

Ludmiła Zawadzka  
Jarosław Badurek  
Jolanta Łopatowska

# INTELIGENTNE SYSTEMY PRODUKCYJNE

ALGORYTMY  
KONCEPCJE  
ZASTOSOWANIA

Ludmiła Zawadzka  
Jarosław Badurek  
Jolanta Łopatowska

# INTELIGENTNE SYSTEMY PRODUKCYJNE

ALGORYTMY  
KONCEPCJE  
ZASTOSOWANIA

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*Romuald Szymkiewicz*

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

*Janusz T. Cieśliński*

RECENZENCI

*Marek Fertsch*

*Leszek Pacholski*

PROJEKT OKŁADKI

*Katarzyna Olszonowicz*

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2012  
jako projekt badawczy nr NN115015237 pt. *Optymalizacja technologii informacyjnych  
w inteligentnych systemach produkcyjnych. Aspekty techniczne i pozatechniczne*

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem  
<http://www.pg.gda.pl/WydawnictwoPG>

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej  
Gdańsk 2012

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie  
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

ISBN 978-83-7348-409-2

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

---

Wydanie I. Ark. wyd. 6,7, ark. druku 6,5, 113/695

---

Druk i oprawa: *EXPOL* P. Rybiński, J. Dąbek, Sp. Jawna  
ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek, tel. 54 232 37 23

---

# Spis treści

WSTĘP .....	5
WYKAZ SKRÓTÓW .....	7
Rozdział 1	
POJĘCIA PODSTAWOWE .....	11
1.1. Model i algorytm .....	11
1.2. Zarządzanie jako przetwarzanie informacji .....	15
1.3. Optymalizacja technologii informacyjnych w ISP .....	20
Rozdział 2	
ALGORYTMY OPTIMALIZACYJNE W ZARZĄDZANIU PRODUKCJĄ .....	24
2.1. Warstwowy model ISP .....	24
2.2. Algorytmy sztucznej inteligencji .....	28
2.2.1. Systemy eksperckie .....	30
2.2.2. Logika rozmyta .....	35
2.2.3. Bioalgorytmy .....	40
2.3. Metody heurystyczne .....	44
Rozdział 3	
PRZYKŁADY KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA ORGANIZACJI PRODUKCJI .....	48
3.1. Integracja przepływów materiałowo-informacyjnych .....	48
3.2. Znaczenie bazodanowości w ISP .....	51
3.3. Konflikty celów w definiowaniu funkcjonalności ISP .....	56
Rozdział 4	
OCENA EFEKTYWNOŚCI ZMIAN PROCESÓW PLANISTYCZNO- STERUJĄCYCH .....	61
4.1. Efektywność organizacji .....	61
4.2. Ocena efektywności zmian .....	65
4.3. Proces oceny efektywności zmian .....	68
4.4. Efektywność zmian procesów planistyczno-sterujących .....	70
4.4.1. Skuteczność zmian procesów planistyczno-sterujących .....	73
4.4.2. Korzystność zmian procesów planistyczno-sterujących .....	76
4.4.3. Ekonomiczność zmian procesów planistyczno-sterujących .....	77

---

Rozdział 5	
CZYNNIKI TRANSFORMACJI ISP .....	80
5.1. Transformacje makro- i mikrosystemowe .....	80
5.2. System operacyjny ISP .....	84
5.3. Modele i metamodelo referencyjne . .....	90
Rozdział 6	
PODSUMOWANIE .....	94
BIBLIOGRAFIA .....	97
SPIS RYRUNKÓW .....	103
SPIS TABEL .....	104

---

# Wstęp

Niniejsza praca jest wynikiem realizacji przez autorów drugiego etapu projektu badawczego nr NN115015237 pt. *Optymalizacja technologii informacyjnych w inteligentnych systemach produkcyjnych. Aspekty techniczne i pozatechniczne*, kierownik Łudmiła Zawadzka, wykonawcy: Jarosław Badurek, Jolanta Łopatowska. Praca jest kontynuacją monografii „Inteligentne systemy produkcyjne – ewolucja i problemy organizacji projektów informatycznych” [Zawadzka i in., 2010].

Opracowanie algorytmów dla systemów sterowania w sferze logistyczno-produkcyjnej (np. harmonogramowanie, gospodarka magazynowa, kontrola jakości) wymaga konstruowania odpowiednich modeli przedsiębiorstwa. Po ich implementacji wymagają one z kolei weryfikacji na podstawie zdefiniowanych kryteriów, co pozwala na cykliczną optymalizację ISP. W obliczu dużego tempa zmian, realizowane w praktyce zmiany w procesach przedsiębiorstwa mają często charakter nieuporządkowany, fragmentaryczny a także wykonywane są pod presją czasową i nie przynoszą spodziewanych efektów. Z tego względu niezbędne jest uporządkowane i holistyczne spojrzenie na przedmiotowe transformacje: od identyfikacji czynników je wywołujących, przez określenie obszarów decyzyjnych w projektowaniu zmiany, po jej ocenę przy pomocy zdefiniowanych mierników. Dlatego ***istotną przesłanką skłaniającą do podjęcia przedmiotowego problemu jest próba określenia modelu postępowania uwzględniającego zarówno aspekty techniczne jak i pozatechniczne.***

W tym celu w rozdziale pierwszym zdefiniowano szereg pojęć podstawowych, w szczególności modelu i algorytmu wraz z relacjami między nimi, co prowadzi do bardziej uniwersalnych konkluzji w odniesieniu do zagadnień opisywalności, rozstrzygalności i dowodliwości. W rozdziale drugim wyspecyfikowano szereg algorytmów optymalizacyjnych z uwzględnieniem warstwowości ISP, pokazując, że o poziomie inteligencji systemu istotnie decyduje poziom zaawansowania jego algorytmicznych (programowych) sprzężeń międzywarstwowych. Rozdział trzecim weryfikuje przykłady komputerowego wspomaganie organizacji produkcji odnosząc się bezpośrednio do realiów praktyki przemysłowej. Przy czym uwzględniono problem konfliktów celów w definiowaniu funkcjonalności ISP proponując podejście interdyscyplinarne dla integracji przedmiotowych czynników technicznych jak i pozatechnicznych.

Konsekwencją rozdziału trzeciego jest rozdział czwarty w całości poświęcony ocenie efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących. Specyfikując przedmiotowe relacje, między celami a miarami poziomu ich realizacji, uwzględniono wieloaspektowość pojęcia efektywności organizacji (ekonomiczne, celowościowe, systemowe, kompleksowe). W ten sposób uzyskano uniwersalny punkt odniesienia dla zbadania czynników transformacji ISP, którym poświęcony jest rozdział piąty. W szczególności pokazano w nim i zinterpretowano związki między paradygmatami społeczno-ekonomicznymi a implementa-

cjami na poziomie przedsiębiorstwa (transformacje makro-mikrosystemowe). Całość pracy zamyka jej podsumowanie, w którym zwrócono uwagę na ograniczenia modelowania systemu informacyjnego ISP oraz możliwości ich przewyższania przez stosowanie innowacyjnych form organizacyjnych.

---

# Wykaz skrótów

- 3D – trójwymiarowy (ang. *Three-Dimensional*)
- 3GL – język programowania trzeciej generacji (ang. *Third Generation Language*)
- 4GL – język programowania czwartej generacji (ang. *Fourth Generation Language*)
- 5GL – język programowania piątej generacji (ang. *Fifth Generation Language*)
- ABAP – środowisko programowania SAP (ang. *Advanced Business Application Programming*)
- AMFIBIA – metamodel integracji aspektów BPM (ang. *A Meta-Model for the Integration of Business Process Modelling Aspects*)
- ARIS – Architektura Zintegrowanych Systemów Informacyjnych (ang. *Architecture of Integrated Information Systems*)
- ARIZ – Algorytm Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań
- B2B – elektroniczne relacje międzyfirmowe (ang. *Business to Business*)
- BI – środowisko inteligentnych aplikacji gospodarczych (ang. *Business Intelligence*)
- BMS – bioniczny system wytwórczy (ang. *Bionic Manufacturing System*)
- BNF – metajęzyk gramatyk bezkontekstowych (ang. *Backus-Naur Form*)
- BOM – listy części (ang. *Bill of materials*)
- BPDM – metamodel definiowania procesów biznesowych (ang. *Business Process Definition Metamodel*)
- BPM – zarządzanie procesami biznesowymi (ang. *Business Process Management*)
- BPXL – język definiowania procesów biznesowych (ang. *Business Process Execution Language*)
- BPMN – notacja modelowania procesów biznesowych (ang. *Business Process Modeling Notation*)
- BPQL – język zapytań procesów biznesowych (ang. *Business Process Query Language*)
- CAD – komputerowo wspomagane projektowanie (ang. *Computer Aided Design*)
- CAM – komputerowo wspomagane wytwarzanie (ang. *Computer Aided Manufacturing*)
- CIJ – drukarka strumieniowa pracująca w trybie ciągłym (ang. *Continuous Ink Jet*)
- CIM – komputerowo zintegrowane wytwarzanie (ang. *Computer Integrated Manufacturing*)
- CODASYL – organizacja opracowująca języki programowania (ang. *Conference on Data Systems Languages*)
- C/S – architektura klient/server (ang. *Client/Server*)
- DFD – diagram przepływu danych (ang. *Data Flow Diagram*)
- EAN – europejski kod towarowy (ang. *European Article Number*)
- EAS – elektroniczna obserwacja wyrobów (ang. *Electronic Article Surveillance*)
- EaaS – SaaS dla ERP (ang. *ERP as a Service*)
- e-biznes – przedsiębiorczość wspomagana elektronicznie (ang. *electronic business*)
- EIS – system informacyjny przedsiębiorstwa (ang. *Enterprise Information System*)
- ERM – model związków encji (ang. *Entity Relationship Model*)
- ERP – system planowania zasobami przedsiębiorstwa (ang. *Enterprise Resource Planning*)
- ESP – Elastyczny System Produkcyjny



---

FAO	– Organizacja do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (ang. <i>Food and Agriculture Organization</i> )
FMS	– elastyczny system produkcyjny (ang. <i>Flexible Manufacturing System</i> )
GTIN	– Globalny Numer Jednostki Handlowej (ang. <i>Global Trade Item Number</i> )
HMI	– dialog użytkownika z maszyną (ang. <i>Human Machine Interface</i> )
HO	– scentralizowane oprogramowanie zorientowane serwerowo (ang. <i>Host Oriented</i> )
IEC	– Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (ang. <i>International Electrotechnical Commission</i> )
ISO	– Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ang. <i>International Organization for Standardization</i> )
IP	protokół internetowy (ang. <i>Internet Protocol</i> )
ISP	– Inteligentne Systemy Produkcyjne
IT	– technologia informacyjna (ang. <i>Information Technology</i> )
ITIL	– model referencyjny ITSM (ang. <i>IT Infrastructure Library</i> )
ITSM	– zarządzanie usługami IT (ang. <i>IT-Service-Management</i> )
MES	– sterowanie systemem wytwórczym (ang. <i>Manufacturing Execution System</i> )
MOF	– architektura metaobjektowa OMG (ang. <i>Meta Object Facility</i> )
MRP	– planowanie zasobów materiałowych (ang. <i>Material Resource Planning</i> )
MPS	– harmonogramowanie produkcji finalnej (ang. <i>Master Production Scheduling</i> )
MS	– system wytwórczy (ang. <i>Manufacturing System</i> )
NGMS	– system wytwórczy następnej generacji (ang. <i>Next Generation Manufacturing System</i> )
OASIS	– konsorcjum standaryzujące procesy e-biznesu (ang. <i>Organization for the Advancement of Structured Information Standards</i> )
OMG	– konsorcjum standaryzujące obiektowość (ang. <i>Object Management Group</i> )
OOA	– analiza obiektowa (ang. <i>Object-Oriented Analysis</i> )
OS	– system operacyjny (ang. <i>Operating System</i> )
OSI	– sieciowy model referencyjny (ang. <i>Open System Interconnection</i> )
OLAP	– bieżąca analiza danych (ang. <i>OnLine Analytical Processing</i> )
OLTP	– bieżące przetwarzanie transakcji (ang. <i>OnLine Transaction Processing</i> )
PIMS	– informacyjny system zarządzania fabryką (ang. <i>Plant Information Management System</i> )
PLC	– programowalny sterownik przemysłowy (ang. <i>Programmable Logic Controller</i> )
PP	– fabryka idealna (ang. <i>Perfect Plant</i> )
QoS	– jakość serwisowa BPM (ang. <i>Quality of Service</i> )
RAID	– nadmiarowa macierz niezależnych dysków (ang. <i>Redundant Array of Independent Disks</i> )
RFID	– system radioetykiet elektronicznych (ang. <i>Radio-Frequency Identification</i> )
RDF	– język opisów zasobów danych (ang. <i>Resource Description Framework</i> )
RPG	– język programowania (ang. <i>Report Program Generator</i> )
SAP	– firma informatyczna (ang. <i>Systems Applications and Products</i> )
SaaS	– oprogramowanie jako usługa (ang. <i>Software as a Service</i> )
SBVR	– semantyka słownika i reguł biznesu (ang. <i>Semantics of Business Vocabulary and Business Rules</i> )
SCADA	– nadzorcze sterowanie i zbieranie danych (ang. <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> )
SI	– sztuczna inteligencja
SE	– inżynieria softwarowa (ang. <i>Software Engineering</i> )
SMART	– samomonitorująca technologia analityczna i raportowa (ang. <i>Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology</i> )
SOA	– architektura zorientowana serwisowo (ang. <i>Service-Oriented Architecture</i> )

---

SQL	– Strukturalny Język Zapytań (ang. <i>Structured Query Language</i> )
SSCC	– seryjny numer jednostki wysyłkowej (ang. <i>Serial Shipping Container Code</i> )
TC	– kod transakcji (ang. <i>Transaction Code</i> )
TCP/IP	– internetowy model OSI (ang. <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> )
UML	– zunifikowany język modelowania (ang. <i>Unified Modelling Language</i> )
VMN	– wirtualna sieć wytwórcza (ang. <i>Virtual Manufacturing Network</i> )
VoIP	– telefonia internetowa (ang. <i>Voice over IP</i> )
VR	– rzeczywistość wirtualna (ang. <i>Virtual Reality</i> )
WfMC	– gremium standaryzujące prace grupowe (ang. <i>Workflow Management Coalition</i> )
WO	– softwarowa orientacja webowa (ang. <i>Web-Oriented</i> )
WWW	– światowa sieć internetowa (ang. <i>World Wide Web</i> )
XPDL	– język definiowania procesów, XML-bazowany (ang. <i>XML Process Definition Language</i> )
XML	– rozszerzalny język znaczników (ang. <i>Extensible Markup Language</i> )
XPS	– system ekspercki (ang. <i>eXPert System</i> )
YAWL	– język przepływu informacji (ang. <i>Yet Another Workflow Language</i> )



## Pojęcia podstawowe

Powiązanie koncepcji modelowych w rozważanym zakresie oraz praktycznych rozwiązań aplikacyjnych wymaga zbadania związków między modelami i algorytmami (p. 1.1). W szczególności w rozdziale zaproponowano postulaty, jakie winien spełniać model w odniesieniu do przedsiębiorstwa. Z kolei wyspecyfikowano paradygmaty modelowania oraz związki między sferą teorii a praktyki. Sformułowana w rozdziale definicja algorytmu nie przesądza czy będzie realizowany on na drodze maszynowej czy też jako postępowanie składające się z kroków organizacyjnych. Uznano, iż w interdyscyplinarnej sferze ISP obie grupy algorytmów (softwarowe i zarządzania) są istotne i ze sobą powiązane.

W punkcie 1.2 rozwinięto ideę zarządzania jako przetwarzania informacji wskazując na informatyczne centrum (wiedzy) komputerowo wspomaganego systemu zarządzania przedsiębiorstwa, jakim jest jego baza danych ze skojarzonymi aplikacjami. W związku z tym uznano, iż system zarządzania organizacją przedsiębiorstwa można porównać do systemu zarządzania bazą danych. Zatem konsekwentnie połączono typy organizacji wraz z ich bazodanowymi odpowiednikami. Szerzej skomentowano cechę wirtualizacji z uwagi na jej nadrzędny charakter w odniesieniu do sfery organizacyjnej oraz informatycznej.

Końcowa część rozdziału (p. 1.3) poświęcona jest optymalizacji technologii informacyjnych w ISP. W związku z tym zaproponowano strategiczną „mapę drogową” dla projektu ISP, zakładającą dekomponowanie centrum projektowego, jakie stanowią wymagania systemowe, na trzy obszary: procesy, dane oraz odrębnie sam system IT tj. oprogramowanie i sprzęt. Zwrócono uwagę, iż obiecującą alternatywę organizacyjną może stanowić konstruowanie metod optymalizacji w większym zakresie wykorzystujących interdyscyplinarną syntezę dorobku różnych nauk, w szczególności informatyki i zarządzania. W związku z tym bliżej określono cechy, jakie powinna posiadać zakładana metodologia optymalizacyjna. Za reprezentatywny dla badań optymalizacji ISP uznano pakiet ERP z uwagi na jego kluczowe znaczenie w krajobrazie informacyjnym współczesnego przedsiębiorstwa.

### 1.1. Model i algorytm

W klasycznym cyklu organizatorskim, powiązanim z cyklem życia systemu IT [Schwalbe, 2009], następnikiem pojawienia się problemu jest model przedmiotowej sytuacji a następnie algorytm aplikacyjny (tab. 1.1). Istotne jest zatem pytanie o różnice i związki między tymi fenomenami w praktyce zarządzania, w szczególności o kod aplikacji jako model przedsiębiorstwa. Pojęcia modelu i modelowania są różnorodnie definiowane w przedmiotowej literaturze. W pracy [Fertsch i in., 2008, s. 9–14] pokazano podstawowe zagadnienia związane z różnymi modelami systemów produkcyjnych. Z kolei podczas referencyjnego konstruowania modeli formalnych dla procesów biznesowych w środowisku ARIS (*Architecture of Integrated Information Systems*) [Nowicki, Marczak, 2009,

s. 11–24] mamy do czynienia z modelami-diagramami jako „graficznymi obrazami rzeczywistości”.

W sferze IT przykładami modeli mogą być modele danych (technologie bazodanowe) rozumiane jako „modele abstrakcyjne stanu świata rzeczywistego“ [Pankowski, 1992] czy „modele lingwistyczne” jako „baza reguł (rozmytego) systemu wnioskującego” [Rutkowski, 2005]. Teoria modeli istnieje jako odrębny dział logiki matematycznej [Chang, Keisler, 1990]. Wybrane wyżej przykłady wskazują na szeroki obszar zagadnień związany z pojęciami „modelu” i „modelowania”. W niniejszej pracy merytorycznie zawężamy je do modelowania referencyjnego w sferze biznesowej. Specyficznym rodzajem modelowania, względnie wykorzystywaniem modeli jest symulacja. Charakterystyki technik softwarowych dla symulacji procesów (dyskretnych, ciągłych) wraz z listą specjalistycznego oprogramowania symulacyjnego zawarto w pracy [Fertsch, Pawlewski, 2009].

**Tabela 1.1**

Fazy rozwoju systemu IT (pokazano jeden z powtarzających się cykli)

Nr fazy	Nazwa fazy	Wynik fazy
1	Pojawienie się problemu	Wstępne idee rozwiązań
2	Analiza problemu	Zlecenie projektowe (wewnętrzne/zewnętrzne)
3	Specyfikacja systemu	Wymagania systemowe i życzenia użytkowe
4	Analiza luk ( <i>gap analysis</i> )	Różnice między planem a stanem rzeczywistym
5	Projekt zgrubny ( <i>draft</i> )	Architektura systemu, modele jakościowe
6	Wariantowanie	Raport porównawczy rozwiązań (oferty)
7	Projekt detaliczny ( <i>blueprint</i> )	Algorytmy modułów i ich integracji
8	Prototypowanie	Wyniki testów (modele ilościowe)
9	Implementacja modularna	Oprogramowanie rozwiązań cząstkowych
10	Kastomizacja ( <i>customizing</i> )	Parametry systemowe, migracje danych
11	Integracja	Oprogramowanie całości systemu
12	Testy systemowe i funkcjonalne	Udokumentowana aplikacja docelowa
13	Instalacja ( <i>roll out</i> )	Sprawne pakiety softwarowe w sieci
14	Szkolenia	Niezbędne zmiany organizacyjne
15	Plany eskalacyjne uruchomienia	Szacowania ryzyk i możliwości ich minimalizacji
16	Eksploatacja i pielęgnacja	Nowe wymagania dla wersji <i>live</i>

Źródło: opracowanie własne

Pod pojęciem **modelu** rozumiemy odwzorowanie będące uproszczeniem rzeczywistości w celu jej lepszego rozumienia. Odwzorowanie takie specyfikowane jest w określonym języku: sztucznym bądź naturalnym a zatem ze względu na to kryterium możemy wyróżnić dwie podstawowe grupy modeli. Klasycznym językiem sztucznym jest język matematyczny stąd skojarzone z nim modele. W sferze IT swoistym modelem może być kod aplikacji lub jego fragmenty. W praktyce niezbędne jest tu stosowanie pseudokodu lub innych notacji [Avison, 2008]. **Projektowanie ISP wymaga łączenia precyzji matematyki, będącej podstawą dla zastosowań informatycznych, z elastycznością języka naturalnego wykorzystywanego w komunikacji między ich użytkownikami.** Jednocześnie istnieje możliwość łączenia obu grup modeli na gruncie ontologicznym, z wykorzystaniem mechanizmów generatywizmu [Lyons, 2002] językowego, które działają podobnie w softwarowym kom-

pilatorze, a więc w dialogu człowiek-maszyna, jak i w rozmowie między ludźmi. W tym kierunku zmierzają sieci semantyczne, których standardowa notacja RDF (*Resource Description Framework*) odpowiada konstrukcjom typu ⟨podmiot, orzeczenie, dopełnienie⟩ [Powers, 2003].

Dla modelu możemy wyspecyfikować pięć postulatów, jakie winien spełniać w odniesieniu do przedsiębiorstwa:

- a) pozwala na opis przedsiębiorstwa (powstaje systematycznie przygotowywana dokumentacja),
- b) wyjaśnia jego funkcjonowanie (transformując tzw. „czarne skrzynki” (*black box*) do „białych skrzynek” (*white box*)),
- c) umożliwia ocenę działalności (zgodnie z zasadą „co nie może być zmierzone, nie może być poprawione”),
- d) wpływa na podejmowane decyzje (jako część cyklu organizacyjnego),
- e) pozwala na przewidywanie (naukowe/empiryczne prawa, które są zintegrowane z modelem jako prognoza).

Możemy zatem powiedzieć, że istnieją dwie grupy konwencji modelowania: oparte na języku sztucznym bądź naturalnym (w praktyce często mamy do czynienia z rozwiązaniami hybrydowymi). Te konwencje korespondują z dwoma **paradygmatami naukowymi**: aksjomatyczno-dedukcyjnym i aposterioryczno-indukcyjnym (rys. 1.1). Geneza pierwszego z nich wiąże się z rozwojem dyscyplin określanych potocznie mianem ścisłych, drugiego – odnosi się do nauk ekonomicznych a więc również sfery organizacji i zarządzania. Paradygmat aksjomatyczno-dedukcyjny, charakteryzujący matematykę, polega na budowaniu twierdzeń konstruowanych na zasadzie: założenie, teza, dowód. Z niewielkiej ilości twierdzeń prawdziwych z definicji (pewników) budujemy dużą liczbę twierdzeń wchodzących w skład danej teorii. Z kolei dedukcyjność takiego postępowania odpowiada informatycznemu modelowaniu zstępującemu (*top-down*) czyli od ogółu do szczegółu.

Takie modele dobrze korespondują z jednym z podstawowych celów nauki o znaczeniu praktycznym: prognozowalnością. Naukowe prawo jest prognozą. Na tej podstawie możemy w fizyce precyzyjnie przewidzieć np. końcową prędkość walca staczającego się po równi pochyłej o określonym kącie nachylenia. Weryfikacja każdej teorii powinna nastąpić na drodze empirycznej – w tym przypadku doświadczenia fizycznego. W ten sposób przechodzimy do paradygmatu aposterioryczno-indukcyjnego tj. formułowania sądów ogólnych na podstawie obserwacji zdarzeń szczegółowych (odpowiada wstępującemu podejściu inżynierii softwarowej tj. *bottom-up*). Prognozowanie w sferze gospodarczej jest trudniejsze z uwagi na występowanie czynnika wolnej woli człowieka.

Modele i algorytmy będące przedmiotem niniejszej pracy dotyczą systemów informacyjnych, przy czym przez **system informacyjny**  $S$  rozumiemy czwórkę:

$$S = \langle P, I, O, F \rangle \quad (1.1)$$

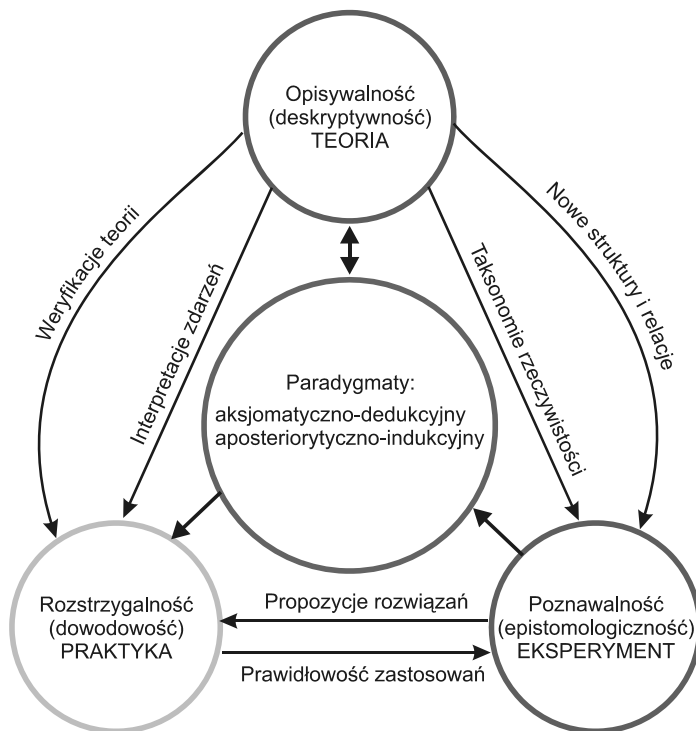
gdzie:  $P$  – zdefiniowany zbiór parametrów, w szczególności są to informacje wejściowe systemu,  
 $I$  – skończony zbiór informacji znajdujących się w systemie, stanowiący odwzorowanie zdefiniowanego zbioru obiektów świata rzeczywistego  $X$  oraz zbioru ich atrybutów  $A$ ,

$$X \times A \rightarrow I \quad (1.2)$$

$O$  – ograniczony zbiór odpowiedzi, w szczególności są to efektywne informacje wyjściowe systemu,

$F$  – zdefiniowany zbiór funkcji systemu:

$$F : P \times I \rightarrow O \quad (1.3)$$



Rys. 1.1. Paradygmaty i cechy modelowania  
Źródło: opracowanie własne

Konsekwencją wprowadzonych definicji modelu i systemu informacyjnego są związane z nimi algorytmy. Na podstawie [Krawczyk, 1996] możemy powiedzieć, że postępowanie prowadzące do rozwiązania problemu jest **algorytmem**, jeśli spełnia następujące warunki:

- jest strukturalnie definiowalne (składa się z systemowo powiązanych ze sobą reguł/kroków);
- jest skończone w odniesieniu do liczby kroków i zasobów (złożoność i wykonalność algorytmu);
- jest deterministyczne tj. prowadzi do wyniku lub informacji o jego braku, prowadzi do takiego samego wyniku dla tej samej sytuacji problemowej, krok następny jest definiowalny w odniesieniu do poprzedniego (zasada kontynuacji);
- jest uniwersalne w zakresie definicyjnym algorytmu tj. dla danej klasy problemów (zasada ogólności).

Z matematycznego punktu widzenia możemy powiedzieć, że z algorytmem mamy do czynienia, jeśli spełnia on warunki wykonalności dla maszyny Turinga [Mozgovoy, 2010]. Z kolei w informatyce można operować pojęciem **maszyny rzeczywistej** [Gurevich, 2000]

z uwagi na złożoność problemów występujących w praktyce oraz fenomeny algorytmów równoległych, interaktywnych (np. systemy operacyjne) czy formalnie nieskończonych (sterowniki przemysłowe). W sferze praktyki przemysłowej ISP występują zarówno zagadnienia o charakterze obliczeniowym, dobrze nadające się do komputerowego wspomaganie, jak i problemy o charakterze pozatechnicznym. Podana wyżej definicja algorytmu nie przesądza czy będzie realizowany on na drodze maszynowej czy też jako postępowanie składające się z kroków organizacyjnych. **W interdyscyplinarnej sferze ISP obie grupy algorytmów (softwarowe i zarządzania) są istotne i ze sobą powiązane**, co pokazano wcześniej w odniesieniu do modeli specyfikowanych w języku sztucznym bądź naturalnym. Znany przykład algorytmu organizacyjnego dla systemów technicznych jest ARIZ (Algorytm Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań) znany także jako „algorytm wynalazku” [Altshuller, 2000].

Z kolei skomentujemy postawione na początku punktu pytanie o kod aplikacji jako model przedsiębiorstwa. Złożoność/nieczytelność takiego kodu, tym większa im niższy poziom zastosowanego narzędzia programistycznego, wyklucza w praktyce posługiwanie się nim jako modelem. Natomiast jego dokumentacja w sensie SE (*Software Engineering*) może być wartościowym modelem procesu biznesowego i tworzona jest także z wykorzystaniem języków (konwencji) sztucznych. Wymieńmy tu takie metody dokumentowania kodu jak:

- schematy blokowe (normowane), *flowcharts*, ISO5807,
- diagramy przepływu DFD (*Data Flow Diagram*),
- schematy organizacyjne (organigramy, struktogramy Nassi-Schneidermann), pseudokod,
- notacje – UML (*Unified Modeling Language*), ERM (*Entity Relationship Model*), OOA (*Object-Oriented Analysis*) i in. [Avison, 2008].

Nieprzypadkowo wymienione metody dokumentowania kodu znajdziemy także w modelach przedsiębiorstwa mimo, że dokumentacja oprogramowania firmy nie jest automatycznie jej modelem. Inny jest z założenia cel tworzenia modeli przedsiębiorstwa a inny modeli systemów informatycznych. Niemniej zarządzanie może być interpretowane jako przetwarzanie informacji, co pokazano w pracy [Zawadzka i in., 2010] stąd zbieżność obu podejść (modelowania IT i przedsiębiorstwa).

## 1.2. Zarządzanie jako przetwarzanie informacji

Konkluzja poprzedniego punktu wymaga komentarza. Tak rozumiane zarządzanie może być definiowane co najmniej na dwa współzależne sposoby i występować w dwoistej postaci:

- jako modele (matematyczne) rzeczywistości oraz
- jako aplikacje (strategie) jej transformowania (systemy informacyjne).

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z pokazanym (def. modelu) upraszczaniem rzeczywistości dla jej lepszego zrozumienia. Również celem drugiej z wymienionych sytuacji jest chęć zapanowania nad złożonością otaczającego nas świata, co możliwe jest na dwa, klasyczne w inżynierii softwarowej, sposoby:

- upraszczanie metodą zstępowania (*top-down*),
- generalizowanie metodą wstępowania (*bottom-up*).

Podejścia te odpowiadają analizie (przechodzenie od ogółu do szczegółu) oraz syntezie (odwrotny kierunek rozumowania), które wzajemnie się przenikając wymagają czynnika



integracyjnego jakim właśnie jest informacja. Widzimy zatem, że tak rozumiana integracja modeli i aplikacji, będąca warunkiem kontrolowania kompleksowości rzeczywistości, wymaga wielod dziedzinowości (p. rys. 1.1). Co zatem wynika w praktyce z takiego postulatu? Tradycyjne, sekwencyjne ciągi myślowe typu „założenie, teza dowód”, formalnie uzasadnione, mogą okazywać się niewystarczające w praktyce i owocować nadmiernie rozbudowanymi i nieprzejrzystymi modelami organizacji. Z kolei modele referencyjne ładu korporacyjnego stawiają na podejście interdyscyplinarne umożliwiając, wspomniane w p. 1.1, łączenie w nich precyzji matematyki i elastyczności języka naturalnego.

Informatycznym centrum (wiedzy) komputerowo wspomaganego systemu zarządzania przedsiębiorstwa jest jego baza danych ze skojarzonymi aplikacjami. W związku z tym *system zarządzania organizacją przedsiębiorstwa można porównać do systemu zarządzania bazą danych*. Mamy tu do czynienia ze sprzężeniem widocznym w całym rozwoju informatyki: technologie IT są odpowiedzią na potrzeby organizacyjne ale jednocześnie zmieniają struktury zarządzania przedsiębiorstwami. Ów proces, wyrażający się w stwierdzeniu „medium jest przekazem” możemy odnaleźć w odniesieniu do transformacji makro w rozwoju cywilizacji.

**Przykładowo:** wynalazek prasy drukarskiej nie tylko umożliwił przekazywanie określonych treści przy użyciu nowej technologii, ale zmieniał struktury społeczne, prowadząc np. do powstawania takich trendów czy ideologii jak: indywidualizm, kapitalizm, nacjonalizm czy protestantyzm, a także nowoczesna demokracja państwa prawa. Podobne sprzężenia można skojarzyć z innymi mediami – np. wpływ telewizji na efekt globalnej wioski. Przeniesienie tych spostrzeżeń na grunt współczesny i lokalną, w czasie bądź przestrzeni, skalę mikrotransformacyjną uprawnia do twierdzenia, że sposób przetwarzania informacji współdecyduje o kształcie systemu zarządzania przedsiębiorstwem. Zatem w tab. 1.2 pokazano związki baz danych z rodzajami organizacji przedsiębiorstwa wraz z prognozą w tej sferze.

Tabela 1.2

Przykłady typów organizacji i ich bazodanowych odpowiedników

Rodzaj organizacji	Generacja baz danych	Model danych	Charakterystyka
Prototypowa	zerowa	plikowy	brak bazy danych
Funkcyjna	pierwsza	liniowy	indeksowanie
Procesowa	druga	hierarchiczny	ścieżki dostępu
Macierzowa	trzecia	sieciowy	standardy CODASYL
Hipertekstowa	czwarta	relacyjny	połączenia <i>ad-hoc</i> (SQL)
Holoniczna bioorganizacja	piąta	postrelacyjny (obiektywny)	niestandardowa (NF <sup>2</sup> )

Źródło: opracowanie własne

W tabeli nie występuje **cecha wirtualizacji** z uwagi na jej nadrzędny charakter w odniesieniu do sfery organizacyjnej oraz informatycznej. Przy tym w rozwoju systemów ISP (ESP – Elastyczne Systemy Produkcyjne) oraz informatycznych można wyróżnić następujące trendy:

- 1) wzrost indywidualnych możliwości urządzeń (np. automaty, komputery),
- 2) łączenie się pojedynczych urządzeń w sieci (np. gniazda wytwórcze, sieci telekomunikacyjne).

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z zasadą charakteryzującą każdy system innowacyjny tj. minimalizowania fizycznych parametrów przetwarzanej materii oraz skojarzonych strumieni zasileń (np. energetycznych). Owe strumienie obciążają bowiem kosztową stronę mierników efektywności systemu (finansowych). Miniaturyzacja przekłada się z kolei na wzrost mobilności urządzeń i umożliwia tworzenie ich sieci. Stąd dostrzegalny w ESP wzrost ich złożoności według schematu:

elastyczne stanowisko → elastyczny moduł → elastyczne gniazdo →  
 elastyczna linia → elastyczny wydział → elastyczna fabryka →  
 elastyczne przedsiębiorstwo wielozakładowe → elastyczna grupa firm

Natomiast *wirtualizację możemy zdefiniować jako zastępowanie materii informacją*, które odbywa się na drodze wyizolowania w konfiguracji warstwy fizycznej i logicznej. W obszarze IT możemy dostrzec rozwój wirtualizacji: od pojedynczych urządzeń (np. przyporządkowanie fizycznej grupie dysków ich logicznego odpowiednika), poprzez całe maszyny wirtualne (*virtual machine*) aż do globalnych systemów przetwarzania chmurowego (*cloud computing*) [Velte, 2009], które są eskalacją znanych wcześniej mechanizmów przetwarzania rozproszonego (*distributed processing*), sfederowanych baz danych (*federated database*), klastrów (*clustering*) czy systemów kratowych (*grid*). Podobny proces rozwojowy można zaobserwować w odniesieniu do rozwoju organizacji (przedsiębiorstw) wirtualnych.

Samo pojęcie wirtualizacji oraz jej mechanizmy (np. pamięci wirtualne) występują w informatyce od dziesięcioleci, a termin rzeczywistości wirtualnej VR (*Virtual Reality*) spopularyzował Jaron Lanier w roku 1984 [Rheingold, 1992]. Wirtualizacja organizacyjna ma krótszą historię, stąd m.in. mniejsza precyzja i większe różnice definicyjne pojęcia w tej sferze. W niniejszej pracy modele systemów produkcyjnych są zorientowane informacyjnie a jednocześnie dokonano identyfikacji zarządzania jako przetwarzania informacji. Stąd analiza organizacyjnych trendów wirtualizacyjnych zostanie oparta o wyżej wprowadzona definicję wirtualizacji.

Prototypem wirtualnego przedsiębiorstwa jest grupa pracownicza (zadaniowa), której członkowie tworzą mini-sieć organizacyjną (warstwa logiczna), formalnie niezależną od jej warstwy materialnej (infrastrukturalnej). Ów formalizm wynika z przyjętego, informacyjnego modelu przedsiębiorstwa, tj. takiego, w którym procesy informacyjne pełnią rolę nadrzędną i integrującą wobec przepływów materiałowych (energetycznych), finansowych oraz parametrów czasoprzestrzennych jego obiektów. W praktyce (także w sferze IT) istniejąca w konfiguracji (organizacji) warstwa fizyczna nakłada pewne ograniczenia na poziom logiczny. Jednocześnie organizacyjne mechanizmy wirtualizacji można by wyspecyfikować już w epoce przedinformatycznej. Dopiero jednak rozwój komputerowego wspomagania zarządzaniem produkcją prowadzi do eskalacji organizacyjnych możliwości wirtualizacyjnych.

