

STRUKTURA SYSTEMÓW STEROWANIA ZASOBAMI PRZEDSIĘBIORSTWA

Mirosław ZABOROWSKI

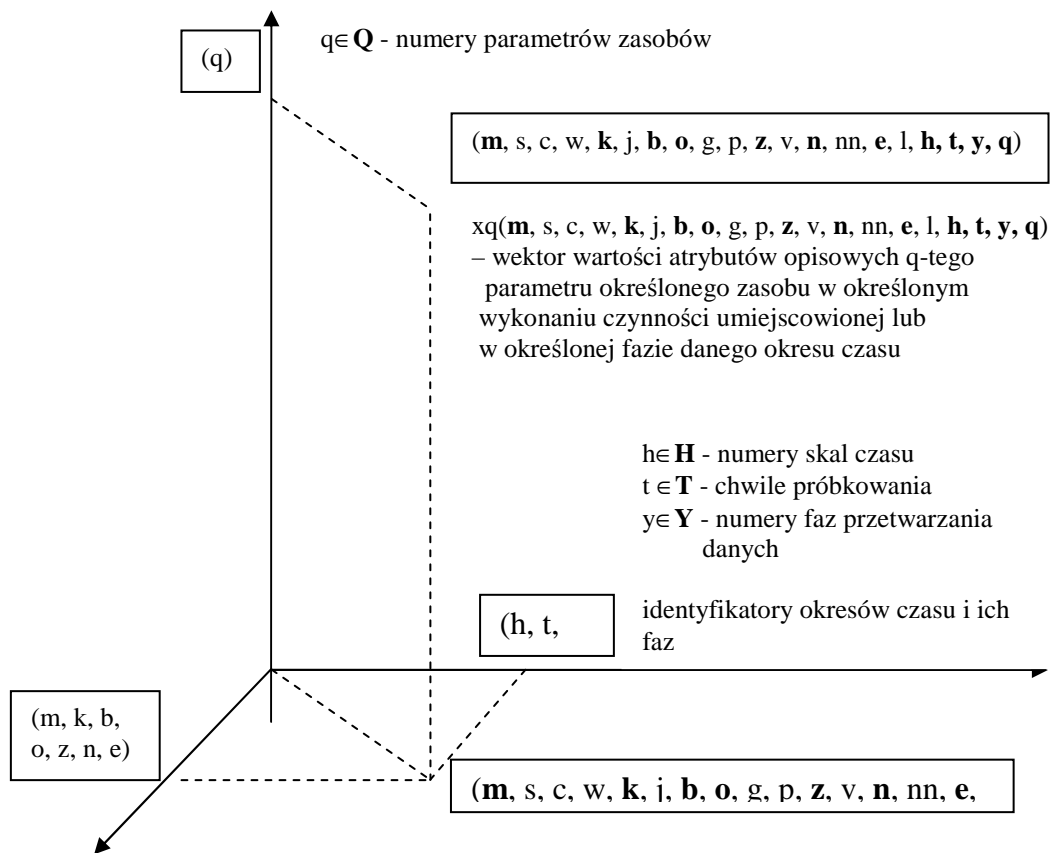
Streszczenie: Informacje opisujące strukturę organizacyjną i funkcjonalną systemów sterowania zasobami przedsiębiorstwa (ERC) oraz strukturę i wartości jego danych można zapisać w relacyjnej bazie danych tego systemu. Atrybuty kluczowe wszystkich tabel bazy danych dowolnego systemu ERC należą do znanego zbioru 20 atrybutów strukturalnych. Typowy system ERC ma cztery poziomy organizacyjne: naczelny system organizacyjny, zakład, komórka organizacyjna i stanowisko robocze. Na każdym poziomie, z wyjątkiem najniższego, występują warstwy zarządzania koordynacyjnego, restrukturyzacyjnego i alokacyjnego oraz harmonogramowania, składające się z jednostek tranzycyjnych, które przetwarzają dane z sąsiednich warstw miejsc informacji.

Słowa kluczowe: zintegrowane systemy zarządzania, modele referencyjne, bazy danych, hierarchiczne systemy sterowania, kolorowane sieci Petriego.

