktów $q \in Q_q$, przedmioty dostaw $q \in Q_{in}$ są dostarczane jako produkty transferowe systemów dostawczych, a następnie mogą się stać zasobami $r \in R$ procesów biznesowych, albo półproduktami $q \in Q_q$, produkty transferowe $q \in Q_{out}$ są udostępnione do odbioru przez odbiorcze systemy biznesowe $s \in S_{cb}$, albo przez konsumentów. **Produkty odebrane** $q \in Q_{inc}$ (rys. 2) mogą się stać **zasobami procesów odbiorczych** $r \in R_c$, albo **półproduktami procesów odbiorczych** $q \in Q_{qc}$.

Zasoby przedsiębiorstw i ich właściwości są bardzo różnorodne. Mimo to można wskazać stosunkowo niewielką liczbę kategorii zasobów o określonym typie sposobów opisu ich ilości i właściwości. W modelu EntPC są to (rys. 1)

- **zasoby materiałowe** $r \in R_m$,
- **zasoby fizyczne** $r \in R_{ph}$,
- **zasoby wyposażenia** $r \in R_e$,
- **zasoby ludzkie** $r \in R_h$,
- **zasoby niematerialne lub prawne** $r \in R_{nt}$,
- **zasoby finansowe** $r \in R_{fi}$,

$$R = Rm \cup Rph \cup Re \cup Rh \cup Rnt \cup Rfi.$$

Pierwsze cztery z sześciu wyżej wymienionych kategorii zasobów to zasoby zdefiniowane w standardzie ISA-95 [11, sect. 3.5.2 ... 3.5.5], przy czym wyposażenie (czyli jednostki biznesowe) jest tam omawiane jako „role-based equipment”. Standard ISA-95 dotyczy integracji zarządzania i sterowania w przedsiębiorstwach wytwórczych. W modelu EntPC podobny opis tych zasobów i ich atrybutów jest stosowany nie tylko do procesów wytwórczych, lecz także do materialnych procesów usługowych. Zasoby materiałowe i zasoby fizyczne powstają jako produkty fizyczne, zasoby wyposażenia i zasoby ludzkie jako produkty wyposażenia i produkty ludzkie, a zasoby niematerialne lub prawne jako produkty niematerialne. Zasoby finansowe są wykorzystywane do wymiany produktów i zasobów z innymi uczestnikami rynków, tak samo w przedsiębiorstwach wytwórczych i usługowych.

Zasoby wszystkich wyżej wymienionych kategorii mogą wystąpić w dowolnym przedsiębiorstwie wytwórczym lub usługowym. W modelu EntPC zasoby fizyczne oraz zasoby niematerialne lub prawne są **zasobami trwałymi** $r \in Rf$ (ang. *fixed assets*), natomiast zasoby wyposażenia $r \in Re$ i zasoby ludzkie $r \in Rh$ są **zasobami czynnymi** $r \in Rr$ (rys. 1), używanymi podczas wykonania procesów i czynności biznesowych.

$$Rf = Rph \cup Rnt, \quad Rr = Re \cup Rh.$$

Zasoby materiałowe, wraz z produktami, półproduktami, produktami czynności, przedmiotami czynności w toku, przedmiotami dostaw, produktami transferowymi i przedmiotami dostaw zwrotnych, są nazywane **obiektami bilansowymi** (ang. *inventory objects* [4]).

$$o \in On = Rm \cup Q \cup Qq \cup Qa \cup Oq \cup Qin \cup Qout \cup Qrin.$$

W języku ArchiMate [3] odpowiadają im „obiekty biznesowe” (ang. *business objects*), zaliczane do szerszej klasy „biernych elementów strukturalnych”. Zasoby materiałowe należą zarówno do zasobów, jak i do obiektów bilansowych. Stąd wniosek, że zasoby dzielą się ogólnie na materiałowe, czynne i trwałe, a zbiory zasobów czynnych i trwałych oraz obiektów bilansowych są rozłącznymi podzbiorami zbioru obiektów strukturalnych (rys. 1).

$$R = Rm \cup Rr \cup Rf, \quad O = Rr \cup Rf \cup On.$$

W końcowych chwilach wykonania czynności biznesowych $a \in Ab$ ich przedmioty czynności w toku $o \in Oq$ stają się produktami czynności $q \in Qa$, które są pobierane do czynności następnych $a \in Acb$, albo stają się półproduktami $q \in Qq$, a następnie produktami $q \in Q$ procesów biznesowych $p \in Pb$. Produkty z reguły stają się produktami transferowymi $q \in Qout$, które jako **produkty odebrane** $q \in Qinc$ w odbiorczych systemach biznesowych $s \in Scb$ stają się następnie zasobami $r \in Rc$, albo półproduktami procesów odbiorczych $q \in Qqc$ (rys. 1).