Geneza wirtualizacji przedsiębiorstwa jest zatem ściśle powiązana z cechą sieciowości (*networking*). Sieciowość, wynikająca z możliwości komunikacyjnych grupy pracowniczej, przyczyniała się do zmian typu struktury organizacyjnej. W ten sposób powstawały takie jej typy jak: liniowa, funkcjonalna, sztabowo-liniowa, dywizjonalna, produktowa, projektowa, macierzowa oraz ich różne warianty np. projektowo-liniowa czy tensorowa. Najistotniejsze dla wirtualizacji jest przejście od klasycznych struktur o charakterze funkcjonalnym (Taylor, Fayol) do zorientowanych procesowo (idealny system Nadlera). Jej konsekwentne

stosowanie prowadzi do zintegrowanej, elastycznej i wirtualnej sieci wytwórczej VMN (*Virtual Manufacturing Network*), korespondującej z ideą fabryki cyfrowej (*digital factory*). Wirtualne przedsiębiorstwo jest zatem strukturą nowego rodzaju tzn. problemowo i zadaniowo specyfikowaną siecią dynamicznych modułów organizacyjnych dla uzyskania optimum, zorientowanej na klienta wydajności i jakości, z wykorzystaniem skojarzonej infrastruktury maszynowo-teleinformatycznej.

Postulowana w powyższej definicji dynamiczność struktury organizacyjnej odpowiada procesowym powiązaniom jej modułów, prowadząc w skali makro (globalnej) do fenomenu ekonomii sieciowej (*network economy*) [Beck, 2006]. Ten nowy paradygmat organizacyjny oznacza łączenie procesami informacyjnymi także coraz bardziej wirtualizującą się działalność poszczególnych pracowników, czego przejawem jest ich telepraca (tab. 1.3), której charakterystyka opisuje także cechy organizacji wirtualnej. Jak wspomniano, organizowanie jest działalnością znacznie starszą niż informatyzowanie zatem w początkach komputerowego wspomagania przedsiębiorstw hierarchiczne bazy danych korespondowały z hierarchicznymi strukturami firmach. W praktyce zakładano, że nie ma alternatywy dla idei taylorowskich tj. podziału pracy na standardowe i specjalizowane czynności. Typowym przejawem tak rozumianej organizacji fabryki była sztywno traktowana taśma produkcyjna.

Taka organizacja wytwórczości wydawała się być najdoskonalszą i jej formy przenoszono na inne obszary ludzkiej działalności. Na wzór zhierarchizowanych, standaryzowanych, i scentralizowanych struktur tworzono bankowość, szkolnictwo czy państwową administrację. W podobny sposób organizowano także służbę zdrowia, dystrybucję towarów a nawet sferę rozrywki. Przede wszystkim zaś przemysł.

Z biegiem czasu standaryzowaną produkcję zaczęła zastępować elastyczność wytwarzania, sztywną hierarchizację wypiera dynamicznie wirtualność zmieniających się instytucji a centralizacja ustępuje miejsca nowym, otwartym strukturom o rozproszonym charakterze. Taki model gospodarczy coraz bardziej odpowiada organizacji hipertekstowej. Twórcy tej idei formalnie wskazują na różnice między organizacją hipertekstową a macierzową na gruncie zarządzania, ale można je uchwycić także od strony informatycznej badając cechy hipertekstu [Strati, 2000]. **Hipertekst** definiujemy jako aplikację bazodanową, w której informacja, oparta na tekście, posiada organizację niesekwencyjną wykorzystującą wyróżnione węzły i relacje między nimi.

Cechy organizacji klasycznej korespondują więc z tekstem sekwencyjnym o ustalonej strukturze, interpretowanym „od początku do końca” tzn. wedle ustalonej chronologii (hierarchii). Z kolei hipertekst nie posiada stałego punktu wejścia czy wyjścia oraz tych samych ścieżek dostępu między nimi (analogia do sql-owych zapytań w relacyjnej bazie danych gdzie ścieżki dostępu tworzone są *ad hoc*). Nie ma zatem ustalonego porządku „czytania” – sam czytelnik tworzy swój własny labirynt hipertekstowy w zależności od preferencji. W sferze zarządzania rolę czytelnika przejmuje organizacja – jej struktury dysponujące zasobami wiedzy generują procesy i projekty oraz kojarzone z nimi grupy pracownicze.

W wersji multimedialnej elementami hipertekstu stają się obiekty dźwiękowe, graficzne, filmowe. Transformacji lingwistycznej (rozszerzeniu) ulega tradycyjnie rozumiane pojęcie tekstu, który wykracza poza zbiory słów powiązanych regułami gramatycznymi. Mapa drogowa staje się hipermapą, a książka hiperksiążką. Ogólnie możemy powiedzieć, że informacja staje się hiperinformacją a medium przekształca się w hipermedium. W ten

sposób w miejsce tradycyjnych powstają organizacje hipertekstowe. Z jednej strony dziedczą one charakterystyki swoich poprzedniczek (hipertekst może być „czytany” klasycznie) ale hipertekstowy proces biznesowy może być zarządzany w trybie projektowym (unikalnym) co zwiększa elastyczność rynkową przedsiębiorstwa.

Tabela 1.3

## Charakterystyka telepracy

Cecha	Klasykzne stanowisko pracy	Stanowisko telepracy
Elastyczność miejsca pracy	Sztwno definiowane miejsce pracy	Teleinformatycznie limitowana niezależność pracy i jej miejsca
Elastyczność czasu pracy	Sztwno definiowany czas pracy	Organizacyjnie limitowana niezależność pracy i czasu jej wykonywania
Typ zatrudnienia	Pełnoetatowe	Wahania w obciążeniu zadaniami w ciągu doby/tygodnia/roku czy życiowego okresu aktywności zawodowej
Pracodawca	Ciągłość pracy dla jednej firmy	Praca procesowa, zadaniowa/kontraktowa jednocześnie dla wielu firm
Przydział zadań	Sztwny (wąskie specjalizacje)	Dynamiczny ( <i>ad hoc</i> )
Podnoszenie kwalifikacji	Sterowane przez pracodawcę	Permanentne i indywidualne
Komunikacja interpersonalna	Bezpośrednia, werbalna, lokalna	Zdalna, elektroniczna, globalna (telekonferencje)
Ocena pracownika	Sformalizowana, osobowościowa	Wynikowa, pośrednia
Zespół pracowniczy	Wynikający z hierarchii przedsiębiorstwa	Wirtualny
Ubezpieczenia społeczne	Powiązane z pracodawcą (np. emerytalne)	Definiowane przez pracownika w ramach prawnych
Konsekwencje społeczne	Niewielka liczba miejsc pracy w regionach słabo rozwiniętych	Optymalizacja transportu (dojazdy pracownicze)

Źródło: opracowanie własne

Powyższy przykład pokazuje, że systemy ISP wymagają identyfikacji zarządzania jako przetwarzania informacji. Z drugiej strony praktycznie aplikowalny model informacyjnie zorientowanego systemu produkcyjnego oznacza konieczność przezwycięzania barier powodowanych, paradoksalnie, wielością technologii informatycznych. W inteligentnej organizacji hipertekstowej (wirtualnej) jej członkowie – tj. pracownicy firmy, jej dostawcy, partnerzy, czy klienci – mogą łączyć się w zespoły, ale wymaga to zdefiniowania referencyjnych standardów: jakie medium może być użyte w określonej sytuacji.

**Przykładowo:** mimo, że tradycyjne systemy telekomunikacyjne są mniej efektywne pielęgnacyjnie i kosztowo od telefonii internetowej (VoIP, *Voice over IP*) ta ostatnia wymaga stosowania bardziej zaawansowanych strategii zarządzania (planistycznych, kontrolingowych, integracyjnych). Różnorodne kanały przesyłania danych, obrazu czy dźwięku wymagają standaryzacji formatów oraz konsolidacji zarządzania nimi (bezpieczeństwo

informacji). Systemowa integracja w tym obszarze implikuje stosowanie standardów referencyjnych dla uzyskania ujednocionej platformy komunikacji i współpracy – np. UCC (*Unified Communication & Collaboration*) [Carter, 2008].

### 1.3. Optymalizacja technologii informacyjnych w ISP

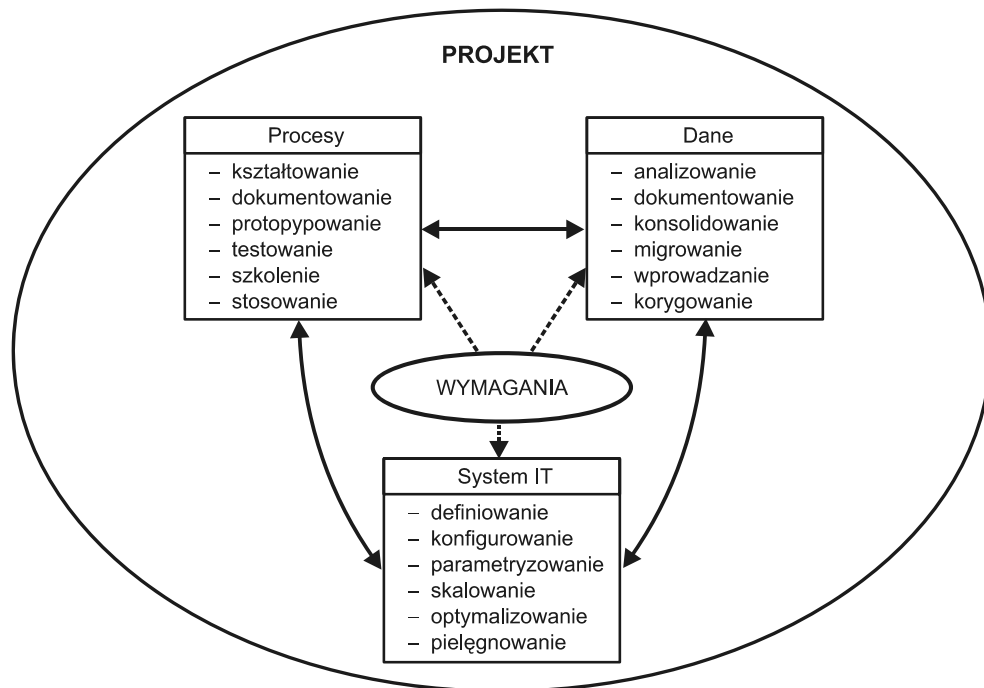
W poprzednim punkcie pokazano zarządzanie jako przetwarzanie informacji, a więc jako rodzaj technologii informacyjnej, która dzięki możliwościom komputerowego wspomaganie zyskuje wymiar informatyczny. Informatyka tworzy technologiczne podstawy funkcjonowania ISP, a zatem optymalizacja tych technologii ma kluczowe znaczenie dla efektywności rozważanych systemów. Konsekwentne stosowanie definicji „zarządzanie jako przetwarzanie informacji” pozwala na korzystanie z dorobku nauk informatycznych dla potrzeb organizacyjnych. W niniejszym punkcie pokażemy takie podejście na podstawie pojęcia „programu”, sspecyfikowanego wg N. Wirtha [Sengupta, 2004] jako „algorytm i struktury informacyjne”. Możemy zatem powiedzieć, że „organizacja = procesy + dane”. Jak pokazano w p. 1.1, algorytm może być interpretowany organizacyjnie jako pewien proces w systemie przedsiębiorstwa. W związku z tym strategiczną „mapę drogową” dla projektu ISP zaproponowano na rys. 1.2. Zakłada ona **dekompozycję centrum projektowego**, jakie stanowią wymagania systemowe, na trzy obszary: procesy, dane oraz odrębnie sam system IT (oprogramowanie, sprzęt).

W prezentowanym ujęciu system IT pełni rolę narzędziową dla całości projektu, natomiast procesy i dane projektowane są według referencyjnych zasad wypracowanych dla systemów informatycznych. Takie podejście gwarantuje integrację sfery organizacyjnej oraz informatycznej przedsiębiorstwa. Należy podkreślić, że szereg projektów informatycznych kończy się niepowodzeniem, paradoksalnie, właśnie z powodu zbyt dużego nacisku na sferę infrastrukturalną (hardware, software) tj. niedoceniańa pozatechnicznych aspektów przedsięwzięcia. ISP optymalnie łączący narzędzia techniczne z naturalną inteligencją człowieka nie może być rozumiany wyłącznie w kategoriach tych narzędzi. Ostatnie stwierdzenie koresponduje z niepowodzeniami projektów IT. Ich przyczyny mają bowiem charakter pozatechniczny, w szczególności organizacyjny [Kaur, 2011].

Złożoność współczesnych systemów produkcyjnych wymusza poszukiwania odpowiednio złożonych metod ich optymalizacji. Istniejące w tym zakresie podejścia praktyczne są niewystarczająco efektywne, co przejawia się w tworzeniu rozwiązań zamkniętych (indywidualnych), w niewielkim stopniu standaryzowanych (referencyjnych). Innym negatywnym zjawiskiem jest wąsko interpretowana algorytmizacja oraz fragmentaryczność w odniesieniu do różnorodnych obiektów i procesów rzeczywistych.

Obiecującą alternatywę organizacyjną może stanowić konstruowanie metod optymalizacji w większym zakresie wykorzystujących interdyscyplinarną syntezę dorobku różnych nauk, w szczególności informatyki i zarządzania. Koresponduje to z obserwowanymi zmianami paradygmatu nauk organizacji i zarządzania oraz skojarzonych z nimi zastosowań informacyjnych [Malhotra, 2001; Peristeras, 2002; Sturgeon, 2002]. Przedmiotowa **optymalizacja oznacza zatem konstruowanie systemu strukturyzującego rzeczywistość, definiującego jej reguły w celu kontrolowania niepożądaných zmian i adaptowania pożądaných**. Tak określone postępowanie cechuje się inteligencją i koresponduje z charakterystyką ISP wyspecyfikowaną w poprzedniku niniejszej pracy tj. w [Zawadzka i in., 2010]. Z kolei

rozwiemy zaproponowaną wyżej definicję określając bliżej cechy poszukiwanej metody optymalizacyjnej zgodnie z tab. 1.4.



Rys. 1.2. Trójelementowa dekompozycja wymagań projektowych

Źródło: opracowanie własne

Z teoretycznego punktu widzenia zaproponowane cechy korespondują z klasyczną triadą występującą w twierdzeniach: założenie → teza → dowód. Zakładamy bowiem, że referencyjna systemowość pozwala na uzyskanie pożądanej strukturyzacji rzeczywistości co można sprowadzić do jej modelowania. Z kolei otwartość metody przekłada się na stosowane reguły działania, które mają prowadzić do poprawy efektywności ISP. Dowodem na osiągnięcie tego celu jest sama implementacja założeń modelowych dopuszczająca w praktyce rozwiązania wielowariantowe (heterogeniczne). Skomentujmy powyższe wnioski przykładami.

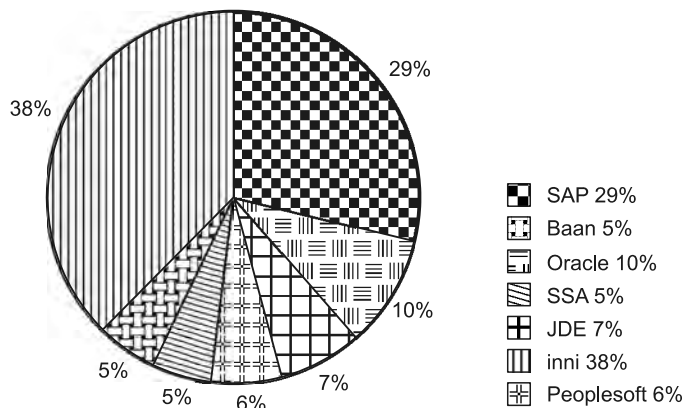
W tabeli 1.4 odniesiono się do systemów ERP z uwagi na ich znaczenie w praktyce przemysłowej. Specyfikując w p. 1.2 zarządzanie jako przetwarzanie informacji stwierdziliśmy, że istnieją analogie między zarządzaniem przedsiębiorstwem a zarządzaniem konfiguracją komputerową, w szczególności bazą danych. Takim bazodanowym centrum przedsiębiorstwa jest jego system ERP. Może on występować (z reguły w większych firmach) w postaci jawnej aplikacji o takiej nazwie lub jako oprogramowanie o podobnej funkcjonalności. W konfiguracji komputerowej jej głównym programem (systemem programów) jest system operacyjny (*operating system*), w przedsiębiorstwie jego głównym programem jest system ERP. W tab. 1.4 odniesiono się do otwartoźródłowego (*open source*) systemu ERP. W praktyce takie rozwiązania są rzadsze niż standardowe, a sześć tych ostatnich dominuje ok. 2/3 rynku (rys. 1.2). Dodajmy, że z uwagi na fuzje należą one do trzech dostawców: SAP, Oracle z JD Edwards i Peoplesoft oraz SSA (Infor) z Baan.

Cechy poszukiwanej metody optymalizacyjnej

Cecha	Charakterystyka	Przykłady
Systemowość	integracja różnorodnych metod cząstkowych tworząca nową jakość będącą czymś więcej niż tylko sumą rozwiązań składowych	modele, narzędzia i praktyki ( <i>best practices</i> ) referencyjne gwarantujące pożądaną interdyscyplinarność ISP
Otwartość	wyklucza statyczność metody w dążeniu do jej samouczącego się ideału (algorytmy informatyczne i organizacyjne)	ograniczanie zamkniętych standardów i dążenie do łatwych modyfikacji modularnych np. w ramach <i>open source ERP (Enterprise Resource Planning)</i>
Heterogeniczność	zróżnicowanie procesów i elementów świata rzeczywistego nie pozwala na wyłączne stosowanie jednego typu rozwiązań (np. obiektowych, <i>object-oriented</i> )	łączenie metod sztucznej inteligencji (SI) z naturalną inteligencją człowieka

Źródło: opracowanie własne

Z uwagi na ich genezę, klasycznym składnikiem współczesnych ERP jest oprogramowanie MRP (*Material Resource Planning*) umożliwiające systemowe planowanie i sterowanie sferą produkcji. Szereg modułów ERP wspiera gospodarkę magazynową i materiałową, logistykę, zarządzanie zasobami ludzkimi (płace), marketing, zbytni obsługę klientów, prace rozwojowe i projektowanie wyrobów, operacyjną obsługę procesów wytwórczych (*plant maintenance*), analizę kosztów (kontroling), zarządzanie jakością (laboratoria) czy zaopatrzenie.



Rys. 1.3. Globalni dostawcy ERP

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Srivastava, 2010]

Pakiet ERP można uznać za reprezentacyjny dla badań optymalizacji ISP także dla przedsiębiorstw mniejszych. W przypadku zaawansowanej produkcji również one podlegają presji rynkowej, a także naciskom ze strony swoich większych partnerów dla stosowania określonych standardów przemysłowych, stając się w ten sposób częścią aplikacji ERP.

---

W przypadku większych firm (koncernów) bez tych pakietów w praktyce nie byłyby możliwe konkurencyjne strategie rynkowe. Dodajmy ponownie, że także w tym przypadku oprogramowanie ERP może mieć, warunkowany historycznie czy kosztowo, charakter szkieletowy, będąc jednak funkcjonalnie wiodącym centrum dla współpracujących z nim aplikacji satelitarnych. Stopień ich integracji może być zróżnicowany – od rozwiązań wyspowych (*stand alone*) do sfederowanych baz danych (*federated*), klastrów (*cluster*), produktów wertykalnych (*vertical*) czy chmurowych (*cloud*). Proces selekcji oprogramowania klasy ERP wraz z aspektami pozatechnicznymi (wpływ na kulturę organizacyjną) pokazano w pracy [Pacholski, 2007].

Mimo takiej, heterogenicznej i otwartej, charakterystyki praktycznego środowiska ISP, granice sposobów jego transformacji nie są dowolnie przesuwalne.

**Przykładowo:** mikrotransformacyjna optymalizacja procesów informacyjnych małej firmy na bazie pakietów biurowych (np. arkusze kalkulacyjne) będzie wątpliwa czy bardzo trudna w przedsiębiorstwie kilkusetosobowym i niemożliwa w kilkutyśycznej korporacji. Tymczasem elektroniczna i **globalna gospodarka sieciowa** (*network economy*) sprawiają, że klasyczne granice przedsiębiorstwa stają się bardziej elastyczne czy wręcz zanikają a jego związki z otoczeniem rosną. W ten sposób na bazie wszechobecnego internetu (*evernet*) powstaje metapoziom globalnego systemu ERP, docelowo zarządzającego wszelkimi zasobami na skalę planetarną. Optymalizacja ISP dotyczy zatem również skali makrotransformacyjnej (np. międzynarodowe standardy prawne), przy czym mówimy tu o procesach, które choć nie zawsze są dostrzegane z perspektywy mikrotransformacyjnej, będą nabierały coraz większego znaczenia w bliskiej przyszłości, prowadząc do migracji ERP (ISP) w kierunku EIS (*Enterprise Information System*) [Olson, 2010].



# Algorytmy optymalizacyjne w zarządzaniu produkcją

Jako punkt wyjścia dla przykładów algorytmów optymalizacyjnych przyjęto warstwowy model ISP (p. 2.1). Występujące w nim zależności informacyjne (sprzężenia) pokazano na podstawie algorytmu generującego planowane zlecenia wytwórcze. Z kolei zaprezentowano szereg algorytmów z obszaru sztucznej inteligencji zakładając, że ISP jest zaawansowanym systemem produkcyjnym, który na drodze samoorganizacyjnej integruje naturalną inteligencję ludzką z metodami SI w ramach gospodarczych optimum mikro- i makroekonomicznych.

W szczególności (p. 2.2) zwrócono uwagę na systemy eksperckie (przykład działania modułu wnioskowania współpracującego z bazą wiedzy, integrującą dane materiałowe przedsiębiorstwa z jego sferą wytwórczą), logikę rozmytą (algorytmy Sugeno i Mamdaniego) oraz bioalgorytmy (odniesienia do przykładów bioorganizacji opartej o zastosowania algorytmów ewolucyjnych w planowaniu wytwarzania). Odrębnie zbadano metody heurystyczne (p. 2.3) w związku a algorytmami logistycznymi (dyspozytorskimi). Przegląd metod sztucznej inteligencji, oparty na podejściu hybrydowym zawarto w pracy [Flasiński, 2011].

## 2.1. Warstwowy model ISP

Przyjmując tezę o zarządzaniu jako przetwarzaniu informacji możemy traktować jego komputerowe wspomaganie nie tylko narzędziowo, ale także jako zbiór idei dla modeli zarządzania. **Przykładowo:** możemy szukać analogii między siecią komputerową a siecią obiektów systemu produkcyjnego. W pierwszym przypadku rozwój informatyki doprowadził już w latach 70. XX wieku do powstawania coraz większej liczby komunikujących się ze sobą różnych urządzeń telekomunikacyjnych (w tym komputerów) co wzmagało presję na standaryzację tej sfery. Aktualnie w sferze zarządzania (systemami produkcyjnymi) mamy do czynienia z podobną sytuacją: rosnąca liczba komunikujących się ze sobą obiektów systemu (maszyn, ludzi) powoduje wzrost jego złożoności, co wymaga stosowania strategii jej redukcji. Jedną z nich może być użycie modeli referencyjnych.

W obszarze teleinformatycznym podstawowym modelem referencyjnym jest ISO OSI RM (ISO *Open System Interconnection Reference Model*) [Duck, Read, 2003]. Jego geneza łączy się z chęcią implementacji **cechy otwartości**, jako fundamentalnej w systemach teleinformatycznych. Jest ona rozumiana w sensie:

- prawnym (możliwość rozbudowy podobna do klasycznej sieci telefonicznej),
- technicznym (standaryzacja gwarantująca dostęp do sieci różnym rodzajom sprzętu),
- użytkowym (przyjazność, efektywność, bezpieczeństwo).

Bezpośrednie stosowanie modelu OSI dla celów organizacyjnych nie jest celowe z uwagi na jego specyfikę (np. procesy i sygnały (opto)elektroniczne warstwy fizycznej). Możliwe jest jednak przyjęcie dla ISP podobnej metody dekompozycyjnej, **model OSI ma bowiem charakter semantyczny tj. definiuje język opisu sieci opierając się na czteroelementowej koncepcji:**

- usługi (*services*),
- protokoły (*protocols*),
- złącza (*interfaces*),
- warstwy (*layers*).

Każda z siedmiu warstw posiada zdefiniowane usługi (funkcje), które świadczy na rzecz innej warstwy na podstawie określonych standardów (protokołów), korzystając ze złączy międzywarstwowych. Znanym przykładem realizacji OSI dla potrzeb internetowych jest uproszczony (4-warstwowy) wariant TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*).

Na rysunku 2.1 przedstawiono warstwowy model ISP, którego istotą są sprzężenia międzywarstwowe (interfejsy). Każda warstwa posiada zdefiniowaną funkcjonalność ( $F$ ) realizowaną na podstawie zdefiniowanych standardów ( $S$ ). Połączenia między warstwami tworzą przepływy informacyjne, przy czym wyróżniamy tu:

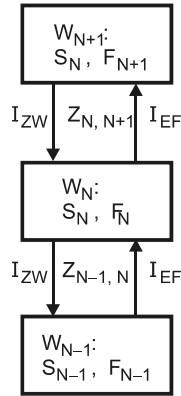
- informacje efektywne ( $I_{EF}$ ) tj. wyniki, dane sterujące, cele i miary,
- informacje zwrotne ( $I_{ZW}$ ) tj. korekty, weryfikacje, iteracje, dane o poziomie realizacji celów.

Możemy wyróżnić trzy rodzaje połączeń ( $Z$ ) między warstwami:

- sztywne, bez sprzężenia zwrotnego, np. odpowiadające na bazodanowe zapytania,
- elastyczne, ze sprzężeniem zwrotnym, np. dokonujące adaptacji planów wytwórczych ze względu na zadane kryteria czasowo-kosztowe,
- samouczące się, czyli inteligentne (zdolne do przetwarzania i kreowania wiedzy).

Mimo, że w tym ostatnim przypadku mamy do czynienia z cechą systemu produkcyjnego mającą w znacznym stopniu charakter postulatyczny możemy powiedzieć, że o **poziomie inteligencji ISP** istotnie decyduje poziom zaawansowania jego algorytmicznych (programowych) sprzężeń międzywarstwowych (typu  $a$ ,  $b$  lub  $c$ ).

**Przykład.** Rozważmy rodzaje sprzężeń występujące w podsystemie planowania wytwarzania wyrobów gotowych oraz zakupu surowców. W przypadku  $a$ ) możemy uruchamiać produkcję wyrobów gotowych skojarzonych z określonym zleceniem klienta. Mamy wówczas do czynienia z systemem reaktywnym (nieinteligentnym), gdzie zlecenia są „przepychane” wzdłuż łańcucha logistycznego. Z kolei zastosowanie modułu MPS (*Master Production Scheduling*) umożliwia antycypację prognostyczną zapotrzebowania na wyroby gotowe oraz jego elastyczne bilansowanie z napływającymi zleceniami klientów. Moduł generuje planowane zlecenia produkcyjne, które mogą być przekształcane w faktyczne zlecenia do realizacji. Efekt warstwowości w rozważanym przykładzie pojawia się z chwilą włączenia do systemu (ERP) modułu MRP (*Material Requirements Planning*). Efektywne informacje dotyczące planowanych zleceń generują z kolei, na podstawie listy części wyrobów, zapotrzebowanie na surowce, co stanowi informację zwrotną dla warstwy MPS (w zależności od realizacji zamówień następuje urealnienie planu produkcji wyrobów gotowych).



Rys. 2.1. Warstwowość w modelu ISP  
*Źródło:* opracowanie własne

Powyższy przykład pokazuje, że w ramach danej warstwy systemowej mogą występować specjalizowane moduły softwarowe, realizujące funkcje skojarzone z daną warstwą. Z kolei warstwa jest pojęciem szerszym i obejmuje szereg podobnych funkcjonalnie modułów, co odpowiada określonemu procesowi występującemu w przedsiębiorstwie. W praktyce w ramach danej warstwy występuje szereg procesów, co przedstawiono na rys. 2.2. Schemat odpowiada współczesnej formie organizacji przedsiębiorstwa tj. procesowej. Widzimy zatem szereg procesów występujących w przedsiębiorstwie (grube strzałki poziome) przenikających wiele jego działów. Jednocześnie procesy komunikują się ze sobą, co zaznaczono cieńszymi strzałkami pionowymi. Dla przejrzystości pokazano jedynie wybrane (główne) połączenia informacyjne między warstwami, przyjmując jeden z możliwych wariantów dekompozycyjnych przedsiębiorstwa – np. wyróżniono warstwę planowania zbytu, która osobowo i organizacyjnie może być w rzeczywistości częścią działu planowania. W tym ostatnim przypadku potraktowano łącznie planowanie produkcji i zaopatrzenia – faktycznie te sfery mogą występować odrębnie i być bardzo rozbudowane, w zależności od wielkości firmy.

Przeanalizujmy z kolei istotne dla ISP występujące w nim sprzężenia informacyjne, koncentrując się na sferze bezpośrednio związanej z wytwarzaniem tj. MPS/MRP, przyjmując za punkt wyjścia algorytm MPS generujący planowane zlecenia wytwórcze na podstawie informacji  $I_i$  w krokach  $K_i$ .

----- część informacyjna -----

I1: Plan zagregowany PZ (miesięczny)

I2: Zamówienia rzeczywiste

I3: Zapasy

I4: Wskaźniki zużycia zasobów i wydajności oraz kosztów

----- część wykonawcza -----

K1: Sprawdź czy poziom zużycia zasobów jest akceptowalny. Jeśli tak, przejdź do K2, w przeciwnym wypadku dokonaj zmian PZ.

K2: Sprawdź czy poziom wskaźników wydajnościowych jest akceptowalny. Jeśli tak, przejdź do K3, w przeciwnym wypadku dokonaj zmian PZ.

K3: Sprawdź czy poziom kosztów jest akceptowalny. Jeśli tak, przejdź do K4, w przeciwnym wypadku dokonaj zmian PZ.

K4: Sprawdź dostępność personelu. W przypadku pozytywnym, przejdź do K5, w przeciwnym wypadku dokonaj zmian PZ.

K5: Bilansuj zamówienia z zapasami generując główny plan produkcji GPP (tygodniowy).



Rys. 2.2. Przykład warstwowego modelu ISP (fragment systemu)

Źródło: opracowanie własne

Z kolei w warstwie planowania produkcji i zaopatrzenia (surowcowego) uruchamiany zostaje algorytm MRP.

----- część informacyjna -----

I1: GPP

I2: Listy części (BOM, Bill of materials)

I3: Zapasy materiałowe

I4: Zamówienia w toku

I5: Czasy realizacji dostaw

----- część wykonawcza -----

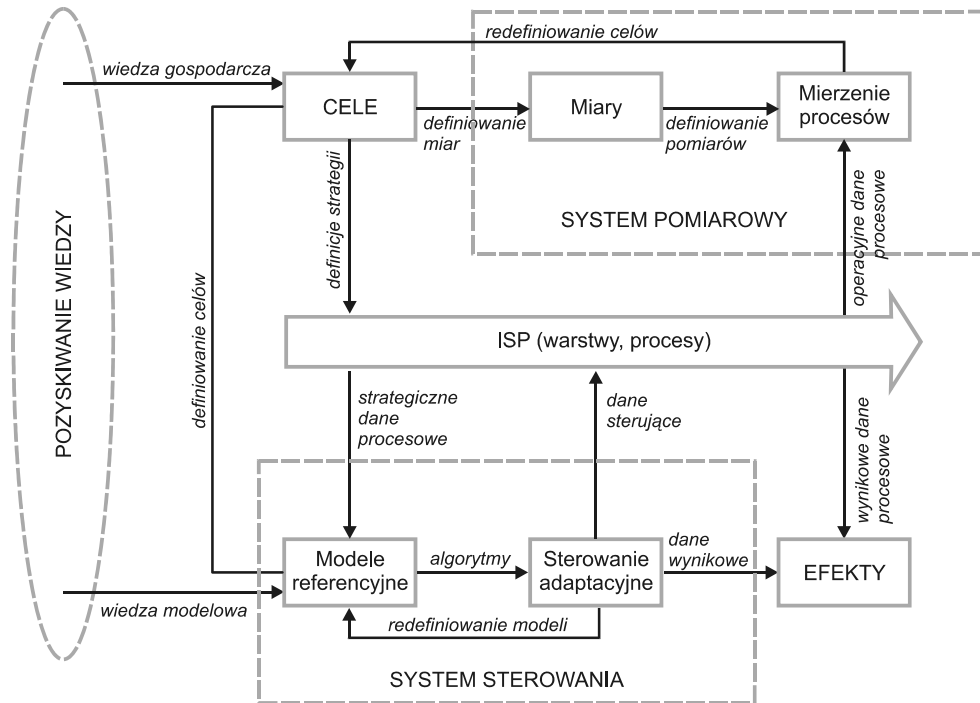
K1: Na podstawie GPP znajdź potrzeby brutto dla danego poziomu części, przejdź do K2.

K2: Na podstawie I3, I4 znajdź potrzeby netto dla danego poziomu części, przejdź do K3.

K3: Jeśli jest więcej poziomów przejdź do K1, w przeciwnym wypadku do K4.

K4: Na podstawie I5 generuj zamówienia materiałowe.

Na rysunku 2.3 przedstawiono podstawowe sprzężenia występujące w ISP w powiązaniu z jego celami i modelami referencyjnymi. W centrum modelu znajdują się procesy ISP powiązane z dwoma blokami systemowymi: pomiarowym i sterującym. Pierwszy z nich odpowiedzialny jest za definiowanie miar oraz sam pomiar procesów z wykorzystaniem operacyjnych danych procesowych (np. wskaźników osobowo-produkcyjnych). Drugi blok definiuje adaptacyjne sterowanie procesami, wykorzystując modele referencyjne (p. p. 5.3). W ten sposób następuje powiązanie celów i efektów ISP. W elipsie wskazano na sferę zarządzania wiedzą, której pozyskiwanie dotyczy także otoczenia przedsiębiorstwa.



Rys. 2.3. Sprzężenia pomiarowo-sterujące w modelu ISP  
Źródło: opracowanie własne

## 2.2. Algorytmy sztucznej inteligencji

Zidentyfikowane w pracy [Zawadzka, 2010] – geneza ISP oraz cechy przyszłościowych systemów produkcyjnym NGMS (*Next Generation Manufacturing System*) pozwalają na stwierdzenie, że ISP jest zaawansowanym systemem ESP, który na drodze samoorganizacyjnej integruje:

- naturalną inteligencję ludzką z metodami sztucznej inteligencji,
- gospodarcze optima mikro- i makroekonomiczne.

**Integracja mikro-makroekonomiczna** oznacza traktowanie elastyczności i wypływającej z niej cechy inteligencji produkcyjnej jako metacechy gospodarczej, która może być rozpatrywana w różnej skali: od poziomu pojedynczych stanowisk produkcyjnych aż do wymiaru globalnego. System ISP nie funkcjonuje w sposób izolowany, ale jest częścią (sieciowej) gospodarki planetarnej. Stąd konieczność dążenia do stanu równowagi między sferą mikro- a makroekonomiczną z uwzględnieniem wymogów ekologicznych. Z kolei **postulat samoorganizacyjny** wynika z dążenia systemów technicznych do ideałów naturalnych (przyrodniczych) – tab. 2.1.

Tabela 2.1

Komponenty metacechy samoorganizacji z przykładami przyrodniczo-gospodarczymi

Składowa samo-organizacyjna	Definicja	Realia przyrodnicze	Postulaty ISP
Samo-reprodukcja	Replikacja jednostkowa (osobnicza) i systemowa (gatunkowa)	Samoreplikacja roślin na podstawie kodu genetycznego i zasileń zewnętrznych	Samowytwarzanie (klonowanie wyrobów i maszyn)
Samo-ekspansja	Homeostatyczny wzrost i rozwój osobniczo-grupowy	Cykl życia osobnika i zrównoważone opanowywanie terytorium	Optymalna realizacja założeń eksploatacyjno-rozwojowych wraz z autopoprawą wskaźników ekonomicznych
Samo-adaptacja	Elastyczność reakcji na zmiany sytuacji, zakłócenia	Redukcja poziomu wody w liściach przed mrozami, ograniczone odtwarzanie utraconej części ciała (płyzy)	Samozmienne strategie rynkowe i wytwórcze, automatyzm planów eskalacyjnych i samonaprawy
Samo-ewolucja	Mutacyjna samoadaptacja gatunkowa	Przetrwanie motyli o białych skrzydłach na terenach przemysłowych (zmiana barwy na ciemną) [Starr, 2010]	Efektywniejsze warianty systemu nie tylko operatywnie, ale strategicznie (zmiany profilu)

Źródło: opracowanie własne

Również metody SI w rozważnym obszarze można odnieść do ESP (III.1a) specyfikując rodzaje elastyczności wg następującego schematu:

- I. Elastyczność maszynowa.
  - a) kolejność operacji
  - b) rodzaje maszyn i narzędzi
  - c) automaty i roboty przemysłowe
  - d) automatyczne magazyny i środki transportowe
- II. Elastyczność produktowa
  - a) harmonogramy
  - b) listy części
  - c) asortyment wyrobów
  - d) nowe produkty

### III. Elastyczność systemowa

#### 1. Elastyczność informacyjna

- a) sztuczna inteligencja
  - systemy eksperckie
  - logika rozmyta
  - bioalgorytmy
- b) algorytmy organizacyjne
- c) modele referencyjne

#### 1. Elastyczność sterowania

- 2. Elastyczność rynkowa
- 3. Elastyczność personelu

### 2.2.1. Systemy eksperckie

**System ekspercki (SE)** jest oprogramowaniem wykorzystującym bazę wiedzy dla wspomaganie rozwiązywania problemów wymagających zaawansowanych doświadczeń specjalisty dziedzinowego. Modelowe różnice między systemem eksperckim a klasycznym oprogramowaniem pokazano w tab. 2.2. Wynika z nich, że istotą XPS (*eXPert System*) jest wyróżniona baza wiedzy, której działanie wspomagane jest specjalistycznymi modułami (rys. 2.4).