1. Struktura danych

Systemy sterowania zasobami w przedsiębiorstwach (ERC, Enterprise Resource Control) są zintegrowanymi systemami zarządzania i sterowania o uniwersalnej strukturze organizacyjnej, funkcjonalnej i informacyjnej. Struktura danych w tych systemach jest taka, jak w relacyjnych bazach danych [6]. Zapis danych w tabelach lub w pojedynczych rekordach jest w praktyce bardzo rozpowszechniony. Dotyczy to nie tylko relacyjnych baz danych, stosowanych w większości informatycznych systemów zarządzania, lecz również baz danych podsystemów niższych poziomów, a także pamięci w urządzeniach technicznych sterowania bezpośredniego. Te tabele bazy danych systemu ERC, które jako zbiory krotek nie są podklasami innych tabel, nazywamy **rodzajami informacji administracyjnych**. Inaczej mówiąc, wszystkie informacje przetwarzane w danym systemie ERC są pamiętane w tabelach rodzajów informacji lub w ich podklasach. Wiersze w tabelach rodzajów informacji nazywamy **elementami informacji**. Związki między rodzajami informacji i ich podklasami modelujemy za pomocą diagramów E-R [2].

W aktualnym stanie rozwoju teorii ERC, której wstępną wersję przedstawiono w [6], można pokazać, że tabel rodzajów informacji administracyjnych jest 130. Ich struktura jest znana i jednakowa w każdym systemie ERC. Atrybuty kluczowe każdej z tych tabel należą do niewielkiego zbioru 20 **atrybutów strukturalnych** (rys. 1). Jednym z tych atrybutów jest czas, a pozostałe to liczby całkowite. Wśród zbiorów ich wartości wyróżniamy 11 **wymiarów bazy danych**, czyli takich zbiorów wartości atrybutów, których podzbiórami są zbiory wartości pozostałych 9 atrybutów strukturalnych, a także zbiory wartości atrybutów kluczowych wszystkich innych podklas rodzajów informacji. Wymiarami baz danych systemów ERC są zbiory następujących atrybutów kluczowych rodzajów informacji:



identyfikatory informacji o bytach czynnych i biernych

- $m \in \mathbf{M}$ numery szeroko pojętych miejsc informacji (w tym informacji o systemach organizacyjnych)
- $k \in \mathbf{K}$ numery szeroko pojętych tranzycji w określonym systemie organizacyjnym
- $b \in \mathbf{B}$ numery bazowych układów sterowania w określonych systemach elementarnych
- $o \in \mathbf{O}$ numery rodzajów szeroko pojętych czynności
- $z \in \mathbf{Z}$ numery rodzajów zasobów uogólnionych (szeroko pojętych zasobów i informacji)
- $n \in \mathbf{N}$ numery szeroko pojętych wykonań określonych czynności umiejscowionych
- $e \in \mathbf{E}$ numery egzemplarzy lub partii określonych zasobów uogólnionych

Rys.1. Poglądowy diagram struktury kostki danych w szkieletowym systemie ERC

- m numer szeroko rozumianych miejsc informacji, $m \in \mathbf{M}$,
- z numer rodzajów zasobów uogólnionych, obejmujących zarówno zasoby, jak i informacje administracyjne, $z \in \mathbf{Z} = \mathbf{R} \cup \mathbf{I}$,
- e numer egzemplarzy i partii zasobów uogólnionych danego rodzaju, $e \in \mathbf{E}$,
(z, e) \in EZ \subset Z \times E,
- q numer parametrów zasobów, $q \in \mathbf{Q}$,

- o numer szeroko rozumianych rodzajów czynności, $o \in \mathbf{O}$,
- k numer szeroko rozumianych tranzycji w danym systemie organizacyjnym, $k \in \mathbf{K}$,
 $(s, k) \in TR \subset S \times K$,
- b numer bazowych układów sterowania w danym systemie elementarnym, $b \in \mathbf{B}$,
 $(s, b) \in SB \subset S \times B$,
- n numer szeroko rozumianych wykonań czynności umiejscowionych, $n \in \mathbf{N}$,
przykład: zlecenie produkcyjne $(s, o, n) \in S \times O \times N$,
- h numer skal czasu i poziomów organizacyjnych, $h \in \mathbf{H}$,
- t chwile początkowe okresów próbkowania w danej skali czasu, $t \in \mathbf{T}$, $(h, t) \in HT \subset H \times T$,
- y numer faz przetwarzania danych w danej skali czasu, $y \in \mathbf{Y}$, $(h, y) \in HY \subset H \times Y$,

