

Mirosław ZABOROWSKI
Akademia WSB w Dąbrowie Górniczej

METAMODEL SAMOSTERUJĄCYCH PROCESÓW PRZEDSIĘBIORSTWA

Streszczenie. W pracy przedstawiono definicję uogólnionych procesów biznesowych przedsiębiorstwa jako systemów sterowania uporządkowanymi zbiorami ich czynności. Wynikający z niej metamodel samosterujących procesów przedsiębiorstwa przedstawiono w formie algebraicznej, którą można wykorzystać do porównań ze znanym modelem procesów workflow (administracyjnych procesów biznesowych).

METAMODEL OF SELF-CONTROLLING ENTERPRISE PROCESSES

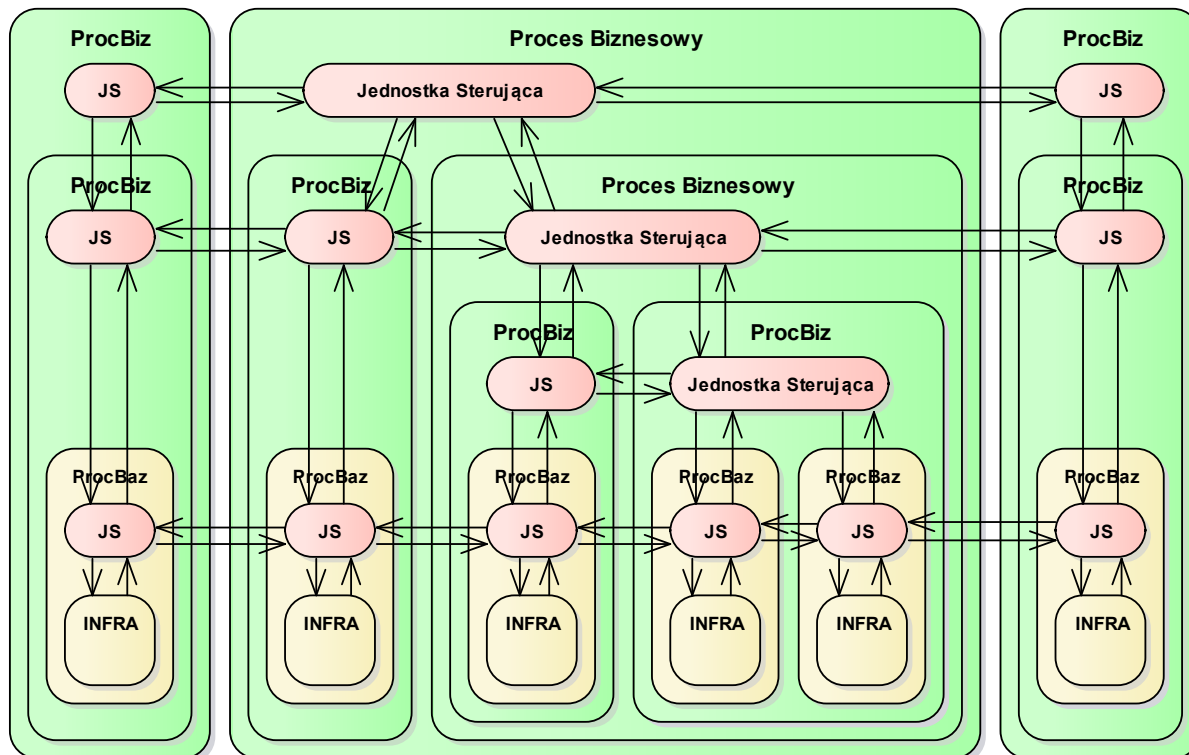
Summary. Generalized self-controlling enterprise business processes have been defined in the paper as control systems whose control plants are ordered sets of activities belonging to these processes. The metamodel of self-controlling enterprise processes that resulted from this definition has been presented in an algebraic form, which may be used for comparison with a well-known metamodel for workflows.