**Tabela 2.2**

Różnice między systemem eksperckim a oprogramowaniem klasycznym

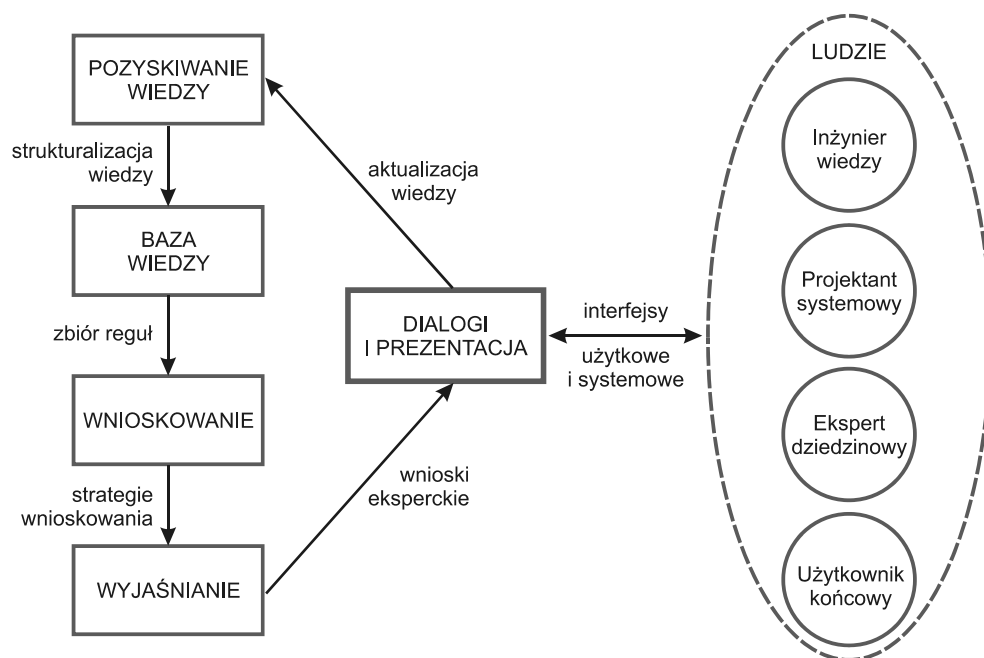
Cecha	System ekspercki	System klasyczny
Obszar softwarowy	Sztuczna inteligencja	Standardowe oprogramowanie użytkowe
Struktury danych	Baza wiedzy	Baza danych
Rodzaje algorytmów	Semantyczne (symboliczne), dialogowe heurystyki	Numeryczne, masowe przetwarzanie danych gospodarczych
Implementacja logiki	Głównie w strukturach danych (niezależność reguł wnioskowania)	W strukturach danych i algorytmach (mniejsza elastyczność wnioskowania)
Interpretacja wyników	Intensywnie wspomagana modulem wyjaśniania	Minimalna (stałe informacje dokumentacyjne)
Projektanci	Inżynierowie wiedzy	Programiści
Definiowanie wymagań	Ekspertci dziedzinowi	Użytkownicy
Dialogowość	Rozbudowana	Prosta
Narzędzia softwarowe	Specjalistyczne (języki, systemy szkieletowe)	Standardowe (języki uniwersalne)

Źródło: opracowanie własne

Geneza SE [Negnevitsky, 2005] wiąże się z zastosowaniami medyczno-diagnostycznymi, również obecnie ta sfera jest bardzo wyraźnie reprezentowana w tym obszarze oprogramowania. Przegląd aplikacji SE pozwala na ich pogrupowanie ze względu na rozwiązywane problemy:

- 1) diagnostyczno-naprawcze – specyfikacja sytuacji chorobowej czy technicznej (rozpoznanie przyczyn błędów) na podstawie podanego zestawu informacji (np. obraz cho-

- robowy, dane o błędach). Przykłady: INTERNIST [Armoni, 2002] (medycyna), DEX.C3 [Blank, 2002] (przekładnie samochodowe).
- 2) monitorowania – obserwacje systemów i urządzeń (zbieranie danych) oraz reagowanie na ich stany (błędy). Przykład: REACTOR [Mannan, 2005] (elektrownie atomowe).
  - 3) prognostyczne – przewidywanie rozwoju sytuacji w sferze ekonomicznej lub przyrodniczej. Przykłady: SPERIL (predykcja trzęsień ziemi), ESP [Zimmermann, 2001] (planowanie strategiczne).
  - 4) planistyczno-prognostyczne – konstruowanie planów postępowania dla urządzeń technicznych i systemów gospodarczych. Przykłady: NOAH (akcje autonomicznych robotów), ISIS (planowanie produkcji) [Salvendy, 2001].
  - 5) interpretacyjne – analiza danych (czujniki) dla wyspecyfikowania wynikających z nich fenomenów o charakterze obiektywnym – np. rozpoznawanie mowy, HEARSAY [Mohan, 2000] lub sytuacyjnym – np. badania geologiczne PROSPECTOR [Deshpande, 2008].



Rys. 2.4. Podstawowe moduły systemu eksperckiego  
*Źródło: opracowanie własne*

Dla pokazania możliwości systemu eksperckiego w obszarze produkcyjnym niżej zostanie zaprezentowany przykład działania modułu wnioskowania [Zawadzka i in., 2011] współpracującego z bazą wiedzy, integrującą dane materiałowe przedsiębiorstwa z jego sferą wytwórczą. Dla większej przejrzystości podstawowy algorytm przedstawiono w postaci schematu blokowego na rys. 2.5, jednocześnie koresponduje on z notacjami pseudokodowymi w tekście.



-----[Część deklaratywna]-----

d1: maszyna M1 jest aktywna

d2: surowiec S1 jest dostępny

-----[Część proceduralna]-----

r1: Jeśli surowiec S1 jest dostępny i możliwa jest obróbka typu T1  
→ komponent K1 jest dostępny

r2: Jeśli maszyna M1 jest aktywna → obróbka typu T1 jest możliwa

r3: Jeśli komponent K1 jest dostępny → wytworzenie produktu P1 jest możliwe

-----[Wnioskowanie „do przodu”]-----

Krok 1: Sprawdź, czy osiągalność zadanego celu (prawdziwość postawionej hipotezy) definiowana jest przez któryś z elementów wiedzy deklaratywnej – jeśli tak to zakończ wykonywanie procedury (cel jest osiągalny). W przeciwnym wypadku przejdź do kroku nr 2.

Krok 2: Wyznacz w zbiorze elementów wiedzy proceduralnej niesprawdzone jeszcze reguły, które są spełnione na podstawie przesłanek (elementów deklaratywnych). Jeśli nie istnieją takie reguły, to zakończ wykonywanie algorytmu (zadany cel jest nieosiągalny). Przejdź do kroku nr 3.

Krok 3: Dopisz wnioski (implikacje) wynikające ze spełnionych reguł, jako nowe elementy wiedzy deklaratywnej. Spełnione reguły oznacz jako sprawdzone. Powróć do kroku 1.

-----[Hipoteza wytworzenia produktu P1]-----

(krok 1) W deklaratywnej części bazy wiedzy nie istnieje informacja o osiągalności zadanego celu.

(krok 2) Na podstawie reguły (r2) mamy:

(d1) maszyna M1 jest aktywna → możliwa jest obróbka typu T1

(krok 3) Implikacja ‘możliwa jest obróbka typu T1’ staje się nowym elementem (d3) wiedzy deklaratywnej

(krok 1) W deklaratywnej części bazy wiedzy nie istnieje informacja o osiągalności zadanego celu.

(krok 2) Na podstawie reguły (r1) mamy:

(d3) możliwa jest obróbka typu T1 i dostępny jest surowiec S1 → komponent K1 jest dostępny

(krok 3) implikacja ‘komponent K1 jest dostępny’ staje się nowym elementem (d4) wiedzy deklaratywnej

(krok 1) W deklaratywnej części bazy wiedzy nie istnieje informacja o osiągalności zadanego celu.

(krok 2) Na podstawie reguły (r3) mamy:

(d4) komponent K1 jest dostępny → możliwe jest wytworzenie produktu P1

(krok 3) implikacja ‘możliwe jest wytworzenie produktu P1’ staje się nowym elementem (d5) wiedzy deklaratywnej

(krok 1) W deklaratywnej części bazy istnieje element potwierdzający osiągalność zadane-  
nego celu (d5) – koniec wykonywania procedury.

-----[ Algorytm wnioskowania „wstecz”]-----

Krok 1: Wyszukaj regułę, której spełnienie potwierdza daną hipotezę. Jeśli nie ma takiej reguły zakończ wykonywanie algorytmu (prawdziwość hipotezy nie została potwierdzona).

Krok 2: Dla wytypowanej w kroku 1 reguły wyszukaj przesłanki (elementy wiedzy deklaratywnej), dla których reguła jest spełniona. W przypadku powodzenia zakończ algorytm (prawdziwość hipotezy została potwierdzona). W przypadku braku którejś z przesłanek wywołaj rekurencyjnie niniejszą procedurę dla nowej hipotezy stanowiącej poszukiwaną przesłankę.

Działanie wnioskowania „wstecz” może zatem przebiegać następująco dla hipotezy: możliwe jest wytworzenie produktu P1.

(krok 1) Reguła (r3) definiuje warunki konieczne dla wytworzenia produktu P1.

(krok 2) Nie istnieje element wiedzy deklaratywnej stanowiący przesłankę dla spełnienia reguły (r3). Procedura wnioskowania „wstecz” jest wywołana rekurencyjnie dla nowej hipotezy: komponent K1 jest dostępny:

(krok 1) Reguła (r1) określa warunek dostępności komponentu K1.

(krok 2) Istnieje tylko jedna przesłanka (d2) – z dwóch potrzebnych do spełnienia reguły (r1). Następuje rekurencyjne wywołanie wnioskowania „wstecz” dla nowej hipotezy: możliwa jest obróbka typu T1:

(krok 1) Reguła (r2) definiuje warunki konieczne dla możliwości obróbki typu T1.

(krok 2) Przesłanka dla reguły (r2) jest spełniona przez element (d1).

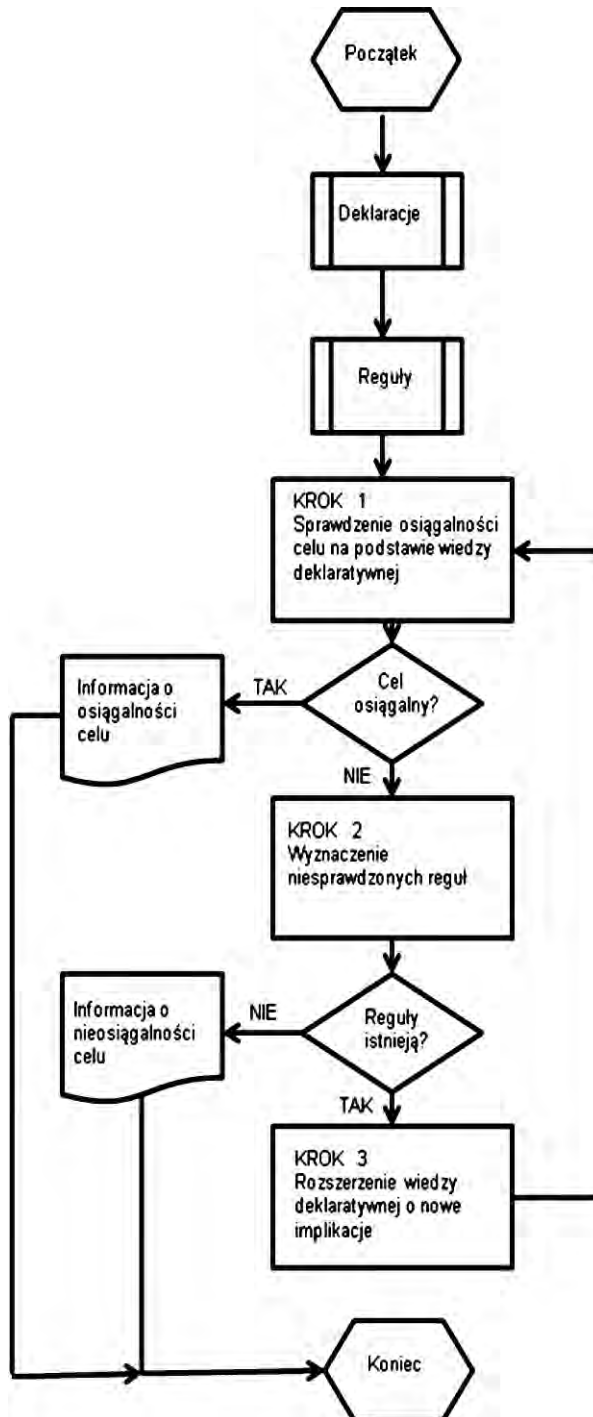
Reguła (r1) jest spełniona.

Reguła (r3) jest spełniona – hipoteza ‘możliwe jest wytworzenie produktu P1’ jest prawdziwa.

Przykład pokazuje, charakterystyczne dla SE, konstruowanie bazy wiedzy na podstawie jej deklaratywnych i proceduralnych elementów. **Część deklaratywna** reprezentuje informacje o cechach obiektów otoczenia („wiedza, że”). W ISP taka wiedza może opisywać własności surowców, charakterystyki procesów wytwórczych czy logistycznych. Z kolei **wiedza proceduralna**, czyli „wiedza, jak”, specyfikuje reguły przetwarzania, relacje między obiektami świata rzeczywistego oraz metody oceniania pozyskiwanych rozwiązań dla formułowanych problemów. Jak pokazano, samo pozyskiwanie wiedzy może odbywać się na zasadzie „uczenia się” empirycznego tj. na podstawie zapamiętywania zdarzeń, będących następnikami zdefiniowanych uprzednio decyzji. W ramach pozyskiwania wiedzy mamy także do czynienia z przetwarzaniem nieformalnej wiedzy od eksperta, na jej maszynową reprezentację bazodanową.

Widzimy zatem, że celem systemu eksperckiego jest wspomaganie lub niemal całkowite zastąpienie osoby eksperta (czynnika ludzkiego) z wykorzystaniem emulacji (naśladowania):

- analizy eksperckiej wyspecyfikowanego problemu,
- formułowania wniosków związanych z proponowanymi rozwiązaniami,
- wyjaśniania przesłanek szczegółowo uzasadniających proponowane rozwiązanie.



Rys. 2.5. Schemat podstawowego algorytmu modułu wnioskowania  
*Źródło: opracowanie własne*

Z kolei szczegółowe algorytmy stosowane w ramach SE można sprowadzić do kombinacji dwóch metamodelowych reguł upraszczania (modelowania) rzeczywistości:

- a) redukcji, podczas której rozbudowany problem zostaje rozłożony na prostsze problemy cząstkowe,
- b) transformacji, polegającej na zamianie rozwiązywanego problemu na inny (podobny) o znanym już rozwiązaniu.

Narzędziową warstwę SE w ISP mogą tworzyć systemy szkieletowe (*Expert Shell*) [Kendal, Creen, 2007], zawierające standaryzowane moduły pozyskiwania i reprezentacji wiedzy, interfejsy użytkownika i mechanizmy wnioskowania. Pakiet szkieletowy uzyskuje wartość użytkową po wypełnieniu go sprecyzowaną wiedzą, stając się w rezultacie specjalizowanym systemem dla dedykowanych problemów wytwórczych. Praktyka pokazuje, że takie podejście przyspiesza tworzenie aplikacji, szczególnie w jego początkowym okresie (*rapid prototyping*).

### 2.2.2. Logika rozmyta

Wiarygodność bazy danych ISP w istotnej mierze wynika z poziomu wiarygodności metod używanych dla konstruowania opisu świata rzeczywistego czyli środowiska biznesowego, w którym planowane jest komputerowe wspomaganie organizacji produkcji. Ten warunek dotyczy zarówno fazy modelowania i pozyskiwania informacji bazodanowych jak również ich wykorzystywania tzn. dostępu do danych i ich interpretacji. Mamy tu do czynienia ze wzrostem stopnia agregacji danych i procesem ewolucji baz danych zgodnie ze schematem:

bazy danych → bazy informacji → bazy wiedzy.

Ważną przeszkodą ograniczającą efektywność tego procesu jest fenomen eksplozji informacyjnej. W tym kontekście *możliwości podnoszenia efektywności aplikacji bazodanowych ISP wiążą się również z obserwowaną zmianą paradygmatu logiki stosowanej w bazach danych i ich otoczeniu.*

Obecnie nadal większość aplikacji IT, w przeważającej większości, opiera się na zasadach logiki klasycznej, co w informatyce przejawia się binarnością (dwuwartościowością). Algebra Boole'a nie zawsze w pełni koresponduje z kompleksowością systemów komputerowych wspomagających sferę gospodarczą (wytwórczą). Z kolei logika *fuzzy* (rozmyta) [Ross, 2010] definiuje aparat matematyczny dla procedur klasyfikacji i wnioskowania na podstawie wiedzy mającej „rozmyty” charakter. W odróżnieniu od klasycznej logiki korzystającej z dwóch wartości: 1 – prawda, 0 – fałsz, w logice rozmytej możliwe są wartości pośrednie między prawdą a fałszem. W ten ‘rozmyty’ sposób definiowana jest granica zbioru, w stosunku do którego określana jest przynależność danego elementu.

Architekturę rozmytej regulacji w systemie produkcyjnym pokazano na rys. 2.6. Koreponduje ona pokazanymi wcześniej sprzężeniami pomiarowo-sterującymi w modelu ISP (rys. 2.3) oraz zależnościami między modułami systemu eksperckiego (baza wiedzy/reguły wnioskowania, rys. 2.5). Mamy zatem do czynienia ze strategią stosowania logiki rozmytej wg następującego schematu:

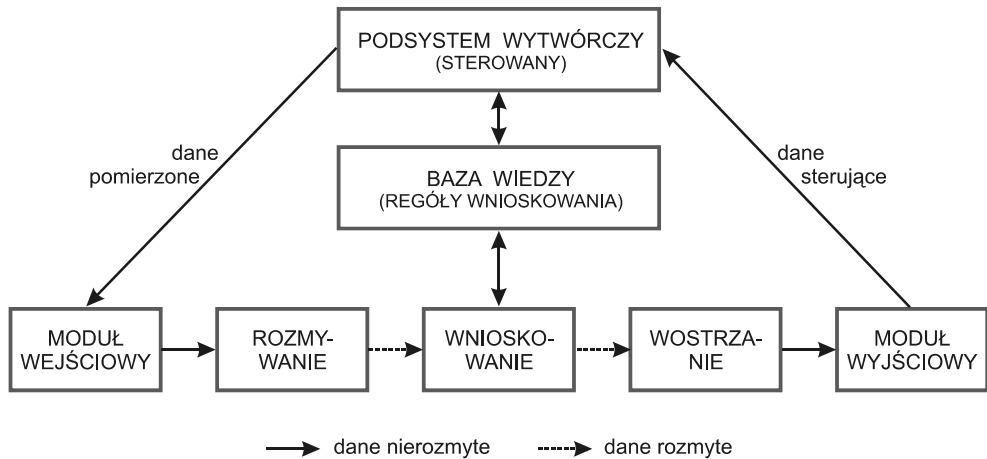
- 1) opis świata rzeczywistego regułami w języku naturalnym,
- 2) przekształcenie reguł na model rozmyty (fuzyfikacja/rozmywanie),
- 3) przetwarzanie rozmytych informacji,

4) interpretacja uzyskanych wyników w kategoriach rzeczywistych (defuzyfikacja/wyostrzenie).

Fuzyfikacja polega na przypisaniu dla każdej zmiennej wejściowej, wektora opisującego przynależność tej zmiennej do zdefiniowanych zbiorów rozmytych. Pojęcie zbioru rozmytego można wyjaśnić rozpatrując funkcję przynależności: dla danego elementu do danego zbioru.

Rozważmy następujące reguły projektowe doboru środków transportu systemu produkcyjnego, w zależności od pochyłości toru transportowego i odległości między stanowiskami roboczymi:

- dla większych odległości między stanowiskami i niewielkich pochyłości toru można stosować przenośniki podwieszane,
- dla niewielkich odległości między stanowiskami i znacznych pochyłości toru można stosować wózki widłowe.



Rys. 2.6. System logiki rozmytej w ISP

*Źródło: opracowanie własne*

Podczas projektowania metodami klasycznymi takie reguły znajdują odbicie w macierzach zależności (tab. 2.3). W tym przypadku mamy do czynienia z macierzą łączącą środki transportu z cechami systemu transportowego. W praktyce, kilkudziesięciu cech systemu transportowego i kilkunastu rodzajów środków transportu, mamy do czynienia z setkami podobnych reguł – znajdują one odbicie w „ostrej” macierzy zależności.

Werbalny opis stanu rzeczywistego jest charakterystyczny także dla innych sytuacji projektowych. Nasuwa się tu pytanie: co oznaczają określenia takie jak „niewielki” czy „większy”? Jaką odległość między stanowiskami możemy uznać za „małą”? Problemu tego nie rozwiążą również doświadczalnie określone współczynniki projektowe – w tabeli przyjęto „ostro”: 50 m dla odległości między stanowiskami i 10% dla pochyłości toru. Na gruncie logiki klasycznej (algorytmicznie) odległość 51 metrów jest już „duża”, podczas gdy 49 metrów to jeszcze „mała odległość”. Projektant nie dyskwalifikuje jednak wózka widłowego tylko dlatego, że odległość między rozważanymi stanowiskami wynosi 51 metrów z uwagi na wielość reguł projektowych oraz praktykę, która de facto posługuje się

wnioskowaniem rozmytym. Tymczasem reguły algorytmiczne implementowane są w pakietach komputerowych na bazie logiki zero-jedynkowej.

Pokazany przykład dialogu człowieka z bazą danych pokazuje fenomen niedopasowania (*mismatch*) systemów logiki stosowanej przez obu jego uczestników. Zatem potrzeba stosowania logiki rozmytej rośnie wraz ze złożonością baz danych, ponieważ jedynie prostsze systemy pozwalają na ich efektywne modelowanie wyłącznie na podstawie logiki dwuwartościowej. Lepsze efekty można uzyskać, określając dla badanych wielkości (odległość, pochyłość) funkcje podające stopień przynależności elementu do zbioru tj. funkcje rozmyte (tab. 2.4, tab. 2.5). Z kolei można implementować reguły projektowe wykorzystując tzw. **operatory kompensujące**. Prosty przykład takiego operatora może być np. średnia geometryczna. Rozpatrując dalej podany przykład można zauważyć, że nawet przy odległości 70 metrów możliwe będzie użycie wózka widłowego jeśli jest to kompensowane odpowiednim nachyleniem toru (16%). Wynik taki jest bliższy praktyce projektowej niż efekty symulacji opartych wyłącznie na logice klasycznej.

**Tabela 2.3**

Macierz zależności między środkami transportowymi ISP  
a cechami jego systemu transportu (fragment)

Środek transportu \ Cechy	Masa	Odstępy między-stanowiskowe	Pochyłość toru	Obciążenie stropu
.				
.				
.				
Suwnica				
Wózek widłowy	. . .	do 50 m	ponad 10%	. . .
Przenośnik podwieszony	. . .	ponad 50 m	do 10%	. . .
Układnica regałowa				
.				
.				
.				

Źródło: opracowanie własne

Jednocześnie zauważamy, że naturalny tj. rozmyty operator językowy „i” ( $I_N$ ) nie jest tożsamy z „i” boolowskim ( $I_B$ ). Naturalne „i” zawiera w sobie również, w pewnym stopniu, boolowskie „lub” ( $L_B$ ). Oznaczmy ów stopień zmienną  $S$ , przyjmującą wartości od 0 do 1.

Z kolei zdefiniujemy 2 człony  $I_B$ : sumę  $X + Y$ , względnie sumę pomniejszoną o iloczyn  $X + Y - XY$  oraz sam iloczyn  $XY$ . Ważoną wartość każdego z członów można przedstawić jako  $(X + Y - XY)^S$  oraz  $(XY)^S$ . Dla uzyskania efektu kompensacji można połączyć oba człony oraz w drugim przypadku zastąpić  $S$  jej dopełnieniem  $1 - S$ . Uzyskujemy w ten sposób operator dwóch zmiennych  $X, Y$ , określających stopień przynależności elementu do zbioru:

$$I_N = (X + Y - XY)^{1-S} (XY)^S \quad (2.1)$$

W skrajnych przypadkach: dla  $S = 0$  działa tylko pierwszy człon operatora, dla  $S = 1$  odpowiednio tylko drugi. Tak więc dla różnych wartości stopnia kompensacji można uzyskiwać funkcje z większą lub mniejszą zawartością  $I_B, L_B$ .

Tabela 2.4

Mała odległość międzystanowiskowa –  $OM_M$ , w zależności od odległości między stanowiskami  $O$  w metrach

$O$	10	20	30	40	50	60	70	80
$OM_M$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2.5

Znaczna pochyłość toru –  $PT_Z$ , w zależności od pochyłości toru  $P$  w %

$P$	2	4	6	8	10	12	14	16
$PT_Z$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

Źródło: opracowanie własne

Podane przykłady funkcji rozmytych prezentowanych tabelarycznie, można wyrazić także wzorami i zastosować operator  $I_N$ , przyjmując

$$MO_M = X, PT_Z = Y \quad (2.2)$$

oraz  $X = 1 - O/100$ , dla  $O \in < 0, 100 >$

$$Y = P/20 + 0,1, \text{ dla } P \in < 0, 18 > \quad (2.3)$$

W ten sposób przechodzimy do graficznie charakterystycznych postaci funkcji rozmytych tj. trójkątnych (trapezowych) (rys. 2.7), co zilustrujemy również przykładem praktycznym, ilustrującym możliwości stosowania zmiennych leksykalnych (językowych) w modelowaniu rozmytym, w odniesieniu do planowania dostaw materiałowych.

Wybierzmy jedną z wielu reguł planowania dostaw materiałowych, która mówi, że jeśli zapas materiału jest mały oraz cykl dostawy jest długi, to zakup należy traktować jako priorytetowo ważny. Przykładem jej implementacji w systemach ERP są dwa parametry liczbowe: czas dostawy i zapas minimalny – po spadku poziomu zapasów do określonego minimum automatycznie generowane jest zlecenie zakupu, którego priorytet wynika z długości cyklu dostawy. Kompromisowe rozwiązanie problemu polega na zapewnieniu ciągłości produkcji przy jednoczesnym optimum zamrożenia kapitału w zapasach. Podobne dylematy pojawiają się w algorytmach szeregowania zadań produkcyjnych. Po zdefiniowaniu zmiennych leksykalnych, możliwe jest przełożenie przykładowej reguły planowania na język maszynowy. Niżej podano jej postać w pseudokodzie.

**IF** zapas **IS** mały **AND** czas\_dostawy **IS** długi **THEN** priorytet\_zakupu **IS** wysoki

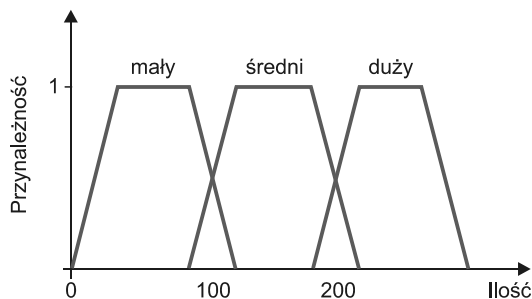
Oprócz trójkątnego kształtu zbioru rozmytego istnieją inne kształty jak singleton lub kształty definiowane na podstawie rozkładu gaussowskiego [Sivanandam, 2007]. Operacje sumy, iloczynu i dopełnienia dla zbiorów rozmytych w kontekście funkcji przynależności definiuje się następująco sposób:

$$\text{suma:} \quad \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (2.4)$$

$$\text{iloczyn:} \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (2.5)$$

dopełnienie:

$$\sim \mu_A(x) = 1 - \mu_{\bar{A}}(x). \quad (2.6)$$



Rys. 2.7. Przykłady zmiennych językowych dla zapasów  
Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wyznaczonych wektorów przynależności zmiennych wejściowych, moduł wnioskowania (inferencji) dokonuje wyznaczenia konkluzji na podstawie zdefiniowanej bazy reguł. Istnieją dwa modele mechanizmu inferencji: model Sugeno oraz model Mamdaniego (Sivanandam, 2007). Model Sugeno zakłada konstrukcję bazy reguł na podstawie elementów o następującej strukturze:

$$\text{jeśli } x \text{ jest } A \text{ to } y = f(x)$$

Konkluzją powyższej reguły jest funkcja  $f(x)$ . Załóżmy, że zmienna  $w$  określa wielkość produkcji, a zmienna  $p$  określa wielkość popytu. W praktyce reguła według modelu Sugeno może wyglądać następująco:

$$\text{jeśli } (w \text{ jest } \textit{mała}) \text{ i } (p \text{ jest } \textit{duża}) \text{ to } \textit{cena} = f_1(w,p)$$

$$\text{jeśli } (w \text{ jest } \textit{duża}) \text{ i } (p \text{ jest } \textit{duża}) \text{ to } \textit{cena} = f_2(w,p)$$

$$\text{jeśli } (w \text{ jest } \textit{średnia}) \text{ lub } (p \text{ jest } \textit{średnia}) \text{ to } \textit{cena} = f_3(w,p)$$

gdzie  $f_1, f_2, f_3$  są zdefiniowanymi funkcjami określającymi cenę produktu w zależności od stosunku produkcja/podaż. W modelu typu Mamdaniego, konkluzją reguły jest zbiór rozmyty:

$$\text{jeśli } x \text{ jest } A \text{ to } y = B$$

Nawiązując do powyższego przykładu ze zmiennymi  $w$  oraz  $p$  mamy:

$$\text{jeśli } (w \text{ jest } \textit{mała}) \text{ i } (p \text{ jest } \textit{duża}) \text{ to } \textit{cena} = \textit{duża}$$

$$\text{jeśli } (w \text{ jest } \textit{duża}) \text{ i } (p \text{ jest } \textit{duża}) \text{ to } \textit{cena} = \textit{średnia}$$

$$\text{jeśli } (w \text{ jest } \textit{średnia}) \text{ lub } (p \text{ jest } \textit{średnia}) \text{ to } \textit{cena} = \textit{średnia}$$

Spełnienie reguły – w modelu Sugeno i w modelu Mamdaniego – doprecyzowane jest wagą  $r$  (współczynnikiem aktywacji reguły), której wartość wyliczana jest na podstawie funkcji przynależności oraz operacji logicznych występujących w przesłance dla danej reguły. Przykładowo, rozważmy pierwszą z wymienionych wyżej reguł. Jeśli założymy  $\mu_{\textit{mała}}(w) = 0,1$  oraz  $\mu_{\textit{duża}}(p) = 0,3$  to na podstawie (2.9) mamy  $r_1 = 0,1 = \min\{0,1, 0,3\}$ .



Wynikiem inferencji dla modelu Mamdaniego jest wynikowy zbiór rozmyty, będący sumą ważonych (przyciętych względnie wyskalowanych kształtów względem wartości współczynnika aktywacji) zbiorów rozmytych uzyskanych jako konkluzja poszczególnych reguł. Etap ten nazywany jest agregacją. Proces defuzyfikacji generuje z kolei, na podstawie zbioru ważonych konkluzji, pojedynczą wartość wynikową. Dla modelu Sugeno wartość wynikowa jest sumą ważoną o postaci

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N r_i f_i(x)}{\sum_{i=1}^N r_i}, \quad (2.7)$$

gdzie  $r_i$  jest stopniem aktywacji reguły  $i$ ,  $f_i(\cdot)$  jest funkcją wynikającą z konkluzji reguły  $i$ , natomiast  $N$  reprezentuje liczbę reguł.

Opis praktycznego zastosowania mechanizmów logiki rozmytej dla planowania procesu wytwarzania został zamieszczony w publikacji [Elamvazuthi, 2009]. Artykuł opisuje planowanie produkcji tekstyliów (prześcieradła, poszewki na poduszki i kołdry) z uwzględnieniem czasów dla poszczególnych etapów obróbki materiałów (cięcie, szycie, plisowanie i pakowanie) w celu maksymalizacji zysku ze sprzedaży w cyklu miesięcznym. Opisany algorytm planowania wytwarzaniem wykorzystuje metodę rozmytego programowania liniowego.

Kolejny przykład zastosowania logiki rozmytej dotyczy budowy systemu planowania strategicznego [Gerstorfer, 1998]. W pracy poruszona została tematyka wielokryterialnej optymalizacji, polegająca na generowaniu profilu produkcyjnego o charakterze długofalowym. Kompozycja profilu produkcyjnego polega w tym wypadku na określeniu relacji między wielkościami partii produkcyjnych dla różnych typów produktów. Zakłada się przy tym, że istnieje duży zbiór różnych kryteriów, określających opłacalność wytwarzania produktu danego typu.

W praktyce wdrożeniowej sam termin „rozmyty” może budzić negatywne skojarzenia wśród użytkowników względnie decydentów. Informacje rozmyte przeciwstawia się wówczas negatywnie danym „ścisłym”. Z powodów psychologicznych istnieje tutaj możliwość stosowania alternatywnego terminu „nieostrzy” (logika nieostra) – ów przymiotnik kojarzy się pozytywniej niż jego przeciwieństwo (ostrzy).

### 2.2.3. Bioalgorytmy

Do istotnych trendów w obszarze inżynierii zarządzania należą aktualnie bioorganizacyjne. [Zha, 2007]. Związane są z nimi takie obszary SI jak algorytmy „zwierzęce” (rojo-we, mrówkowe), genetyczne czy sztucznego życia oraz sieci neuronowe [Zawadzka, Badurek, Oliński, 2011]. W tab. 2.6 pokazano ich miejsce na tle zmian globalnych paradygmatów organizacyjnych oraz wynikających z nich uwarunkowań technologicznych (IT).

W przypadku sieci neuronowych algorytmy SI koncentrują się na specyfice naturalnego nośnika informacji jakim u ludzi są neurony. Pierwowzorem sztucznego neuronu jest komórka nerwowa człowieka, jednak elementy używane w sztucznych sieciach neuronowych są w rzeczywistości znacznie uproszczone pod względem budowy i funkcjonowania w stosunku do neuronu biologicznego. Pojedynczy sztuczny neuron może być rozpatrywa-

ny jako przetwornik sygnałów wejściowych w wyjściowe. Każdy neuron otrzymuje sygnały wejściowe  $u_i$ , które mogą być przedstawione w postaci wektora sygnałów wejściowych  $\mathbf{U} = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ , gdzie przez  $n$  rozumie się liczbę wejść. Sygnały wejściowe mnożone są przez odpowiednie wartości wag, przedstawione w postaci wektora wag  $\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ . Przemnożone sygnały wejściowe poddawane są następnie sumowaniu w bloku sumowania w neuronie, dając w wyniku sygnał  $x$  nazywany potencjałem. Sygnał  $x$  poddawany jest następnie przetworzeniu w bloku aktywacji, który pozwala na określenie sygnału wyjściowego neuronu.

Tabela 2.6

Trendy inżynierii zarządzania w powiązaniu ze zmianami paradygmatów i technologii (IT)

Poziom zmian	Charakterystyki
Strategiczny, paradygmaty globalne	zależności planetarne, gospodarka sieciowa, struktury rozproszone i przedsiębiorstwa wirtualne, partnerska współpraca, heterogeniczna systemowość, telepraca, zdeterminowany chaos i równowaga dynamicznych dysproporcji, inteligentne holony, wielowariantowość sytuacji, wzrost złożoności, przyspieszone zmiany i trudno przewidywalne scenariusze rozwojowe
Taktyczny, inżynieria zarządzania	zarządzanie: jakościowe, ekologiczne, zmianą i wiedzą; inteligentne systemy produkcyjne i elastyczne systemy wytwórcze, produkcja „na czas”, organizacje tensorowe, bioorganizacje, podejście nadlerowskie, fabryki fraktalne, „miękkie” umiejętności i aspekty kulturowe, teorie ograniczeń i badania operacyjne, szybkie prototypowanie
Operacyjny, technologie (IT)	mobilność i miniaturyzacja hardwarowa, otwartość softwarowa, przyjazny dialog człowieka z maszyną, metody sztucznej inteligencji, wirtualizacja, elastyczna kompatybilność i standardy (migracje), bezpieczeństwo i wiarygodność informacji sieciowych, bezpośredni i szybki dostęp do danych, sieci bezprzewodowe, robotyzacja i automatyzacja

Źródło: opracowanie własne

Operacja przeprowadzana w bloku sumowania neuronu opisana może być następująco

$$x = \sum_{i=0}^n w_i \cdot u_i = \mathbf{W}^T \cdot \mathbf{U} \quad (2.8)$$

gdzie  $(\cdot)^T$  jest operatorem transponowania macierzy.

Przy analizie wzoru warto zwrócić uwagę na przyjęcie indeksu początkowego dla sumowania, równego 0. W pracy [Osowski, 1996] wykazano, że dla prawidłowego działania sieci neuronowej niezbędne jest przyjęcie pewnego dodatkowego sygnału wejściowego  $u_0 = -1$  oraz dodatkowej wagi  $w_0$ . Iloczyn  $u_0 \cdot w_0$  nazywany jest progiem (*bias*) neuronu. Wyjście neuronu  $y$  opisane może być zależnością  $y = f(x)$ , gdzie  $f(x)$  jest funkcją aktywacji. Warunki, jakie narzucone są na funkcję aktywacji, wymagają przede wszystkim, aby funkcja ta była łatwo różniczkowalna, co znacznie upraszcza dalsze obliczenia. Przyjmuje się także, że funkcja powinna przyjmować wartości z zakresu  $\langle 0,1 \rangle$  lub  $\langle -1,1 \rangle$ . Najczęściej wykorzystuje się liniowe funkcje aktywacji oraz tangens hiperboliczny lub funkcję sigmoidalną. W przypadku funkcji liniowej mówi się o neuronie liniowym i analogicznie w przypadku funkcji nieliniowych – neuronie nieliniowym.

Sieci neuronowe budowane są z wielu sztucznych neuronów połączonych ze sobą w określone struktury. Wybór określonej struktury połączeń neuronów oraz ich liczby jest

decydującym czynnikiem wpływającym bezpośrednio na możliwości, jakimi dysponuje sieć, oraz charakteryzującym grupy problemów, jakie można – opierając się na takich sieciach – rozwiązać. Generalnie rozróżnia się sieci neuronowe jednokierunkowe oraz rekurencyjne.

Działanie sieci jednokierunkowych opiera się na przepływie sygnałów od warstwy wejściowej poprzez warstwy ukryte do warstwy wyjściowej. Sieć neuronowa jednokierunkowa o zadanej liczbie neuronów oraz liczbie warstw inicjalizowana jest losowymi wartościami wektorów wag neuronów. Wyznaczenie pożądaných wartości wag pozwalających na rozwiązywanie danego problemu dokonuje się w procesie uczenia sieci neuronowej. Podczas procesu uczenia sieci neuronowej z nauczycielem na wejścia sieci podawane są ciągi uczące w postaci wektora sygnałów wejściowych  $\mathbf{U}$ , dla których znana jest pożądana odpowiedź dana jako wektor sygnałów wyjściowych  $\mathbf{H}$ .

Porównanie wartości sygnałów wyjściowych wygenerowanych przez sieć  $\mathbf{Y}$  z pożądanymi wartościami wyjściowymi  $\mathbf{H}$  pozwala na wyznaczenie błędu, który jest podstawą do modyfikacji wag w kierunku zmniejszenia generowanego błędu. Iteracyjne modyfikowanie wag dla poprawnie przygotowanych ciągów uczących pozwala na wyznaczenie wartości wag, przy których sieć proponuje rozwiązania zgodne z oczekiwanymi. Sieć neuronowa, po przeprowadzonym procesie uczenia potrafi generalizować zdobytą wiedzę i rozwiązywać poprawnie problemy, z którymi styka się po raz pierwszy, jednakże należące do tej samej klasy zagadnień, na podstawie których była uczona. Przykładem algorytmów wykorzystywanych do nauki jednokierunkowych sieci neuronowych jest algorytm wstecznej propagacji błędu oraz algorytm Levenberga-Marquardta [Bishop, 2004].

Sieci rekurencyjne korzystają z rekurencyjnych połączeń pomiędzy neuronami, to znaczy wykorzystując sprzężenia zwrotne, łączą wyjście neuronów z ich wejściami. Przy takim połączeniu sygnały będą oscylować pomiędzy warstwami do czasu ustalenia stanu równowagi. Wartości wektorów wag neuronów wyznaczane są jednorazowo przed przystąpieniem do przetwarzania na podstawie równań energii charakterystycznych dla zadanego problemu. Najbardziej znanym przykładem sieci rekurencyjnej jest sieć Hopfielda.