Pozostałe atrybuty strukturalne to

- s numer systemów i podsystemów organizacyjnych i roboczych, $s \in \mathbf{S}$, $S = S(\mathbf{MS})$,
 $\mathbf{MS} \subset \mathbf{M}$, który jest funkcją numeru „m” miejsc informacji z ich określonego podzbioru, oraz numery bytów zagregowanych, do których należą inne byty indeksowane przez atrybuty należące do tych samych wymiarów:
- c numer kont agregacji miejsc informacji, $c \in C \subset M$,
- v numer kategorii zasobów, $v \in V \subset R \subset Z$,
- l numer partii zasobów, $l \in L \subset E$,
- g numer grup czynności, $g \in G \subset O$,
- p numer rodzajów procesów, czyli rodzajów czynności nadrzędnych, $p \in P \subset O$,
- j numer jednostek tranzycyjnych w danym systemie organizacyjnym, $j \in J \subset K$,
 $(s, j) \in TJ \subset S \times J$, $TJ \subset TR$,
- w numer systemów i podsystemów roboczych, $w \in W \subset S$,
- nn numer zleceń zagregowanych, $nn \in NN \subset N$, grupujących podzlecenia „n” utworzone z rozmaitych powodów, w tym zlecenia wykonania czynności należących do tego samego procesu albo do tej samej grupy.

Do atrybutów kluczowych innych ważnych podklas wymiarów bazy danych ERC należą

- a numer rodzajów czynności elementarnych, $a \in A \subset O$,
- f numer procedur w bibliotece funkcji systemu ERC, $f \in F \subset O$,
- d numer elementów informacji danego rodzaju, $d \in D \subset E$,
 $(i, d) \in DI \subset I \times D$, $DI \subset EZ$
- s numer podsystemów organizacyjnych,
 $s \in SS \subset S$,
- sn numer nadrzędnych systemów organizacyjnych $sn(s)$, $sn \in SN(SS) \cup SE \subset S$,
- se numer elementarnych systemów organizacyjnych, $se \in SE \subset SN \subset S$,
- u numer transakcji, czyli wykonań określonych tranzycji, $u \in U \subset N$,
 $(s, k, u) \in TPU \subset TP \times U$,

oraz zbiory numerów rodzajów czynności i zasobów uogólnionych następujących kategorii:

- i numer rodzajów informacji administracyjnych, $i \in I \subset Z$,
- r numer rodzajów szeroko rozumianych zasobów, $r \in R \subset Z$,
- rc numer rodzajów zasobów nieodnawialnych,
 $rc \in RC \subset R$,

rr	numer rodzajów zasobów odnawialnych, $rr \in RR \subset R$,
rf	numer rodzajów zasobów finansowych (w tym walut), $rf \in RF \subset R$,
ri	numer rodzajów zasobów informacyjnych, $ri \in RI \subset R$,
ra	numer rodzajów zasobów administracyjnych, $ra \in RA \subset R$, $RA \subset I$,
os	numer rodzajów czynności systemowych, $os \in OS \subset O$,
op	numer rodzajów czynności produkcyjnych, $op \in OP \subset OS \subset O$,
oh	numer rodzajów czynności przygotowawczych, $oh \in OG \subset OS \subset O$,
oa	numer rodzajów czynności administracyjnych, $oa \in OA \subset OS \subset O$.

2. Struktura organizacyjna

Proces umiejscowiony $(sn, p) \in SNP \subset SN \times P$ w systemie organizacyjnym $sn \in SN$ jest uporządkowanym zbiorem **czynności umiejscowionych** $(s, o) \in SO \subset SS \times O$ w jego podsystemach $s \in SS$ oraz rozdzielających je **zasobów umiejscowionych** $(m, r) \in RMB \subset MRB \times O$ w **miejscach bazowych** $m \in MRB \subset M$. **Zasoby** $r \in R = RC \cup RR \cup RF \cup RI \cup RA$ dzielą się na nieodnawialne (czyli produkty materialne), odnawialne, finansowe, informacyjne (dane przetwarzane na potrzeby klientów) i administracyjne. **Czynności systemowe**, jako podprocesy, dzielą się na produkcyjne, przygotowawcze i administracyjne, ale do ich zbioru, jako podklasy zbioru czynności, należą również grupy czynności: $o \in OS = OP \cup OH \cup OA \cup G$. Do szeroko rozumianych **czynności** należą też czynności elementarne i procedury tranzycyjne: $o \in O = OS \cup A \cup F$.