1. Wprowadzenie. Systemy sterowania procesami w przedsiębiorstwach

Z technicznego punktu widzenia wszelka działalność przedsiębiorstwa polega na wykonywaniu procesów biznesowych, a zarządzanie procesami biznesowymi obejmuje wszystkie obszary operacyjnego zarządzania przedsiębiorstwem odpowiadające modułom systemów ERP [4]. W przedsiębiorstwach wytwórczych, zgodnie ze standardem ISA-95 [8], systemy ERP działają na najwyższym poziomie organizacyjnym **systemów IMPC** (Integrated Management and Process Control), które zawierają ponadto systemy MES (wykonawcze systemy wytwórcze), systemy SCADA (sterowanie nadzorcze i akwizycja danych) i systemy PLC (sterowniki programowalne).

Zarządzanie, postrzegane jako celowe oddziaływanie na pracowników, jest szczególnym przypadkiem **sterowania**, rozumianego jako celowe oddziaływanie jednego obiektu, nazywanego jednostką sterującą, na drugi obiekt, nazywany obiektem sterowania [2]. W przypadku systemów ERP, MES i SCADA zarówno jednostki sterujące, jak i obiekty sterowania są systemami o złożonej strukturze wewnętrznej. Konkretnie systemy IMPC, o strukturze zgodnej z modelem referencyjnym opisywanym przez teorię EntPC (enterprise process control) [10], nazwano **systemami EntPC**. W systemach EntPC sterowanie jest zdecentralizowane w hierarchicznej

strukturze organizacyjnej, w której obiekty sterowania mogą być podrzędnymi systemami sterowania [6] i w wielostadialnej strukturze transakcji [3] między procesami dostawczymi i odbiorczymi (rys. 1) [14].



Rys. 1. Szkic sprzężeń między jednostkami sterującymi procesów przedsiębiorstwa

Ze względu na kategorię produktów procesy biznesowe w przedsiębiorstwach dzielą się na procesy wytwórcze, procesy usługowe i procesy workflow. **Procesy workflow** są to administracyjne procesy przetwarzania danych, występujące np. w bankach, w firmach ubezpieczeniowych, w agencjach państwowych, w urzędach itp. [7]. Procesami workflow są też wszelkie procesy zarządcze, występujące obok procesów produkcyjnych i przygotowawczych we wszystkich przedsiębiorstwach.

W teorii EntPC **proces biznesowy**, $p \in Pa$, jest definiowany jako system sterowania skończonym, uporządkowanym zbiorem czynności biznesowych, przetwarzających zasoby materialne i usługi na produkty w celu zaspokojenia potrzeb konsumentów, albo potrzeb innych procesów biznesowych, należących do przedsiębiorstwa lub do jego otoczenia. Produktami procesów biznesowych mogą być zasoby materialne i usługi, w tym usługi przetwarzania informacji. **Czynności biznesowe**, $a \in A$, są stadiami procesów biznesowych. W szczególnych przypadkach proces biznesowy ma tylko jedno stadium. Czynność biznesowa widziana od wewnątrz jest procesem biznesowym niższego poziomu, albo procesem bazowym, który nie ma czynności podrzędnych, $a \in A = Pa \cup Pb$. **Proces bazowy**, widziany z zewnątrz jako czynność bazowa, $p \in Pb$, jest systemem sterowania procesem infrastrukturalnym.

Proces biznesowy zdefiniowany jako system sterowania zbiorem swych czynności biznesowych można nazwać **samo sterującym procesem biznesowym**. Widziany z zewnątrz jest czynnością biznesową, w której ukryta jest jego jednostka sterująca. Bez jednostek sterujących procesów biznesowych wielopoziomowa

decentralizacja zarządzania (rys. 1) nie byłaby możliwa. Dlatego standardowe modele procesów biznesowych mogą być wykorzystywane tylko w systemach scentralizowanych, np. w systemach zarządzania obiegiem dokumentów.