Przykładowe zastosowanie jednokierunkowych sieci neuronowych w implementacji algorytmu inteligentnego planowania procesu wytwarzania elementów pryzmatycznych można odnaleźć w systemie STEP [Amaitik, 2004]. Planowanie wytwarzania dokonywane jest na podstawie analizy projektu części konstrukcyjnej, która docelowo ma spełniać założone wymagania technologiczne. Projektowanie części pryzmatycznej polega w tym przypadku na doborze elementarnych kształtów geometrycznych i dodatkowych elementów składowych (tj. otwory, nawiercenia, itp.) wraz z określeniem parametrów definiujących ich wielkość, orientację czy tolerancję wykończenia. Wszystkie te informacje są przekazywane w postaci pliku danych zapisanych w formacie XML (*eXtensible Markup Language*) do modułu planowania procesu wytwarzania.

Pośrednimi etapami syntezy docelowego planu wytwarzania dedykowanego dla obrabiarek NC (*Numerical Control*) są między innymi wybór operacji obróbki skrawaniem i związany z nim odpowiedni dobór narzędzi skrawających. W przypadku wyboru typu obróbki skrawania zastosowana została czterowarstwowa sieć neuronowa (dwie warstwy ukryte) o siedmiu wejściach i trzynastu wyjściach. Dla warstwy wejściowej podawane są parametry takie jak: identyfikator elementu do wycięcia, typ tego elementu, parametry charakteryzujące tolerancję wykończenia. Warstwa wyjściowa opisywanej sieci generuje dane opisujące rodzaj operacji: skrawanie, frezowanie, polerowanie, pogłębianie, itd.

Drugi ze wspomnianych etapów planowania wytwarzania – dobór narzędzi skrawających – również realizowany jest z wykorzystaniem czterowarstwowej sieci neuronowej. Warstwa wejściowa pobiera parametry opisujące rodzaj materiału, który poddawany jest obróbce (jego twardość), oraz podstawowe informacje o geometrii nacięcia do wykonania. Warstwa wyjściowa generuje zestaw dziesięciu parametrów opisujących rodzaj narzędzia wraz z jego rozmiarem geometrią, kątem obróbki itp. Inne zastosowanie mechanizmu sieci neuronowych w procedurach planowania produkcją zostało opisane w [Wang, 2010].

Rozpatrywany problem dotyczy sektora produkcji gazu ziemnego dla odbiorców klasyfikowanych na dwie grupy: indywidualnych i przemysłowych. Zadaniem zaimplementowanego systemu zarządzania produkcją gazu ziemnego jest utrzymanie balansu między zaplanowanym wydobywaniem a zapotrzebowaniem na ten surowiec. Struktura rynku zbytu podzielona jest na dwie grupy odbiorców. Pierwszą grupę stanowią odbiorcy detaliczni, w przypadku których zapotrzebowanie na gaz ziemny jest zmienne oraz podlega cykлом sezonowym. Dodatkowo zakłada się utrzymanie ciągłych dostaw gazu dla odbiorców indywidualnych. W przypadku odbiorców przemysłowych poziom zapotrzebowania jest stabilny i dodatkowo zakłada się możliwość okresowego wstrzymania dostaw surowca.

Zaproponowana implementacja algorytmu oparta jest na wykorzystaniu sztucznej sieci neuronowej z mechanizmem propagacji wstecznej. W ten sposób stworzony został mechanizm opisujący nieliniowe zależności między wydobywaniem a zapotrzebowaniem na wytwarzany gaz z możliwością dokonania predykcji poziomu zapotrzebowania tego surowca w założonym horyzoncie czasowym. Przykłady bioorganizacji opartej o zastosowania algorytmów ewolucyjnych w planowaniu wytwarzania można odnaleźć w [Vidal, 2006], gdzie opisany został problem produkcji mebli. Teoretyczne rozważania na temat zastosowań algorytmów ewolucyjnych w planowaniu produkcji przedstawiono w artykule [Kusiak, 2001]. Metody sztucznej bio-inteligencji znajdują coraz szersze zastosowanie w systemach planowania i sterowania produkcją. Przytoczone w niniejszym punkcie prace badawcze pokazują praktyczne zastosowania takich systemów w przemyśle, które wiodą do systemów bioorganizacyjnych. Ich geneza wypływa z krytyki tradycyjnych, scentralizowanych i reaktywnych systemów zarządzania. Takie systemy nie dostrzegają optimum efektywności, bądź osiągają je z opóźnieniem, co powoduje, że ich funkcjonowanie nie odpowiada stawianym wymaganiom. Tymczasem bioorganizacją postuluje stosowanie biorarchii (*bio-rarchy*, *bionic hierarchy*) dostrzegając analogie między poziomami organizacji przedsiębiorstwa a żywego organizmu. W tab. 2.7 przedstawiono model tych zależności dla ESP.

**Tabela 2.7**

Modelowe zależności między hierarchiami w sferze produkcji i biologii

Poziom złożoności	System produkcyjny	System biologiczny
1	Moduł produkcyjny FMM ( <i>Flexible Manufacturing Module</i> )	Komórka
2	Gniazdo produkcyjne FMC ( <i>Flexible Manufacturing Cell</i> )	Tkanka
3	Linia produkcyjna FML ( <i>Flexible Manufacturing Line</i> )	Organ
4	Wydział produkcyjny FMD ( <i>Flexible Manufacturing Department</i> )	Układ
5	Zakład produkcyjny FMF ( <i>Flexible Manufacturing Factory</i> )	Organizm
6	Przedsiębiorstwo FMS ( <i>Flexible Manufacturing System</i> )	Spółeczność

Źródło: opracowanie własne

## 2.3. Metody heurystyczne

Istotną rolę w sferze optymalizacji ISP odgrywają heurystyki. Formalnie nie możemy powiedzieć, że mamy tu do czynienia z klasycznie rozumianymi algorytmami gwarantującymi znalezienie optimum. Wynikiem stosowania heurystyk jest raczej akceptowalny kompromis między nakładami na jego znalezienie a poziomem (efektywności) rozwiązania. Postępowanie takie ma zatem istotne znaczenie praktyczne nadając się do złożonych sytuacji z ograniczoną wiedzą. Rezygnujemy bowiem z formalnej (dowodzonej) gwarancji optimum opierając się kwalifikowanych szacowaniach prowadzących do akceptowalnych efektów. Rozważmy następujący **przykład**.

W przypadku nieautomatyzowanego sterowania logistyką przedsiębiorstwa (flota transportowa) dysponent rutynowo definiuje trasy pojazdów np. w rytmie dziennym. Każdorazowo osiągnięte zostają główne cele takiego działania tj. dostarczenie towaru do jego odbiorców (klientów). Tymczasem już tylko obliczeniowa złożoność tak zdefiniowanego zagadnienia optymalizacyjnego (**problem komiwojażera** TSP – *Traveling Salesman Problem* [Applegate, 2006]) prowadzi do algorytmów klasy NP, co w praktyce oznacza wykładniczo rosnący czas obliczeń w zależności od rozmiaru problemu ( $n$  = liczba miejscowości). W sensie informatycznej złożoności obliczeniowej mamy tu do czynienia z modelem NP-trudnym lub NP-zupełnym (w zależności od sposobu definiowania) oraz szeregiem wersji problemu (np. symetrycznych, asymetrycznych).

Dla 100 miejscowości pojazd w każdym mieście ma do wyboru  $(n - 1)!$  tras co dla 99! daje  $10^{156}$  możliwości. Dla porównania: współtwórca teorii informacji, Claude Shannon, oszacował liczbę kombinacji gry w szachy na  $10^{120}$  (tzw. liczba Shannona, nowsze szacowania prowadzą do podobnie wysokich złożoności np.  $10^{123}$  [Allis, 1994]). Zatem nawet jeśli mamy pełny i precyzyjny opis problemu organizacyjnego to w praktyce niewiele on daje w przypadku wielkiej ilości wariantów decyzyjnych. W opisywanym problemie logistycznym mamy formalnie pełną informację o sytuacji decyzyjnej. Jednak wybór optymalnego rozwiązania logistycznego w praktyce okazuje się, z wymienionych powodów, bardzo trudny, również dla wspomagającego człowieka systemu komputerowego.

Klasyczny problem komiwojażera dotyczy jednego podróżującego a więc jednego pojazdu. Dla wielu pojazdów kompleksowość problemu rośnie (*multiple TSP*). Ciężarówki mogą mieć różne parametry ładowościowe – to kolejne utrudnienie. Transportowane ładunki musimy także powiązać z optymalnym komisjonowaniem (zlecenie klienta i zlecenie transportowe nie muszą być tożsame). Odrębne kwestie to dynamiczne delegowanie transportu do innych firm, zbiorcze punkty transportowe, ładunki zwrotne czy tzw. okienka dostaw definiowane przez klienta. Każda kolejna grupa parametrów dodatkowo potęguje złożoność i tak trudnego problemu.

Wyjściem z opisywanych dylematów jest definiowanie ISP w sensie bioorganizacyjnego paradygmatu organizacyjnego tj. uznanie za idealną naturalnej inteligencji ludzkiej. Takie założenie implikuje postulat antropomorfizacji systemów komputerowych. Maszyna może być teoretycznie efektywniejsza od człowieka (jest szybsza) ale pożądanego efektu nie osiągniemy na drodze siłowej (*brute-force*), zwiększając moc komputera do momentu kiedy byłby w stanie przeliczyć całkowitą ilość wariantów logistycznych co można plastycznie zilustrować następującym szacowaniem.

Otwierający (czerwiec 2011) listę najszybszych komputerów świata (<http://www.top500.org>) K-Computer, osiąga moc ok. 8 petaflopów ( $8 \times 10^{15}$ ) operacji na

sekundę. Nawet gdyby milion takich komputerów liczyło milion lat to i tak nie pomogłyby naszej firmie w rozwiązaniu problemu, przy założeniu, że chcielibyśmy przeliczyć po kolei wszystkie możliwe kombinacje tras. Doba to tylko niecałe  $10^5$  sekund, w roku mamy ich mniej niż  $10^8$ , czyli w ciągu miliona lat mniej niż  $10^{14}$ . Daje to ok.  $10^{30}$  operacji dla jednego superkomputera i odpowiednio  $10^{36}$  dla miliona takich maszyn. Przyjmując dalej, że Wszechświat składa się z  $10^{80} - 10^{90}$  atomów widzimy, że nawet gdyby każda jego cząstka stała się superkomputerem to i tak w ten sposób nie uzyskamy ostatecznego wyniku. Alternatywnie możemy zatem skorzystać z algorytmów heurystycznych, pamiętając o wcześniej pokazanych ograniczeniach pojęcia „algorytm“ w rozsądnym kontekście. Dalsze przykłady takich algorytmów pokazane w niniejszym punkcie odnoszą się do sterowania produkcją ISP, w szczególności do szeregowania zadań w podsystemie wytwórczym (dyspozytorskim).

Klasyfikacja metod heurystycznych [Zawadzka, 2007] wyróżnia dwie zasadnicze grupy algorytmów: algorytmy jednokrotne oraz algorytmy wielokrotne (przeszukiwania sąsiedztwa). Istotą działania heurystycznych algorytmów jednokrotnych jest wyznaczenie terminu rozpoczęcia każdej z operacji, który raz ustalony nie ulega zmianie podczas działania algorytmu. Algorytmy wielokrotne natomiast dopuszczają możliwość modyfikacji terminu rozpoczęcia operacji wcześniej włączonych do harmonogramu. Modyfikacja ta może dotyczyć zarówno opóźnienia, jak i przyspieszenia terminu wykonania operacji lub grupy operacji. Algorytmy wielokrotne, potencjalnie charakteryzujące się większą elastycznością, mogą prezentować rozwiązania gorzej optymalizujące wybrane kryterium oceny harmonogramu. Efektywność wykorzystania algorytmu klasyfikowanego jako jednokrotny lub wielokrotny jest wysoce zależna od klasy rozwiązywanego problemu.

Rozważmy system dyspozytorski tworzący harmonogramy bez opóźnień. Istotną cechą systemu dyspozytorskiego, należącego do klasy algorytmów heurystycznych jednokrotnych, jest metodologia tworzenia harmonogramu. Terminy rozpoczęcia operacji dla każdej maszyny definiowane są w porządku rosnącym, czyli w takim porządku, w jakim będą one wykonywane. Tak więc operacja wstawiana jest zawsze na końcu kolejki operacji przeznaczonych do realizacji na danej maszynie. Istotnym ograniczeniem jest brak możliwości wstawiania operacji do harmonogramu w najwcześniejszym możliwym terminie, bez naruszania ograniczeń technologicznych oraz przesuwania operacji o ustalonym uprzednio terminie rozpoczęcia.

Systemy dyspozytorskie tworzące harmonogramy bez opóźnień termin realizacji kolejnej operacji wyznaczają zgodnie z poniższym kryterium [Stecke, 1982]:

$$\delta^* = \min_k \min_j [\max_{\in \{S_{so}^k\}} (C_k, s_{jk})] \quad (k + 1, 2, \dots, m, j + 1, 2, \dots, n) \quad (2.9)$$

gdzie:  $\{S_{so}^k\}$  – zbiór operacji oczekujących na ustalenie terminu wykonania na maszynie  $k$ , których wszystkie operacje poprzedzające zostały umieszczone w harmonogramie,

$\{S_n^k\}$  – zbiór operacji, których termin wykonania na maszynie  $k$  został ustalony,

$\{S_{no}^k\}$  – zbiór operacji oczekujących na ustalenie terminu wykonania na maszynie  $k$ , których nie wszystkie operacje poprzedzające zostały umieszczone w harmonogramie,

$C_k$  – najpóźniejszy termin zakończenia operacji należącej do  $\{S_{ip}^k\}$ ,

$s_{jk}$  – najwcześniejszy możliwy termin rozpoczęcia operacji  $j$  ze zbioru  $\{S_{so}^k\}$ ,

$m$  – liczba maszyn,

$n$  – licznosc zbioru  $\{S_{so}^k\}$ .

System dyspozytorski działa według następującego algorytmu [Pawlak, 1998]:

1. Wyznacz operacje należące do zbioru  $\{S_{so}^k\}$  dla każdej maszyny  $k$ .
2. Wyznacz dla każdej operacji ze zbiorów  $\{S_{so}^k\}$  minimalny możliwy termin rozpoczęcia równy  $\max(C_k, s_{jk})$ .
3. Wyznacz dla każdego zbioru  $\{S_{so}^k\}$  minimalny termin rozpoczęcia operacji.
4.  $\min [\max(C_k, s_{jk})]$ .
5. Wyznacz minimalny termin rozpoczęcia operacji dla wszystkich maszyn.
6.  $\delta^* = \min_k \min_j [\max_{i \in \{S_{so}^k\}} (C_k, s_{jk})]$ .
7. Wybierz operację, która może rozpocząć się w momencie  $\delta^*$  i przenieś tę operację ze zbioru  $\{S_{so}^k\}$  do zbioru  $\{S_{ip}^k\}$ .
8. Jeżeli nie wszystkie zbiory  $\{S_{so}^k\}$  oraz  $\{S_{no}^k\}$  są puste, przejdź do kroku 1.
9. Zakończ.

Z kolei procedura wspinania na szczyt należy do klasy algorytmów heurystycznych przeszukiwania sąsiedztwa (wielokrotnych), tak więc odmiennie od systemu dyspozytorskiego raz ustalony termin realizacji danej operacji może ulec zmianie w trakcie działania algorytmu. Ideą działania algorytmów wielokrotnych jest stwierdzenie, że poszukiwanie rozwiązania optymalnego można rozpocząć od dowolnego rozwiązania dopuszczalnego przez przeszukiwanie rozwiązań sąsiednich, powstałych poprzez dokonanie pewnych modyfikacji w rozwiązaniu bieżącym. Oczywiście taka metodologia postępowania może prowadzić do wyznaczenia rozwiązań reprezentujących minima lokalne, co jest najpoważniejszą wadą tych algorytmów. Ponadto należy zaznaczyć, iż procedura wspinania na szczyt jest algorytmem niedeterministycznym, to znaczy takim, który dla tych samych danych wejściowych może zaprezentować dwa zupełnie różne rezultaty. Niedeterminizm tego algorytmu wynika bezpośrednio z losowego charakteru wyboru początkowego rozwiązania dopuszczalnego oraz równie losowego charakteru generatora rozwiązań sąsiednich.

Metoda generowania rozwiązania sąsiedniego może być dowolną, spełniającą podstawowe cechy charakterystyczne sąsiedztwo, modyfikację rozwiązania bieżącego, czyli między innymi cechują się wysokim stopniem korelacji pomiędzy rozwiązaniem bieżącym i sąsiednim oraz dopuszczalnością rozwiązania sąsiedniego. Najczęściej wykorzystywaną modyfikacją pozwalającą na wyznaczenie rozwiązania sąsiedniego jest zmiana kolejności wykonywania jednego lub większej liczby zleceń.

Procedurę wspinania na szczyt można opisać następującym algorytmem [Pawlak, 1998]:

- 1) wygeneruj dopuszczalne rozwiązanie losowe  $H$ ,
- 2) wygeneruj zbiór rozwiązań sąsiednich  $\{H\}$  dla danego rozwiązania bieżącego  $H$ ,
- 3) usuń ze zbioru  $\{H\}$  rozwiązania gorzej minimalizujące założone kryterium oceny harmonogramu w porównaniu z rozwiązaniem bieżącym  $H$ ,
- 4) jeżeli  $\{H\} \neq \emptyset$ , zastąp rozwiązanie bieżące  $H$  jednym z rozwiązań ze zbioru  $\{H\}$  i przejdź do kroku 2,
- 5) zakończ.

Powszechnie wykorzystywaną metodą wyboru nowego rozwiązania bieżącego ze zbioru  $\{H\}$  jest wybór pierwszego rozwiązania sąsiedniego lepiej minimalizującego założone kryterium oceny harmonogramu w porównaniu z rozwiązaniem bieżącym  $H$ .

---

Sformułowanie ogólnego zadania planowania kalendarzowego w terminach programowania dyskretnego oraz różne jego modyfikacje nie oznaczają, że zagadnienia te są rozwiązywane efektywnie, tj. w sposób ścisły dla dużej liczby zmiennych. W rzeczywistych warunkach produkcyjnych metody dokładne nie muszą być jednak stosowane, wystarczające są metody przybliżone. Podczas dynamicznie zmieniającej się sytuacji przemysłowej najważniejsza jest szybkość otrzymania wyników, nowego harmonogramu lub nowych decyzji korygujących stany poprzednie, wynikające z powstania nowych warunków decyzyjnych. Dlatego równoległe z poszukiwaniami rozwiązań ściśle optymalnych prowadzi się badania metod heurystycznych i symulacyjnych dla otrzymania rozwiązań przybliżonych, a w przypadku niemożliwości otrzymania liczbowej oceny przybliżenia, przyjmuje się wyniki dopuszczalne w danej rzeczywistości produkcyjnej. Należy dodać, że dokładne rozwiązanie jednego zadania kalendarzowego bez rozwiązania innych zadań nie zwiększa efektywności sterowania całego procesu. W rezultacie więc efektywność sterowania nie zwiększa się, jeśli nie będzie ono rozpatrywane w kompleksie wszystkich funkcji sterowania.



# Przykłady komputerowego wspomagania organizacji produkcji

Niniejszy rozdział stanowi próbę syntezy i weryfikacji modeli i wniosków rozdziałów 1 i 2 na podstawie przykładów rozwiązań stosowanych w praktyce przemysłowej. W p. 3.1 pokazano znaczenie dwuwymiarowej (poziomej i pionowej) integracji wytwórczo-sterujących komponentów ISP pokazując praktyczne znaczenie postulatu dotyczącego wzajemnego powiązania zmian stanów materialnych oraz informacyjnych w systemie. W p. 3.3 wyspecyfikowano cechy systemów bazodanowych wiążąc je z prezentowanym algorytmem znakowania/śledzenia partii wyrobów. Końcowa część rozdziału podejmuje tematykę organizacyjnych algorytmów projektowych (analiza morfologiczna) niezbędnych dla praktycznego uwzględnienia czynników pozatechnicznych (paradoks produktywności oraz dyfuzyjność IT).

## 3.1. Integracja przepływów materiałowo-informacyjnych

W punkcie 2.1 postulowano warstwową dekompozycję ISP i w tym związku pokazano modele: sprzężeń międzywarstwowych (rys. 2.1) oraz sprzężeń pomiarowosterujących (rys. 2.3). Przykład z rys. 2.2 odnosił się do fragmentu systemu implementowanego algorytmami MPS/MRP. Pozostawaliśmy zatem w obszarze ERP. Tymczasem informatyczna integracja całości systemu produkcyjnego wymaga podejścia wertykalnego (*vertical integration*), uwzględniającego podstawowe warstwy wytwórcze (tab. 3.1): od fizycznej do najwyższej zagregowanej aplikacyjnie tj. ERP i jego otoczenia BI (*Business Intelligence*). Ponownie (p. p. 2.1) warto wskazać tu na referencyjne analogie między konstruowanym w niniejszej pracy modelem zarządzania a standardami teleinformatycznymi OSI.

Tabela 3.1 pokazuje, że integracja procesów organizacyjnych (przetwarzających informacje) z procesami wytwórczymi (przetwarzających także materię) wymaga wyjścia poza poziom ERP i skojarzonych aplikacji satelitarnych integrowanych poziomo (*horizontal integration*). Systemy ERP posiadają wprawdzie rozbudowane mechanizmy sprzężeniowe, automatycznie łączące np. zlecenia klientów z zasobami surowców i wyrobów gotowych oraz prognozami zbytu dla generowania optymalnego programu produkcyjnego. Napotykamy tu jednak na granice integracji naszego podsystemu wytwórczego, ponieważ zasięg ERP kończy się tam gdzie zaczynają się fizycznie rozumiane stanowiska produkcyjne. ERP jest systemem o charakterze „biurowym” co wynika z genezy tych pakietów (firma SAP) powiązanych ze sferą finansową (kontroling, analizy gospodarcze, księgowość). Z kolei pakiety MES stanowią informacyjny „pomost” między ERP a „halą produkcyjną” czyli środowiskiem bezpośrednio wytwórczym.

Tabela 3.1

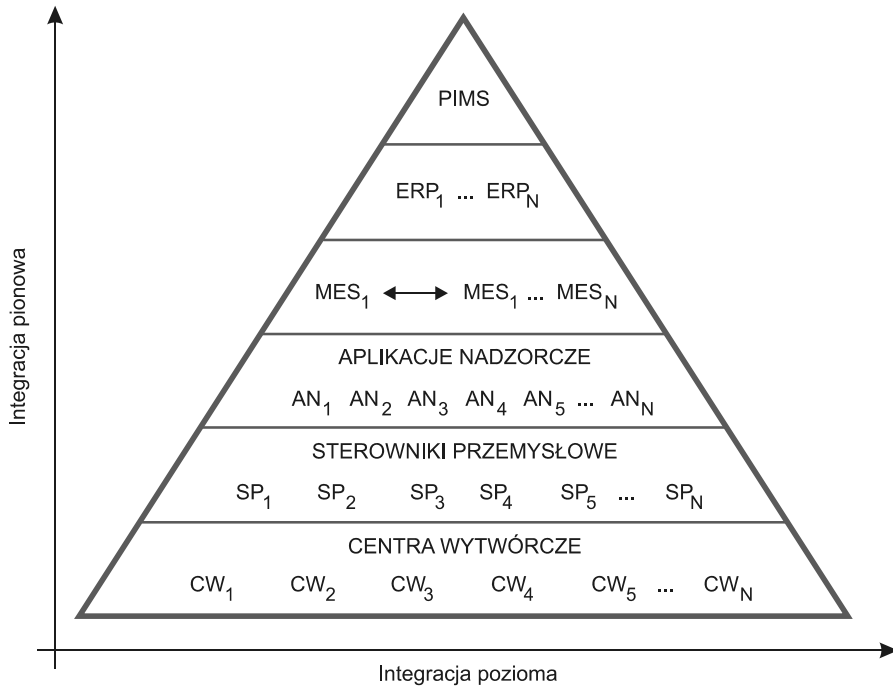
## Poziomy wytwórczej integracji pionowej

Poziom	Znaczenie	Przykłady aplikacyjne
MS ( <i>Manufacturing System</i> )	warstwa fizyczna centrów wytwórczych	(elastyczne) stanowiska, moduły, gniazda, linie wytwórcze
PLC ( <i>Programmable Logic Controller</i> )	sterowniki przemysłowe	skomputeryzowana automatyka elektromechanicznych procesów przemysłowych, np. zrobotyzowane komisjonowanie
SCADA ( <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> )	sterowanie całością procesów technicznych	nadzorcza obsługa i obserwacja procesów z wykorzystaniem animacji HMI ( <i>Human Machine Interface</i> )
MES ( <i>Manufacturing Execution System</i> )	alokacja i śledzenie zasobów wytwórczych w czasie rzeczywistym	np. przebrojenie linii produkcyjnej dla podniesienia efektywności produkcji, harmonogramowanie minutowe, wskaźniki wydajności maszyn i kontroli jakości
ERP ( <i>Enterprise Resource Planning</i> )	zarządzanie zasobami przedsiębiorstwa	bazodanowe centrum przedsiębiorstwa, klienci i zlecenia, wyroby i listy części, planowanie produkcji i logistyki, finanse
PP ( <i>Perfect Plant</i> )	fabryka idealna w inteligentnym środowisku (ISP)	PIMS ( <i>Plant Information Management System</i> ) – zintegrowane poziomy MES/ERP

Źródło: opracowanie własne

**Przykład.** Podstawowe moduły ERP operują datą dzienną zlecenia klienta, datą dzienną generowanego na tej podstawie zlecenia produkcyjnego (planowanego i rzeczywistego), datą dzienną dostaw surowcowych i datą dzienną dostawy wyrobu gotowego. Jednocześnie każdy z wymienionych procesów wymaga często w praktyce (np. szybkozmienna a więc elastyczna produkcja dyskretna) minutowego harmonogramowania a zatem w pełni zintegrowana „piramida” procesów przedsiębiorstwa obejmuje w tym układzie poziomy pokazane na rys. 3.1 w dwóch wymiarach: horyzontalnym i wertykalnym. Przy czym w warstwie ERP mamy do czynienia z modułami standardowego systemu ERP (zintegrowanymi bazodanowo i aplikacyjnie) lub skojarzonymi systemami satelitarnymi o podobnej funkcjonalności (zintegrowanymi interfejsowo).

Zagadnienie integracji przepływów materiałowo-informacyjnych wymaga z kolei rozważenia relacji między materia a informacją w ISP. Podsystemy procesu produkcyjnego mogą być integrowane logistycznie z wykorzystaniem określonych urządzeń technicznych (np. środki automatyki czy transportowe). Integracja wiąże się w takim przypadku się z przemianami o charakterze materialnym, powinny być one jednak zawsze pochodną skojarzonych procesów informacyjnych. Powyższa teza wynika z taktycznej konieczności referencyjnego modelowania systemów produkcyjnych oraz operacyjnego gwarantowania aby zmiany stanów materialnych systemu produkcyjnego miały swoje odpowiedniki informacyjne.



Rys. 3.1. Dwuwymiarowa integracja procesów wytwórczych

Źródło: opracowanie własne

**Przykład.** Montaż dodatkowych linii produkcyjnych wymaga integracji ich parametrów w informatycznym systemie sterowania i planowania. W szczególności mamy do czynienia z następującymi działaniami:

- wygenerowanie (*create*) bazodanowych rekordów w systemie ERP łączących numer linii (*work center*) z numerami wyrobów gotowych i wersjami produkcyjnymi,
- przyporządkowanie linii podstawowych parametrów kalkulacyjnych ERP (typ produkcji, personel, główne wskaźniki wydajnościowe),
- definiowanie szczegółowych parametrów linii MES np. minimalnych i maksymalnych taktów z odchyleniami,
- zapamiętanie (możliwa konwersja danych) planów przebrojeń MES,
- szczegółowy przydział (zmiany robocze, personel, czasy konserwacji) zdolności produkcyjnych MES dla linii.

W praktyce uruchomienie nowej linii produkcyjnej jest przedsięwzięciem rzadkim i brak jej parametryzacji ERP/MES uniemożliwiłby korzystanie z niej. Postulowana integracja materialno-informacyjna nie stanowi tu problemu. Inaczej jest w przypadku permanentnych, wszechobecnych w skali przedsiębiorstwa i jednocześnie złożonych procesów niższego rzędu.

**Przykład.** Śledzenie (*tracing*) transportowanej partii wyrobu wymaga zintegrowanego informacyjnie systemu logistycznego. ***W idealnym systemie każda zmiana jego stanu materialnego powinna generować jej odpowiednik informacyjny*** (podobnie jak w przypadku relacji odwrotnej). W rozważnym przykładzie możliwe jest stosowanie znaczników bazo-

danowych typu „wędrującej jedyнки”, skojarzonych z położeniem środka transportowego w drodze z hali produkcyjnej do magazynu centralnego dla pięciu sytuacji:

- a) 10000, zaksięgowanie nowej partii wyrobu (np. wydruk etykiet paletowych),
- b) 01000, potwierdzające skanowanie ręczne,
- c) 00100, automatyczne skanowanie na fabrycznej rampie wyjściowej,
- d) 00010, automatyczne skanowanie na rampie wejściowej magazynu,
- e) 00001, automatyczne skanowanie na wejściu wysokiego składowania.

W takim systemie możemy zadać bazie danych pytanie: „gdzie znajduje się wyprodukowany wyrób, którego nie ma na stanie magazynu”. Zauważmy, że rezygnacja z punktów b/c/d upraszcza infrastrukturę oraz procesy logistyczne (koszty) przy jednoczesnej utracie precyzji automatycznej odpowiedzi na przykładowe pytanie. W przypadku stosowania elektronicznych etykiet RFID (*Radio-Frequency Identification* [Finkenzeller, 2010]) precyzja śledzenia rośnie. Dodajmy, że zerojedynekowe-znaczniki uzupełniane są automatycznie w bazie danych takimi informacjami jak:

- User (użytkownik),
- Date (data),
- Time (czas),
- Device (urządzenie).

Pozwala to na kolejne zapytania bazodanowe (*query*) uwzględniające badane lokalizacje, personel oraz czas (np. wyroby z ostatnich 24 godzin).

### 3.2. Znaczenie bazodanowości w ISP

W punkcie 1.2 pokazano, że sposób przetwarzania informacji współdecyduje o kształcie systemu zarządzania przedsiębiorstwem. Jednocześnie powiązano typy organizacji z ich bazodanowymi odpowiednikami (tab. 1.2), szukając na tym gruncie analogii referencyjnych, podobnie jak zrobiono to w odniesieniu do standardów OSI. Weryfikacja trafności założeń modelowych ISP w praktyce wymaga zbadania jego bazodanowości, bowiem dla efektywności działania systemu informacyjnego ISP krytyczne znaczenie ma jego (podstawowy) system bazy danych, obejmujący większość przetwarzanych informacji typu operatywnego. Centralny charakter owego systemu objawia się przede wszystkim na poziomie logicznym gdyż fizycznie jest on często implementacją wielu systemów softwarowych (baz danych). Oznacza to, że rozwiązania specjalistyczne, np. systemy ekspertowe, o lokalnym znaczeniu dla całości ISP, mogą być traktowane jako moduły ze zdefiniowanymi interfejsami, umożliwiające np. integrację bazy danych z technologiami WWW. Dodajmy, że pod pojęciem **bazodanowości** ISP rozumiemy jego (meta)cechę oznaczającą referencyjne (strukturalne) stosowanie narzędzi i aplikacji bazodanowych wg dobrych praktyk (*best practices*) inżynierii softwarowej [Tsui, 2011]. Takie podejście implikuje pożądane cechy poszukiwanego rozwiązania bazodanowego zgodnie z tab. 3.2.

Szybki rozwój informatyki gospodarczej powoduje, że gwałtownie również ilość danych w przedsiębiorstwie. Jednocześnie bezpośrednie zapamiętywanie ich w plikach, przetwarzanych przez programy, powoduje, z reguły negatywne, konsekwencje pokazane na rys. 3.2. Wyprecyzkowane problemy można napotkać wszędzie tam gdzie dane przechowywane i przetwarzane są w systemach niebazodanowych, w postaci indywidualnych plików, zapamiętywanych na wielu komputerach osobistych i przetwarzanych przez użytkow-

ników lokalnie przy pomocy oprogramowania biurowego (np. edytory tekstów, arkusze kalkulacyjne). Powszechność i łatwość korzystania z takich narzędzi (np. Excel), powoduje, że w przedsiębiorstwie może rosnąć liczba, wyspowo (*stand alone*) i niestrukturalnie tworzonych aplikacji, które w dłuższej perspektywie okazują się nieefektywne i niespełniające wiodącej roli w zaawansowanych systemach produkcji (ISP).

Tabela 3.2

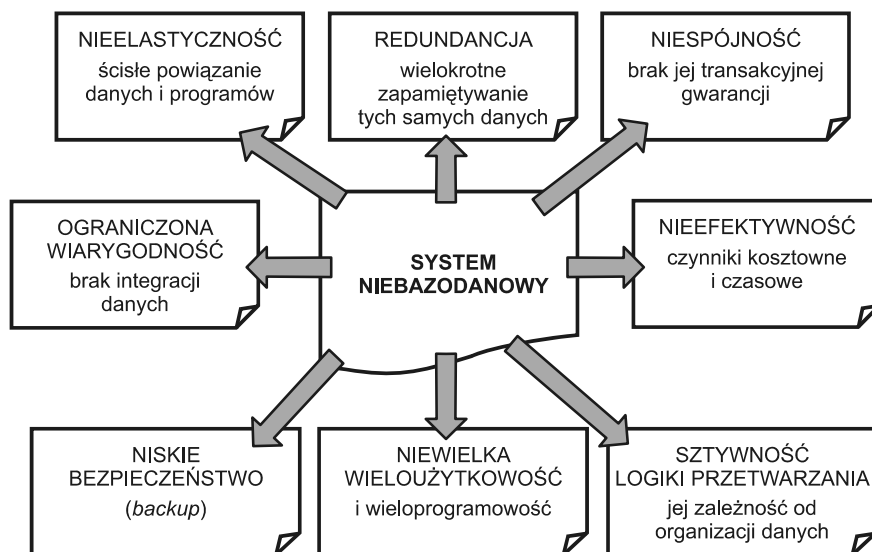
## Wymagania dla bazy danych ISP

Cecha	Charakterystyka
Skalowalność	Możliwość zapamiętywania wielkiej i ciągle rosnącej ilości danych ze świata rzeczywistego (systemu produkcyjnego i jego otoczenia)
Strukturalność	Kontrolowane agregowanie danych i przekształcanie ich w użyteczne informacje (wiedzę)
Integracyjność	Wiązanie strumieni informacyjnych całości przedsiębiorstwa
Wieloużytkowość	Jednoczesny dostęp do bazy danych dla (bardzo) wielu pracowników oraz partnerów przedsiębiorstwa
Wieloprocusowość	Jednoczesna obsługa wszelkich procesów wspomaganých komputerowo
Mobilność	Zdalny dostęp do danych w czasie rzeczywistym
Spójność	Transakcyjne gwarancje stabilności zapisu i odczytu danych
Wiarygodność	Wysoki stopień technicznej i merytorycznej (organizacyjnej) niezawodności danych oraz ich bezpieczeństwa i poufności
Ergonomiczność	Przyjazność użytkowa z możliwościami spontanicznej i kreatywnej pracy, graficzna wizualizacja danych, multimedialność
Przyjazność administracyjna	Samoopisywanie i samodokumentowanie się bazy danych, optymalizacja parametryzowania i administrowania
Obiektowość	Modularność i rozdział danych od oprogramowania z nich korzystającego, klasy, metody, dziedziczenie
Elastyczność	Adaptacyjna modyfikowalność szybkozmiennych struktur danych
Otwartość	Heterogeniczność podsystemów hardwarowych i softwarowych systemu bazy danych i jej otoczenia
Standardowość	Zgodność z nowoczesnymi normami i standardami światowymi oraz poziomem technologiczno-organizacyjnym przedsiębiorstwa (powielarność)
Wydajność	Efektywność ekonomiczna i pozaekonomiczna instalacji i eksploatacji systemu bazy danych

Źródło: opracowanie własne

Owszem, celowe jest udostępnianie użytkownikowi narzędzi, umożliwiających kreatywne generowanie własnych raportów (np. Cognos [Draskovic, 2010]) a nawet bardziej złożonych aplikacji, włącznie z interfejsami dla popularnego oprogramowania biurowego. Niemniej podstawą ich działania powinien być systematycznie zaprojektowany i pielęgnowany (*backup*, bezpieczeństwo dostępu) system bazy danych. Przy czym współczesne środki informatyki pozwalają na elastyczne przesuwanie granicy obsługi systemu bazy danych między użytkownikami końcowymi a specjalistami IT, co w szczególności umożliwia nawet delegowanie zadań rozwoju systemu do jego użytkowników. Stopień takiego delegowania może być znaczny i teoretycznie obejmować nawet niektóre zadania z zakresu administrowania bazy danych i jej otoczenia, jednak w praktyce dotyczy on głównie indy-

widualnego formułowania zapytań do bazy danych, generowania raportów oraz wykorzystywania pakietów standardowych z otoczenia bazy danych. Dodajmy, że standardem nowoczesnych systemów ERP (np. SAP) jest możliwość łatwego eksportu informacji bazodanowych do arkusza kalkulacyjnego lub też lokalna konwersja danych do jego formatu (*on-place*).



Rys. 3.2. Cechy systemów niebazodanowych

Źródło: opracowanie własne

Zilustrujmy integracyjno-bazodanowe zależności ISP następującym **przykładem** praktycznym dotyczącym (automatycznego) znakowania partii wyrobów. Na opakowaniach pierwotnych (tj. pierwszego rzędu, np. pojemnik 125 g) produktów spożywczych zawierających ryby należy drukować do 4 informacji dotyczących partii tego surowca, pochodzących od dostawcy: obszar połowowy (np. klasyfikacja FAO), termin połowu, statek, port (do którego dostarczono surowiec). W systemie niezautomatyzowanym pracownik na linii produkcyjnej może wprowadzić stosowne dane bezpośrednio do panelu drukarki strumieniowej CIJ (*continuous ink jet*) pracującej w trybie ciągłym tj. drukującej te same dane tak długo jak długo pojawiają się opakowania na linii (taktowanie fotokomórką). W takim systemie istnieje konieczność dostarczania (np. w postaci list) do podsystemu opakowań informacji z podsystemu wytwórczego: jaki wyrób gotowy zawiera jakie partie surowca. Mamy wówczas do czynienia z problemami wyspecyfikowanymi na rys. 3.2. System zautomatyzowany zrealizowano wg następującego algorytmu ERP/MES (rys. 3.3, w nawiasach klamrowych odnośniki do numerów w kółkach na rysunku).