Pierwsze produkty czynności $q \in Qa$ procesów wytwórczych (rys. 1) powstają w pierwszych czynnościach wykonania danego procesu, po przetworzeniu zasobów materiałowych $r \in Rm$ lub półproduktów $q \in Qq$, dostarczonych uprzednio jako produkty transferowe systemów dostawczych $q \in Qin$. Produkty czynności i zasoby materiałowe, wraz z półproduktami i produktami są węzłami grafu struktury produktów (ang. *bill of material* [9]).

Wśród przedmiotów dostaw $q \in Qin$ na wejściach materialnych procesów usługowych wyróżniają się te, które po odbiorze nie stają się zasobami $r \in R$, lecz

półproduktami wejściowymi $q \in Qq$. W przypadku procesów logistycznych są one dostarczone w celu przechowania lub transportu, a w przypadku procesów kontroli jakości w celu testowania jakości. W przypadku procesów modyfikacyjnych półproduktami wejściowymi są przedmioty dostaw zwrotnych $q \in Qrin$, dostarczone przez odbiorców jako **przedmioty zwrotne** $q \in Qrc$ w celu zmian ich właściwości (rys. 1).

Produktami transferowymi $q \in Qout$ procesów modyfikacyjnych są np. urządzenia AGD przygotowane do odbioru po naprawach, maszyny po remoncie, absolwenci szkół po otrzymaniu dyplomów, pacjenci po leczeniu szpitalnym itp. W dwóch ostatnich przykładach produkty usługowe można nazwać „produktami ludzkimi” $q \in Qh$, przez analogię do pracowników przedsiębiorstw, którzy powszechnie są nazywani „zasobami ludzkimi”. Oczywistymi przykładami przedmiotów zwrotnych są też produkty procesów wytwórczych odrzucone przez odbiorców po kontroli jakości.

4. Konta biznesowe

Ilości obiektów bilansowych przepływających między czynnościami lub procesami biznesowymi i obciążenia zasobów czynnych przez czynności lub procesy biznesowe są zapisywane w odpowiednich miejscach pamięci komputerowych systemów zarządzania. W modelu EntPC miejsca te nazwano „kontami biznesowymi” ze względu na analogie z kontami systemów rachunkowości.

Dany obiekt strukturalny może być używany, zużywany, albo produkowany przez różne procesy $p \in Pb$ albo czynności biznesowe $a \in Ab$ (rys. 1). Obciążenie danego zasobu trwałego $r \in Rf$ lub czynnego $r \in Rr$ przez różne procesy biznesowe, jak również ilości danego obiektu bilansowego $o \in On$, zużywane albo produkowane przez różne procesy, są formalnie różnymi wielkościami, a ich wartości są zapisywane na różnych **kontach biznesowych**

$$m \in Mb = Mjb \cup Mnb.$$

Konta te dzielą się na (rys. 2)

- **czynne konta biznesowe** $m \in Mjb \supset Mrfb \cup Mrrb$,

w tym

- **konta biznesowe obciążeń zasobów trwałych** $m \in Mrfb$,
- **konta biznesowe obciążeń zasobów czynnych** $m \in Mrrb$,

oraz

- **bilansowe konta biznesowe** $m \in Mnb$.

Na kontach czynnych (zadaniowych) pamiętane są nie tylko obciążenia zasobów, wyrażone w maszynogodzinach albo roboczogodzinach, lecz także inne decyzje i informacje dotyczące wykonania procesów biznesowych (np. terminy zleceń i zadań). Łącznie,

- **konta biznesowe zasobów** $m \in Mrb = Mrmb \cup Mrfb \cup Mrrb$

to konta biznesowe zasobów trwałych i czynnych oraz materiałowych.