Procesy biznesowe i czynności biznesowe są wykonywane odpowiednio przez **systemy biznesowe**, $s \in S$ i **jednostki biznesowe** $u \in U$. **Rola biznesowa**, $g \in G$, jednostki biznesowej jest to grupa wspólnie zarządzanych indywidualnych czynności biznesowych, wyodrębniona w tej jednostce według wymaganych kompetencji lub grup wymaganych zasobów. Systemy biznesowe są zarazem systemami sterowania procesami i sterowania jednostkami biznesowymi. Czynności biznesowe podlegają oddziaływaniom sterującym (zmiennym decyzyjnym) pochodzącym nie tylko od nadrzędnych procesów biznesowych, lecz także od jednostek biznesowych i ról biznesowych. Jednostki biznesowe i role biznesowe, jako grupy należących do nich czynności są zaliczane, wraz z czynnościami biznesowymi, do **uogólnionych czynności biznesowych**,

$$b \in B = A \cup U \cup G,$$

a systemy biznesowe i ich role, wraz z procesami biznesowymi i procesami bazowymi, są **uogólnionymi procesami biznesowymi**,

$$p \in P = Pa \cup Pb \cup S \cup Gs,$$

przy czym $P \subset B$, $Pa \subset A$, $Pb = Ab$, $S = U$, $Gs = G$.

2. Stan informacyjno-decyzyjny systemów sterujących w systemach IMPC

Systemy IMPC są wielopoziomowymi systemami sterowania w czasie dyskretnym. Oznacza to, że przetwarzanie informacji jest możliwe tylko w chwilach czasu dyskretnego, rozdzielonych przez okresy czasu dyskretnego, których długość zależy od poziomu organizacyjnego. Okresy czasu dyskretnego i ich chwile końcowe są identyfikowane przez pary

$$(l, t) \in LT \subset L \times T,$$

w których numery chwil czasu $t \in T$ przyjmują kolejne wartości całkowite, a numer skali czasu $l \in L$ jest numerem poziomu organizacyjnego. W podsystemach zarządzania okresy czasu dyskretnego są nazywane okresami planistycznymi.

Każdy system EntPC można sobie wyobrazić jako złożony system sterowania z jednym olbrzymim **systemem sterującym** i z jednym obiektem sterowania w formie zbioru **procesów infrastrukturalnych**, będących obiektami sterowania w bazowych systemach sterowania bezpośredniego na poziomie PLC. System sterujący jest wtedy postrzegany jako centralna jednostka sterująca całego systemu IMPC.

Systemy IMPC są systemami informatycznymi. Zatem przepływ informacji w systemie IMPC polega na zapisie danych do pamięci jego systemu sterującego i na ich odczycie w tej samej chwili czasu dyskretnego lub w jednej z chwil następných. **Stan informacyjno-decyzyjny systemu IMPC** w danej chwili czasu dyskretnego

$$x(l, t) = [v(l, t), u(l, t)], \quad dla (l, t) \in Tl, \quad (1)$$

jest wektorem wartości **sygnałów zmiennych stanu i-d**,

$$x_{ih}(l, t) \in \text{DOM}(i, h), \quad dla (i, h) \in Ix,$$

przypisanych nie tylko do chwil (l, t) , w których są równe wartościom sygnałów **zmiennych funkcjonalnych**,

$$y_i(l, t) = x_{i,0}(l, t) \in \text{DOM}(i) \quad \text{dla } i \in I,$$

lecz także do chwil $(l, t + h)$, przesuniętych w czasie, do przodu lub do tyłu, o określona liczbę h okresów czasu dyskretnego.