System organizacyjny $sn \in SN$ jest to część systemu ERC przeznaczona do wykonywania określonego zbioru procesów $p \in P$. Analogicznie, każdy z **podsystemów organizacyjnych** $s \in SS$ danego systemu jest przeznaczony do wykonywania określonego zbioru czynności $o \in O$ należących do procesów tego systemu. **Poziomem organizacyjnym** nazywamy zbiór systemów organizacyjnych z tego samego poziomu w drzewie hierarchii organizacyjnej przedsiębiorstwa. W typowym przypadku system ERC ma cztery poziomy:

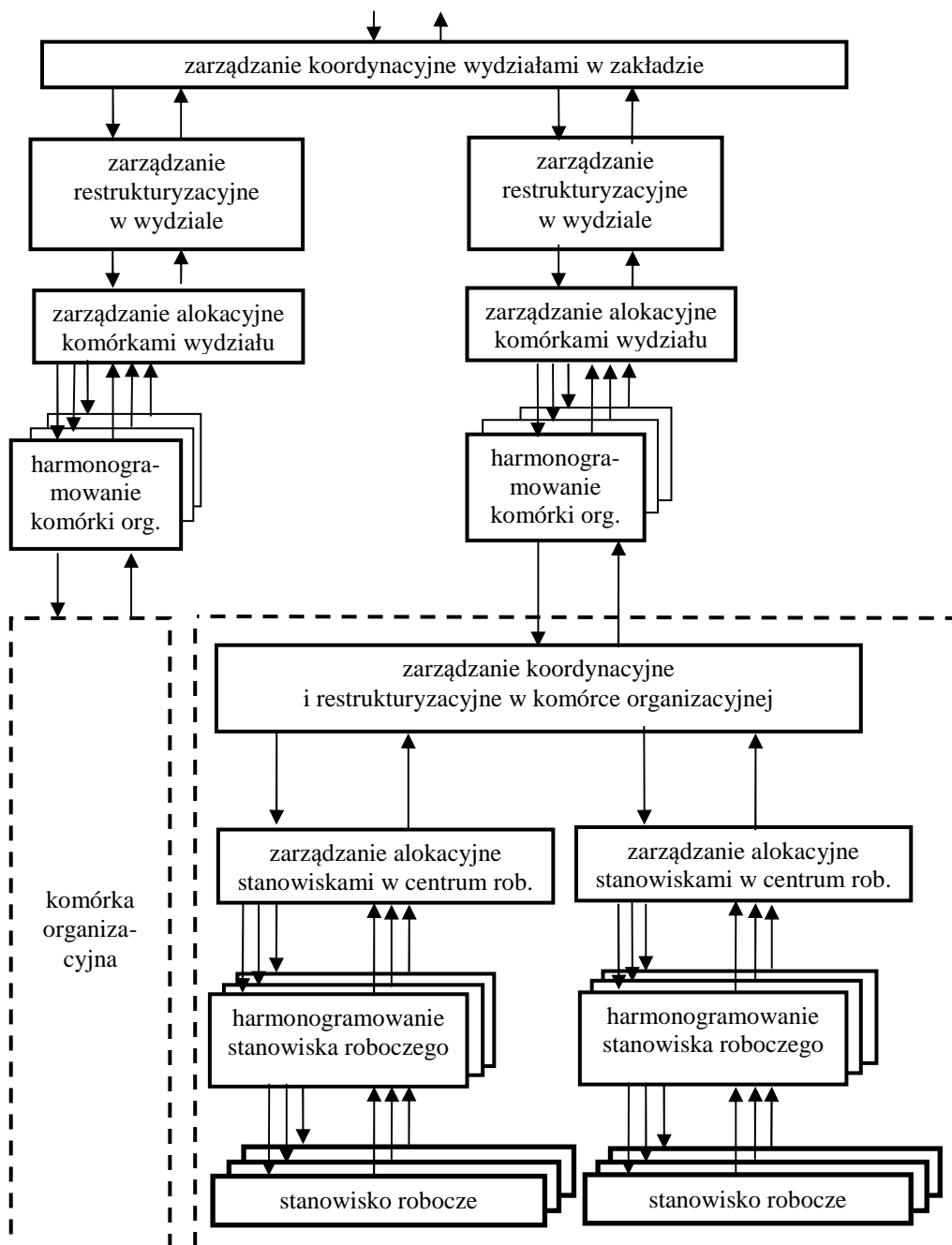
- h=4 naczelnny system organizacyjny,
- h=3 zakłady produkcyjne (rys. 2),
- h=2 komórki organizacyjne (rys. 2),
- h=1 stanowiska robocze, czyli systemy elementarne, które nie mają swoich podsystemów organizacyjnych.