Bilansowe konta biznesowe

$$m \in Mnb \supset Mrmb \cup Moqb \cup Mqqb \cup Mqb \cup Min \cup Mout \cup Mqrin,$$

Rys. 2. Czynne i bilansowe konta biznesowe oraz konta brzegowe procesów

- **konta biznesowe zasobów materiałowych** $m \in Mrmb,$
- **konta biznesowe przedmiotów produkcji** $m \in Moqb,$
- **konta biznesowe półproduktów** $m \in Mqqb,$
- **konta biznesowe produktów procesów** $m \in Mqb,$

na których pamiętane są ilości i właściwości obiektów zużywanych lub produkowanych w procesach biznesowych, np. wielkości partii produktów, kolory poszczególnych egzemplarzy produktów itp., a także **konta brzegowe procesów biznesowych**:

- **konta biznesowe przedmiotów dostaw** $m \in Min,$
- **konta biznesowe produktów transferowych** $m \in Mout,$
- **konta biznesowe zwrotnych przedmiotów dostaw** $m \in Mqrin.$

Opisane w rozdziale 3 formalne przemiany obiektów bilansowych danego systemu biznesowego w inne obiekty bilansowe, albo w zasoby trwałe lub czynne, są reprezentowane przez odpowiednie zapisy na przedstawionych wyżej bilansowych i czynnych kontach biznesowych oraz na kontach brzegowych procesów biznesowych (rys. 2). W zbiorze **kont odbiorczych procesów biznesowych** $m \in Mcb \subset Mb$ odpowiadają im następujące konta brzegowe:

- **konta biznesowe zasobów procesów odbiorczych** $m \in Mrcb,$
- **konta biznesowe półproduktów procesów odbiorczych** $m \in Mqqcb,$
- **konta biznesowe produktów transferowych po odbiorze** $m \in Minc,$
- **konta biznesowe zwrotnych przedmiotów transferowych** $m \in Mqrcb,$

Podrzędne konta biznesowe

$$m \in Mab = Mjab \cup Mnab,$$

jako miejsca pamięci informacji i decyzji o czynnościach biznesowych (rys. 2), dzielą się na

- **podrzędne czynne konta biznesowe** $m \in Mjab \supset Mrfab \cup Mrrab,$
- **podrzędne bilansowe konta biznesowe** $m \in Mnab,$

$$Mnab \supset Mrmab \cup Moqab \cup Mqab,$$

na których pamiętane są informacje i decyzje o ilościach i właściwościach obiektów bilansowych zużywanych lub produkowanych w tych czynnościach. Do podrzędnych kont czynnych zaliczają się

- **podrzędne konta biznesowe obciążeń zasobów trwałych** $m \in Mrfab,$
- **podrzędne konta biznesowe obciążeń zasobów czynnych** $m \in Mrrab,$

na których zapisywane są informacje i decyzje o obciążeniach zasobów przez te czynności. Podrzednymi kontami bilansowymi są:

- **podrzędne konta biznesowe zasobów materiałowych** $m \in Mrmab,$
- **konta przedmiotów czynności w toku** $m \in Moqab,$
- **konta biznesowe produktów czynności** $m \in Mqab,$

Przy tym

- **podrzędne konta biznesowe zasobów** $m \in Mrab = Mrfab \cup Mrrab \cup Mrmab$ to konta obciążeń zasobów trwałych i czynnych oraz konta zasobów materiałowych.

Związkom agregacji między systemami biznesowymi i jednostkami biznesowymi oraz między procesami i czynnościami biznesowymi tego samego poziomu (rys. 1) odpowiadają związki agregacji między kontami biznesowymi $m \in Mb$ i podrzednymi

kontami biznesowymi $m \in Mab$, a także między odpowiednimi kontami czynnymi $m \in Mjb$ i $m \in Mjab$ oraz bilansowymi $m \in Mnb$ i $m \in Mnab$ (rys. 2).

Konta odbiorczych czynności biznesowych $m \in Macb \subset Mab$ są szczególnymi przypadkami odpowiednich podrzędnych kont biznesowych (rys. 2):

- **konta czynne odbiorczych czynności biznesowych** $m \in Mjacb \subset Mjab$,
 - **konta zasobów materiałowych odbior. czyn. biz.** $m \in Mrmacb \subset Mrmab$,
 - **konta przedmiotów odbiorczych czyn. biz. w toku** $m \in Moqacb \subset Moqab$,
- $$Macb \supset Mjacb \cup Mrmacb \cup Moqacb,$$

Ilości produktów procesów biznesowych $m \in Mqb$, udostępnione do odbioru przez różne procesy odbiorcze, są zapisane na kontach transferowych $m \in Mout$. Ilości produktów pobranych z tych kont są zapisywane na odpowiednich kontach produktów transferowych po odbiorze $m \in Minc$, a następnie są przekazywane na konta półproduktów procesów odbiorczych $m \in Mqqcb$, albo zasobów procesów odbiorczych $m \in Mrcb$ (rys. 2). Analogiczny przepływ produktów czynności biznesowych z kont $m \in Mqab$ na konta przedmiotów czynności odbiorczych w toku $m \in Moqacb$ jest prostszy, ponieważ odbywa się w tym samym systemie biznesowym. Pośredniczą w nim tylko

- **podrzędne biznesowe konta transferowe** $m \in Mqtr$.