Stan i -d reprezentuje wszelkie bieżące i przeszłe informacje oraz wszelkie prognozy i decyzje dotyczące przyszłości, które są aktualnie zapisane w pamięci systemu sterującego w systemie IMPC i są potrzebne do wypracowania nowych decyzji. Są one wprowadzane z zewnątrz do systemu sterującego przez użytkowników tego systemu i przez urządzenia pomiarowe jako zewnętrzne zmienne wejściowe

$$\mathbf{u}(l, t) = \mathbf{f}^{ext}(l, t), \quad \text{dla } (l, t) \in Tl, \quad (2)$$

a wewnętrzne zmienne stanu i -d

$$\mathbf{v}(l, t + 1) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(l, t), \mathbf{u}(l, t + 1)) + \Delta \mathbf{x}(l, t + 1), \quad \text{dla } (l, t) \in Tl. \quad (3)$$

są obliczane w systemie sterującym w tej samej chwili, która jest też chwilą początkową następnego okresu czasu dyskretnego. Zmiennymi wejściowymi procedur wykonywanych w systemie sterującym są aktualne sygnały zmiennych stanu i -d, zewnętrznych i wewnętrznych, oraz sygnały zmiennych zewnętrznych dotyczące okresu następnego. Wektor $\Delta \mathbf{x}(l, t + 1)$ reprezentuje możliwość arbitralnej korekty wyników obliczeń przez uprawnionych pracowników przedsiębiorstwa, dysponujących odpowiednią wiedzą i doświadczeniem.

Ogólny model matematyczny systemów sterujących w systemach IMPC w formie równań różnicowych może ułatwić zastosowania teorii sterowania, np. metod badania stabilności i sterowalności, w systemach zarządzania. Jednak praktyczne wnioski z tego rodzaju analiz zawsze dotyczą wartości zmiennych funkcjonalnych należących do krotek atrybutów, $i^\times(o)$,

$$[y_i \in \text{DOM}(i) | i \in i^\times(o) \subset I] = \mathbf{y}_o \in \text{DOM}(i^\times(o)) \subseteq \prod_{i \in i^\times(o)} \text{DOM}(i), \quad \text{dla } o \in Of.$$

obiektów funkcjonalnych, $o \in Of$, zdefiniowanych w [11].

3. Metamodel uogólnionych samosterujących procesów biznesowych

Każda teoria opisująca strukturę i działanie wszelkich systemów IMPC powinna zawierać uniwersalny model związków pojęciowych między obiektami funkcjonalnymi należącymi do systemów sterowania procesami przedsiębiorstw oraz związków kompozycyjnych między obiektami funkcjonalnymi i ich atrybutami. Niżej przedstawiono metamodel systemów EntPC w zwartej formie algebraicznej, co ułatwia jego porównanie ze znanym metamodelu procesów workflow [5]. Szersze opisy pojęć należących do tego metamodelu zamieszczono we wcześniejszych publikacjach na temat aktualnej wersji teorii EntPC [9...15]. Metamodel języka EntPCL, przeznaczonego do modelowania samosterujących uogólnionych procesów biznesowych przedsiębiorstwa, jest tam przedstawiany w formie diagramów klas, wzorowanej na metamodelu znanego języka graficznego ArchiMate [1], który jest używany do modelowania architektury przedsiębiorstw.

Metamodelem systemów określonej kategorii jest model ogólny, którego instancje są modelami konkretnych systemów tej kategorii. **Metamodel uogólnionych samosterujących procesów biznesowych**, czyli metamodel systemów sterowania procesami przedsiębiorstwa (w wersji skróconej) jest to uporządkowana krotka:

$$EntPC = (A, U, G, B, M, R, Z, W, Q, b^{ym}, m^{ins}, m^{outs}, m^{prcs}, m^{ym}, \\ Mbp, Mbd, Mbc, Of, I, Ix, Ig, Kid, K, Kf, Jg, o^f, i^x, F, \Gamma)$$

w której:

- 1) $B = A \cup U \cup G$ jest zbiorem uogólnionych czynności biznesowych, czyli czynności biznesowych, $a \in A$, jednostek biznesowych, $u \in U$ i ról jednostek biznesowych, $g \in G$.
- 2) $Ob = B \cup M \cup R$ jest zbiorem obiektów biznesowych, czyli uogólnionych czynności biznesowych, $b \in B$, kont biznesowych, $m \in M$ i produktów biznesowych, $r \in R$.
- 3) $Oz = Z \cup W \cup Q$ jest zbiorem obiektów realizacyjnych, czyli zadań biznesowych, $z \in Z$, zapisów na kontach biznesowych, $w \in W$ i produktów zadań biznesowych, $q \in Q$.
- 4) M jest zbiorem kont biznesowych, $m \in M$, czyli miejsc informacji o czynnościach, jako ich konta wejściowe, wyjściowe i procesowe,

$$M = Min \cup Mout \cup Mprc$$

- 5) $b^{ym}: M \rightarrow B$ jest przyporządkowaniem kont biznesowych do czynności.
- 6) $m^{ins}: B \rightarrow M, m^{outs}: B \rightarrow M, m^{prcs}: B \rightarrow M$

są odwzorowaniami zbioru uogólnionych czynności biznesowych

- w zbiór wejściowych kont syntetycznych, $m^{ins}(B) = Mins \subset Min \subset M$,
- w zbiór wyjściowych kont syntetycznych, $m^{outs}(B) = Mouts \subset Mout \subset M$,
- w zbiór procesowych kont syntetycznych, $m^{prcs}(B) = Mprcs \subset Mprc \subset M$.

Wejściowe i wyjściowe oraz procesowe konta syntetyczne danej czynności są odpowiednio miejscami informacji i decyzji o jej produktach wejściowych i wyjściowych oraz decyzji pochodzących od jednostek sterujących procesów nadrzędnych i informacji dla nich przeznaczonych.

- 7) $m^{ym}: Msub \rightarrow M$ jest przyporządkowaniem subkont do kont biznesowych,

$m^{ym}(Msub) \subset M$. Subkonta też są kontami biznesowymi, $Msub \subset M$. Wśród subkont wyróżniamy

- subkonta podprocesowe, $Mbp \subset Mprc \subset M, Mbp \subset Msub \subset M$,
- subkonta kooperacyjne, $Mbd \subset Min \subset M, Mbd \subset Msub \subset M$,
- subkonta transferowe, $Mbc \subset Mout \subset M, Mbc \subset Msub \subset M$.

Subkonto podprocesowe konta procesowego danej czynności jest miejscem decyzji pochodzących od jednostki sterującej określonego procesu nadrzędnego i miejscem

informacji dla niej przeznaczonych. Subkonto kooperacyjne konta wejściowego danej czynności jest miejscem informacji i decyzji o produktach pochodzących od określonej czynności dostawczej. Subkonto transferowe konta wyjściowego danej czynności jest miejscem informacji i decyzji o produktach przeznaczonych dla określonej czynności odbiorczej.

8) $Of = Ob \cup Oz$ jest zbiorem obiektów funkcjonalnych, czyli obiektów biznesowych i realizacyjnych.

9) $I = Ii \cup Id$ jest zbiorem zmiennych funkcjonalnych, czyli zmiennych decyzyjnych, $i \in Id$ i informacyjnych, $i \in Ii$.

10) $Ix \subset I \times H$ jest zbiorem zmiennych stanu i-d, przy czym $h \in H$ jest przesunięciem zmiennej na osi czasu dyskretnego.

11) $Ig \subset I$ jest zbiorem funkcjonalnych zmiennych dozoru. Są to zmienne binarne, których zero-jedynkowe wartości

$$y_i \in \{0,1\} \quad \text{dla } i \in Ig \subset I,$$

reprezentują stan warunków zmian statusu zadań biznesowych, w szczególności warunków ich startu i zakończenia.