Niekiedy podsystemy danego systemu organizacyjnego należą do poziomu organizacyjnego niższego, niż bezpośrednio niższy. Np. zakład produkcyjny (h = 3) może dzielić się nie na komórki organizacyjne (h = 2), lecz na stanowiska robocze (h=1).

Obok podsystemów organizacyjnych $s \in SS \subset S$ w systemach organizacyjnych istnieją **podsystemy robocze** $w \in W \subset S$. Są to układy równoległych podsystemów organizacyjnych

o produktach brzegowych ulokowanych we wspólnych zbiorach miejsc wejściowych i wyjściowych. Poziomy organizacyjne podsystemów roboczych nie są wyższe, ale takie same, jak ich składowych podsystemów organizacyjnych. W typowym systemie ERC są to:

- h=3 firma, składająca się z jednego lub wielu zakładów produkcyjnych,
- h=2 wydział, składający się z jednej lub wielu komórek organizacyjnych,
- h=1 centrum robocze, składające się z jednego lub wielu stanowisk roboczych.



Rys. 2. Hierarchia zarządzania na sąsiadujących poziomach organizacyjnych $h=2$, $h=3$

Wszystkie czynności umiejscowione przedsiębiorstwa, za wyjątkiem czynności elementarnych, są procesami decyzyjno-informacyjnymi w systemach organizacyjnych

niższego poziomu. **Proces decyzyjno-informacyjny** $(sn, p) \in SNP \subset SN \times P$ jest tak samo identyfikowany, jak zdefiniowany wyżej proces umiejscowiony, ale nie jest z nim tożsamy, ponieważ należą do niego również uporządkowane **jednostki tranzycyjne** i rozdzielające je **miejsca informacji** administracyjnych (rys. 3). **Naczelne procesy biznesowe** są wykonywane w **naczelnym systemie organizacyjnym**, który składa się z zakładów przedsiębiorstwa, z zakładów jego dostawców i klientów oraz z innych elementów otoczenia przedsiębiorstwa. **Naczelne procesy decyzyjno-informacyjne** zawierają dodatkowo **nadzorcą jednostkę tranzycyjną** i sąsiadujące z nią **miejsce nadzorczych informacji administracyjnych**.