#### 1. Kustomizacja (*customizing*) bazy danych

- a) adresy IP komputerów sterujących liniami MESIPADR (tab. 3.3) wraz z numerem zlecenia otwartego dla danej linii {1}
- b) przyporządkowanie schematu drukowania dla zdefiniowanych kombinacji wyrób gotowy/surowiec, transakcja użytkowa TC (*Transaction Code*) MES/151 (tab. 3.4) MESLIPRI {1}

2. Wprowadzanie danych
  - a) dane dostawcze TC MES/150, tab. 3.5 MESFISH {2}
  - b) dane wytwórcze TC MES/105, tab. 3.6 MESCHRSQ {2}
  - c) otwarcie zlecenia produkcyjnego dla druku na danej linii TC MES/152 {3}
3. Kontrola danych
  - a) TC MES/154 – zapytania dla danych dostawczych (MESFISH)
  - b) TC MES/152 – zapytania dla danych sterujących drukiem (tabele systemowe)
4. Przesył danych (szeregowanie zadań)
  - a) start programu (automatycznie raz w tygodniu) {4}
  - b) stop programu (automatycznie raz w tygodniu)
5. Automatyczne zapamiętywanie danych o wykonaniu produkcji {5}
6. Możliwość internetowych zapytań o dane partii dla klientów {6}.

**Tabela 3.3**

Parametry IP sterowania liniami produkcyjnymi

Nr	Nazwa pola	Znaczenie	Długość	Miejsca po przecinku
1	LINE	Nr linii	6	0
2	ADES	Adres IP	30	brak
3	USER	Użytkownik	50	brak
4	SHOP	Zlecenie produkcyjne	6	0

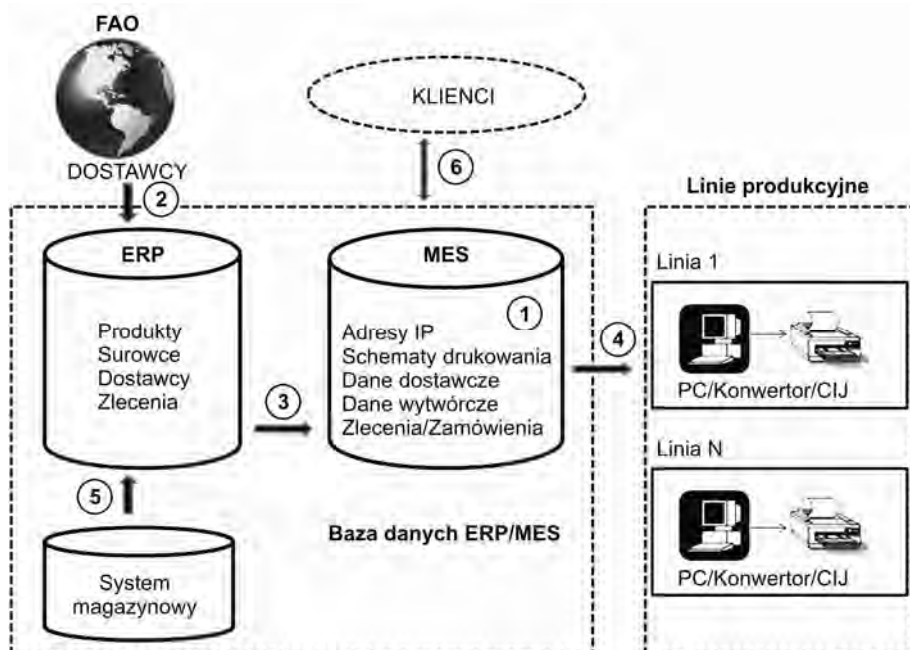
Źródło: opracowanie własne

**Tabela 3.4**

Schematy drukowania MESLIPRI

Nr	Nazwa pola	Znaczenie	Długość	Miejsca po przecinku
1	LIPRODUCT	Wyrób gotowy	10	brak
2	LIROWMAT	Surowiec	10	brak
3	LIAREA	Znacznik obszar połowowy	1	brak
4	LIPERIOD	Znacznik okres połowu	1	brak
5	LISHIP	Znacznik statek	1	brak
6	LIPORT	Znacznik port zawinięcia	1	brak
7	LIUSER	Użytkownik	10	brak
8	LIDATE	Data	8	0
9	LITIME	Czas	8	0

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.3. Ilustracja algorytmu znakowania partii wyrobów  
*Źródło: opracowanie własne*

**Tabela 3.5**

Dane dostawcze MESFISH

Nr	Nazwa pola	Znaczenie	Długość	Miejsca po przecinku
1	MFROWMAT	Surowiec	10	brak
2	MFLOT	Partia dostawcza	30	brak
3	MFAREA	Obszar połowowy	30	brak
4	MFPERIOD	Okres połowu	30	brak
5	MFSHIP	Statek	30	brak
6	MFPORT	Port zawinięcia	30	brak
7	MFUSER	Użytkownik	10	brak
8	MFDATE	Data	8	0
9	MFTIME	Czas	8	0
10	MFVENDOR	Dostawca	5	0
11	MFDELI	Nr dostawy	30	brak
12	MFORDER	Nr zlecenia dostawy	30	brak

*Źródło: opracowanie własne*



Tabela 3.6

## Dane wytwórcze MESCHRSQ

Nr	Nazwa pola	Znaczenie	Długość	Miejsca po przecinku
1	MCSHOP	Zlecenie produkcyjne	6	0
2	MCSEQ	Sekwencja partii wytwórczej	6	0
3	MCPRODUCT	Wyrób gotowy	10	brak
4	MCROWMAT	Surowiec	10	brak
5	MCLOT	Partia dostawcza	30	brak
6	MCAREA	Obszar połowowy	30	brak
7	MCPERIOD	Okres połowu	30	brak
8	MCSHIP	Statek	30	brak
9	MCPORT	Port zawinięcia	30	brak
10	MCUSER	Użytkownik	10	brak
11	MCDATE	Data	8	0
12	MCTIME	Czas	8	0
13	MCLINE	Nr linii	6	0

Źródło: opracowanie własne

### 3.3. Konflikty celów w definiowaniu funkcjonalności ISP

Implementacja algorytmów ISP wymaga również zdefiniowania strategii projektowej z uwzględnieniem czynników pozatechnicznych. Funkcjonalność docelowego systemu jest bowiem wypadkową „pola sił” środowiska projektowego (rys. 3.4). Tymczasem definiowanie funkcjonalności systemu wymaga określenia związanych z nim nakładów i efektów – zarówno ekonomicznych jak i pozaekonomicznych. Trzeba przy tym pamiętać, że to samo wdrożenie może być uznane za jako efektywne lub nieefektywne, w zależności od przyjętych kryteriów oceny, co wiąże się w m.in. z takimi czynnikami jak:

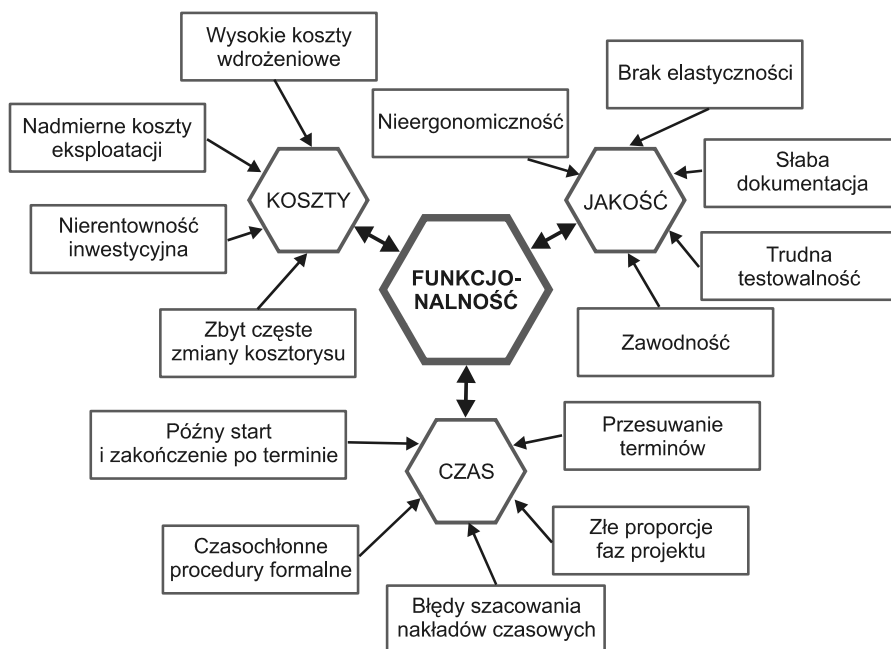
- 1) efekty trudnowymierne, którym można przypisywać różne znaczenie (wartości),
- 2) zmienna (manipulowalna) lista kosztów projektu, szczególnie w odniesieniu do kosztów pośrednich,
- 3) horyzont czasowy – projekt nieefektywny w skali roku może być uznany za efektywne w dłuższym czasie,
- 4) przyjmowanie zasięgu terytorialnego oceny projektu,
  - a) związki informacyjne w przedsiębiorstwie oraz jego otoczeniu,
  - b) dyfuzyjność IT.

Ostatni z wymienionych punktów (4b) wymaga szerszego komentarza w odniesieniu do fenomenu **paradoksu produktywności IT** [Bocij, 2008], który można zdefiniować jako słabą korelację między produktywnością i nakładami na informatykę:

- a) w skali makro,
- b) w całości inwestycji przedsiębiorstwa,
- c) w przeliczeniu na zatrudnionego.

Mamy tu do czynienia z takim obszarami problemowymi jak:

- niebezpieczeństwo iluzji statystycznej (zjawisko realne albo jako efekt niedoskonałych metod pomiarowych lub błędnych interpretacji),
- definiowalność (wartościowanie) postępu technicznego w ogólnym przypadku,
- kontekstowa (nie)mierzalność informacji,
- możliwości i ograniczenia stosowania klasycznych praw ekonomii w gospodarce informacyjnej,
- paradygmaty nauk aksjomatyczno-dedukcyjnych i aposterioryczno-indukcyjnych.



Rys. 3.4. Przykłady problemów optymalizacji funkcjonalności  
Źródło: opracowanie własne

W niniejszym rozdziale w dalszym ciągu odnosimy się bezpośrednio do aplikacji w przedsiębiorstwie przemysłowym co wymaga uwzględniania samej dyfuzyjności IT.

**Dyfuzyjność** możemy zdefiniować jako cechę metatechnologiczną tj. prowadzącą do kreowania szeregu specjalizowanych technik. W ujęciu makrocywilizacyjnym metatechnologie pojawiały się często w postaci idei (wynałazków) o uniwersalnym zastosowaniu. Takim odkryciem był ogień, który można było stosować do ogrzewania (uniezależnienie się od klimatu), obrony (przed dzikimi zwierzętami), oświetlenia (wydłużenie czasu ludzkiej aktywności) czy w tak różnych dziedzinach jak ceramika, metalurgia albo termiczna obróbka żywności. W tym ostatnim przypadku podgrzewanie pokarmów zwiększało ich przyswajalność o ok. 20–30%. Oznaczało to z kolei możliwość korzystania z mniejszej ilości żywności (efektywność gospodarcza) i jednocześnie uzyskania korzystniejszych proporcji wagi mózgu i reszty ciała. Podobnie uniwersalne znaczenie techniczne miał wynalazek koła (od trybików zegarka, przez bloki dźwignów aż do klasycznych zastosowań w pojazdach)

a później maszyna parowa czy tworzywa sztuczne. Przykładem dyfuzyjnej technologii infrastrukturalnej jest kolej – por. [Pacholski, 2010].

Dyfuzyjność informatyki w przedsiębiorstwie posiada następujące cechy:

- integracyjna rola informacji w odniesieniu do szeroko rozumianej materii rzeczywistości gospodarczej, tj. obiektów fizycznych (wąsko rozumiana materia), przepływów energetycznych, parametrów czasoprzestrzennych,
- inwestycja IT zaczyna w pełni działać dopiero wtedy, gdy jej skutki dotrą do różnych podsystemów przedsiębiorstwa,
- wszechzwiązki przyczynowo-skutkowe złożonego środowiska IT (niewielkie zmiany logiki fragmentu infrastruktury hardwarowo-sofwarowej mogą pociągać za sobą konieczność kaskadowych zmian w systemie).

Wyspecyfikowana jak wyżej przedmiotowa sfera definiowania funkcjonalności ISP posiada interdyscyplinarną charakterystykę korespondującą z możliwościami metod heurystycznych (p. 2.3). Należy do nich m.in. synektyka i analiza morfologiczna [Proctor, 2010], które w zaadaptowanej (uproszczonej) dla celów praktycznych wersji zastosowano szukając rozwiązania problemu znakowania wyrobów (p. 3.2). Z podejściem synektycznym korespondowały następujące elementy sytuacji projektowej:

- 1) sytuacja nowatorska – w skali przedsiębiorstwa (grupy firm) szukano rozwiązania dla nowego problemu, nie posiadającego wielu odniesień do systemów istniejących,
- 2) zgrubna (spontaniczna) definicja problemu – w początkowej fazie projektu jedynie taka była możliwa,
- 3) łączenie w systemową całość zróżnicowanych elementów (jedna z naczelnych zasad synektycznych) – konieczność integracji różnych podsystemów z udziałem różnych specjalistów,
- 4) tworzenie analogii – możliwość rozważania podobnych rozwiązań, zarówno istniejących, znanych pobieżnie jak i teoretycznych.

Jednocześnie uznano, że punkty 1–4 gwarantują wystarczający poziom kreatywności grupy projektowej w odniesieniu do technologii IT, rezygnując z prób stosowania innych elementów synektycznych, np. metafor. Z kolei przyjęto, że w kolejnej fazie projektowej warto zastosować analizę morfologiczną, której kluczowym elementem jest macierz rozwiązań i jej analiza. Z formalnego punktu widzenia konstruujemy macierz  $\mathbf{M}$  zmiennych problemowych rozważanego systemu postaci:

$$\mathbf{M} = [m_{ij}]_{z \times w} \quad (3.1)$$

gdzie:  $z$  – liczba zmiennych,  
 $w$  – liczba wartości zmiennych.

Z kolei tworzymy możliwe ciągi  $C = \{m_{ij}\}$  wartości zmiennych w maksymalnej ilości  $w^z$ . W praktyce tworzy się uproszczone tabele, które generują mniejszą ilość możliwych rozwiązań (tab. 3.7).

W prezentowanym przykładzie mamy do czynienia z tabelą w zaawansowanej fazie projektowej, która nie zawiera szeregu wcześniej odrzuconych wariantów, co redukuje liczbę możliwych rozwiązań  $R$ . W tym przypadku wynosi ona

$$R = \prod (A_i, B_j, C_k, D_l, E_m) \quad (3.2)$$

gdzie:  $i, j, k, l, m$  – maksymalne liczby zmiennych,

$$\text{czyli} \quad 4 \times 3 \times 4 \times 3 \times 2 = 288. \quad (3.3)$$

W przypadku

$$i = j = k = l = m = 4 \quad (3.4)$$

mielibyśmy

$$R = w^z = 4^5 = 1024. \quad (3.5)$$

Jak widać nawet dla niewielkiej ilości zmiennych i zredukowanych ilości wartości, liczba rozwiązań morfologicznych jest znaczna. W efekcie zdecydowano się na wariant A3-B1-C2-D2-E2 czyli zakładowe drukarki Hitachi zasilane półautomatycznie danymi satelitarnego ERP przy pomocy konwertera. W końcowej fazie projektu podejście synektyczno-morfologiczne uzupełniono katalogiem sytuacyjnym (tab. 3.8) odnoszącym się do specyfikacji wybranego wariantu sprzętowo-programowego.

**Tabela 3.7**

Przykład projektowej tabeli morfologicznej

Zmienne problemowe	Wartości zmiennych problemowych			
	1	2	3	4
A – Organizator	Koncern	Grupa firm	Zakład	Firma zewnętrzna
B – Rodzaj drukarki	HXR	Tx	V-jet	
C – Baza danych	centralny ERP	satelitarny ERP	Internet	lokalna (panel)
D – Oprogramowanie	SAP Forms	konwerter	indywidualne	
E – Transfer danych	automatyczny	półautomatyczny		

Źródło: opracowanie własne

**Tabela 3.8**

Katalog wybranych sytuacji dla zdefiniowanego rozwiązania projektowego

Nr	Sytuacja	Efekt	Reakcja	Komentarz
1	Start linii bez danych	Produkty bez specyfikacji	Kontrola przed startem	Zwiększone prawdopodobieństwo po przerwach (weekendowych)
2	Start linii z nieprawidłowymi danymi	Produkty z nieprawidłową specyfikacją	Kontrola przed startem	Może wystąpić podczas zmiany zlecenia produkcyjnego
3	Wiele zleceń jednocześnie w skorowidzu sterującym	Automatyczne przetwarzanie sekwencji plików	Możliwość wykluczona w aplikacji	Sytuacja niepożądana organizacyjnie (słabsza kontrola)
4	Dwie partie w jednym zleceniu	Przetwarzanie sekwencyjne wg ilości jednostek w partii	Brak (automatyczna zmiana partii, standardowe kontrole)	Precyzja definiowania ilości jednostek w partii zależna od danych bazowych
5	Brak materiału na linii, awarie	Automatyczny stop linii	Sterowanie ręczne	Automatyczny stop (start) aplikacji ze stopem (startem) linii

cd. tab. 3.8

Nr	Sytuacja	Efekt	Reakcja	Komentarz
6	Produkcja $N$ minus $X$ jednostek zamiast $N$	$X$ jednostek następnej partii błędnie specyfikowanych	Ręczne skasowanie $X$ jednostek	Przy powtarzalności dopasowanie współczynników zużycia ( <i>scrap</i> )
7	Produkcja $N$ plus $X$ jednostek zamiast $N$	$X$ jednostek tej samej partii prawidłowo specyfikowanych	Brak (standardowe kontrole)	Przy powtarzalności dopasowanie współczynników zużycia ( <i>scrap</i> )
8	Zmiana danych partii podczas pracy linii	Automatycznie niemożliwa	Ręczne kasowanie/zmiana	Spójność transferu danych gwarantowana w aplikacji

Źródło: opracowanie własne

# Ocena efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących

Niniejszy rozdział poświęcony jest problematyce oceny efektywności organizacji i zmian procesów planistyczno-sterujących. W p.4.1 zwrócono uwagę na złożonych charakter i wieloaspektowość pojęcia efektywności oraz wskazano cechy, którymi powinny charakteryzować się koncepcje oceny efektywności. Konsekwencją tych rozważań jest odniesienie efektywności do obszaru zmian procesów planistyczno-sterujących i procesu jej oceny (p. 4.2, p. 4.3). W kolejnym podrozdziale zaproponowano systemową koncepcję oceny efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących w ujęciu poziomów złożoności organizacji oraz składowych efektywności, jakimi są skuteczność, korzystność i ekonomiczność (p. 4.4). Końcowe podrozdziały dotyczą metodyki i założeń modelowych oceny każdej ze składowych efektywności przekształceń przedmiotowych procesów.

## 4.1. Efektywność organizacji

Ocena efektywności jest jednym z podstawowych zadań wykonywanych przez każdą organizację. Pomiar efektywności umożliwia bowiem dokonanie oceny zrealizowanych zadań lub pomaga podjąć decyzję o zakresie niezbędnych zmian i sposobie ich realizacji. Ocena efektywności należy do zadań o złożonym charakterze, wymaga bowiem wieloaspektowego spojrzenia na organizację i uwzględnienia czynników o różnorodnym charakterze. Znajduje to odzwierciedlenie w literaturze przedmiotu, pojęcie efektywności jest bowiem różnie interpretowane, ponadto podlega ciągłej ewolucji. P. Drucker nadaje efektywności pozytywny wymiar twierdząc, że [Drucker, [w]: Weiss, 2010]:

- dotyczy ona działań ukierunkowanych na osiągnięcie postawionego celu, co oznacza, że działania w organizacji są celowe i skuteczne,
- przedstawia zależność pomiędzy uzyskanymi efektami działań, a poniesionymi na nie nakładami, co wyraża sprawność ekonomiczną organizacji,
- pozwala dynamicznie realizować proces oceny poprzez system ocen *ex ante* i *ex post*.

Szeroki zakres i różne podejścia do pojęcia efektywności organizacji oddają cztery ujęcia, których cechy charakterystyczne przedstawia tabela 4.1. Każde z ujęć naświetla inny wymiar pojęcia efektywności i wiąże się z potrzebą uwzględnienia określonych czynników i wykorzystania odpowiednio dobranych miar.

W ujęciu ekonomicznym podlegają ocenie działania transformujące czynniki wejściowe organizacji (na które zostały poniesione nakłady) w elementy wyjścia (przede wszystkim wyroby i usługi), które przynoszą określone efekty. Do wyrażenia efektywności w tym ujęciu stosowane są różnorodne mierniki obrazujące stosunek uzyskanych efektów

do poniesionych nakładów typu produktywność, rentowność, czy stopy procentowe. W ujęciu prakseologicznym efektywność definiowana jest jako pozytywny wynik działań „bez względu na to czy był on zamierzony (działanie skuteczne i efektywne), czy nie zamierzony (działanie efektywne)” [Pszczółowski, 1978]. *Systemowe ujęcie efektywności natomiast zwraca uwagę na potrzebę uwzględnienia w ocenie nie tylko wzajemnego oddziaływania elementów organizacji, ale również jej relacji z otoczeniem ze względu na jej otwartość i powiązanie z elementami otoczenia.* Przedstawione ujęcia efektywności dotyczą każdego obszaru i aspektu funkcjonowania organizacji, również związanego z zarządzaniem zmianą w organizacji.

Tabela 4.1

Charakterystyka ujęć pojęcia efektywności organizacji

Ujęcie	Cechy
Ekonomiczne	Przedstawia relacje pomiędzy efektami, a nakładami poniesionymi na ich osiągnięcie
Celowościowe	Zgodne z prakseologią, przedstawia stopień realizacji celów przyjętych przez organizację
Systemowe	Mierzy stopień wykorzystania zasobów organizacji oraz relacje organizacji z jej otoczeniem
Kompleksowe	Łączy ujęcie systemowe i celowościowe, ocenia stopień realizacji celów operacyjnych organizacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ziębicki, 2007]

Wzajemne powiązania obszarów organizacji powodują konieczność syntetycznego podejścia do oceny efektywności organizacji. Złożoność organizacji, potrzeba uwzględnienia efektów o różnorodnym charakterze, czy dynamiczne uwarunkowania rynkowe w sposób znaczący wpływają na postać modelu i metodykę oceny efektywności organizacji. Cechy, którymi powinny charakteryzować się koncepcje oceny efektywności zidentyfikował B. Ziębicki. Zostały one przedstawione w tabeli 4.2.

Sytuacja danej organizacji jest wynikiem synergii podejmowanych działań i ich efektów, które dotyczą m.in. struktury, ludzi, sposobu realizacji procesów, technologii w różnych obszarach jej funkcjonowania. Wiąże się to z potrzebą uwzględnienia w ocenie aspektów o różnym charakterze (technicznym, organizacyjnym, ekonomicznym, społecznym), co z kolei powoduje konieczność wykorzystania miar zarówno ilościowych, jak i jakościowych. Dynamicznie następujące zmiany powodują potrzebę podejmowania szybkich decyzji. W tym aspekcie wykorzystanie w systemie oceny efektywności tylko miar finansowych jest niewystarczające. Są one bowiem miarami wynikowymi, ich wartości z pewnym opóźnieniem oddają stan organizacji, nie pozwalają zatem na szybkie zareagowanie na pojawiające się problemy i szanse. Zwracają na to uwagę T. Malone i W. Sinnet, stwierdzając, że tradycyjne miary nie dostarczają informacji o źródłach problemów występujących w organizacji [Malone, Sinnet, 2005]. J. Womack i D. Jones uważają, że wykorzystanie tylko miar finansowych utrudnia doskonalenie organizacji. Odzwierciedlają one bowiem ogólną sytuację organizacji lub jej elementu, ale w sposób bezpośredni nie wskazują obszarów wymagających szybkich zmian i usprawniania, szczególnie z punktu widzenia tworzenia wartości dodanej, natomiast skłaniają raczej do ograniczenia różnorodności [Womack, 2005]. Oceny

efektywności nie można zawęzić tylko do wnętrza organizacji, sprawności i skuteczności wykorzystania jej zasobów materialnych, informacyjnych, ludzkich, czy finansowych. **Otwartość organizacji wymaga szerszego spojrzenia i uwzględnienia miar, które pozwolą znaleźć równowagę pomiędzy naciskami zewnętrznymi (generowanymi głównie przez klientów i pozostałych interesariuszy), a naciskami wewnętrznymi.** Skupienie się tylko na działaniach poprawiających jeden wymiar działalności w krótszej lub dłuższej perspektywie zakończy się niepowodzeniem [Bhasin, 2008]. System oceny efektywności powinien być również skorelowany z przyjętą strategią organizacji, w przeciwnym przypadku będzie źródłem decyzji, które nie zapewnią osiągnięcie oczekiwanego stanu przez organizację.

Tabela 4.2

## Cechy koncepcji oceny efektywności

Cecha	Charakterystyka
Wykorzystanie dorobku w zakresie oceny efektywności organizacyjnej	Wykorzystanie podejść stosowanych w modelu racjonalnego celu, procesu wewnętrznego, stosunków międzyludzkich, otwartego
Powiązanie oceny ze strategią firmy, satysfakcją klientów i pozostałych akcjonariuszy	Obszary te stanowią podstawę odniesienia w procesie oceny efektywności
Indywidualny dobór kryteriów oceny efektywności	Uzależniony on jest od m.in. rodzaju danych analitycznych, systemu informacyjnego organizacji
Wieloaspektowość ocen	Ocena dokonywana w różnych płaszczyznach funkcjonowania organizacji
Odejście od oceny efektywności tylko za pomocą mierników finansowych	Znaczenia nabierają, oceny jakościowe miary operacyjne, zadowolenie klienta, sprawne realizowanie procesów.
Dążenie do zapewnienia równowagi w zakresie różnych aspektów oceny	Dążenie. do równowagi m.in. ocen <i>ex ante</i> , <i>ex post</i> , różnorodnych aspektów, efektów ilościowych i jakościowych
Porównanie z innymi	Możliwość stosowania benchmarkingu z innymi organizacjami

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ziębicki, 2010]

W literaturze można znaleźć szereg modeli i koncepcji, które można wykorzystać do oceny efektywności organizacji. Ze względu na złożoność zjawisk zachodzących wewnątrz organizacji i jej zależność od warunków otoczenia oraz dość szeroką interpretację pojęcia efektywności charakteryzują się one odmienną strukturą, a poprzez zastosowany system oceny kładą nacisk na inne aspekty funkcjonowania organizacji. Wszystkie jednak uwzględniają cechy przedstawione w tabeli 4.2, chociaż w różnym stopniu je spełniają.

Jednym z modeli jest zrównoważona karta wyników – *Balanced Scorecard* BSC. Poprzez wyróżnienie w modelu czterech perspektyw: finansowej, klienta, wewnętrznych procesów i rozwoju, uwzględnia zarówno wewnątrz organizacji, jej obecny i przyszły stan, jak i wpływ jej otoczenia. Poprzez wykorzystanie indywidualnie dobranych przez organizację miar finansowych i operacyjnych możliwa jest ocena różnych aspektów jej funkcjonowania. Dzięki temu zrównoważona karta wyników pozwala kompleksowo oceniać i monitorować stan i rozwój organizacji [Kaplan, Norton, 2006]. Dodatkową zaletą BSC jest powiązanie jej ze strategią organizacji. W każdej z perspektyw stawiane są cele wynikające



z przełożenia strategii na konkretne obszary funkcjonowania oraz określane są kluczowe mierniki, które pozwalają ocenić stopień realizacji celów.

Podobnie jak BSC potrzeba powiązania oceny ze strategią firmy oraz jej otoczeniem pojawia się w modelu *Performance Prism*. Model ten integruje pięć perspektyw: satysfakcji interesariuszy, wsparcia organizacji przez interesariuszy, strategii, procesów i zdolności [Neely, Adams, Kennerley, 2002]. Duży nacisk kładziony jest na zrozumienie czego interesariusze oczekują od organizacji i jakiego wsparcia od nich oczekuje organizacja. Poprzez przełożenie zidentyfikowanego zbioru potrzeb i oczekiwań, przy pomocy odpowiednio dobranych kryteriów i mierników w każdej z perspektyw na strategię, przebieg procesów i niezbędne zasoby, możliwa jest ocena i podejmowanie działań przyczyniających się do rozwoju organizacji, tak by dostarczała ona wartość interesariuszom.

Można wskazać również modele oceny efektywności ujmujące organizację w szerszym kontekście – łańcucha dostawców i klientów. Przykładem takiego modelu jest referencyjny model łańcucha dostaw (*Supply-Chain Operations Reference-model SCOR*). W tym wielopłaszczyznowym modelu wyróżniono pięć podstawowych procesów łańcucha dostaw jakimi są zaopatrzenie, wytwarzanie, dostawa, planowanie i zwroty, które podlegają dalszej dekompozycji na kolejnych trzech poziomach, z uwzględnieniem klasy produktów [SCOR, 2010]. Do oceny każdego procesu, na każdym poziomie dekompozycji służą określone mierniki o różnym charakterze, zgodne z kluczowymi atrybutami łańcucha dostaw, którymi są niezawodność, zdolność do szybkiego reagowania na potrzeby klientów, elastyczność w dostosowywaniu do wymagań klientów, koszty funkcjonowania i stopień wykorzystania aktywów. Dodatkową zaletą tego modelu jest możliwość benchmarkingu z innymi organizacjami.

Propozycję koncepcji oceny i poprawy efektywności łańcucha wartości dostaw (*supply value chain*) przedstawiają również G. Kayakutlu i G. Büyüközkan. Autorzy zwracają uwagę na zachodzące w łańcuchu dostaw multidyscyplinarne interakcje i potrzebę uwzględnienia w ocenie aspektów związanych z kompetencjami i zarządzaniem wiedzą. W celu efektywnego zarządzania łańcuchem dostaw proponują czteropoziomowy system ocen obejmujący zarządzanie kompetencjami (przy uwzględnieniu atrybutów sukcesu w zakresie kompetencji na poziomie organizacji, zespołu i indywidualnym), zarządzanie wiedzą oraz zarządzanie łańcuchem dostaw. Do oceny wpływu atrybutów kompetencji zarządzających na rozwój i efektywność łańcucha w strukturze modelu został wykorzystany Analityczny Proces Sieciowy (*Analytic Network Proces ANP*) [Kayakutlu, Büyüközkan, 2010].

Istnieją również systemy oceny organizacji powiązane z określoną filozofią zarządzania. Do realizacji strategii nastawionej na eliminację marnotrawstwa w organizacji służy system oceny zwany *Lean Accounting*. Umożliwia on ocenę efektywności organizacji nastawionej na eliminację marnotrawstwa w swoich procesach w trzech wymiarach: operacyjnym (*operational*), zdolności (*capacity*) oraz finansowym (*financial*). W wymiarze operacyjnym odnosi się zarówno do oceny procesów wewnętrznych organizacji, jak i realizacji wymagań klientów. Ponadto uwzględnia złożoność organizacji dokonując jej dekompozycji na poziom komórki i procesów, strumieni wartości oraz całej organizacji [Maskell, Baggaley, 2006]. Pomiędzy poszczególnymi poziomami w ramach każdego z wymiarów oceny występują korelacje. Do oceny funkcjonowania organizacji opracowana została również rachunkowość przerobowa (*Throughput Accounting*) [Corbet, 2007]. Przedstawia ona

system mierników, zarówno finansowych, jak i operacyjnych, które należy wykorzystywać przy ocenie i doskonaleniu organizacji, zgodnie z zasadami Teorii Ograniczeń.

Przedstawione modele i koncepcje nie wyczerpują bogatej literatury dotyczącej oceny efektywności w organizacji. O liczności sposobów oceny efektywności organizacji świadczyć może m.in. klasyfikacja metod dokonana względem różnych kryteriów i zaprezentowana przez K. Krupę [Krupa, 2006]. Scharakteryzowane w niniejszym rozdziale modele i koncepcje stanowią przykłady uniwersalnych rozwiązań dostosowanych do potrzeb współczesnych organizacji oraz dobrze oddają wymagania stawiane nowoczesnym modelom oceny.

Problem oceny efektywności organizacji pozostaje zagadnieniem otwartym. Literatura przedmiotu dostarcza szeregu modeli i systemów oceny, których koncepcje cały czas są doskonałe. Ponadto wraz z rozwojem technologii i wiedzy na temat organizacji i metod zarządzania nią niezbędne staje się również nowe spojrzenie na ocenę działalności firmy.

Istotną rolę ma również ocena efektywności poszczególnych aspektów funkcjonowania organizacji. Jednym z nich jest obszar zarządzania zmianą w organizacji, w tym zarządzania zmianą procesów planistyczno-sterujących. Zastosowanie w tym obszarze odpowiedniej koncepcji oceny zmian pozwoli je właściwie ukierunkować i zrealizować, tak by przełożyły się one na poprawę efektywności organizacji.

## 4.2. Ocena efektywności zmian

Problematyka oceny zmiany wpisuje się w obszar oceny efektywności organizacji. Z jednej strony system i metodyka oceny musi być zgodna z dorobkiem nauki i wymaganiami stawianymi ocenie efektywności organizacji. Z drugiej strony musi uwzględniać specyfikę działań związanych z zarządzaniem zmianami. **Zmian nie można ograniczyć tylko do miejsca ich wdrażania. Wzajemne sprzężenia elementów organizacji powodują, że przekształcenia dokonane w jednym z obszarów pociągają za sobą potrzebę zmian innych obszarów organizacji i łańcucha dostaw.** Naświetla ten fakt podejście systemowe do zmian, zgodnie z którym konsekwencją zmiany w jednym z elementów systemu są przekształcenia w jego kolejnych elementach. Zmianom ulega sposób realizacji procesów, struktura organizacji, poziom techniczny i technologiczny, poziom wiedzy i umiejętności, postawy i zachowania ludzi i inteligentnych elementów organizacji. Efekty zmian mają zatem wielowymiarowy charakter.

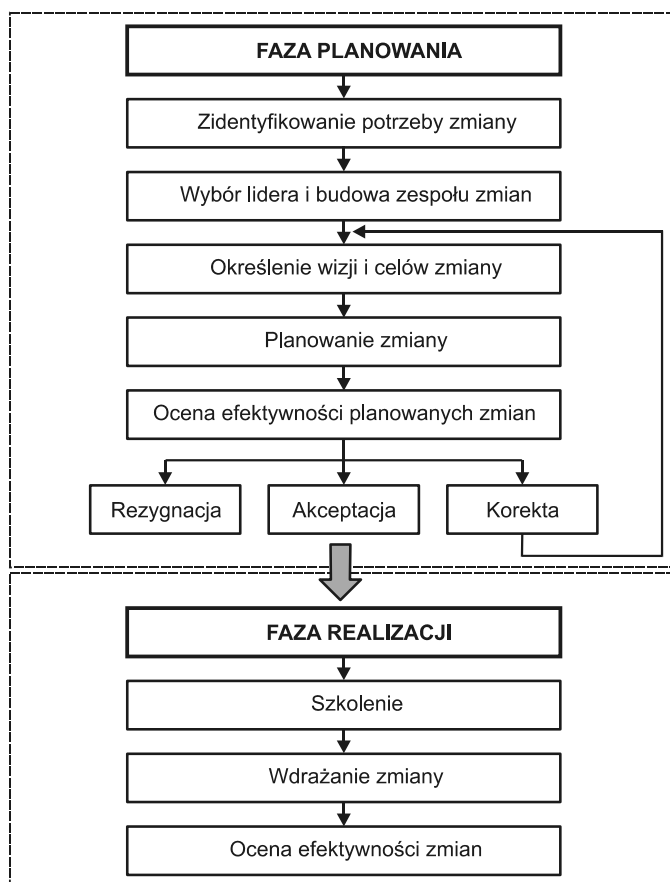
Uwzględniając zatem specyfikę zmian, jak i wymagania jakie niesie ze sobą pojęcie efektywności wydaje się słuszne ujęcie efektywności zmian poprzez określenie jej trzech składowych elementów, do których należą skuteczność, korzystność i ekonomiczność [Grzybowska, Łopatowska, 2011]. Przy ich pomocy można dokonać oceny organizacji i następujących w niej zmian, w tym również przekształceń jednego z podstawowych rodzajów procesów organizacji, jakimi są procesy planistyczno-sterujące. Dają one również możliwość pełniejszego oddania wielowymiarowego znaczenia pojęcia efektywności, poprzez ujęcie szeregu aspektów, do których zaliczyć można aspekty techniczne, ekonomiczne, prakseologiczne, organizacyjne, czy społeczne.

W przyjętym ujęciu efektywności skuteczność zmiany rozumiana jest jako stopień realizacji postawionych celów, przybliżenia się do założonego stanu. Korzystność w ujęciu ekonomicznym określana jest jako różnica wyniku działania, uzyskanych efektów i nakładów niezbędnych do osiągnięcia założonych efektów [Kieżun, 1997]. Zmiany uważane są

pozytywne jeżeli efekty (wyniki użyteczne) będą przewyższyły poniesione nakłady [Czermiński, Czerska, Nogalski, Rutka, Apanowicz, 2001]. W zarządzaniu zmianą istotne znaczenie dla powodzenia procesu zmian mają czynniki zaliczane do grupy czynników o charakterze miękkim, związane z postawami uczestników zmian i ich zaangażowaniem w proces realizacji przekształceń. B. Kozusznik wskazuje, że efektywność zmian jest wynikiem interakcji czynników, wśród których istotne znaczenie mają motywacja oraz kwalifikacje i umiejętności uczestników zmiany [Kozusznik, 2005]. H. Sirkin, P. Keenan i A. Jackson jako kluczowe czynniki powodzenia zmiany identyfikują integralność działań, która jest wynikiem umiejętności, motywacji i czasu poświęconego zmianie oraz zaangażowania i wysiłku włożonego w proces zmian [Sirkin, Keenan, Jackson, 2005]. Dlatego w procesie oceny efektywności zmian słusznym wydaje się ujęcie korzystności w odniesieniu do postaw uczestników zmian w organizacji. Jak podaje T. Kotarbiński w tej perspektywie oznacza ona „dodatnie przeobrażenia postaw społecznych” [Kotarbiński, [w]: Pszczołowski, 1978], można ją zatem rozumieć również jako akceptację potrzeby zmian, pozytywne przeobrażenia postaw uczestników zmian, ich otwartość, zaangażowanie i pełne uczestniczenie w procesie przekształceń, co dotyczy zarówno ludzi, jak i elementów składowych inteligentnych systemów produkcyjnych. W takim ujęciu korzystność wyrażana jest przez czynniki trudne do zmierzenia, ale o istotnym wpływie na uzyskane efekty zmian. Ostatnia składowa efektywności, jaką jest ekonomiczność wyraża „stosunek wyniku użytecznego do kosztów działania” [Kieżun, 1997]. Działanie zostanie ocenione jako ekonomiczne, jeżeli stosunek uzyskanych efektów zmian do nakładów poniesionych w związku z realizacją zaplanowanych i wdrożonych działań będzie większy od jedności.