12) Kid jest zbiorem agentów sterowania, służących do przetwarzania zmiennych dozoru i zmiennych stanu i-d,

13) $K = Ki \cup Kd \subset Kid$, tranzycje biznesowe, czyli elementarne agenty sterowania, w tym tranzycje informacyjne, $k \in Ki$ i tranzycje decyzyjne, $k \in Kd$.

14) $Kf = Kfi \cup Kfd \subset Kid$ jednostki funkcjonalne, czyli jednostki informacyjne i decyzyjne w jednostkach sterujących uogólnionych procesów biznesowych,

15) Jg jest zbiorem zmiennych dozoru tranzycji. Są to zmienne binarne, których zero-jedynkowe wartości

$$y_j \in \{0,1\} \quad \text{dla } j \in Jg,$$

reprezentują stan aktywności procedur tranzycji biznesowych.

16) $o^f: I \rightarrow Of$ jest przyporządkowaniem obiektów funkcjonalnych do zmiennych funkcjonalnych, które są ich atrybutami.

17) $i^\times: Of \rightarrow \wp(I)$ jest odwzorowaniem zbioru obiektów funkcjonalnych w zbiór wektorów ich atrybutów, czyli w zbiór krotek

$$i^\times(o) = \{i \in I \mid o^f(i) \in Of\} \subset I, \quad \text{dla } o \in Of,$$

należących do zbioru potęgowego zbioru zmiennych funkcjonalnych.

18) $F: B \rightarrow \{F(b) \mid b \in B\}$ jest odwzorowaniem zbioru uogólnionych czynności biznesowych w zbiór modeli matematycznych związków przyczynowo-skutkowych między atrybutami ich produktów wejściowych i wyjściowych:

$$F(b): \text{DOM}(i^\times(m^{\text{ins}}(b))) \rightarrow \text{DOM}(i^\times(m^{\text{outs}}(b)))$$

- 19) $\Gamma : B \rightarrow \{\Gamma(b) | b \in B\}$ jest odwzorowaniem zbioru czynności uogólnionych w zbiór związków przyczynowo-skutkowych między atrybutami ich produktów wejściowych i wyjściowych:

$$\Gamma(b) : i^{\times}(m^{ins}(b)) \rightarrow i^{\times}(m^{outs}(b)),$$

4. Metamodel procesów workflow

W monografii Leymanna i Rollera [5] matematyczną reprezentacją metamodelu procesów workflow jest graf modelu procesu przedstawiony w formie 12-elementowej krotki, na której wzorowano formę przedstawioną wyżej skróconej wersji metamodelu uogólnionych samosterujących procesów biznesowych. Porównując oba metamodely można udowodnić, że pierwszy jest szczególnym przypadkiem drugiego. Przy tym

- Elementy danych przetwarzanych w systemach zarządzania procesami workflow należą do zmiennych funkcjonalnych przetwarzanych w systemach zarządzania wytwórczymi, usługowymi i administracyjnymi procesami biznesowymi, a procesy administracyjne są szczególnymi przypadkami uogólnionych samosterujących procesów biznesowych.
- Czynności w procesach workflow należą do uogólnionych czynności biznesowych.
- Warunkom przejścia, warunkom złączenia i warunkom wyjścia, używanym do zarządzania kolejnością wykonań czynności w procesach workflow, odpowiadają tranzycje dozoru, których procedury przetwarzają zmienne funkcjonalne, w tym zmienne dozoru, na wyjściowe zmienne dozoru, których zero-jedynkowe wartości reprezentują stan spełnienia tych warunków.
- Standardowe systemy zarządzania procesami workflow nie działają w trakcie realizacji poszczególnych zadań (wykonań czynności).