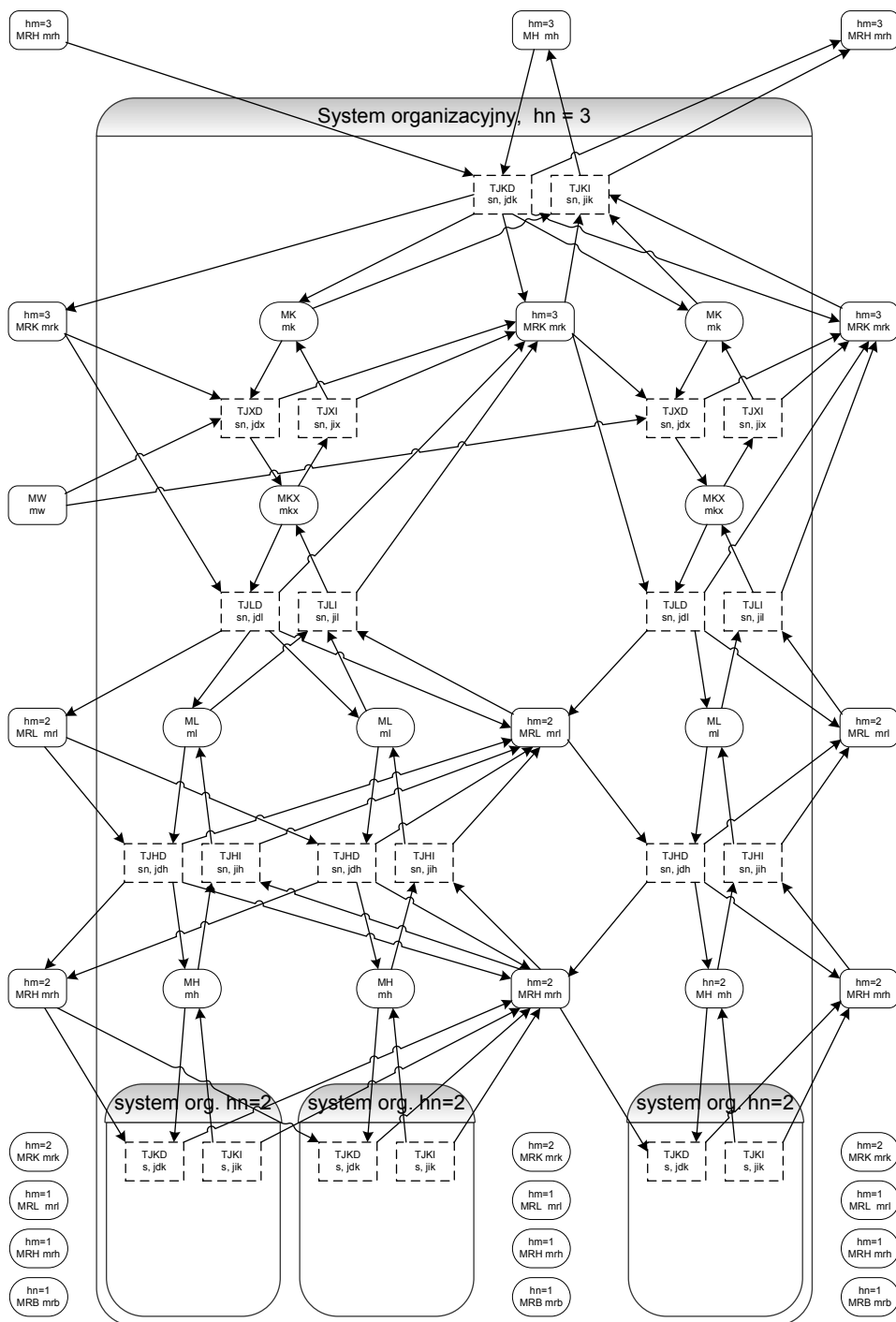
W **elementarnych systemach organizacyjnych** ($h=1$) z definicji nie ma żadnych podsystemów, a należące do nich **bazowe układy sterowania** $(se, b) \in SB \subset SE \times B$ są modelowane jako pary **bazowych jednostek tranzycyjnych** – decyzyjnej i informacyjnej. **Bazowe tranzycje decyzyjne**, które wraz z innymi tranzycjami bazowych układów sterowania należą do bazowych jednostek tranzycyjnych, nie generują żadnych decyzji, lecz tylko odbierają **decyzje** dotyczące **bazowych obiektów sterowania**, a **bazowe tranzycje informacyjne** nie przetwarzają informacji, lecz emitują **raporty** (na przykład w formie wyników pomiarów) o wykonaniu decyzji, które wcześniej zostały odebrane przez bazowe tranzycje decyzyjne. Każdemu bazowemu obiektowi sterowania jest przyporządkowana jedna czynność elementarna $a(se, b) \in A \subset O$, której wykonania zaczynają się od wykonań tranzycji decyzyjnych, a kończą się (zawsze po niepomijalnym, skończonym czasie) wykonaniami tranzycji informacyjnych. **Elementarne procesy umiejscowione** w elementarnych systemach organizacyjnych składają się z **czynności elementarnych**, umiejscowionych w bazowych obiektach sterowania. **Elementarne procesy decyzyjno-informacyjne** zawierają ponadto **elementarne koordynacyjne jednostki tranzycyjne** i **miejsca informacji** bazowych oraz niebazowe tranzycje bazowych układów sterowania, umieszczone wewnątrz bazowych decyzyjnych jednostek tranzycyjnych.

3. Struktura funkcjonalna

Oprogramowanie systemów zarządzania i sterowania, jak wszystkich systemów informatycznych, służy do przetwarzania danych. Zatem projekt takiego systemu musi w sposób ścisły określać

- struktury danych,
- funkcje i procesy przetwarzania danych,
- organizację systemów przetwarzania danych.