Ocena efektywności zmian jest integralnym elementem procesu zmian. W procesie realizacji zmian występuje dwukrotnie, zamykając każdą z dwóch podstawowych faz: planowania zmiany i jej wdrażania (rys. 4.1). Po zidentyfikowaniu potrzeby zmiany, określeniu jej wizji i wskazaniu celów oraz budowie zespołu, który będzie zarządzał procesem zmian następuje etap planowania zmiany. Z reguły opracowywane są liczne plany transformacji, które różnią się przyjętą strategią, projektem działań, sposobem ich realizacji, czy budżetem. Mogą one na różnym poziomie spełniać założone cele, przynosić różne efekty i wymagać odpowiednich nakładów, co będzie powodować, że będą one w odmiennym stopniu wypełniać zidentyfikowaną potrzebę zmian i przynosić różnorodne efekty w obszarach funkcjonowania organizacji. Powstaje zatem potrzeba budowy odpowiedniego systemu oceny zmiany i dokonania, zgodnie z przyjętym systemem, oceny efektywności poszczególnych planów zmian. Wykonywana w fazie planowania zmiany ocena ma charakter prospektywny (*ex ante*), bowiem realizowana jest z wyprzedzeniem, dotyczy przyszłości i wymaga prognozowania stanu organizacji po wdrożeniu danej opcji planu. Wyniki wykonanej oceny dają podstawę do podjęcia decyzji o dalszych działaniach w procesie zmiany. Wybór najlepszej, spełniającej oczekiwania opcji planu daje podstawę do przejścia do fazy realizacji procesu zmian. Możliwa jest również sytuacja, w której żadna z dotychczasowych opcji planu nie przyniesie oceny na zadawalającym poziomie. Niezbędna jest wtedy korekta planów, która może obejmować również potrzebę nowego spojrzenia na cele i wizje zmiany. Wyniki wykonanych ocen mogą dawać również podstawę do stwierdzenia, że organizacja nie jest zdolna do zmiany, ryzyko przeprowadzenia procesu zmian jest zbyt wysokie i nie ma możliwości efektywnej realizacji przeobrażeń, co wiąże się z podjęciem decyzji o rezygnacji z procesu zmiany.

W procesie zmian fazę realizacji zmiany kończy ponowna ocena jej efektywności. Na tym etapie ocena ma już charakter retrospektywny (ex post), dokonywana jest bowiem na podstawie rzeczywistej sytuacji organizacji, czyli dotyczy stanu przeszłego w stosunku do momentu przeprowadzenia oceny. Ocenie podlega skuteczność, korzystność i ekonomiczność zmiany, co z kolei pozwala ocenić stan i pozycję organizacji oraz wyznaczyć kierunek dalszych przekształceń. Wykonana ocena dostarcza również informacji o wpływie stosowanych narzędzi, zasad, czy metodyk w procesie planowania i realizacji zmiany na uzyskiwane efekty. Umożliwia zatem uczenie się i budowanie wiedzy na temat procesu zmian oraz właściwe zarządzanie organizacją i jej elementami. Istotnego znaczenia w tym aspekcie nabiera dopasowanie modelu i metodyki oceny do specyfiki organizacji i obszaru, który podlega zmianom.



Rys. 4.1. Ocena efektywności w procesie realizacji zmian

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Łopatowska, Kwaśniewski, 2006]

### 4.3. Proces oceny efektywności zmian

W procesie oceny efektywności zmian, również dotyczących procesów planistyczno-sterujących, można wyróżnić dwie główne fazy:

- fazę projektowania, w której następuje określenie koncepcji i metodyki pomiaru i oceny zmian,
- fazę pomiaru i oceny, w której następuje praktyczne wykorzystanie opracowanej koncepcji i dokonana zostaje ocena efektywności zmian (*ex ante* lub *ex post*).

Każda z faz wymaga realizacji szeregu działań przypisanych poszczególnym etapom, które wraz z ich charakterystyką zostały przedstawione w tabeli 4.3.

**Tabela 4.3**

Charakterystyka procesu oceny zmian w organizacji

Faza	Etap	Charakterystyka
Projektowanie	1. Określenie ogólnej koncepcji oceny efektywności zmian	Ocena obejmuje trzy składowe efektywności zmian, jakimi są: skuteczność, korzystność i ekonomiczność. Niezbędne jest określenie koncepcji oceny dla każdej ze składowych efektywności
	2. Określenie kryteriów oceny	Kryteria oceny dostosowane są do składowej efektywności oraz obszaru, który podlega ocenie. Etap ten może również obejmować ocenę istotności kryteriów (np. przy ocenie korzystności zmiany)
	3. Przypisanie kryteriom mierników	Mierniki mogą mieć postać ilościową, jak i jakościową. Każdemu kryterium można przypisać zbiór mierników, zależny od obszaru i poziomu analizy organizacji i łańcucha dostaw
	4. Określenie sposobu pomiaru wartości mierników	Określenie sposobu, warunków, czasu i miejsca zebrania niezbędnych danych
	5. Określenie wartości bazowych systemu mierników, kryteriów i składowych oceny efektywności	System bazowy stanowić będzie odniesienie w procesie wykonania oceny
Pomiar i ocena	6. Wyznaczenie wartości wskaźników oceny	Zebranie odpowiednich danych zgodnie z ustalonymi zasadami, wyznaczenie wartości mierników
	7. Ocena stopnia realizacji kryteriów	Stopień realizacji kryterium można wyznaczyć poprzez porównanie z wartościami bazowymi.
	8. Ocena efektywności zmian	Dokonanie oceny każdej ze składowych efektywności, zgodnie z przyjętą koncepcją Ocena poprzez porównanie z systemem bazowym. Dokonanie oceny efektywności zmian

Źródło: opracowanie własne

Ogólny przebieg procesu oceny zmian jest taki sam dla każdej ze składowych efektywności i obejmuje fazy od drugiej do siódmej scharakteryzowane w tabeli 4.3. Natomiast ze względu na to, że każda ze składowych efektywności dotyczy odrębnego aspektu zmian wymaga określenia odpowiadającego jej istocie sposobu i metodyki oceny. Ze względu na

wielowymiarowość efektów zmian kryteria oceny, dla każdej ze składowych efektywności mają również różnokierunkowy charakter. L. Zawadzka do oceny efektywności organizacji elastycznych i inteligentnych proponuje wykorzystanie następujących rodzajów kryteriów [Zawadzka, 2000]:

- operacyjnych, które odnoszą się do organizacji i przebiegu realizowanych procesów,
- ekonomicznych, które powiązane są z wartością (wielkością) efektów dodatnich (korzyści) i ujemnych (nakładów) i wyrażają efekty wykorzystania potencjału organizacji w danych warunkach,
- informacyjnych, które ukazują wpływ organizacji i przebiegu procesów informacyjnych na sukces zmiany i organizacji,
- technicznych, które wyrażają wpływ zastosowanego poziomu rozwiązań technicznych na zmianę i powodzenie organizacji.

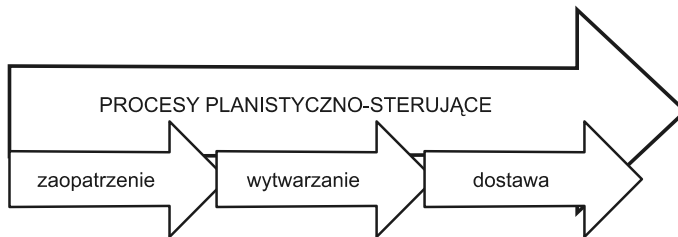
Ponadto, biorąc pod uwagę **konieczność multidyscyplinarnego podejścia do oceny organizacji** i wymagania stawiane modelom oceny efektywności, w procesie oceny zmian należy również uwzględnić kryteria o charakterze rynkowym, które przede wszystkim pomogą ocenić stopień spełnienia oczekiwań klientów i pozycję firmy na rynku oraz kryteria związane z wiedzą organizacji i kompetencjami jej uczestników. Wymienione rodzaje kryteriów należy wziąć pod uwagę niezależnie od badanego obszaru organizacji podlegającego zmianom (towarzyszą również zmianom procesów planistyczno-sterujących). Natomiast poziom organizacji i łańcucha dostaw oraz badany obszar mogą wpływać na istotność znaczenia poszczególnych rodzajów kryteriów. Duża różnorodność i różnowymiarowość kryteriów powoduje, że ocena efektywności zmian pozostaje problemem złożonym. W tej sytuacji wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem jest zastosowania modeli wielokryterialnych w globalnym modelu oceny zmiany organizacyjnej.

W procesie oceny zmian poszczególnym kryteriom należy przypisać odpowiednie mierniki. Ze względu na rodzaj efektów zmian mierniki mogą mieć charakter ilościowy (w przypadku efektów wymiernych), jak i jakościowy (w przypadku efektów niewymiernych lub trudno wymiernych). Postać mierników zależy od obszaru, który podlega ocenie i perspektywy oceny. Poza poziomem całej organizacji w literaturze wyróżniane są poziomy procesy i stanowiska pracy [Rummler, Brache, 2000] lub indywidualnych stanowisk i zespołów w podejściu multidyscyplinarnym, łączącym efekty techniczne, technologiczne, ekonomiczne z efektami w zakresie wiedzy i umiejętności [Kayakutlu, Büyükoçkan, 2010], czy strumieni wartości i poszczególnych zespołów komórek (np. gniazd lub linii produkcyjnych) [Maskell, Baggaley, 2006]. Na poszczególnych poziomach mogą być stosowane mierniki o ogólnej postaci, wymagające odpowiedniej agregacji danych, dostosowanej do badanego poziomu, mierniki indywidualne stosowane tylko na danym poziomie lub mierniki wynikowe, których postacią jest wynikiem odpowiedniej kombinacji mierników z niższego poziomu (np. elastyczność strumienia wartości wynika z elastyczności tworzących go zespołów komórek). **Wybór mierników** pociąga za sobą potrzebę określenia ich postaci (formuł obliczeniowych), w przypadku mierników ilościowych, bądź sposobu pomiaru, w przypadku mierników jakościowych. Istotną sprawą jest właściwy dobór mierników i ograniczenie ich ilości. W inteligentnych systemach produkcyjnych dobór odpowiednich mierników oceny zmiany może odbywać się dzięki inteligencji i umiejętnościom samouczenia elementów składowych organizacji (z wykorzystaniem np. algorytmów genetycznych, czy rojowych). W procesie oceny zmiany należy również określić warunki i czas pomiaru, bowiem niektóre efekty zmiany mogą być rozłożone w czasie lub widoczne nie

od razu po poniesieniu nakładów, tylko dopiero w późniejszym okresie. W celu określenia, czy zmiana przyniosła zadawalające wyniki niezbędne jest przyjęcie wartości bazowych w systemie oceny, które stanowiąc będą odniesienie w fazie pomiaru efektów zmian, na etapie oceny spełnienia kryteriów i oceny efektywności zmian.

#### 4.4. Efektywność zmian procesów planistyczno-sterujących

Zadaniem procesów planistyczno-sterujących jest planowanie i nadzorowanie przepływu materiałów i informacji we wszystkich procesach, które współuczestniczą w realizacji zamówień klientów. Procesy te są odpowiedzialne za zrównoważenie przepływu materiałów i informacji w organizacji i łańcuchu dostaw z zapotrzebowaniem ze strony rynku [Slack, Chambers, Johnston, 2004]. Mają one zapewniać sprawny i efektywny przebieg procesów w organizacji i jednocześnie powodować, że zlecenia klientów są realizowane w wymaganej ilości, jakości i w wymaganym czasie. **Współzależność procesów realizowanych w organizacji powoduje, że zmiany procesów planistyczno-sterujących pociągają za sobą przekształcenia w powiązanych obszarach i realizowanych w nich procesach.** Należą do nich proces zaopatrzenia, wytwarzania i dostawy, co uwidacznia referencyjny model łańcucha dostaw SCOR (rys. 4.2). Procesy planistyczno-sterujące nadzorują przebieg wyróżnionych procesów i ze względu na swoje zadania i pełnią rolę ich zmiany należy rozpatrywać w szerszej perspektywie, uwzględniając sprzężenia i wzajemne oddziaływanie koordynujących i koordynowanych procesów (czyli również procesów zaopatrzenia, wytwarzania i dostawy). Przekształcenia w obszarze procesów planistyczno-sterujących w sposób istotny wpływają na organizację i przebieg współzależnych procesów, a więc efekty zmian tych procesów są identyfikowane również w strukturze, sposobie realizacji, poziomie wiedzy i technologii, czy zachowaniach powiązanych procesów.



Rys. 4.2. Współzależność procesów w organizacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Supply-Chain Operations Reference-model SCOR, 2011]

Ocena efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących wymaga zidentyfikowania każdej ze składowych efektywności, czyli skuteczności, korzystności i ekonomiczności, co pozwala, zgodnie z systemowym podejściem, uwzględnić różny charakter efektów zmian. Przebieg procesu oceny, dla każdej ze składowych wymaga określenia efektów częściowych i ich mierników oraz pomiaru i porównania z wartościami przyjętymi za bazowe. Tym samym przebiega zgodnie z etapami scharakteryzowanymi w rozdziale 4.3. Literatura poświęcona problematyce oceny efektywności zwraca uwagę na potrzebę uwzględnienia poziomu złożoności organizacji [m.in. Kayakutlu, Büyükožkan, 2010; Maskell, Baggaley,

2006; Rummler, Brache, 2000]. W przypadku procesów planistyczno-sterujących ocena może być dokonywana w następujących wymiarach złożoności organizacji:

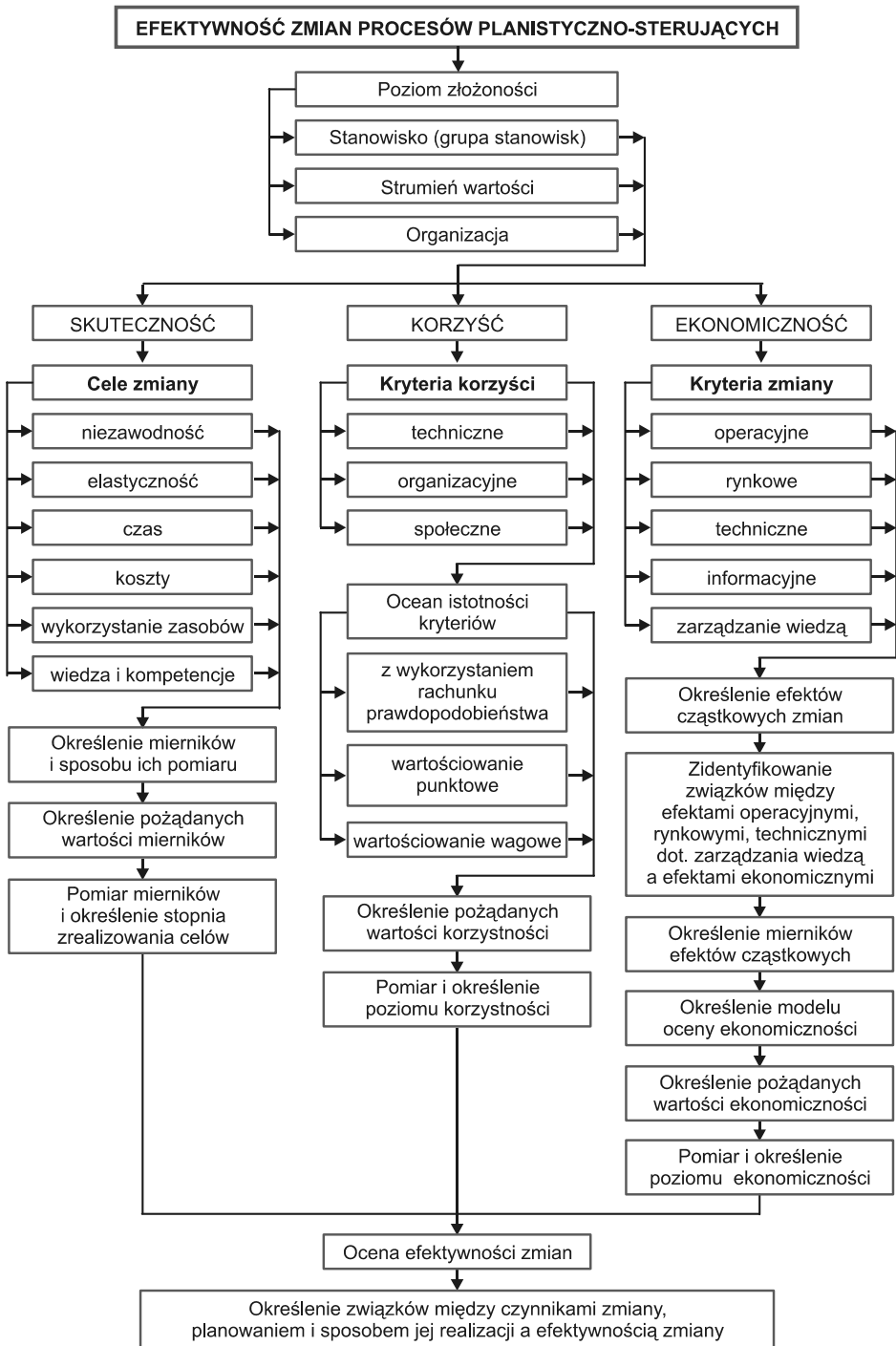
- na poziomie stanowiska lub grupy stanowisk (np. gniazda lub linii produkcyjnej), dla których oceniane są efekty wynikające ze zmian procesów planistyczno-sterujących bezpośrednio na nie ukierunkowanych,
- na poziomie strumienia wartości, który wewnątrz organizacji rozumiany jest jako zespół działań niezbędnych do zaprojektowania i wytworzenia określonego produktu lub rodziny produktów wraz z wszelkimi uwarunkowaniami z bezpośrednimi dostawcami i klientami [Czerska, 2009; Womack, Jones, 2008]. W tym wymiarze oceniane zostaną efekty zmian widoczne z punktu widzenia strumienia wartości, który integruje elementy organizacji (strumień wewnętrzny) lub różne organizacje (pełny strumień wartości),
- poziomu organizacji, na którym dokonywana jest ocena kompleksowych efektów zmian procesów planistyczno-sterujących, istotnych z perspektywy organizacji a będących konsekwencją zmian odniesionych do stanowisk i ich grup lub strumieni wartości produktów.

Zgodnie z wymaganiami stawianymi modelom oceny efektywności organizacji, które zostały scharakteryzowane w podrozdziale 4.1 w systemie oceny zmian procesów planistyczno-sterujących należy uwzględnić kluczowe perspektywy, do których można zaliczyć:

- obszar procesowy, w którym możliwa jest ocena efektów zmian dotyczących zarówno sposobu realizacji samych procesów planistyczno-sterujących, jak i powiązanych z nimi procesów zaopatrzenia, wytwarzania i dostawy,
- obszar rynkowy, umożliwiający ocenę efektów zmian w odniesieniu przede wszystkim do spełnienia oczekiwań klientów,
- obszar finansowy, który pozwala dokonać oceny efektów wyrażonych poprzez miary finansowe.

Każdy z obszarów generuje potrzebę zastosowania określonych kryteriów i powiązanych z nimi mierników. Systemową koncepcję oceny efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących przedstawia rys. 4.3. Uwzględnia ona zarówno poziomy złożoności organizacji, jak i elementy składowe efektywności zmian. Szczegółowa charakterystyka metodyki i aspektów modelowych oceny poszczególnych składowych efektywności będzie przedmiotem kolejnych podrozdziałów niniejszego rozdziału. Ocena efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących umożliwia dokonanie oceny wyników zmian, wyboru najlepszego planu zmian, ale również ma znaczenie w procesie doskonalenia działalności. Daje bowiem możliwość zidentyfikowania związków pomiędzy czynnikami wywołującymi zmianę procesów planistyczno-sterujących, sposobem planowania i realizacji zmiany, a uzyskanymi efektami, co przekłada się na doskonalenie procesu zarządzania niezbędnymi przekształceniami i pozwala budować wiedzę na temat poprawy efektywności funkcjonowania tego procesu, ale i całej organizacji. Pozwala również na dokonanie analizy wrażliwości uzyskiwanych efektów na zmianę parametrów procesów planistyczno-sterujących (np. cyklu budowy planów, częstotliwości kontroli planów, kosztów budowy planów). Umożliwia też zidentyfikowanie korelacji efektów zmian procesów planistyczno-sterujących poszczególnych poziomów złożoności organizacji.





Rys. 4.3. Systemowa koncepcja oceny efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Grzybowska, Łopatowska, 2011]

#### 4.4.1. Skuteczność zmian procesów planistyczno-sterujących

Skuteczność określa stopień realizacji celów stawianych zmianom w organizacji. Ze względu na rolę procesów planistyczno-sterujących w globalnym łańcuchu dostaw oraz potrzebę skorelowania zmian ze strategią organizacji należy przyjąć, że cele zmian tych procesów powinny być zgodne z czynnikami sukcesu oraz celami stawianymi organizacji i łańcuchowi dostaw. W związku z tym za kluczowe cele zmian procesów planistyczno-sterujących należy przyjąć [Łopatowska, 2011]:

- poprawę (lub utrzymanie) niezawodności, która rozumiana jest jako stopień realizacji oczekiwań klientów (przede wszystkim dotyczących terminowości i kompletności zleceń) i zgodności funkcjonowania organizacji z potrzebami interesariuszy,
- skrócenie czasu reakcji, który wiąże się ze zdolnością szybkiego reagowania na zmiany i potrzeby organizacji i jej otoczenia,
- poprawę (lub utrzymanie) elastyczności oznaczającej możliwość dokonywania zmian parametrów i sposobu realizacji procesów planistyczno-sterujących i procesów przez nie nadzorowanych, zgodnie z potrzebami i wymaganiami organizacji i jej otoczenia,
- zmniejszenie (lub utrzymanie) kosztów funkcjonowania procesów planistyczno-sterujących oraz współzależnych procesów, które nastąpi w wyniku implementacji zmian,
- poprawę (lub utrzymanie) wykorzystania zasobów wynikającą z realizacji opracowanych zmian w obszarze procesów planistyczno-sterujących i ich wpływu na przebieg koordynowanych procesów,
- uzupełnienie kompetencji rozumiane jako zmiana poziomu wiedzy i umiejętności w obszarze procesów planistyczno-sterujących i powiązanych procesów.

Niezbędne jest przyporządkowanie poszczególnym celom odpowiednich miar i określenie sposobu ich pomiaru. Miary te muszą być ponadto dostosowane do analizowanego poziomu organizacji. W literaturze, m.in. w pracach [Grzybowska, Łopatowska, 2011; Kayakutlu, Büyüközkan, 2010; Pająk, 2006; Pasternak, 2005; Stenzel, 2007; SCOR 2011] znaleźć można szereg wskaźników charakteryzujących procesy w organizacji. Kluczowe wskaźniki, przyporządkowane poszczególnym rodzajom celów zmian procesów planistyczno-sterujących przedstawia tabela 4.4.

**Tabela 4.4**

Cele i mierniki zmian procesów planistyczno-sterujących

Cele zmian	Mierniki
Poziom stanowisk	
Niezawodność	Terminowość realizacji zleceń [%] Terminowa realizacja planów [%] Poziom braków [%] Udział produktów produkowanych na zlecenie w ogólnej ilości wytworzonych produktów [%]
Czas	Cykl wykonania partii produktów [godz.] Stosunek czasu taktu produkcji do czasu taktu klienta [%] Czas realizacji zleceń [godz.] Czas budowy planów [godz.] Czas pozyskiwania informacji [godz.] Czas wprowadzania korekt w planach [godz.]

Elastyczność	Wskaźnik elastyczności EPE stanowisk [dni] Możliwa liczba przebrojeń Częstotliwość zasilania stanowisk [godz.] Częstotliwość odbioru produktów [godz.] Częstotliwość kontroli planów [godz.] Liczba możliwych korekt planów [liczba/dzień]
Koszty	Koszty produkcji [zł] Koszty pracy w dodatkowym czasie [zł] Koszty zapasów produkcji w toku [zł] Koszty budowy planów [zł]
Wykorzystanie zasobów	Produktywność pracy [szt./jednostkę], [kg/jednostkę], [m/jednostkę], [godz./jednostkę] Produktywność maszyn [szt./godz.], [kg/godz.], [m/godz.], [godz./godz.] Produktywność energii [szt./zł], [kg/zł], [m/zł] Produktywność powierzchni [szt./m <sup>2</sup> ], [kg/m <sup>2</sup> ], [m/m <sup>2</sup> ] Wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia OEE [%]
Wiedza i kompetencje	Liczba usprawnień procesów planistyczno-sterujących Liczba błędów w planach Liczba wykonanych zmian w sposobie realizacji procesów planistyczno-sterujących Czas przetwarzania informacji [godz.]
Poziom strumienia wartości	
Niezawodność	Terminowość realizacji zleceń [%] Terminowość planów [%] Niezawodność prognoz [%] Udział dobrych wyrobów w ogólnej produkcji [%] Udział produktów produkowanych na zlecenie w ogólnej liczbie wytworzonych produktów [%]
Czas	Czas przejścia materiału [godz.] Udział czasu dodawania wartości w czasie przejścia materiału [%] Stosunek czasu taktu produkcji do czasu taktu klienta [%] Czas budowy planów [godz.] Czas wprowadzania korekt w planach [godz.] Czas pozyskiwania informacji [%]
Elastyczność	Wskaźnik elastyczności EPE strumienia wartości [dni] Częstotliwość dostaw materiałów [dni] Częstotliwość odbioru produktów [dni] Częstotliwość kontroli planów [godz.] Liczba możliwych zmian w planach [liczba/dzień] Wielkość partii produkcyjnej [szt.], [kg], [m]
Koszty	Koszty produkcji [zł] Koszty pracy w dodatkowym czasie [zł] Koszty zapasów materiałów, produkcji w toku, wyrobów gotowych [zł] Koszty budowy planów [zł] Koszty opóźnień zamówień klientów [zł] Koszty dodatkowych przesyłek [zł]
Wykorzystanie zasobów	Produktywność pracy [szt./jednostkę], [kg/jednostkę], [m/jednostkę], [godz./jednostkę] Produktywność maszyn [szt./godz.], [kg/godz.], [m/godz.], [godz./godz.] Produktywność energii [szt./zł], [kg/zł], [m/zł] Produktywność kapitału [szt./zł], [m/zł], [kg/zł] Rentowność sprzedaży

cd. tab. 4.4

Wiedza i kompetencje	Liczba usprawnień procesów planistyczno-sterujących Liczba błędów w planach Spójność planów produkcji [%] Czas przetwarzania informacji [godz.] Czas dostosowania procesów planistyczno-sterujących do zmian strukturalnych i organizacyjnych (ze względu na np. sieciowość organizacji) [godz.]
Poziom organizacji	
Niezawodność	Udział zleceń zrealizowanych w terminie w ogólnej liczbie zrealizowanych zleceń [%] Udział kompletnych zleceń w ogólnej liczbie zrealizowanych zleceń [%] Udział dobrych wyrobów w ogólnej produkcji [%] Niezawodność prognoz [%] Kompletność planów [%] Udział produktów produkowanych na zlecenie w ogólnej liczbie wytworzonych produktów [%]
Czas	Czas cyklu dostawy materiałów [godz.] Czas cyklu dystrybucji wyrobów gotowych [godz.] Czas przejścia materiału [godz.] Czas zbierania i potwierdzania informacji [godz.] Czas budowy planów [godz.] Czas wprowadzania korekt w planach [godz.]
Elastyczność	Częstotliwość dostaw materiałów [dni] Częstotliwość odbioru produktów [dni] Częstotliwość kontroli planów [godz.] Liczba możliwych korekt planów Elastyczność procesu produkcji
Koszty	Koszty produkcji [zł] Koszty pracy w dodatkowym czasie [zł] Koszty zapasów materiałów, produkcji w toku, wyrobów gotowych [zł] Koszty budowy planów [zł] Koszty opóźnionych zamówień klientów [zł] Koszty dodatkowych przesyłek [zł]
Wykorzystanie zasobów	Produktywność pracy [szt./jednostkę], [kg/jednostkę], [m/jednostkę], [godz./jednostkę] Produktywność maszyn [szt./godz.], [kg/godz.], [m/godz.], [godz./godz.] Produktywność energii [szt./zł], [kg/zł], [m/zł] Produktywność powierzchni [szt./m <sup>2</sup> ], [kg/m <sup>2</sup> ], [m/m <sup>2</sup> ], Rentowność sprzedaży Cykl przepływu gotówki [dni]
Wiedza i kompetencje	Liczba błędów w planach Liczba wykonanych zmian w sposobie realizacji procesów planistyczno-sterujących Spójność planów produkcji [%] Kompletność planów [%] Czas przetwarzania informacji [godz.] Dopasowanie metod realizacji procesów planistyczno-sterujących do typu produktów [%] Czas dostosowania procesów planistyczno-sterujących do zmian strukturalnych i organizacyjnych (ze względu na np. sieciowość organizacji) [godz.] Czas zaplanowania zleceń na nowe produkty [godz.]

Źródło: opracowanie własne

Poszczególnym poziomom organizacji przypisane zostały mierniki o charakterze indywidualnym (np. udział czasu dodawania wartości w czasie przejścia materiału dla poziomu strumienia wartości) lub mierniki o charakterze uniwersalnym (np. koszty zapasów, wskaźniki produktywności, częstotliwość kontroli planów). **Mierniki o charakterze uniwersalnym** mogą być zależne od wartości mierników niższego poziomu lub wymagają dostosowania ich postaci do wymiaru złożoności organizacji. Przykładowo wartość wskaźnika elastyczności strumienia wynika z wartości wskaźników elastyczności stanowisk (lub ich grup) włączonych w dany strumień wartości. Natomiast wskaźniki produktywności wymagają odpowiedniego zagregowania danych niezbędnych do wyznaczenia ich wartości dla danego poziomu organizacji, a na wartość np. wskaźnika czasu budowy planów mają wpływ parametry procesów planistyczno-sterujących realizowanych na określonym poziomie organizacji.

Mierniki wymagają określenia czasu, dla jakiego badana jest ich wartość, a ponadto aby zidentyfikować stopień realizacji przyjętych celów niezbędne jest określenie ich bazowych wartości. Wizualizacji osiągniętych rezultatów w zakresie poszczególnych kryteriów można dokonać poprzez wykorzystanie np. wykresu radarowego. W ogólnej ocenie skuteczności zmian procesów planistyczno-sterujących ocena realizacji poszczególnych celów może mieć różny udział wagowy, dostosowany do strategii organizacji.

#### 4.4.2. Korzystność zmian procesów planistyczno-sterujących

Korzystność ocenia przeobrażenia postaw uczestników zmian, ich otwartość i zaangażowanie w proces zmian. Należy do składników podlegających w głównej mierze ocenie jakościowej. Do podstawowych kryteriów oceny korzystności można zaliczyć [Łopatońska, 2011, Grzybowska, 2011]:

- kryteria o charakterze technicznym, które wiążą się z wykorzystaniem wszelkiego rodzaju środków technicznych (przede wszystkim z zakresu technologii informatycznej i komunikacyjnej), wspomagających proces pozyskiwania i zbierania informacji niezbędnych do realizacji procesów planistyczno-sterujących, analizowania i przetwarzania ich przy wykorzystaniu odpowiednich metod oraz rozsyłania w postaci m.in. zadań i zleceń do wszystkich procesów powiązanych z procesami planistyczno-sterującymi,
- kryteria o charakterze organizacyjnym, które obejmują wszelkiego rodzaju formy organizacji działań umożliwiające i ułatwiające współpracę i integrację uczestników procesów zmian, gromadzenie i dzielenie się wiedzą oraz prezentowanie czynników zmian, planów działań i efektów zmian,
- kryteria o charakterze społecznym (ludzkim), które dotyczą postaw i zachowań uczestników zmiany i dotyczą zaangażowania w proces zmian, poziomu motywacji, podejmowania ryzyka, kreatywności i innowacyjności, nastawienia na ciągłe uczenie się, wzajemnego zaufania.

Ocena korzystności zmian wymaga określenia istotności kryteriów. Ważność poszczególnych kryteriów identyfikowana może być z wykorzystaniem rachunku prawdopodobieństwa, skalowania, czy określenia wartości w układzie punktowym lub wagowym. Następnym krokiem jest dokonanie oceny spełnienia kryteriów, zgodnie z przyjętą skalą ocen oraz wyznaczenie poziomu korzystności jako sumy iloczynów wag kryteriów i ich ocen. Ocena korzystności zmiany (lub jej planu) wymaga porównania z przyjętym za bazowy poziomem korzystności.

Do oceny korzystności zmian procesów planistyczno-sterujących można wykorzystać formalne metody, do których zaliczyć można Analityczny Proces Hierarchiczny (*Analytic Hierarchy Process AHP*) lub Analityczny Proces Sieciowy (*Analytic Network Process ANP*). Metody te wspomagają proces oceny wielokryterialnej, w przypadku gdy występują kryteria o jakościowym charakterze, a niewątpliwą ich zaletą jest możliwość określenia spójności i poziomu niezawodności dokonanych ocen. Zastosowanie metody AHP do oceny korzystności zmian procesów planistyczno-sterujących można znaleźć w literaturze, w pracy [Łopatowska, 2011].

#### 4.4.3. Ekonomiczność zmian procesów planistyczno-sterujących

Ekonomiczność jest miarą uzyskanych efektów ekonomicznych zmian w stosunku do poniesionych nakładów. Przedstawia ją następująca zależność:

$$E_k = \frac{E}{N}. \quad (4.1)$$

gdzie:  $E_k$  – ekonomiczność zmian,  
 $E$  – efekty zmian procesów planistyczno-sterujących,  
 $N$  – nakłady poniesione na realizację zmian.

Zmiana jest ekonomiczna jeżeli  $E_k > 1$ , obojętna przy  $E_k = 0$ , natomiast nieekonomiczna jeżeli  $E_k < 1$ .

Nakłady dotyczą środków finansowych poniesionych zarówno na zmiany procesów planistyczno-sterujących, jak i na powiązane zmiany współzależnych procesów. Ponieważ nakłady na zmianę mogą być ponoszone w dłuższym okresie czasu, a ponadto efekty zmian mogą być rozłożone w czasie i widoczne z opóźnieniem względem czasu ponoszonych nakładów niezbędne staje się uwzględnienie czynnika czasu. Zależność przedstawiająca ekonomiczność zmian przyjmuje w tych warunkach następującą postać:

$$E_k = \frac{\sum_{t=1}^m E_t a_t}{\sum_{t=1}^m N_t a_t} \quad (4.2)$$

gdzie:  $t$  – kolejne lata okresu obliczeniowego,  $t = 1, 2, \dots, m$ ,  
 $m$  – okres ponoszenia nakładów i uzyskiwania efektów zmiany procesów planistyczno-sterujących,  
 $a_t$  – współczynnik dyskontujący,  
 $N_t$  – nakłady na zmiany poniesione w roku  $t$ ,  
 $E_t$  – efekty zmian uzyskane w roku  $t$ .

Efekty zmian procesów planistyczno-sterujących mają różnorodny charakter. Można je zidentyfikować względem następujących kryteriów:

- operacyjnych – w tym aspekcie dotyczą one efektów zmian w sposobie realizacji procesów planistyczno-sterujących i procesów powiązanych z nimi,
- rynkowych, które identyfikują efekty związane z dopasowaniem procesów do potrzeb rynku (przede wszystkim klientów),

- technicznych, które obejmują efekty wynikające z zastosowania rozwiązań technicznych i technologicznych,
- informacyjnych, które obejmują efekty wynikające ze zmian w systemach informacyjnych w zakresie procesów planistyczno-sterujących,
- zarządzania wiedzą, które wskazują efekty wynikające z uczenia się, pozyskiwania wiedzy w zakresie procesów planistyczno-sterujących i procesów współzależnych, gromadzenia jej i wykorzystywania.

Ocena ekonomiczności wymaga zidentyfikowania związków pomiędzy efektami zmian, wyróżnionymi zgodnie z przedstawionymi powyżej kryteriami, a efektami ekonomicznymi i wyrażającymi je miarami. Powiązanie miar przy pomocy modelu oceny ekonomiczności pozwala na pomiar i określenie ekonomiczności zmian procesów planistyczno-sterujących.

Do oceny efektywności ekonomicznej systemów złożonych można zastosować podejście strukturalne. Zgodnie z nim dokonuje się rozbicia analizowanego systemu na zadania (procesy) lub bloki funkcjonalne i każdy z tak wyróżnionych elementów poddaje się odrębnej ocenie. Następnie wykorzystując analityczną postać funkcji agregującej, która uwzględnia charakter powiązań elementów składowych, dokonywana jest ocena efektywności ekonomicznej, zgodnie z następującą zależnością [Zawadzka, 2000]:

$$E_k = f(e_1w_1 + e_2w_2 + \dots + e_nw_n) \quad (4.3)$$

gdzie:  $E_k$  – wskaźnik efektywności ekonomicznej zmian,

$e_i$  – wskaźnik efektywności ekonomicznej wyróżnionych elementów,

$w_i$  – odpowiednio dla każdego wyróżnionego elementu wskaźnik integracji (efektów funkcjonowania poszczególnych elementów z efektywnością rozpatrywanego systemu),

$n$  – liczba wyróżnionych elementów.

Oceny ekonomiczności zmian procesów planistyczno-sterujących odnoszącej się do poziomu grupy stanowisk, zgodnie z podejściem strukturalnym, można dokonać w ujęciu poszczególnych stanowisk tworzących badany system. Efekty zmian procesów planistyczno-sterujących na tym poziomie odzwierciedlają zmiany kosztów realizacji tych procesów i procesów współzależnych. Uwidaczniają się one poprzez m.in.:

- efekt zmiany kosztów robocizny (związanej z normalnym czasem pracy, dodatkowymi zmianami, nadgodzinami),
- efekt zmiany kosztów budowy i nadzoru planów,
- efekt zmiany kosztów zapasów produkcji toku,
- efekt zmiany kosztów transportu,
- efekt zmiany kosztów amortyzacji,
- efekt zmiany kosztów pracy maszyn i urządzeń.

Oceny ekonomiczności zmian procesów planistyczno-sterujących na płaszczyźnie organizacji można dokonać, zgodnie z ujęciem strukturalnym, w rozbiciu na poszczególne strumienie wartości. Z tego punktu widzenia można przyjąć, że efekty zmian wyrażać będzie następująca zależność [Goldratt, Cox, 2000]:

$$E = \Delta T - (\Delta I + \Delta OE) \quad (4.4)$$

gdzie:  $\Delta T$  – zmiana przerobu,

$\Delta I$  – zmiana kosztów zapasów,

$\Delta OE$  – zmiana kosztów operacyjnych.