Konta biznesowe $m \in Mb$ widoczne na diagramie z rysunku 2 reprezentują nie tylko konta procesów biznesowych $m \in Mpb$, lecz także konta grupowych procesów biznesowych $m \in Mgb$ (patrz rys. 3). Z drugiej strony, podrzędne konta biznesowe $m \in Me$ (rys. 3) to nie tylko konta czynności biznesowych $m \in Mab$, lecz także konta grupowych czynności biznesowych $m \in Mge$ (rozdz. 5).

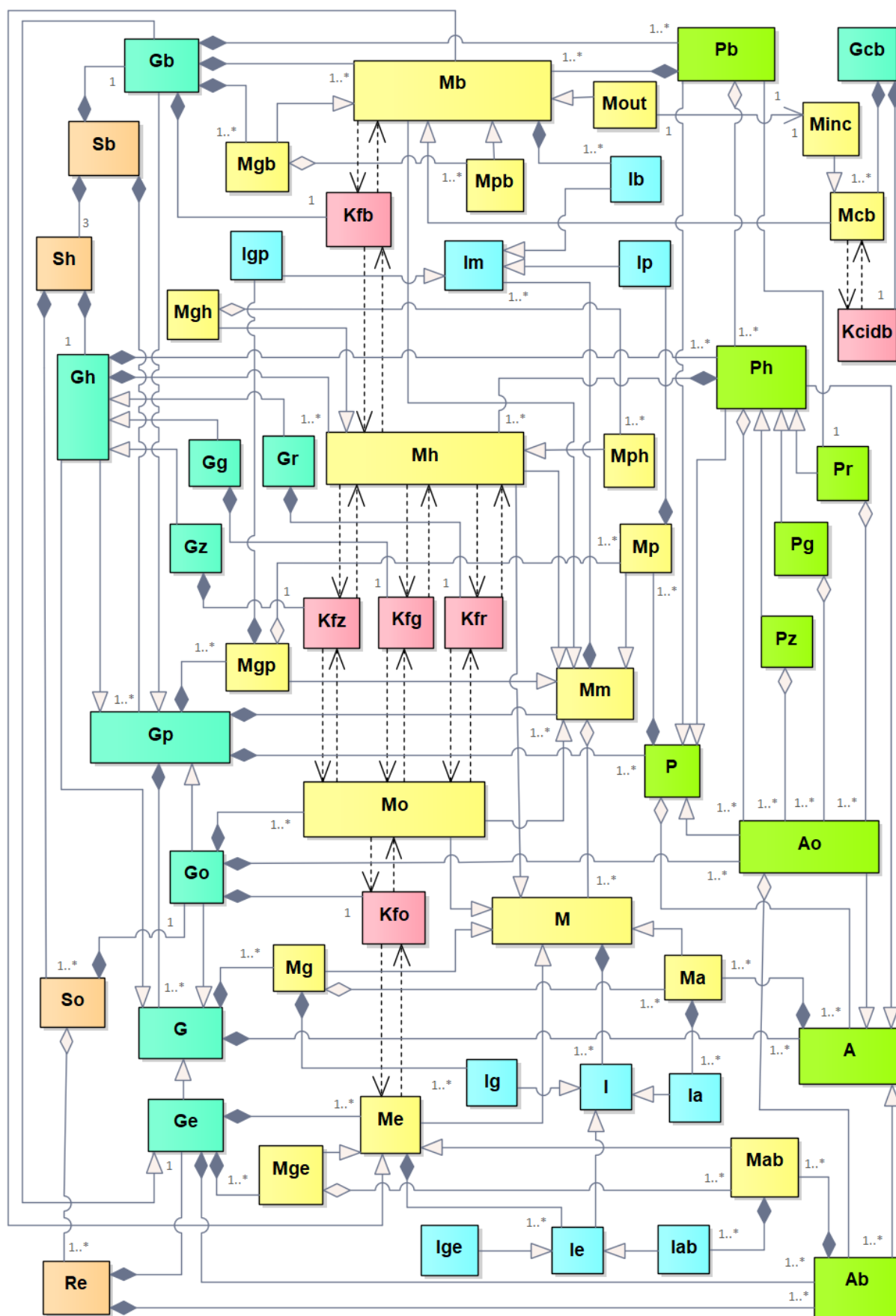
Na diagramie z rysunku 2 pominięto związki elementów systemu biznesowego z elementami dostawczych systemów biznesowych, gdyż związki te są takie same, jak związki między elementami systemu odbiorczego $s \in Scb$ i elementami danego systemu biznesowego $s \in Sb$, który dla systemu odbiorczego jest systemem dostawczym.