Przepływ informacji między procedurami przetwarzania danych we współczesnych systemach zarządzania i sterowania nie jest bezpośredni. Informacje są zapisywane do odpowiednich fragmentów bazy danych i/lub do rejestrów rozmaitych urządzeń pomiarowych, sterujących i wykonawczych, a następnie są z nich odczytywane przez odpowiednie urządzenia techniczne lub przez ludzi funkcjonujących w danym systemie. W teorii ERC miejsca zapamiętujące informacje są nazywane **miejscami informacji**, a elementy systemu przeznaczone do przetwarzania informacji – **tranzycjami**. Każde miejsce informacji $m \in M$ jest jednym z rozłącznych podzbiorów zbioru wszystkich **umiejscowionych elementów informacji administracyjnych**, $(m, i, d) \in MDI \subset MZE \subset M \times Z \times E$. Każdej tranzycji $(sn, k) \in TR \subset SN \times K$ odpowiada dokładnie jedna procedura tranzycyjna $f(sn, k) \in F \subset O$. Wykonania tranzycji są transakcjami bazodanowymi, a procedury tranzycyjne mogą być przechowywane jako procedury składowane bazy danych.



Rys. 3. Model OITN czterech warstw zarządzania w systemie organizacyjnym.
Źródło: opracowanie własne.

Narzędziem modelowania systemów ERC, stosowanym w projekcie uniwersalnego, szkieletowego systemu ERC są diagramy języka UML [5], ale do prac studialnych nad teorią ERC wystarczają diagramy E-R [2] oraz opracowane specjalnie w tym celu organizacyjne sieci informacji i tranzycji (OITN, Organizational Information-Transition Nets) [6]. W sieciach OITN, podobnie jak w kolorowanych sieciach Petriego (CPN) [3], miejsca informacji są przedstawiane jako owale, a tranzycje jako prostokąty (rys. 3). Stronice z hierarchicznej CPN odpowiadają systemom organizacyjnym należącym do wielopoziomowej OITN. Miejsca OITN sąsiadujące z daną tranzycją są zbiorami tych krotek z tabel bazy danych, które są danymi wejściowymi lub wyjściowymi tej tranzycji. Najważniejsze różnice między OITN i CPN są następujące:

- W każdym miejscu sieci OITN jest zawsze dokładnie jeden znacznik, co powoduje, że nie ma potrzeby rysowania znaczników.
- Każdy łuk OITN odpowiada dwóm łukom CPN, z których jeden reprezentuje odczyt, a drugi zapis do bazy danych.
- Struktura danych w każdym miejscu sieci jest taka, jak w relacyjnych bazach danych. Jest więc znacznie prostsza niż w języku CPN ML i znacznie łatwiejsza do implementacji bazodanowych.
- Procedury tranzycyjne mogą być zapisywane w dowolnym dialekcie SQL, co oczywiście jest znacznie prostsze i łatwiejsze do wdrożenia, niż segmenty kodu w języku CPN ML.

Tranzycje o wspólnych zbiorach wejściowych i wyjściowych miejsc informacji, są grupowane w **jednostki tranzycyjne** $(sn, k) \in TJ \subset TR$. W szkieletowym systemie ERC wszystkie jednostki tranzycyjne (z nielicznymi wyjątkami) występują parami. Każdej jednostce decyzyjnej, przetwarzającej dostępne informacje i decyzje ogólne na decyzje bardziej szczegółowe, towarzyszy jednostka informacyjna, przetwarzająca informacje szczegółowe na zagregowane informacje ogólne, które są potrzebne tranzycjom z wyższych warstw funkcjonalnych i z wyższych poziomów organizacyjnych.

Struktura sieci OITN, reprezentowana przez miejsca, tranzycje i łączące je łuki (rys. 3), modeluje jednoznacznie nie tylko organizację procesów przetwarzania danych w systemach organizacyjnych przedsiębiorstwa, lecz także organizację tego przedsiębiorstwa. Każdy system organizacyjny ma jedną parę koordynacyjnych jednostek tranzycyjnych, każdy podsystem roboczy – jedną parę jednostek restrukturyzacyjnych i jedną parę jednostek tranzycyjnych zarządzania alokacyjnego, a każdy podsystem organizacyjny – jedną parę jednostek tranzycyjnych harmonogramowania. Jednostki tranzycyjne tworzą więc naturalne warstwy funkcjonalne

- zarządzania koordynacyjnego,
- zarządzania restrukturyzacyjnego,
- zarządzania alokacyjnego i
- harmonogramowania (rys. 2, 3).