5. Wnioski

W pracy przedstawiono metamodel algebraiczny samosterujących uogólnionych procesów biznesowych przedsiębiorstwa, który łączy w czasie rzeczywistym przetwarzanie zero-jedynkowych zmiennych dozoru w systemach sterowania uruchamianiem i kończeniem wykonań czynności biznesowych z przetwarzaniem innych zmiennych stanu informacyjno-decyzyjnego w systemach sterowania przebiegiem realizacji tych wykonań. Ten metamodel porównano ze znanym metamodelu procesów workflow, czyli administracyjnych procesów przetwarzania danych. Procesy workflow są szczególnym przypadkiem samosterujących procesów przedsiębiorstwa, a systemy EntPC, czyli systemy sterowania wytwórczymi, usługowymi i administracyjnymi procesami przedsiębiorstw służą nie tylko do sterowania kolejnością wykonań ich czynności, lecz także do sterowania wszystkimi zmiennymi stanu informacyjno-decyzyjnego tych procesów w trakcie realizacji tych czynności.

Metamodel samosterujących procesów przedsiębiorstwa wzorowano z jednej strony na metamodelu procesów workflow [5], a z drugiej strony na różnicowych równaniach stanu dyskretnych układów sterowania [2]. Dzięki temu teoria EntPC

może być bardziej pomocna w przenoszeniu wyników klasycznej teorii sterowania na systemy zarządzania.

LITERATURA

1. ArchiMate 2.0 Specification, The Open Group 2012.
2. Bubnicki Z.: Modern Control Theory. Springer-Verlag, 2005.
3. Dietz J. L. G.: Enterprise Ontology. Theory and Methodology. Berlin, Springer-Verlag, 2006.
4. Langenwalter G.A.: Enterprise Resources Planning and Beyond. Integrating Your Entire Organization. The St. Lucie Press, 2000.
5. Leymann F., Roller D.: Production workflow. Concepts and technics. Prentice-Hall, Inc., New Jersey 2000.
6. Mesarović M. D., D. Macko, and Y. Takahara: Theory of Hierarchical Multilevel Systems. New York: Academic Press, 1970.
7. Reijers H., Design and Control of Workflow Processes. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
8. Scholten B.: The road to integration. A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing. ISA Publ. 2007.
9. Zaborowski M.: Tabular Models of Business Process Structures. Chapter 23 in Rostański M., Pikiewicz P., Buchwald P. (eds.) „Internet in the Information Society 2015”, Publ. University of Dąbrowa Górnicza, 2015, pp. 281-298.
10. Zaborowski M.: Wstęp do teorii sterowania procesami w przedsiębiorstwach. Wyd. WSB, Dąbrowa Górnicza 2016, ISBN 978-83-64927-94-2, stron 142.
11. Zaborowski M.: Obiekty realizacyjne w systemach sterowania procesami przedsiębiorstw. W: Świerniak A. (red.), Krystek J. (red.) „Automatyzacja Procesów Dyskretnych”, Wyd. Pracowni Komputerowej J. Skalmierskiego, Gliwice 2016, str. 295-304.
12. Zaborowski M.: Generalization and Composition Relationships between Objects of Enterprise Process Control Systems. Chapter 28 in Rostański M., Pikiewicz P., Buchwald P., Mączka K. (eds.) Proceedings of the 11th Scientific Conference „Internet in the Information Society 2016”, Publ. University of Dąbrowa Górnicza, 2016, pp. 405-418.
13. Zaborowski M.: Model ontologiczny systemów sterowania procesami w przedsiębiorstwach. *Studia Informatica*. Vol 38, No 4 (2017), pp. 57-68.
14. Zaborowski M.: Model referencyjny zarządzania procesami biznesowymi w przedsiębiorstwach. Rozdz. 1 w Kosieradzka A., Rojek D. (red.) „Współczesne kontynuacje dorobku Karola Adamieckiego”, wyd. Wydział Zarządzania Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018, str. 13-39.
15. Zaborowski M.: Data processing in self-controlling enterprise processes. *Bulletin of the Polish Academy of Science, Technical Sciences*, vol. XX, no Y, 2018 (preprint).