Większy od zera wynik powyższej zależności oznacza pozytywny efekt zmiany, a odniesienie jego do nakładów poniesionych na realizację zmiany pozwala ocenić ekonomiczność zmian.

Na zmianę przerobu w wyniku zmiany procesów planistyczno-sterujących oddziałuje m.in.:

- efekt zmiany cyklu produkcji produktów,
- efekt zmiany cyklu dystrybucji produktów,
- efekt zmiany cyklu dostawy materiałów,
- efekt zmiany cyklu budowy i kontroli planów.

Z kolei na zmianę kosztów zapasów, która jest wynikiem zmian procesów planistyczno-sterujących wpływ ma m.in.:

- efekt zmiany poziomu zapasów materiałów,
- efekt zmiany poziomu zapasów produkcji w toku,
- efekt zmiany poziomu zapasów produktów gotowych.

Na zmianę kosztów operacyjnych będącą wynikiem zmiany procesów planistyczno-sterujących wpływa m.in.:

- efekt zmiany kosztów robocizny (związanej z normalnym czasem pracy, dodatkowymi zmianami, nadgodzinami),
- efekt zmiany kosztów zużycia energii,
- efekt zmiany kosztów amortyzacji,
- efekt zmiany kosztów pracy maszyn i urządzeń,
- efekt zmiany kosztów dostaw materiałów (w tym kosztów dodatkowych dostaw),
- efekt zmiany kosztów dystrybucji produktów (w tym kosztów dodatkowego transportu),
- efekt zmiany kosztów opóźnionych zleceń produkcyjnych,
- efekt zmiany kosztów budowy i kontroli planów,
- efekt zmiany kosztów transportu technologicznego.

Efekty cząstkowe złożą się na efekt zmiany procesów planistyczno-sterujących, a ten odniesiony do poniesionych na ten cel nakładów pozwoli określić ekonomiczność zmian tych procesów. Porównanie z przyjętym bazowym poziomem umożliwia ocenę ekonomiczności zmian. Model oceny ekonomiczności zmian dla poziomu strumieni wartości można znaleźć w pracy [Łopatońska, 2011]. Zdefiniowano w niej zbiór parametrów i określono dane wejściowe modelu oraz przedstawiono postać funkcji agregującej efekty zmian.

Skuteczność, korzystność i ekonomiczność stanowią składowe oceny efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących. Ocenie podlegają zarówno potencjalne efekty związane z realizacją planów zmian, jak i rzeczywiste efekty, będące wynikiem już zrealizowanych przekształceń. Ocena efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących będzie wypadkową skuteczności, korzystności i ekonomiczności zmian, której wartość zależy od ważności poszczególnych składowych efektywności.



# Czynniki transformacji ISP

W niniejszym rozdziale pokazano model związków między paradygmatami społeczno-ekonomicznymi a implementacjami na poziomie przedsiębiorstwa (p. 5.1). Procesy transformacyjne ISP połączono z zasadami rządzącymi rozwojem systemu produkcyjnego. Z kolei w (p. 5.2) wyspecyfikowano kryteria oceny dla systemów zarządzających środowiskiem produkcyjnym wykorzystując analogie między softwarowym systemem operacyjnym i jego organizacyjnym odpowiednikiem ISP. W p. 5.3 poszerzono problematykę modelowania akcentując zagadnienia metamodelowe wraz z przykładami ze sfery genetyki, algorytmiki oraz analizy systemowej IT. Syntetycznie pokazano aktualne trendy BPM, które w połączeniu z modelami referencyjnymi mogą być traktowane jako „mapa drogowa” dla osiągania ładu korporacyjnego. Krajobraz modeli i metamodeli w ISP uzupełniono wskazaniem odnoszącymi się do poziomu submodelowego (narzędziowego).

## 5.1. Transformacje makro- i mikrosystemowe

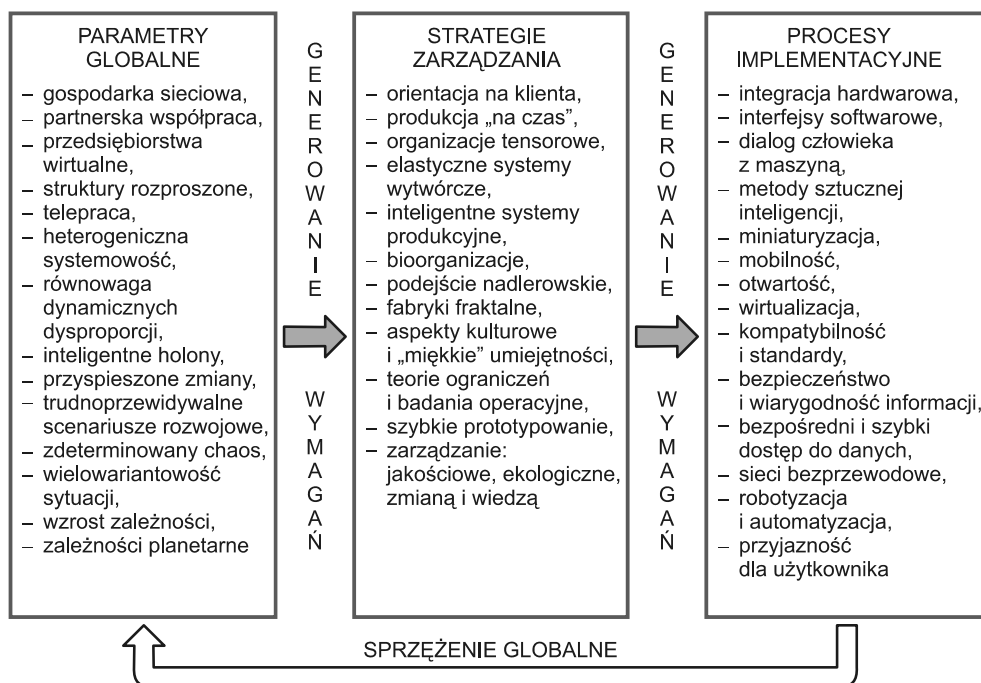
Implementacja algorytmów ISP związana jest z transformacjami makrosystemowymi (globalnymi, strategicznymi, paradygmatycznymi) i mikrosystemowymi (taktycznoperacyjnymi, racjonalizacyjno-innowacyjnymi). W obszarze przedsiębiorstwa pojęcie **transformacji** rozumiemy w sensie definicji [Nair, 2011] tj. jako „projektowanie biznesowych strategii, antycypujących istotne zmiany w sferze rynku, klientów i produktów”. Prawidłowa specyfikacja niezbędnych działań transformacyjnych oraz ocena ich realizacji wymaga uwzględnienia tych zależności dla uzyskania optimum produktywności. Model dla tych związków zaproponowano na rys. 5.1. Wynika z niego, że nowe paradygmaty społeczno-ekonomiczne prowadzą do innowacyjnych strategii zarządzania, a te z kolei wymuszają implementacje mikrotransformacyjne w różnych wymiarach (od sprzętowego do użytkowego). Jednocześnie mamy do czynienia ze sprzężeniem zwrotnym zmian i nowych wymagań, które przyspiesza te procesy. W pracy [Pacholski, 2008] przeanalizowano związki makroergonomiczno-klastrowe (*makroergonomics, clusters*).

Szczególną rolę w tym kontekście odgrywają procesy o charakterze integracyjnym. W p. 3.1 pokazano ich przykłady w odniesieniu do przepływów materiałowo-informacyjnych. Procesy integracyjne odgrywają coraz istotniejszą rolę we współczesnej gospodarce i poważnie współdecydują o efektywności przedsiębiorstwa. Możemy stwierdzić, że **integracja staje się koniecznością, gdy istnieje potrzeba spójnego tworzenia nowej całości na bazie obiektów lub procesów już istniejących**. W szczególności mamy tu do czynienia z integracją (sub)systemów tworzących nowy system. Zgodnie z teorią systemów [Skyttner, 2005] w procesie scalania powstaje nowa jakość będąca czymś więcej niż sumą odrębnie rozpatrywanych elementów dotychczasowych. Uwzględniając zależności integracyjno-transformacyjne możemy zapisać dla dwóch systemów integrowanych:

$$P_T : (S_{1N}, S_{2N}) \rightarrow S_{I12} \quad (5.1)$$

gdzie:  $P_T$  – proces integracyjny korzystający z określonego czynnika transformacyjnego  $T$ ,  
 $S_{1N}, S_{2N}$  – systemy niezintegrowane,  
 $S_{I12}$  – system zintegrowany.

Z punktu widzenia teorii informacji oraz oceny transformacji ISP istotne jest badanie cech integracji w kategoriach relacyjnych, co pokażemy niżej. Pojęcie **integracji** występuje w wielu dziedzinach, np. w sferze socjologicznej, psychologicznej, edukacyjnej czy naukowo-technicznej. W każdym przypadku kluczową rolę odgrywa czynnik transformacyjny (integracyjny).



Rys. 5.1. Model związków transformacji makro- i mikrosystemowych

Źródło: opracowanie własne

**Przykładowo:** w reakcji chemicznej integrującej składniki do nowego związku takim czynnikiem może być katalizator. W przemianach fizycznych istotne mogą być określone parametry procesu integracyjnego (np. temperatura, ciśnienie). Podsystemy procesu produkcyjnego mogą być integrowane logistycznie przy pomocy urządzeń technicznych (np. środki automatyki czy transportowe). Integracja wiąże się z przemianami o charakterze materialnym, są one jednak zawsze pochodną skojarzonych procesów informacyjnych, co pokażemy na podstawie poniższej definicji.

Dane są zbiory  $Z_1, \dots, Z_n$ . Zgodnie z teorią modeli danych [Date, 2009] relacją  $r$  (nad tymi zbiorami) nazywamy dowolny podzbiór iloczynu (produktu) kartezjańskiego tych zbiorów tj.

$$r \subset Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_n = \{(z_1, z_2, \dots, z_n) : z_i \in Z_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (5.2)$$

Definicja (5.2) wynika z uogólnienia pojęcia pary uporządkowanej, korespondującej z definicją (5.1). Przy czym ta ostatnia przyjmuje relacyjną postać:

$$P_{INF} : (r_{1N}, r_{2N}) \rightarrow r_{112} \quad (5.3)$$

gdzie: *INF* = informacja jako integracyjny czynnik transformacyjny.

Możemy zatem stwierdzić, że w kategoriach relacyjnych integracja oznacza tworzenie nowej relacji (zintegrowanej) na podstawie relacji istniejących wcześniej (niezintegrowanej). Czynnikiem integrującym jest tu (z definicji relacji) informacja.

Powyższy przykład ilustruje także związki między inteligencją naturalną (IN), tj. objawiającą się zdaniami w języku naturalnym a inteligencją sztuczną (SI), korzystającą ze struktur matematycznych i narzędzi informatycznych (języki sztuczne).

Relacje między obiektami definiowane są bowiem za pośrednictwem ich cech a więc zdań typu „obiekt O ma cechę C”, co odpowiada wypowiedziom w języku potocznym.

**Przykładowo:** zdania w języku naturalnym definiujące zbiór centrów wytwórczych za pośrednictwem wyrobów przez nie produkowanych typu „centrum C23 wytwarza produkt P39” mogą być relacją CENTRUM\_PRODUKT reprezentowaną tabelarycznie (tab. 5.1). Jednocześnie ta relacja może pełnić rolę integracyjną jeżeli założymy, że punktem wyjścia dla niej były relacje CENTRUM i PRODUKT (tab. 5.2, tab. 5.3).

**Tabela 5.1**

Przykład reprezentacji relacji CENTRUM\_PRODUKT

Obiekt: CENTRUM	Obiekt: PRODUKT
...	...
C19	P17
C23	P39
C23	P39
...	

Źródło: opracowanie własne

**Tabela 5.2**

Przykład reprezentacji relacji CENTRUM, R – linia zrobotyzowana

Cechy Maszyna	Rodzaj automatyki	Nazwa	Fabryka	Takt nominalny	Personel
M20	R	Linia pakująca	F4	130	2
M23	R	Linia pakująca	F4	170	3

Źródło: opracowanie własne

Gospodarcze potrzeby transformacyjne pojawiają się szczególnie intensywnie na zaawansowanych szczeblach rozwojowych – systemy „początkowe” (pierwotne) nie posiadają historycznie uwarunkowanych ograniczeń dotyczących ich struktury w sferze IT.

Tabela 5.3

Przykład reprezentacji relacji PRODUKT, K – produkt końcowy  
GTIN – *Global Trade International Number*

Cechy Produkt	Rodzaj automaty- ki	Nazwa	Waga brutto	Waga netto	Liczba warstw	GTIN opakowania pierwotnego	Klasa materiało- wa
P17	k	asortyment	220	200	4	5900717042315	644
P39	k	asortyment	220	200	5	5907609322104	721

Źródło: opracowanie własne

**Przykładowo:** kilkadziesiąt lat temu, podczas przechodzenia tradycyjnych systemów księgowania do wspomaganych komputerowo, istniała możliwość bardzo elastycznego kształtowania ich baz danych (w ramach dostępnych technologii). Tymczasem kolejne wersje systemów informatycznych są zależne od poprzednich. Uwaga ta ma charakter generalnej zasady, dotyczącej różnych rozwiązań praktycznych, które bazują z reguły na wcześniejszych. Zależności te są często wytłumaczeniem paradoksów spotykanych w systemach informatycznych, w szczególności stosowania rozwiązań nieoptymalnych technicznie. Mówi się wówczas o „uwarunkowaniach historycznych”. Architektonicznie problem można porównać do rozbudowy istniejącego budynku, projektowanego wcześniej w innej sytuacji i przy innych założeniach. Rozważmy te uwarunkowania transformacyjne na przykładzie bazy danych materiałowych. Jako punkt wyjścia niech posłużą tab. 5.3. Postać relacji dla produktów (lub szerzej także np. surowców czy półproduktów) zawiera zdefiniowaną liczbę ich cech. W przypadku integracji dwóch różnych baz danych napotkamy szereg ograniczeń:

- różna liczba cech materiałów i różne ich definicje,
- różne systemy numeracji materiałów (np. numeryczne, alfanumeryczne, różne długości kluczy),
- te same numery dla różnych materiałów.

Tabela 5.4

Zasady rozwoju systemu produkcyjnego

Nr	Zasada	Treść	Geneza
1	Zasada ustawicznej zmiany	System produkcyjny musi permanentnie się zmieniać, w przeciwnym wypadku nastąpi spadek jego efektywności	Presja zmiennego rynku (konkurencja, wymagania klientów), elastyczne i inteligentne systemy produkcyjne
2	Zasada wzrostu złożoności	Zmiany systemu produkcyjnego prowadzą do wzrostu jego złożoności	Zarządzanie jako przetwarzanie informacji i jego komputerowe wspomaganie, wszechzwiązki informatycznych aplikacji wspomagających system produkcyjny
3	Zasada transformacji	Konieczność redukcji złożoności wymaga procesów transformacyjnych	Konsekwencja zasad 1 i 2, redukcja jako rozkład problemu kompleksowego na prostsze o znanym rozwiązaniu, transformacja jako zamiana problemu na podobny o znanym rozwiązaniu

Źródło: opracowanie własne

W tym ostatnim przypadku automatyczna zmiana numeru surowca jest teoretycznie możliwa w wielu różnych listach części niemniej wymaga to synchronizacji w wymiarze dostawców tj. potwierdzenia przez nich identyczności specyfikacji jakościowych. W przeciwnym wypadku proces integracyjny jest nieefektywny i prowadzi do utrzymywania różnych numerów materiałowych dla (pozornie) tych samych surowców. W przypadku b) występuje konieczność modyfikacji bazodanowych, np. redefinicji obiektów a zatem także skojarzonych z nimi programów. W przypadku a) może wystąpić konieczność przeprogramowania interfejsów systemów satelitarnych np. sterowanych określonymi cechami materiałów.

Procesy transformacyjne ISP można więc połączyć z zasadami rządzącymi rozwojem systemu produkcyjnego (tab. 5.4). Prezentowane zasady tworzą modelową triadę transformacyjną ISP i mogą być postrzegane jako organizacyjne wersje praw Lehmana [Lehmann, 1997], dotyczących inżynierii softwarowej. W szerszym wymiarze owe fenomeny wynikają także z zasad termodynamiki i nieustannych zmian entropii – znaczenie samej funkcji stanu dotyczy nie tylko przyrody nieożywionej ale także tworzonych przez człowieka systemów gospodarczych – entropiczna definicja informacji [Muller, 2007].

## 5.2. System operacyjny ISP

Ocena transformacji ISP wymaga zdefiniowania jej miar, co jest trudne z uwagi na fenomen dyfuzyjności. Dotyczy on technologii przenikających sferę organizacyjną zarówno w skali globalnej jak i na poziomie przedsiębiorstwa. Na podstawie tab. 5.4 można sformułować następujący **wniosek**: złożoność współczesnych systemów produkcyjnych (ISP) wymaga równie złożonych metod zarządzania nimi. Jednocześnie zjawisko dysonansu organizacyjnego IT istotnie ogranicza wzrost efektywności tych systemów. Wiąże się ono z dysharmonią między systemem informatycznym a skojarzonym z nim środowiskiem organizacyjnym. W p. 3.1 postulowano, aby zmiany stanów materialnych systemu produkcyjnego miały swoje odpowiedniki informacyjne. Z kolei w p. 5.1 pokazano, że transformacje materialne winny być pochodną skojarzonych procesów informacyjnych.

Stąd postulat dążenia do stanu harmonii między sferą organizacyjną i technologiczną firmy, jest jak najbardziej uzasadniony. Niestety, integracja tych obszarów napotyka na szereg trudności. Dotyczy to zwłaszcza wspomnianych aplikacji dyfuzyjnych. Takie cechy spełniają również technologie informatyczne, ponieważ mamy tu do czynienia z metatechnologią kreującą szereg specjalizowanych technik.

**Metatechnologie** zmieniają oblicze cywilizacji prowadząc do powstawania kolejnych fal (cykli) rozwojowych co kilkadziesiąt lat [Badurek, 2009].

**Przykład:** Wynalazek automatycznego krosna (jednocześnie pierwsza maszyna sterowana kartami dziurkowanymi) spowodował wzrost produktywności w przemyśle, kryzys nastąpił, gdy pojawiło się wąskie gardło rozwojowe, jakim były koszty transportu. Ich zmniejszenie wymagało nowej technologii dyfuzyjnej, tj. kolei (technologia infrastrukturalna). Z kolei kryzysowe przesilenie lat 30. XX wieku nastąpiło, gdy przedsiębiorstwa zostały zelektryfikowane i niezbędne było przejście od elektryczności do kolejnej metatechnologii – elektroniki. Następny cykl wymagał z kolei innowacji mikroelektronicznych. Aktualnie stajemy w obliczu znanych z wcześniejszych cykli problemów. Powszechnie stosowane aplikacje IT nie przynoszą już takich efektów jak wtedy, gdy pojawiały się jako innowacyjne systemy powodujące gwałtowny wzrost efektywności zarządzania. Potrzeba nowego cyklu i nowych technologii została pokazana na rys. 5.1 i obejmuje w szczególności

ści [D'Atri, 2011; Castells, 2010; Fulekar, 2010]: bioinformatykę, spinoelektronikę, komputery kwantowe, telematyczną logistykę, nowe rodzaje energii i nowe systemy organizacji dla wszechplanetarnego społeczeństwa metainformacyjnego. Dodatkowo należy uwzględnić także skalę mikrodyfuzyjną informatyki tj. na poziomie przedsiębiorstwa.

Oznacza ona, że nakłady w tym obszarze zaczynają w pełni przynosić efekty dopiero wtedy, kiedy ich skutki dotrą do różnych podsystemów przedsiębiorstwa. Wiąże się to z integracyjną rolą czynnika informacji w relacji do pozostałych atrybutów szeroko rozumianej materii rzeczywistości gospodarczej, tj. obiektów fizycznych (wąsko rozumiana materia), przepływów energetycznych, parametrów czasoprzestrzennych, finansowych. ***Informacja odgrywa rolę czynnika definiującego logikę zmian stanów pozostałych atrybutów materialnego tworzywa.***

Dodatkowo może wystąpić ryzyko inwestycji kaskadowych: dynamika rozwoju IT (pielęgnacja) może być tak duża, że konieczność istotnych zmian, a w rezultacie wtórnych inwestycji, pojawia się szybciej niż efekty inwestycji pierwotnej. W skrajnym przypadku może prowadzić to do trudno kontrolowanego ciągu inwestycji, dokonywanych w znacznej mierze niezależnie od ich efektów. Na kaskadowość, jako jedną z cech charakteryzujących IT w przedsiębiorstwie, zwrócono uwagę w p. 3.3. Problem ten wymaga szczególnej uwagi w związku z zagrożeniami jakie niesie, w szczególności inwestycyjnymi. Ostatnie zdanie koresponduje z generalnymi przyczynami niepowodzeń projektów IT. Przyczyny te mają w znacznej mierze charakter pozatechniczny, zwłaszcza organizacyjny [Kaur, 2011]. Praktyka pokazuje, że kaskadowości można uniknąć, konsekwentnie przestrzegając zasady niezmienności podstawowych wymagań projektowych oraz stosując następujące środki zaradcze:

- a) minimalizacja zakresu projektu oraz jego określone cele biznesowe,
- b) stałe wsparcie kierownictwa projektu i zaangażowanie użytkowników,
- c) stosowanie standardów (informatycznych) i wiarygodne oszacowania.

Wdrożenie inwestycji IT wymaga także dodatkowego czasu na przełamywanie problemów pozatechnicznych takich jak:

- bariery psychologiczne,
- wielokrotne szkolenia,
- walka o wpływy w przedsiębiorstwie.

Z tego ostatniego powodu, formalne wdrożenie ISP w przedsiębiorstwie nie gwarantuje automatycznie jego efektywności.

**Przykład.** Jeśli w integrowanym (satelitarnym) podsystemie nazwa produktu może mieć 80 znaków, a w integrującym (centrum ISP) tylko 40, to ten, kto ją definiuje uzyskuje swego rodzaju władzę organizacyjną, sankcjonowaną przez interfejs przesyłający dane między systemami. Przykładowy (mini)problem można rozwiązać technicznie co wymaga jednak czasu i nakładów (standardowy system może być nieelastyczny w odniesieniu do ilości i długości pól bazodanowych). Zatem niewielkie zmiany w jednej części systemu mogą prowadzić do (zaskakujących) zmian w innej. Przypomina to sytuacje w złożonych i trudno przewidywalnych systemach zdeterminowanego chaosu [Gharajedaghi, 2011].

Zakładając, że dyfuzyjność informatyki będzie się potęgować możemy, obok jej wszechobecności i wirtualizacji, skojarzyć z nią inne cechy takiej: miniaturyzacja, mobilność i sieciowość.

**Przykład.** Takiej charakterystyce odpowiadają transpondery RFID (*Radio-Frequency Identification*). W ten sposób realizowane są stopniowo wizje mówiące o mikroprocesor-

rach „w każdej cegle i w każdym guziku od koszuli”. W odniesieniu do ISP można zauważyć, że zaawansowane transpondery wyposażone są w pamięci, posiadają własną logikę sterowania, w szczególności mikroprocesor. Mogą być zatem strukturalnie postrzegane jako rodzaj prostego komputera będącego pełnoprawnym składnikiem teleinformatycznych sieci i stanowiąc jedną z podstaw elastycznej infrastruktury produkcyjnej:

- śledzenie i zabezpieczanie przed kradzieżą (EAS, *Electronic Article Surveillance*),
- systemach magazynowych (palety),
- karty czipowe (kontrola towarów i osób),
- logistyka (identyfikacja i lokalizacja pojazdów)
- w zegarkach czy odzieży dla zarządzania personelem produkcyjnym,
- inteligentne podłogi (automatyczną nawigacją dla robotów transportowych).

Pokazana na powyższych przykładach miniaturyzacja oraz informatyczna sieciowość połączona z mobilnością ma także swój wymiar organizacyjny i oznacza przechodzenie od klasycznych, funkcyjnych organizacji hierarchicznych, do zorientowanych procesowo (wirtualnych) struktur sieciowych, zarówno w wymiarze przedsiębiorstwa jak i globalnym, prowadząc do fenomenu ekonomii sieciowej [Beck, 2006]. W ten sposób realizuje się sprzężenie pokazane modelowo na rys. 5.1: technologia dyfuzyjna generuje nowe rozwiązania, integrując systemowo znane wcześniej techniki, co prowadzi do jej zastosowań na skalę globalną. Te transformacje pociągają za sobą konsekwencje organizacyjne, prawne i polityczne, wykraczające poza mury poszczególnych przedsiębiorstw.

Projektowanie i ocena działań transformacyjnych w środowisku o powyższej charakterystyce wymaga podobnych gwarancji stabilności jak w konfiguracji komputerowej. W tym ostatnim przypadku realizuje je jej główny program tj. **system operacyjny** (OS, *Operating System*). System operacyjny można postrzegać jako rozszerzenie sprzętu czyli jego wirtualizację. Jednocześnie system operacyjny odpowiada za komunikację z użytkownikiem a przede wszystkim za podział zasobów konfiguracji (procesory, pamięci, urządzenia WE/WY, czas). Charakterystykę systemu operacyjnego można wyspecyfikować rozważając **etapy rozwoju systemów operacyjnych** [Silberschatz, 2004]: tryb pośredni (*offline*), buforowanie i *spooling*, wieloprogramowość, wielozadaniowość (*multitasking*) i podział czasu (*time sharing*), sterowanie procesami (semafony, kolejki), zarządzanie pamięcią (stronicowanie, segmentacja, nakładki), organizacja i ochrona plików, programy usługowe, systemy rozproszone, wieloużytkowe, wieloprocesorowe i wielokomputerowe czy sieciowe i kratowe (*grid*).

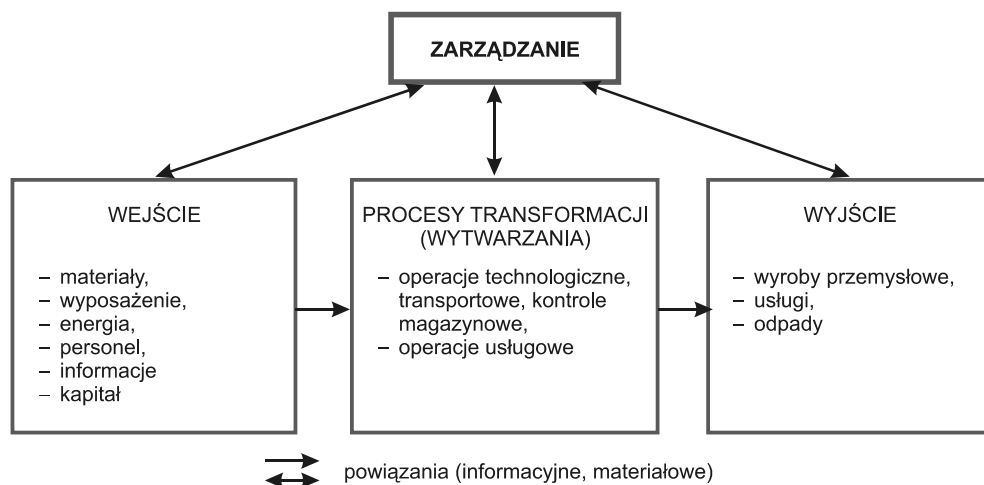
Analogie do wymienionych cech systemu operacyjnego można znaleźć w środowisku produkcyjnym stąd koncepcja systemu operacyjnego dla środowiska produkcyjnego [Jasiński, 2005] pokazana na rys. 5.2. Warto zatem wskazać na **wymagania idealnego systemu operacyjnego** w sferze IT, gdyż są one podobne dla wszelkich innych rodzajów oprogramowania a jednocześnie mogą stanowić kryteria oceny dla systemów zarządzających środowiskiem produkcyjnym: otwartość, modularność, skalowalność, przenośność, kompatybilność, standaryzacja, modyfikowalność, efektywność, przyjazność, bezpieczeństwo, bezawaryjność, rozszerzalność, samoopisywalność, funkcjonalność, ergonomiczność, wiarygodność, zupełność, szybkość działania, sprawność pamięciowa. Owe cechy wzajemnie się przenikają i uzupełniają, a także mogą być agregowane bądź rozbijane na bardziej szczegółowe, np. poziom heterogeniczności obsługiwanego środowiska, rodzaje skojarzonych interfejsów czy sposobów obsługi procesów (wątków) bądź danych w różnych rodzajach pamięci.

Wymienione cechy systemu operacyjnego można traktować jako klasyczne. Z drugiej strony funkcję systemu operacyjnego w centrum sfery zarządzania ISP może pełnić system ERP, występujący w postaci jawnej (wielomodułowe oprogramowanie o tej nazwie) lub jako zestaw programów o podobnej funkcjonalności (systemy szkieletowo-satelitarne). Należy zatem postawić pytanie o cechy takich systemów w kontekście przyszłościowych transformacji ISP.

Pomocne będzie tu szukanie analogii między wyżej pokazanymi etapami rozwoju systemu operacyjnego (szerzej: oprogramowania) a generacjami ERP. U początków technologii ERP napotykamy paradygmat wsadowy (*batch*), który ma także zastosowanie obecnie – systemy ERP korzystają bowiem z klasycznych mechanizmów szeregowania zadań (*scheduling*).

**Przykład.** Algorytmy MPS/MRP (p. 2.1), których działanie można sprowadzić do dwóch podstawowych funkcji softwarowych:

- bilansowanie zleceń klientów i zleceń produkcyjnych (generowanie tych ostatnich),
- i na tej podstawie bilansowania zleceń produkcyjnych z surowcami (generowanie zamówień).



Rys. 5.2. System operacyjny warunkiem działalności operacyjnej

Źródło: [Jasiński, 2005]

Z kolei rozwój technologii bazodanowych (pakietów narzędziowych) umożliwił korzystanie w ERP z OLTP (*OnLine Transaction Processing*) czyli podejścia transakcyjnego. Ten skrót wywołuje, merytorycznie słuszne, skojarzenia z OLAP (*OnLine Analytical Processing*). OLAP jest bowiem następnym etapem rozwoju komputerowo wspomaganego organizacji produkcji, przebiegającego według agregacyjnego schematu:

dane → informacje → wiedza → inteligencja.

Tymczasem potrzeba integracji różnych rodzajów danych napotyka na trudności w sferze zarządzanej przez ERP.



Eksplodujący rozwój sfery webowej pokazuje, że łatwiej jest integrować informacje, które nie sterują bezpośrednio zasobami materialnymi, np. wyszukiwarki, media, rozrywka, systemy informujące (pogoda, połączenia transportowe, dane finansowe). Zatem idee sieci semantycznych i ontologicznych baz danych są dla tego obszaru bardziej realne w bliskiej czy średnioodległej perspektywie niż w obszarze produkcyjnym. Z kolei **trudniej jest integrować i projektować systemy sterujące materią** (p. 3.1), a więc ERP i skojarzone z nimi procesy wytwórcze (np. sterowniki przemysłowe, rys. 3.1) ponieważ materia narzuca większe ograniczenia i jest mierzalna w kategoriach fizycznych (masa, energia, wymiary, położenie czasoprzestrzenne), a możliwe błędy mają bezpośrednio i materialnie wymierne konsekwencje (np. kosztowe). Niemniej w rozwoju ERP możemy umownie wyróżnić trzy generacje, które w praktyce się przenikają (tab. 5.5). Analiza wyspecyfikowanych charakterystyk ERP I / II / III umożliwia odpowiedź na wcześniej postawione pytanie dotyczące „cech ERP w kontekście przyszłościowych transformacji ISP” – tab. 5.6.

Tabela 5.5

## Generacje ERP

Generacja ERP	Sprzęt	Oprogramowanie systemowe / narzędziowe	Paradygmat inżynierii softwarowej	Przykłady / systemy skojarzone
ERP I	specjalizowane systemy zamknięte HO ( <i>host oriented</i> )	tryb znakowy, 3GL	strukturalny	RPG, funkcje MRP/MPS, przedsiębiorstwo
ERP II	systemy C/S ( <i>client-server</i> )	4GL, otwarte systemy operacyjne (dialekty Unixa), grafika	obiektowy	ABAP, integracja wielomodułowa o zasięgu partnerskim
ERP III	systemy WO ( <i>web-oriented</i> )	5GL (elementy SI) EaaS ( <i>ERP as a Service</i> ) [Wrycza, 2011]	semantyczno-ontologiczny ( <i>multi-paradigm</i> )	SOA (podejście organizacyjne), zasięg globalny

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5.6

## Wymagania ERP dla transformacji ISP

Cecha	Znaczenie cechy	Komentarz
Wirtualizacja	Warstwa logiczna, którą łatwo integrować, oddzielona od fizycznej	Skalowalna i „niewidzialna” chmura ( <i>cloud</i> ) sprzętowo-programowa, tj. dostępna w zależności od potrzeb
Otwartość	Wielokierunkowy i elastyczny rozwój, także <i>open source</i>	Możliwe problemy standaryzacji i parametryzacji ( <i>customizing</i> )
Internetowość	Wszechnetowa ( <i>evemet</i> ) „sieć sieci” jako najlepsza forma sieciowości ( <i>networking</i> )	W sferze softwaru potrzebna tylko przeglądarka ( <i>browser</i> )
Hipertekstowość	Możliwości intuicyjnej nawigacji niesekwencyjnej, czyli zorientowanej problemowo (procesowo)	„Wszystko połączone ze wszystkim”
Systemowa „excelizacja” [Rom, 2010]	Elastyczność kształtowania danych wejściowych i wyjściowych	Podejście prototypowo-intuicyjne z zachowaniem bazodanowości

Źródło: opracowanie własne

Można zauważyć, że wymóg internetyzacji łączy się z wirtualizacją, a możliwość stosowania popularnych pakietów biurowych, nazwana umownie „excelizacją” koresponduje z **heterogenicznością** rozważanej sieci ERP/ISP (multimedialność, różnorodne obiekty w bazach danych) będącą gwarantem elastyczności. Niezwykle istotny jest też wymóg hipertekstowości systemu.

**Przykładowo:** Lakoniczny komunikat o błędzie może być dalej „drażony” (*drill down*) w systemie podczas przechodzenia na jego kolejne poziomy, co umożliwia precyzyjniejsze diagnozowanie sytuacji na podstawie skojarzonych danych. Dodajmy, że kierunki rozwoju ERP są istotne nie tylko w wymiarze mikroekonomicznym tj. dla przedsiębiorstw zainteresowanych podnoszeniem swojej efektywności. W skali globalnej mówimy o integrujących się systemach, w coraz większym stopniu zarządzających wszelkimi zasobami w skali planetarnej.

### 5.3. Modele i metamodely referencyjne

Jak pokazano w p. 1.1, bieżące transformacje w przedsiębiorstwie wymagają modelowania jego procesów biznesowych dla implementacji komputerowo wspomaganego systemu zarządzania, poprzedzonego analizą systemową w sensie SE (Rajlich, 2011). Jednocześnie rosnąca złożoność modelowanych procesów powoduje wzrost znaczenia metamodeli i związanych z nimi strategii (meta)modelowania. Pojęcie modelu omówiono w p. 1.1. Pod pojęciem **metamodelu** rozumiemy opis konstruowania modeli w celu uniwersalnej formalizacji modelowania. Przykład: gramatyka języka i jego alfabet/słownik (np. słowa kluczowe języka programowania) pozwalają na formalnie poprawne konstruowanie w nim zdań co wiąże się z fenomenem generatywizmu [Lyons, 2002].

Znaczenie metamodeli w ISP koresponduje z przeglądem aktualnych trendów badawczych BPM (*Business Process Management*) pokazanych w pracy [Ko, Lee, Lee, 2009, s. 744–791] – jako jeden z ośmiu wskazano na standardy metamodelowe (tab. 5.7). Tabela 5.7 może być również traktowana jako syntetyczna „mapa drogowa” (*road map*) ładu korporacyjnego, pozwalając na korzystanie z modeli referencyjnych wraz z praktycznymi przykładami konstruowanych w ich ramach algorytmów.

Specyfikacja zależności między modelem a metamodelem, na gruncie praktyki przemysłowej, pokazuje, że model odnosi się do istniejącego fragmentu rzeczywistości (tzw. oryginału) natomiast podobne twierdzenie w odniesieniu do metamodeli jest mniej trafne. Oryginałem metamodelu nie są modele, inne są też cele modelu i metamodelu. Zilustrujmy te związki przykładami odnoszącymi się do:

- algorytmiki,
- genetyki (w związku z możliwymi, przyszłościowymi formami bioorganizacyjnego funkcjonowania przedsiębiorstwa),
- analizy systemowej IT.

W (meta)notacji BNF [ISO, 1996] niewielka liczba reguł i symboli metajęzykowych pozwala na zdefiniowanie standardu języka programowania. W szczególności znakami metajęzykowymi są:

- nawiasy  $\langle \rangle$  określające zmienne metajęzykowe,
- łącznik metajęzykowy  $::=$  (przypisanie),
- łącznik metajęzykowy  $|$  (znak pipe odpowiadający logicznemu lub).

Aktualne trendy badawcze BPM

Nr trendu	Trend	Przykłady	Komentarz
1	Bieżąca konsolidacja standardów	BPMN [Mendelin, 2009], BPEL [Matjaž, 2006], XPD [van der Aalst, 2003]	trend zastosowań ostatnich lat oparty o standardy OMG, OASIS, WfMC
2	Kojarzenie standardów z fazami BPM	standardy graficzne (UML), wymiany danych (BPDM), wykonawcze (YAWL), diagnostyczne (BPQL)	w znacznej mierze zorientowane na projektowanie ( <i>design</i> ) przy pomocy sieci Petri [van der Aalst, 2011]
3	Język naturalny w procesach biznesowych	SBVR ( <i>Semantics of Business Vocabulary and Business Rules</i> )	standardyzowane transformacje: język naturalny/grafika/kod programowy [Elçi, 2011]
4	Modele referencyjne grafiki	AMFIBIA [Axenath, 2007]	metamodelowa reprezentacja dynamiki przedsiębiorstwa
5	Metamodely wymiany danych	MOF (Meta Object Facility)	integracja SOA z wykorzystaniem rozszerzonego UML2 [Zdun, Dustar, 2007]
6	Standardy wykonawcze	semantyczny BPM [Markovic, 2009]	ograniczenia rozwiązań hybrydowych prowadzą do sieci semantycznych
7	Standardy diagnostyczne	QoS (Quality of Service)	weryfikacja procesów i analizy biznesowe
8	Standardy B2B	CrossFlow [Grefen, 2000], SUPER [Hepp, 2007]	kontekstowe transformacje BPM: od IT w kierunku biznesowym

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ko, Lee, Lee, 2009, s. 744–791]

W ten sposób, przez wyliczenie „z definicji”, określamy litery i cyfry i na tej podstawie pojęcie „nazwy” (np. zmiennej), jako co najmniej jednoznakowego ciągu alfanumerycznego tj. zaczynającego się od litery:

$$\langle \text{nazwa} \rangle ::= \langle \text{litera} \rangle | \langle \text{nazwa} \rangle \langle \text{litera} \rangle | \langle \text{nazwa} \rangle | \langle \text{cyfra} \rangle$$

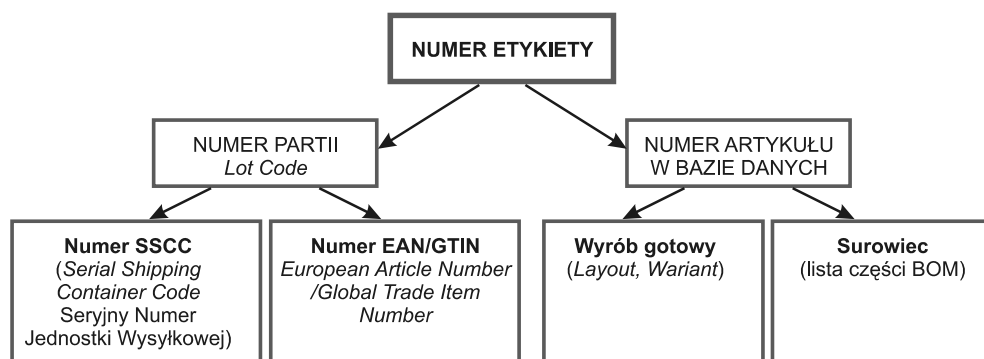
Jednocześnie mamy tu do czynienia z charakterystycznym metajęzykowo mechanizmem rekurencyjnym, który w algorytmice odpowiada wywoływaniu procedury przez samą siebie.