5. Obiekty funkcjonalne oraz ich konta i zmienne funkcjonalne

W języku ArchiMate zbiór procesów lub czynności biznesowych zgrupowanych na podstawie wybranego zestawu kryteriów, ściśle powiązanych z organizacją, nazywa się funkcją biznesową [3]. W modelu EntPC taka ogólnie określona grupa procesów lub czynności nazywa się „funkcją” tej organizacji, natomiast **funkcja biznesowa** $g \in Gb$ to grupa wszystkich procesów biznesowych $p \in Pb$ wykonywanych przez system biznesowy (rys. 3). Analogiczna grupa wszystkich czynności biznesowych $a \in Ab$, które mogą być wykonywane w jednostce biznesowej nazywana jest **podrzedną funkcją biznesową** $g \in Ge$, ponieważ jednostka biznesowa jest podrzednym systemem biznesowym, a czynność biznesowa jest podrzednym procesem biznesowym.

Przez analogię do funkcji biznesowych **funkcja operacyjna** $g \in Go$ jest definiowana jako grupa wszystkich **czynności operacyjnych** $a \in Ao$, wykonywanych przez segment operacyjny $s \in So$, natomiast **funkcja wykonawcza**

$$g \in Gh = Gz \cup Gg \cup Gr$$



Rys. 3. Jednostki sterujące w funkcjonalnych podsystemach sterowania

sektora wykonawczego $s \in Sh$ jest to grupa wszystkich procesów wykonawczych $p \in Ph$ wykonywanych w tym sektorze (rys. 3).

W modelu EntPC procesy biznesowe, wykonawcze i operacyjne są zaliczane do **procesów funkcjonalnych**

$$p \in P = Pb \cup Ph \cup Po,$$

a czynności wykonawcze, operacyjne i biznesowe do **czynności funkcjonalnych**

$$a \in A = Ah \cup Ao \cup Ab, \quad Ah = Ph, \quad Ao = Po.$$

Każdy proces funkcjonalny $p \in P$ może być zdefiniowany (analogicznie jak proces biznesowy) jako skończony, uporządkowany zbiór wspólnie sterowanych czynności funkcjonalnych $a \in A$ (rys. 3).

Funkcje biznesowe, wykonawcze i operacyjne zaliczają się do **funkcji procesowych**

$$g \in Gp = Gb \cup Gh \cup Go$$

a wykonawcze, operacyjne i podrzędne funkcje biznesowe do **funkcji czynnościowych**

$$g \in G = Gh \cup Go \cup Ge.$$

Procesy i czynności funkcjonalne oraz funkcje procesowe i czynnościowe zaliczają się do szerszej kategorii **obiektów funkcjonalnych**

$$o \in Of = P \cup Gp \cup A \cup G.$$

Procesy wykonawcze i funkcje wykonawcze zaliczają się nie tylko do procesów funkcjonalnych i funkcji procesowych, lecz także do czynności funkcjonalnych i funkcji czynnościowych, ponieważ procesy wykonawcze są czynnościami wykonawczymi procesów biznesowych. W bazowych systemach sterowania występują pojedyncze czynności bazowe $a \in Abb$ i pojedyncze procesy bazowe $p \in Pbb$, więc funkcje systemów bazowych nie są definiowane. Funkcje procesowe i czynnościowe, jako grupy współbieżnych i wspólnie zarządzanych procesów i czynności funkcjonalnych, są nazywane **grupowymi procesami funkcjonalnymi** $g \in Gp$ oraz **grupowymi czynnościami funkcjonalnymi** $g \in G$.