Leżące między nimi miejsca informacji również naturalnie układają się w odpowiednie warstwy informacyjne. Warstwa informacji harmonogramowania łączy tranzycje warstwy harmonogramowania danego systemu z tranzycjami koordynacyjnymi wewnątrz jego podsystemów organizacyjnych. Jest to model związków hierarchicznych między systemami organizacyjnymi z różnych poziomów organizacyjnych przedsiębiorstwa. W elementarnych systemach organizacyjnych występują tylko dwie warstwy funkcjonalne – sterowania koordynacyjnego i sterowania w bazowych układach sterowania oraz jedna rozdzielająca je warstwa informacji bazowych.

Każda warstwa funkcjonalna ma swoją **skalę czasu**, określoną przez długość okresów czasowych, w których podejmowane są jej decyzje i generowane są jej raporty. W systemach ERC przyjmuje się, że skalę czasu jest tyle samo, co poziomów organizacyjnych,

przy czym w trzech wyższych warstwach danego poziomu skala czasu jest taka sama, natomiast w warstwie harmonogramowania raporty i decyzje są opracowywane z krótszymi okresami czasowymi, właściwymi dla niższego poziomu organizacyjnego. Jest to jedna z przyczyn większej szczegółowości harmonogramów niż odpowiednich planów zarządzania alokacyjnego.

W systemach innych niż elementarne warstwy informacyjne są usytuowane bezpośrednio pod warstwami funkcjonalnymi o tej samej nazwie, ale ich decyzje mogą pochodzić z każdej z wyższych warstw funkcjonalnych. Analogicznie, ich informacje mogą być pobierane bezpośrednio przez tranzycje każdej z wyższych warstw funkcjonalnych. W niektórych systemach organizacyjnych pewne warstwy mogą nie występować, np. w komórkach organizacyjnych przedstawionych na przykładzie z rys. 2 brak warstwy zarządzania restrukturyzacyjnego w centrach roboczych. W takich przypadkach funkcje brakujących jednostek tranzycyjnych są przejmowane przez jednostki tranzycyjne warstwy wyższej.

4. Wnioski

Teoria ERC jest nie tylko uogólnieniem właściwości zauważonych w pewnej liczbie rzeczywistych systemów informatycznych. Wyprowadzono ją dedukcyjnie z ogólnych strukturalnych właściwości procesów przebiegających w przedsiębiorstwach i z ogólnie sformułowanych zadań zintegrowanych systemów zarządzania i sterowania. To zachęca do twierdzenia, że każdy system ERP, MES, czy SCADA, niezależnie od branży i wielkości przedsiębiorstwa, w którym jest wdrożony, może być przekształcony do szkieletowego systemu ERC z zachowaniem wszystkich jego funkcji i danych [6]. Mimo deklarowanej ogólności teorii ERC struktura szkieletowego systemu ERC jest stosunkowo prosta i jednoznacznie określona. To z kolei uzasadnia podjęcie prac nad projektem oprogramowania uniwersalnego zintegrowanego systemu zarządzania w przedsiębiorstwach i sterowania ich procesami.

Ogólności teorii ERC nie można udowodnić formalnie, lecz można ją uzasadnić demonstrując jej przydatność do rzeczywistych systemów zarządzania bądź sterowania i porównując ją ze standardami MRP II [4] oraz ISA-95 [1].

Praca finansowana w ramach badań własnych IITiS PAN w Gliwicach.

Literatura

1. ANSI/ISA-95: Enterprise-Control System Integration. Part 1,2,3,5. 2000-2007
2. Beynon-Davis P.: Inżynieria systemów informacyjnych. WNT, Warszawa 2004.
3. Jensen K.: Coloured Petri Nets. Springer-Verlag. Berlin 1997.
4. Landvater D.V., Gray C.D.: MRP II Standard System, Oliver Wight Publications, 1989.
5. Wrycza St., Marcinkowski B., Wyrzykowski K.: Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych. Helion 2005.
6. Zaborowski M.: Sterowanie nadążne zasobami przedsiębiorstwa Wyd. Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2008, stron 347.

Dr hab. inż. Mirosław ZABOROWSKI
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice
e-mail: m.zaborowski@neostrada.pl