Każdy proces funkcjonalny jest procesem. Zgodnie z definicją słownikową **proces** jest to ciąg następujących po sobie i powiązanych przyczynowo działań i/lub zmian [8]. W procesach funkcjonalnych, a także w pozostałych obiektach funkcjonalnych, zmianom tym podlegają **zmienne funkcjonalne** $i \in I$ oraz **nadrzędne zmienne funkcjonalne** $i \in Im$ o wartościach v_i dla $i \in I \cup Im$, które formalnie reprezentują informacje i decyzje dotyczące bezpośrednio obiektów funkcjonalnych oraz obiektów strukturalnych używanych lub przetwarzanych przez obiekty funkcjonalne.

Celem działalności przedsiębiorstwa jest zaspokajanie zapotrzebowania klientów na określone produkty lub usługi o wymaganej jakości, w wymaganej ilości i w wymaganych terminach. Dlatego wśród zmiennych funkcjonalnych dla każdej kategorii obiektów funkcjonalnych mogą wystąpić

- **zmienne jakościowe**, np. długość, średnica, temperatura, kolor itp.,
- **zmienne ilościowe**, np. ilości i natężenia przepływu produktów, koszty produkcji określonych produktów itp.,
- **zmienne temporalne**, np. terminy zakończenia zadań biznesowych,
- **zmienne dyskretne**, np. identyfikator stanu zadania, które może być „zainicjowane”, „gotowe”, „pominięte”, „w toku”, albo „zakończone”

[12, fig. 3.9], identyfikator aktualnie wytwarzanego produktu, identyfikator wariantów gotowości elastycznego modułu produkcyjnego [13] itp.

Systemy EntPC można zaliczyć do hybrydowych systemów sterowania w czasie rzeczywistym, co oznacza, że decyzje o zmianach stanu dyskretnego obiektów funkcjonalnych mogą być podejmowane na bieżąco na podstawie informacji o ciągłych zmiennych stanu.

W modelu EntPC zmienne funkcjonalne i nadrzędne zmienne funkcjonalne, podobnie jak właściwości modeli obiektów w standardzie ISA-95 [11, fig. 1-9, 3-2], nie są modelowane jako atrybuty obiektów UML, lecz jako odrębne obiekty o własnych identyfikatorach $i \in I \cup Im$, powiązane z obiektami funkcjonalnymi związkami kompozycji (rys. 3):

$$o(i) \in Of, \text{ dla } i \in I \cup Im.$$

W związkach tych pośredniczą ich miejsca pamięci, nazywane odpowiednio

- **kontami funkcjonalnymi** $m(i) \in M$ lub
 - **nadrzędnymi kontami funkcjonalnymi** $m(i) \in Mm$
- $$m(i) \in M \cup Mm, \text{ dla } i \in I \cup Im, \quad o(m) \in Of, \text{ dla } m \in M \cup Mm.$$

Omawiane w rozdziale 4 klasy procesowych kont biznesowych $m \in Mpb$ i czynnościowych kont biznesowych $m \in Mab$ są odpowiednio podklasami klasy nadrzędnych kont funkcjonalnych $m \in Mm$ i klasy kont funkcjonalnych $m \in M$ (rys. 3).

Zmienne funkcjonalne i nadrzędne zmienne funkcjonalne, jako atrybuty obiektów funkcjonalnych, dzielą się na (rys. 3)

- **zmienne czynnościowe** $i \in Ia, \quad m(i) \in Ma, \quad a(i) \in A,$
 - **grupowe zmienne czynnościowe** $i \in Ig, \quad m(i) \in Mg, \quad g(i) \in G,$
 - **zmienne procesowe** $i \in Ip, \quad m(i) \in Mp,$
 - **grupowe zmienne procesowe** $i \in Igp, \quad m(i) \in Mgp,$
- $$i \in I = Ia \cup Ig, \quad i \in Im = Ip \cup Igp,$$

Analogicznie, konta funkcjonalne i nadrzędne konta funkcjonalne dzielą się na

- **konta czynnościowe** $m \in Ma, \quad a(m) \in A,$
 - **grupowe konta czynnościowe** $m \in Mg, \quad g(m) \in G,$
- i na
- **konta procesowe** $m \in Mp, \quad p(m) \in P,$
 - **grupowe konta procesowe** $m \in Mgp, \quad g(m) \in Gp,$
- $$m \in M = Ma \cup Mg, \quad m \in Mm = Mp \cup Mgp,$$

a dalej dzielą się na

- **konta biznesowe** $m \in Mb,$
 - **konta wykonawcze** $m \in Mh,$
 - **konta operacyjne** $m \in Mo,$
 - **podrzędne konta biznesowe** $m \in Me,$
- $$M = Mb \cup Mh \cup Mo \cup Me, \quad Mm = Mb \cup Mh \cup Mo,$$
- **procesowe konta biznesowe** $m \in Mpb,$
 - **procesowe konta wykonawcze** $m \in Mph,$
 - **procesowe konta operacyjne** $m \in Mpo,$

- **czynnościowe konta biznesowe** $m \in Mab,$
 $Mp = Mpb \cup Mph \cup Mpo,$ $Ma = Mph \cup Mpo \cup Mab,$
- **grupowe konta biznesowe** $m \in Mgb,$
- **grupowe konta wykonawcze** $m \in Mgh,$
- **grupowe konta operacyjne** $m \in Mgo,$
- **grupowe podrzędne konta biznesowe** $m \in Mge,$
 $Mgp = Mgb \cup Mgh \cup Mgo,$ $Mg = Mgh \cup Mgo \cup Mge,$

W warstwach wykonawczej i operacyjnej nie występują konta brzegowe. Struktura związków między pozostałymi kontami funkcjonalnymi w tych warstwach jest analogiczna do przedstawionej w rozdz. 4 struktury kont w warstwie biznesowej i w podrzędnej warstwie biznesowej. Przez analogię z kontami syntetycznymi w systemach rachunkowości grupowe konta biznesowe $m \in Mgb$ można nazwać **syntetycznymi kontami biznesowymi**.

Zmienne funkcjonalne można podzielić analogicznie na

- **zmienne biznesowe** $i \in Ib,$ $m(i) \in Mb,$
- **zmienne wykonawcze** $i \in Ih,$ $m(i) \in Mh,$
- **zmienne operacyjne** $i \in Io,$ $m(i) \in Mo,$
- **podrzędne zmienne biznesowe** $i \in Ie,$ $m(i) \in Me,$
 $Im = Ib \cup Ih \cup Io,$ $I = Ih \cup Io \cup Ie,$
- **procesowe zmienne biznesowe** $i \in Ipb,$ $m(i) \in Mpb,$
- **procesowe zmienne wykonawcze** $i \in Iph,$ $m(i) \in Mph,$
- **procesowe zmienne operacyjne** $i \in Ipo,$ $m(i) \in Mpo,$
- **czynnościowe zmienne biznesowe** $i \in Iab,$ $m(i) \in Mab,$
 $Ip = Ipb \cup Iph \cup Ipo,$ $Ia = Iph \cup Ipo \cup Iab,$
- **grupowe zmienne biznesowe** $i \in Igb,$ $m(i) \in Mgb,$
- **grupowe zmienne wykonawcze** $i \in Igh,$ $m(i) \in Mgh,$
- **grupowe zmienne operacyjne** $i \in Igo,$ $m(i) \in Mgo,$
- **grupowe podrzędne zmienne biznesowe** $i \in Ige,$ $m(i) \in Mge.$
 $Igp = Igb \cup Igh \cup Igo,$ $Ig = Igh \cup Igo \cup Ige,$

W tym podziale zmienne funkcjonalne są atrybutami procesów funkcjonalnych $p \in P$ i czynności funkcjonalnych $a \in A$ oraz funkcji procesowych $g \in Gp$ i funkcji czynnościowych $g \in G$ należących do poszczególnych **warstw funkcjonalnych**:

- warstwa biznesowa,
- warstwa wykonawcza,
- warstwa operacyjna,
- podrzędna warstwa biznesowa.

6. Funkcjonalne podsystemy sterowania

W modelu EntPC każda funkcja procesowa $g \in Gp$, jako grupa współbieżnych i wspólnie zarządzanych procesów funkcjonalnych może mieć swoją **funkcjonalną jednostkę sterującą** $k \in Kf$, oddziałującą na czynności funkcjonalne tych procesów.

Stąd wniosek, że w systemach biznesowych o strukturze przedstawionej na rysunku 3 funkcjonalne jednostki sterujące dzielą się na

- **biznesowe jednostki sterujące** $k \in Kfb$,
 - **zarządcze jednostki sterujące** $k \in Kfz$,
 - **przygotowawcze jednostki sterujące** $k \in Kfg$,
 - **produkcyjne jednostki sterujące** $k \in Kfr$,
 - **operacyjne jednostki sterujące** $k \in Kfo$,
- $$k \in Kf = Kfb \cup Kfz \cup Kfg \cup Kfr \cup Kfo.$$

Biznesowe jednostki sterujące $k \in Kfb$ oddziałują na procesy wykonawcze i funkcje wykonawcze poprzez ich konta $m \in Mh$. Wykonawcze jednostki sterujące (zarządcze $k \in Kfb$, przygotowawcze $k \in Kfb$ i produkcyjne $k \in Kfb$) oddziałują na odpowiednie czynności operacyjne poprzez ich konta $m \in Mo$. Operacyjne jednostki sterujące $k \in Kfo$ oddziałują na czynności biznesowe poprzez czynnościowe konta biznesowe $m \in Mab \subset Me$, należące do podrzędnych kont biznesowych $m \in Me$. Na diagramach klas systemów EntPC przepływ informacji i decyzji między jednostkami sterującymi i kontami funkcjonalnymi jest modelowany przez asocjacje danych z notacji BPMN (rys. 3).

Jeśli funkcja procesowa $g \in Gp$ posiada jednostkę sterującą $k \in Kf$, to odpowiada jej **funkcjonalny podsystem sterowania** $g \in Gf$, którego komponentem jest ta jednostka, a **funkcjonalnym obiektem sterowania** jest zbiór należących do niej funkcji czynnościowych $g \in G$ i czynności funkcjonalnych $a \in A$ należących do jej procesów. W domyślnej strukturze systemu biznesowego (rys. 3) podsystemy funkcjonalne dzielą się na

- **biznesowy podsystem funkcjonalny** $g \in Gfb$,
- **zarządczy podsystem funkcjonalny** $g \in Gfz$,
- **przygotowawczy podsystem funkcjonalny** $g \in Gfg$,
- **produkcyjny podsystem funkcjonalny** $g \in Gfr$,
- **operacyjne podsystemy funkcjonalne** $g \in Gfo$.

Formalnie, funkcjonalne podsystemy sterowania

$$g \in Gf = Gfb \cup Gfz \cup Gfg \cup Gfr \cup Gfo$$

mają związki kompozycji „1 do 1” ze swymi jednostkami sterującymi $k \in Kf$ oraz z funkcjami procesowymi $g \in Gp$ i odpowiednimi systemami biznesowymi $s \in Sb$, sektorami wykonawczymi $s \in Sh$ oraz segmentami operacyjnymi $s \in So$.

W hierarchii planowania i harmonogramowania w przedsiębiorstwach przyjętej w standardzie ISA-95 [11, fig. 2-4] zarządzanie biznesowe odpowiada harmonogramowaniu produkcji (ang. *production scheduling*), zarządzanie koordynacyjne czynnościami operacyjnymi – harmonogramowaniu szczegółowemu (ang. *detailed scheduling*), a zarządzanie dyspozytorskie czynnościami biznesowymi – zarządzaniu dyspozytorskiemu (ang. *dispatching*). W standardach ISA-95 i APICS warstwy te występują na określonych poziomach organizacyjnych. W modelu EntPC jest inaczej, ponieważ podsystemy każdej z wymienionych tu warstw zarządzania mogą wystąpić w systemach biznesowych każdego poziomu z wyjątkiem stanowisk roboczych, które nie mają sektorów wykonawczych i segmentów operacyjnych i dlatego czynności biznesowe są w nich sterowane bezpośrednio przez biznesowe jednostki sterujące.

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 1...4, 2010...2018.
3. ArchiMate 3.1 Specification, The Open Group 2019.
4. Blackstone J.H., Cox J.F.: APICS Dictionary. 11 Edition, 2005.
5. Bubnicki Z.: Modern Control Theory. Springer-Verlag, 2005.
6. Dietz J.L.G.: Enterprise Ontology – Theory and Methodology. Springer, 2006.
7. Eurostat Glossary, 2026, <http://ec.europa.eu/eurostat/>
8. Hornby A.S.: Oxford advanced learner's dictionary of current English". Oxford University Press, 1974.
9. Orlicky J.: Material Requirements Planning. Mc Graw-Hill, New York 1975
10. Reijers H.: Design and Control of Workflow Processes. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
11. Scholten B., Brandl D.: The road to integration. A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing. ISA Publ. 2023.
12. Weske M.: Business Process Management. Concepts, Languages, Architectures. Springer-Verlag 2019.
13. Zaborowski M.: The Follow-up Scheduling in a Production Control System. Proceedings of the 6th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Poznań 2001, p.158-163.
14. Zaborowski M.: Zarys metamodelu sterowania procesami w przedsiębiorstwach przemysłowych. W: Świerniak A., Krystek J. (red.) „Automatyzacja Procesów Dyskretnych”, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2022, str. 191-200. ISBN-978-83-7880-565-6