W sferze genetycznej, istotnej jako wzorzec dla algorytmów genetycznych, czteroliterowy alfabet nukleotydów jest podstawą dla większego zbioru aminokwasów, a te z kolei dają całe bogactwo wszelkich form życiowych z fenomenem człowieczeństwa włącznie. Paradygmat bioorganizacyjny daje systemowi technicznemu elastyczność nie wykluczając jego wysokiej złożoności. Bionika pokazuje także optimum kompromisu między tymi przeciwstawnymi tendencjami z wykorzystaniem ewolucyjności: łatwiej jest modyfikować prostsze struktury niższych poziomów, niż zmieniać już istniejące i bardziej złożone na poziomach wyższych. W sferze oprogramowania takie podejście koresponduje z metodą *bottom-up* – korzystając z prostszych obiektów (klas, procedur) można budować złożone aplikacje.

„Organiczny” system techniczny czy bioorganizacyjny wyrób finalny mogą być w istocie zaprojektowane tylko raz „od początku” (*top-down*) a wyposażone w mechanizmy

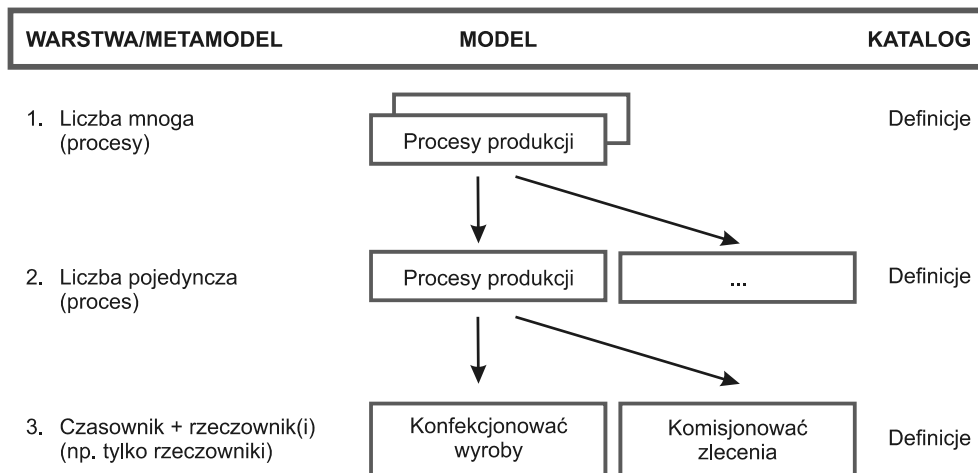
bioorganizacyjne są w stanie funkcjonować samodzielnie, podobnie jak żywy organizm, posiadając metacechy samoorganizacji i samouczenia się. Badanie poziomu metagenetycznego jest interesujące nie tylko w wymiarze postępu technicznego, ale także dla identyfikacji przyczyn ewolucji życia. Jednocześnie **idea zarządzania opartego na komputerowej bioorganizacji jest obiecującą strategią przyszłościową** i wyzwaniem cywilizacyjnym – obecnie mamy dopiero do czynienia z jej załączkami w sferze praktycznej.

Z kolei zademonstrujemy możliwość stosowania podejścia metamodelowego do opisu zarządzania firmą w kontekście konwencji terminologicznych, niezbędnych podczas korzystania z modeli referencyjnych. Mówiąc o transformacjach ISP mówimy także o aspektach jakościowych tych systemów, gdzie obowiązuje zasada: niemierzalne jest niepoprawialne. Wynika stąd konsekwencja dla sfery BPM: nieopisywalne jest niemierzalne. Stosownego opisu (mapowanie procesów) mogą nam tu dostarczyć modele (referencyjne). W znacznej mierze korzystają one z języka naturalnego, a więc mogą być nieprecyzyjne, co wymaga stosowania metamodeli. Na problem zwracał już uwagę Leibniz [Kasperski, 2003], który próbował stworzyć **język uniwersalny** z matematyczną gramatyką (metamodel *lingua characteristic a universalis*). Przykład wieloznaczności terminologicznej pokazano na rys. 5.3. Potocznie czy skrótowo użyty zwrot „numer etykiety” może mieć kilka znaczeń. Możemy wprowadzić założenie, że kontekst dokumentacji wystarczy, aby w każdej sytuacji zidentyfikować znaczenie terminu, można także prosić określone osoby o komentarz, ale to wiąże się z dodatkowym czasem, z drugiej strony **chcemy uzyskać efekt zmniejszenia nadmiarowości opisu procesów przy zachowaniu jego precyzji**. Warto więc zdefiniować określone konwencje terminologiczne, pozwalające na oszczędność słów bez strat precyzji przekazu. Jedną z nich jest stosowanie warstwowości w metamodelowaniu procesu biznesowego (rys. 5.4).



Rys. 5.3. Przykład wieloznaczności terminologicznej  
Źródło: opracowanie własne

Prezentowany przykład odnosi się do terminu „partia” i w związku z tym „śledzenie partii” (*tracing*). Możemy tu mówić zarówno o partii produkcyjnej jak i dostawczej. Z kolei w samym obszarze wytwórczym można potocznie posługiwać się angielskim terminem „shop order”, z którym wiąże się wyprodukowanie partii towaru, ale związki między tymi pojęciami nie zawsze są jednoznaczne i muszą zostać sprecyzowane w dokumentacji procesowej.



Rys. 5.4. Przykład metamodelu terminologicznego  
*Źródło:* opracowanie własne

W szczególności jedno zlecenie produkcyjne może dotyczyć wielu partii produkcyjnych, jeśli to ostatnie pojęcie używane jest w znaczeniu technologicznym (wsad). Wiele „partii produkcyjnych” może otrzymać ten sam symbol partii (*Lot Code*) dla wielu palet wyrobu gotowego. Standardy nakazują jednoznaczne nadawanie paletom numeru SSCC, trudniejsze jest ich powiązanie z „partiami surowców” użytych do produkcji. Zatem opis wieloaspektowości jednego tylko zagadnienia procesowego jakim jest „śledzenie partii” wymaga precyzji terminologicznej.

W rozważnym przykładzie, na najwyższym poziomie modelowania, używamy liczby mnogiej używając konstrukcji typu **procesy X (Im)**; na kolejnym, niższym poziomie, stosujemy liczbę pojedynczą w zwrotach postaci **proces Y (Ip)**; wreszcie na najniższej warstwie modelowania (tutaj w modelu trójpoziomowym) posługujemy się złoženiami **czasownik + rzeczownik(i)**, przy czym w idealnym wariacie występujące tu pojęcia pochodzą z ich zdefiniowanego katalogu. Pokazane podejście koresponduje ze spostrzeżeniami praktycznymi wskazującymi, że często jedną z głównych przyczyn niepowodzeń projektów o charakterze technicznym są czynniki pozatechniczne. Jednym z nich jest efektywność komunikacyjna w grupie projektowej.

Na podstawie teorii języków programowania [Pierce, 2002] i kompilatorów [Aho, 2006] możemy stwierdzić, iż przykład a) pokazuje, że poziom metajęzykowy jest niezbędny dla zdefiniowania instancji decyzyjnej rozstrzygającej o formalnej poprawności kodu (modelu). Taką rolę pełni kompilator języka, nie przesądzając o możliwości wystąpienia błędów wykonania programu czy problemów na poziomie aplikacyjnym. Z matematycznego punktu widzenia **geneza metamodeli** wiąże się z limitacjami Gödla, wynikającymi z jego pierwszego twierdzenia oraz możliwościami ich przewyżczania, w związku z twierdzeniem drugim [Murawski, 2001]. Nawiązują do nich m.in. prace Alfreda Tarskiego pokazujące, że „prawdziwość teorii T nie jest definiowalna w T”, co również wskazuje na konieczność stosowania metamodeli.

W odniesieniu do przykładu b) mamy obecnie do czynienia z praktycznymi zastosowaniami algorytmów biologicznych, co pozwala oczekiwać rozwoju sfery metamodelowej

także w tym obszarze [Rutkowski, 2005]. Dodajmy, że wg [Brocke, 2003] możemy wyróżnić dwa **podstawowe typy metamodeli**: językowe i procesowe, przy czym oba mają zastosowanie w praktyce transformacji ISP. Na podejście interdyscyplinarne stawiają również **modele** referencyjne ładu korporacyjnego. Stąd konieczność łączenia w nich precyzji matematyki i elastycznej kontekstowości języka naturalnego. Krajobraz modeli i metamodeli w ISP uzupełnia poziom submodelowy nasuwający skojarzenia z poziomem podsystemów przedsiębiorstwa. **Submodele** nie są jednak odwzorowaniami tych podsystemów ale składowymi modelami, jako narzędzia szczegółowe. Wymieńmy tu listę zagrożeń McConnella czy kwestionariusz oceny ryzyka Thomsetta (*Risk Assessment Questionnaire*) [Thomsett, 2002]. Do grupy „narzędzi” można także zaliczyć języki modelowania, np. UML czy OOA [Avison, 2008]. W rzeczywistości mówimy tu o rozbudowanych agregatach o genezie w obszarze SE, które również wykazują cechy uniwersalne/metamodelowe. Problemy modelowania jako genezę metamodeli pokazano na przykładach w tab. 5.8.

Tabela 5.8

Problemy modeli genezą metamodeli w przedsiębiorstwie

Problemy modelowania	Geneza (własności) metamodeli	Przykłady
Specyfika paradygmatów modelowania	Łączenie elastyczności naturalizmu językowego z precyzją konwencji sztucznych	Sieci semantyczne, Web 3.0
Interdyscyplinarizm (zarządzanie/IT)	Podejście wielodziedzinowe (informacja jako czynnik integrujący)	Różni specjaliści/generaliści integratorzy systemów (metajęzyki)
Dyfuzyjność informatyki	Procesowo zorientowana analiza systemowa	Szkolenia, bazy wiedzy Web 2.0
Inteligencja przedsiębiorstwa	Heurystyki, systemy ekspertowe (bioorganizacja)	(Pół)automatyczne planowanie logistyki (transportu) i wytwarzania
Paradoks produktywności IT	Metamodeli referencyjne (wzrost złożoności)	ISO/ITIL (pytania/odpowiedzi)

Źródło: opracowanie własne

## Podsumowanie

Wnioski formułowane w kolejnych rozdziałach pracy, w odniesieniu do ISP, pokazują, że modelowanie procesów przedsiębiorstwa należy do kluczowych działań każdej nowoczesnej firmy w kontekście niezbędnych zmian jej struktury organizacyjnej. Implementacja algorytmiczna jest bowiem tylko konsekwencją mniej lub bardziej udanego odwzorowania transformowanej rzeczywistości w działaniach modelowych. Co więcej: kod aplikacji może również pełnić funkcję modelu przedsiębiorstwa. W praktyce taki model będzie nieczytelny, możliwe jest jednak dla celów dokumentacyjnych stosowanie pseudokodu. Należy przy tym podkreślić, że dokumentacja oprogramowania firmy nie jest automatycznie jej modelem. Inne są z założenia cele tworzenia modeli przedsiębiorstwa, a inne – modeli systemów informatycznych. Niemniej istnieje zbieżność obu podejść (modelowania IT i przedsiębiorstwa) z uwagi na możliwość interpretacji zarządzania jako przetwarzania informacji (p. 1.2).

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy skłaniają do **wniosku**, że modelowanie procesów, zwłaszcza informacyjnych, przedsiębiorstwa jest warunkiem poprawy efektywności jego funkcjonowania. Modelowanie takie posiada w praktyce szereg ograniczeń, przy czym do istotnych należy tu specyfika pokazanych w p. 1.1 paradygmatów modelowania: aksjomatyczno-dedukcyjnego i aposterioryczno-indukcyjnego. Kolejne ograniczenia wynikają z dyfuzyjności informatyki (p. 3.3). Projekt informatyczny jest także przedsięwzięciem interdyscyplinarnym. To z kolei oznacza konieczność współpracy specjalistów z różnych dziedzin, a więc łączenia różnych standardów modelowania (języków) w ramach heurystyk algorytmicznych (p. 2.3) i organizacyjnych (p. 3.3).

Istotnym dysonansem jest również logiczna nieostrość i niepełność informacyjna sytuacji rzeczywistych kojarzona z deterministyczną precyzją (u podstaw: zero-jedynkową) aplikacji. Oznacza to zmniejszoną, w relacji do świata materialnego, elastyczność modelowania procesów informacyjnych wspomaganych komputerowo. Możliwości przewyższania tego dysonansu ISP przy pomocy algorytmów logiki rozmytej pokazano w p. 2.2.2. Także fenomen trudności w znalezieniu jednoznacznej korelacji między kosztami wdrożenia IT a jego wydajnością (paradoks produktywności, p. 3.3) jest genezą ładu korporacyjnego (*IT-Governance*), jako zasadniczego czynnika zarządzania ISP, optymalizującego wspomaganie misji (strategie i cele przedsiębiorstwa) przez IT. Widzimy zatem, że ów nowszy czynnik, łączy jako nadrzędny, dwa występujące już wcześniej [Selig, 2008]: usystematyzowane zarządzanie (*IT-Management*) oraz ukierunkowanie aplikacji na cele firmy (*IT-Alignment*). Przewyższanie przedmiotowych ograniczeń prowadzi zatem do stosowania modeli i metamodeli referencyjnych (p. 5.3).

Implementacja algorytmów w sferze gospodarczej jest utrudniona z uwagi na występowanie czynnika wolnej woli człowieka, która jest częścią modelowanego systemu. **Algorytm jest także prognozą: jak zachowa się wspomagany nim system w przyszłości.** Tymczasem procesy organizacyjne w przedsiębiorstwach nie są całkowicie przewidywalne

i racjonalne, stąd prognozowanie w tym obszarze jest trudniejsze, niż w sferze czysto materialnej (np. procesy fizyko-chemiczne). Jednak również w tej sferze istnieje wybór: można stosować podejście diagnostyczne lub prognostyczne. Model może być reakcją na istniejące problemy, ale może też być proaktywny. Ewolucja zarządzania procesami przedsiębiorstwa w kierunku ISP przebiega od podejścia diagnostycznego do prognostycznego. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z systemem reaktywnym (pasywnym), w drugim z modelem aktywnym (antycypacyjnym). Różnice podejść na przykładzie warstwy hardwarowej pokazano w tab. 6.1.

Tabela 6.1

Przykłady reaktywnej i proaktywnej konfiguracji dysków

Model konfiguracji	Charakterystyka	Komentarz
RAID5 ( <i>Redundant Array of Independent Disks</i> )	Gwarancja integralności danych przy awarii jednego dysku w zestawie	Wariant klasyczny, możliwa zimna rezerwa ( <i>cold spare</i> )
Gorąca rezerwa ( <i>hot spare</i> )	Automatyczna rekonstrukcję zestawu dysków ( <i>rebuild</i> ) przy awarii jednego z nich	Kosztowniejszy, ale bezpieczniejszy wariant z dodatkową redundancją
SMART ( <i>Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology</i> )	Wewnętrzna rejestracja korekt błędów dyskowych i automatyczne prognozowanie momentu awarii dysku wraz z wcześniejszą synchronizacją danych do dysku rezerwowego	Rozwiązanie proaktywne na poziomie RAID6 [Pinheiro, 2007]

Źródło: opracowanie własne

Na poziomie projektowania fabryki przykładem podejścia reaktywnego jest **metoda wskaźnikowa**. Na podstawie rodzajów wyrobów i zakładanego programu produkcyjnego definiuje się niezbędną strukturę wytwórczą na podstawie normatywów powierzchni na daną maszynę. Sporządzony na tej podstawie projekt inżynierski z rysunkami wykonawczymi nie daje jednak całkowitej wiedzy o tym, jakie problemy napotkamy w praktyce produkcyjnej. Dopiero jej uruchomienie (seria próbna) pozwala na wprowadzenie niezbędnych poprawek do pierwotnego projektu. To z kolei opóźnia efektywny start przedsięwzięcia. Przyspieszenie możliwe jest przy użyciu takich aplikacji jak np. fabryka cyfrowa (*digital factory*) [Canetta, 2011]. Mówimy tu o rozwiązaniach wykraczających poza, klasyczne już, systemy CAD/CAM (*Computer Aided Design/Manufacturing*) zintegrowane w ramach CIM/FMS (*Computer Integrated Manufacturing/Flexible Manufacturing System*).

Możemy powiedzieć, że **cyfrowa fabryka** jest systemem komputerowych modeli umożliwiających symulację funkcjonowania przedsiębiorstwa, w szczególności produkcji, z wykorzystaniem wizualizacji 3D/VR. Cyfrowa fabryka jest zatem próbą zastąpienia fizycznego środowiska produkcyjnego jego komputerowym modelem w celu efektywniejszego planowania i sterowania wytwarzaniem. W tym przypadku mamy do czynienia z organizacją proaktywną w odróżnieniu od tradycyjnej.

Pożądanym kierunkiem zmian modelowania systemów produkcyjnych jest więc przechodzenie od paradygmatu reaktywnego do proaktywnego. Mówimy zatem o systemach klasycznych z jednej strony oraz inteligentnych (IMS) z drugiej. Charakterystykę modelu informacyjnego organizacji proaktywnej można określić zasadą odbioru (*pull*), w przeci-



wieństwie do zasady dostarczania (*push*). W drugim przypadku mamy do czynienia za swego rodzaju mechanizmem „przepychania problemów” od ich źródła, przez kolejne działy i instancje przedsiębiorstwa. Dotyczy to także sfery zarządzania ryzykiem systemów IT (incydenty i problemy) [Kouns, 2010]. Przy czym typ organizacji rzutuje na sferę wytwórczą z uwagi na coraz ściślejsze związki podsystemów informacyjnych i materialnych przedsiębiorstwa.

Tak więc można tu mówić o „przepychaniu zleceń produkcyjnych”. Tymczasem w systemie IMS to procesowy następnik determinuje jego poprzednik (zasada odbioru). Mamy tu podejścia bardziej scentralizowane i kierujące się aktualnym stanem (zasobów) albo bardziej autonomiczne, na podstawie zdefiniowanych celów. Informatyczna implementacja tej drugiej metody w organizacji inteligentnej (IMS) może odbywać przy pomocy systemów agentowych [Lee, 2006], co wynika z następującej charakterystyki agenta:

- predyktywność (przewidywanie przyszłych skutków podejmowanej akcji i stanu otoczenia),
- proaktywność (automatyczne inicjowanie działalności bez wiedzy użytkownika),
- autonomiczność (funkcjonowanie bez interwencji człowieka),
- elastyczność (dynamiczne zmiany strategii rozwiązywania zadań),
- adaptacyjność (samomodyfikowanie się, np. zmiany w środowisku softwarowym),
- długoterminowość działania (przez długi czas, np. wiele miesięcy),
- mobilność (przenoszenie kodu i stanu w obrębie sieci komputerowej),
- komunikacyjność (dialog z innymi agentami i otoczeniem),
- kolaboracyjność (współpraca z innymi agentami),
- racjonalność („samoświadoma” efektywność osiągania celów),
- wiarygodność (gwarancja zaufania i bezpieczeństwa dla użytkownika),
- personalizacja (dopasowywanie się do indywidualnych potrzeb użytkownika),
- orientacja celowa (tłumaczenie abstrakcyjnych celów na operacje szczegółowe).

Podane cechy są o tyle istotne dla IMS, że odpowiadają charakterystyce holonów [Marik, 2009], a model holonowy może być traktowany jako uniwersalny w odniesieniu do przyszłościowych rozwiązań bioorganizacyjnych BMS (*Bionic Manufacturing System*).

---

# Bibliografia

- [1] Aho A.V., Lam M.S., Sethi R., Ullman J.D.: *Compilers, Principles, Techniques, and Tools*. Reading, Massachusetts, USA Addison Wesley 2006.
- [2] Allis V.: *Searching for Solutions in Games and Artificial Intelligence*. Department of Computer Science, University of Limburg, 1994, ISBN 90-9007488-0.
- [3] Altshuller G.: *The innovation algorithm*. Worcester, MA, USA, Technical Innovation Center Inc. 2000.
- [4] Amaitik S., Kilic S.E.: STEP feature-based intelligent process planning system for prismatic parts, *Proceedings of The 11<sup>th</sup> International Conference on Machine Design and Production, Conference, Antalya, Turkey, 13–15 October 2004, Vol. 1, s. 17–30*.
- [5] Applegate D.L.: *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton, NJ, USA, Princeton University Press 2006.
- [6] Armoni A.: *Effective healthcare information systems*. Hershey, PA, USA, IRM Press 2002.
- [7] Avison D., Fitzgerald G.: *Information Systems Development: Methodologies, Techniques and Tools*. Maidenhead, Berkshire, UK, McGraw Hill Higher Education 2008.
- [8] AMFIBIA, A Meta-Model for the Integration of Business Process Modelling Aspects. *International Journal of Business Process Integration and Management, Vol. 2, No 2. Geneve, Inderscience Publishers 2007, s. 120–131*,
- [9] Badurek J.: *Cyclical changes of management paradigm. W: The modern modelling conceptions of business systems*. Ed. L. Zawadzka. Gdańsk, University of Technology Publishers 2009.
- [10] Beck R.: *The Network(ed) Economy. The Nature Adoption, Diffusion of Communications Standards*. Wiesbaden, DUV, Springer Science+Business Media 2006.
- [11] Bhasin S.: Lean and performance measurement. *Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 19, 2008, s. 671–673*,
- [12] Bishop Ch.M.: *Neural Networks for Pattern Recognition*. New York, USA, Oxford University Press 2004.
- [13] Blank P.: *Qualitätsmanagement für Ingenieure*. Berlin, Springer 2002.
- [14] Bocij P., Chaffey D., Greasley A., Hickie S.: *Business Information Systems, Technology, Development & Management*. Essex, Pearson Education Ltd 2008.
- [15] Brocke J.V.: *Referenzmodellierung. Advances in Information Systems and Management Science. B. 4. Berlin, Logos 2003*.
- [16] Canetta L.: *Digital Factory for human-oriented production systems*. London, Springer 2011.
- [17] Carter J.: *Unified Communications 100 Success Secrets*. Newstead, Australia, Emereo Publishing 2008.
- [18] Castells M.: *The rise of the network society*. Malden, MA, USA, Wiley-Blackwell 2010.
- [19] Chang C.C., Keisler J.H.: *Model Theory. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*. New York, Elsevier Science Publishers Company, Inc. 1990.
- [20] Corbett T.: *Finanse do góry nogami. Zdroworoządkowa rewolucja w rachunkowości*. Warszawa, MINT Books 2007.
- [21] Czermiński A., Czarska M., Nogalski B., Rutka R., Apanowicz J.: *Zarządzanie organizacjami*. Toruń, Wyd. Dom Organizatora TNOiK 2001.
- [22] Czarska J.: *Doskonalenie strumienia wartości*. Warszawa, Difin 2009.

- [23] Date C.J.: SQL and the relational theory. Sebastopol, CA, USA, O'Reilly Media Inc. 2009.
- [24] D'Atri A., Ferrara M., George J.F., Spagnoletti P.: Information technology and innovation trends in organizations., New York, Physica-Verlag a Springer Company 2011.
- [25] Deshpande N.: Artificial Intelligence. Pune, India, Technical Publications 2008.
- [26] Draskovic F., Johnson R.: IBM Cognos 10 Report Studio: Practical Examples. London, Pearson PLC 2010.
- [27] Duck M., Read R.: Data communications and computer networks for computer scientists and engineers. Harlow, Essex, Pearson Education Ltd 2003.
- [28] Elamvazuthi, I., T. Ganesan, P. Vasant, J.F. Webb: Application of a fuzzy programming technique to production planning in the textile industry, International Journal of Computer Science and Information Security. Vol. 6, No 3, 2009, s. 238–343.
- [29] Elçi A.: Semantic Agent Systems, Foundations and Applications. Berlin, Springer 2011.
- [30] Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A.: Modele systemów produkcyjnych i logistycznych – próba klasyfikacji. Logistyka i zarządzanie produkcją – narzędzia, techniki, metody, modele, systemy. Monografia Inst. Inż. Zarządzania Polit. Poznańskiej, Poznań, 2008.
- [31] Fertsch M., Pawlewski P.: Comparison of process simulation software technics. Modelling of modern enterprises logistics, monograph. Eds. M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak A. Publishing House of Poznań University of Technology, 2009, s. 189–200.
- [32] Finkenzeller K.: RFID Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2010.
- [33] Flasiński M.: Wstęp do sztucznej inteligencji. Warszawa, Wyd. Naukowe PWN 2011.
- [34] Fulekar M.H.: Nanotechnology, importance and applications. International New Delhi, Publishing House 2010.
- [35] Gerstorfer E., J. Hollatz: Strategic production planning with neuro-fuzzy system, Proc. Of The IEEE World Congress on Computational Intelligence, 4–9 May 1998, Vol. 5, s. 1206–1210.
- [36] Gharajedaghi J.: System thinking, managing chaos and complexity, a platform for designing business architecture. Burlington, MA, USA, Elsevier 2011.
- [37] Goldratt E.M., Cox J.: Cel. Doskonałość w produkcji. Warszawa, Werbel 2000.
- [38] Grefen P.: CrossFlow, Cross-Organizational Workflow Management in Dynamic Virtual Enterprises. Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente 2000.
- [39] Grzybowska K.: Evaluation of the effectiveness of the organizational changes process – case studies, W: Decisions support methods for operations management. Red. L. Zawadzka, J. Łopatowska. Gdańsk, Wyd. Polit. Gdańskiej 2011.
- [40] Grzybowska K., Łopatowska J.: The effectiveness of operations implementing changes. W: Decisions support methods for operations management. Red. L. Zawadzka, J. Łopatowska. Gdańsk, Wyd. Polit. Gdańskiej 2011.
- [41] Gurevich Y.: Sequential Abstract State Machines Capture Sequential Algorithms. Microsoft Research, One Microsoft Way, Redmond, WA, USA, 2000.
- [42] Hepp M: An Ontology Framework for Semantic Business Process Management. Proceedings of Wirtschaftsinformatik 2007, 28 February – 2 March, Karlsruhe, 2007.
- [43] ISO/IEC 14977: International Standard, Information technology – Syntactic metalanguage – Extended BNF, CH-1211 Geneve 20, Switzerland, 1996.
- [44] Jasiński Z.: Podstawy zarządzania operacyjnego. Kraków, Oficyna Ekonomiczna 2005.
- [45] Kaplan R.D., Norton D.P.: Strategiczna karta wyników. Jak przełożyć strategię na działanie. Warszawa, PWN 2006.
- [46] Kasperski M.J.: Sztuczna inteligencja. Gliwice, Helion 2003.
- [47] Kaur R., Sengupta J.: Software Process Models and Analysis on Failure of Software Development Projects. International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 2, Issue 2. February, Paris, 2011, s. 1–4
- [48] Kayakutlu G., Büyüközkan G.: Effective supply value chain based on competence success, Supply Chain Management, Vol. 15, No 2, 2010, s. 130–134.

- 
- [49] Kendal S., Creen M.: *An introduction to knowledge engineering*. London, Springer 2007.
- [50] Kieżun W.: *Sprawne zarządzanie organizacją*. Warszawa, SGH 1997.
- [51] Ko R.K.L., Lee S.S.G., Lee E.W.: *Business process management (BPM) standards, a survey*. *Business Process Management Journal*, Vol. 15, No 5. Bingley, UK, Emerald Group Publishing Ltd 2009, s. 744–791.
- [52] Kouns J., Minoli D.: *Information Technology Risk Management in Enterprise Environments: A Review of Industry Practices and a Practical Guide to Risk Management Teams*. Hoboken, NY, USA, John Wiley & Sons 2010.
- [53] Kożusznik B.: *Wpływ społeczny w organizacji*. Warszawa, PWE 2005.
- [54] Krawczyk S.: *Badania operacyjne dla menedżerów*. Wrocław, Wyd. Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego 1996.
- [55] Krupa K.: *Teoria zmian organizacyjnych przedsiębiorstw ery informacji. Wybrane aspekty i narzędzia*. Rzeszów, Wyd. Uniw. Rzeszowskiego 2006.
- [56] Lee R.S.T.: *Fuzzy-Neuro Approach to Agent Applications*. New York, Springer 2006.
- [57] Lehman M.M.: *Metrics and laws of software evolution-the nineties view*. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Software Metrics Symposium, METRICS '97, IEEE, Albuquerque, NM, USA, 5–7 November 1997*, s. 20–32.
- [58] Lyons J.: *Language and linguistics*. Cambridge, Cambridge University Press 2002.
- [59] Kusiak A.: *Evolutionary computation in design and manufacturing, Machine Engineering*. Zielona Góra, Technical University Press 2001.
- [60] Łopatowska J., Kwaśniewski R.: *Zarządzanie zmianą w przedsiębiorstwie. W: Współczesne problemy i wybrane zagadnienia modelowania systemów gospodarczych*. Red. L. Zawadzka. Gdańsk, Wyd. Polit. Gdańskiej 2006.
- [61] Łopatowska J.: *Methodology of assessing the effectiveness of changes in the planning and control process, W: Production systems – Selected Issues – Theory and Practice*. Red. M. Fertsch. Poznań, Publishing House of Poznan University of Technology 2011.
- [62] Malhotra Y.: *Knowledge Management and Business Model Innovation*. Hershey, PA, USA, Idea Group Publishing 2001.
- [63] Malone T., Sinnen W.: *Performance management*. *Financial Executive*, Vol. 21, 2005, s. 60–63.
- [64] Mannan S.: *Lee's loss prevention in the process industries*. Burlington, MA, USA, Elsevier 2005.
- [65] *Holonic and Multiagent Systems for Manufacturing*. Heidelberg, Springer, 2009.
- [66] Markovic I.: *Semantic business process modeling*. Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2009
- [67] Maskell B.H., Baggaley B.L.: *Lean Accounting: What's It All About?* *Target Magazine*, Vol. 22, No 1, 2006, s. I.1–I.9.
- [68] Matjaž B.: *Business Process Execution Language for Web Services*. Birmingham, UK, Pact Publishing Ltd 2006.
- [69] Mendelin J.: *Business Process Modeling Notation*. Berlin, Springer-Verlag 2009.
- [70] Mohan C.K.: *Frontiers of expert systems: reasoning with limited knowledge*. Norwell, MA, USA, Kluwer Academic Publishers 2000.
- [71] Mozgovoy M.: *Algorithms, languages, automata and compilers*. London, Johns and Bartlet Publishers International 2010.
- [72] Murawski R.: *Filozofia matematyki, zarys dziejów*. Warszawa, Wyd. Naukowe PWN 2001.
- [73] Muller S.J.: *Asymmetry: The Foundation of Information*. New York, Springer 2007.
- [74] Nair M.: *Strategic Business Transformation*. Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- [75] Neely A., Adams, Ch., Kennerley M.: *The Performance Prism: The Scorecard for Measuring and Managing Business Success*, Pearson Education, 2002.
- [76] Negnevitsky M.: *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. Essex, England, Pearson Education Ltd 2005.

- 
- [77] Nowicki T., Marczak M.: The Modelling, Analysis and Simulation of Transport Company Functioning. Modelling of modern enterprises logistics. Eds. M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak. Monograph. Poznań, Publishing House of Poznań University of Technology 2009, s. 11–24.
- [78] Olson D.L., Kesharwani S.: Enterprise Information Systems, Contemporary trends and issues. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd 2010.
- [79] Osowski, S.: Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym. Warszawa, WNT 1996.
- [80] Pacholski L., Wójcik C.: Implementation Preparation of ERP Class System Aiding Administration Processes in a Chosen ABC Production Company – Case Study. Foundations of Control and Management Sciences, No 7, Publishing House of Poznan University of Technology, 2007, s. 51–64.
- [81] Pacholski L., Trzcieliński S., Wyrwicka M.: Formation of regional macroergonomic zones of business coompetition. Foundations of Control and Management Sciences, No 11. Publishing House of Poznań University of Technology 2008, s. 25–39.
- [82] Pacholski L., Malinowski B., Niedźwiedz S.: The role of internal structural innovations in a contemporary enterprise. Entrepreneurship and innovations, monograph. Publishing Poznań, House of Poznań University of Technology 2010, s. 85–92.
- [83] Pankowski T.: Podstawy baz danych. Warszawa, Wyd. Naukowe PWN 1992.
- [84] Pająk E.: Zarządzanie produkcją. Warszawa, PWN 2006.
- [85] Pasternak K.: Zarys zarządzania produkcją. Warszawa, PWE 2005.
- [86] Pawlak M.: Wybrane sposoby reprezentacji i rozwiązywania problemów harmonogramowania przy pomocy algorytmów ewolucyjnych. Organizacja i zarządzanie. Zeszyt nr 1. Lublin, Wyd. Inst. Zastosowań Techniki 1998.
- [87] Pszczółowski T.: Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji. Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk, Ossolineum 1978.
- [88] Peristeras V., Tsekos T., Tarabanis K.: Analyzing e-Government as a paradigm shift. United Nations Thessaloniki Centre for Public Service Professionalism, Thessaloniki 2002.
- [89] Pierce B.: Types and Programming Languages. Cambridge, MA, USA, The MIT Press 2002.
- [90] Pinheiro E., Weber W., Barosso L.A.: Failure Trends in a Large Disk Drive Population. 5<sup>th</sup> USENIX Conference on File and Storage Technologies, 13–16 February 2007, San Jose, CA, USA.
- [91] Powers S.: Practical RDF. Solving Problems with the Resource Description Framework. Sebastopol, CA, USA, O'Reilly & Associates, Inc. 2003.
- [92] Proctor T.: Creative problem solving for Managers, Developing skills for decision making and innovation. Routledge. New York, Taylor & Francis Group 2010.
- [93] Rajlich V.: Software Engineering, The Current Practice. Boca Raton, USA, CRC Press 2011.
- [94] Rheingold H.: Virtual Reality. New York, NY, Touchstone 1992.
- [95] Rom A., Rohde C.: Constructing an FPMS in a medium-sized consulting company using a combination of an ERP system and Microsoft Excel. International Journal of Accounting and Finance, Vol. 2, No 1. Geneve, Inderscience Enterprises Ltd 2010, s. 63–83,
- [96] Ross T.J.: Fuzzy logic with engineering applications. Chichester, West Sussex, UK, John Wiley & Sons, Ltd 2010.
- [97] Rummler G.A., Brache A.P.: Podnoszenie efektywności organizacji. Warszawa, PWE 2000.
- [98] Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji. Warszawa, Wyd. Naukowe PWN 2005.
- [99] Salvendy G.: Handbook of industrial engineering: technology and operations management. New York, NY, USA, John Wiley & Sons 2001.
- [100] Schwalbe K.: Information technology project management. Course Technology Cengage Learning, Boston, MA, USA, 2010.
- [101] Selig G.J.: Implementig IT Governance, a practical guide to global best practices in IT Management. Zaltbommel, NL, Van Haren Publishing 2008.

- 
- [102] Sengupta P., Chaudhuri B.: Object Oriented Programming, Fundamentals and Applications. Prentice-Hall, New Delhi, 2004.
- [103] Silberschatz A.: Operating System Concepts 7<sup>th</sup> ed. New York, John Wiley & Sons, Inc. 2004.
- [104] Sirkin H., Keenan P., Jackson A.: The Hard Side of Change Management. Harvard Business Review, October 2005.
- [105] Sivanandam, S.N., S. Sumathi, S. N. Deepa: Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB. Berlin, Springer-Verlag 2007.
- [106] Skyttner L.: General systems theory: problems, perspectives, practice. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd 2005.
- [107] Slack N., Chambers S., Johnston R.: Operations Management, Prentice Hall 2004.
- [108] Srivastava D., Batri A.: ERP Systems. New Delhi, I.K. International Publishing House Pvt. Ltd 2010.
- [109] Starti A.: Theory and method in organization studies. London, Sage Publication Ltd 2000.
- [110] Starr C., Taggart R.: The unity and diversity of life. Belmont, CA, USA, Brooks/Cole Cengage Learning 2010.
- [111] Stecke K. E., Solberg J. J.: Loading and Control Policies for a Flexible Manufacturing Systems. International Journal of Production Research, Vol. 19, Issue 5, 1981.
- [112] Stenzel J. (ed): Lean accounting. Best practices for sustainable integration. New Jersey, John Wiley&Sons 2007.
- [113] Modular Production Networks, A New American model of Industrial Organization. Industrial Performance Center. Cambridge, MA, USA, Massachusetts Institute of Technology 2002.
- [114] Supply-Chain Operations Reference-model, SCOR Overview version 10, Supply-Chain Council, 2011.
- [115] Thomsett R.: Radical Project Management. Upper Saddle River, NJ, USA, Prentice Hall PTR 2002.
- [116] Tsui F., Karam O.: Essentials of Software Engineering. Sudbury, MA, USA, Jones and Bartlett Publishers 2011.
- [117] Velte A.T.: Cloud Computing a practical approach. New York, McGraw-Hill 2009.
- [118] van der Aalst W.: Patterns and XPD, a critical evaluation of the xml process definition language. Technical Report FIT-TR-2003-06, Queensland University of Technology, 2003.
- [119] van der Aalst W.: Modeling Business Processes a Petri Net-Oriented Approach. London, MIT Press 2011.
- [120] Vidal, J.C., M. Mucientes, A. Bugarin, M. Lama: An adaptive evolutionary algorithm for production planning in wood furniture industry, Proc. of International Symposium on Evolving Fuzzy Systems, September, Ambleside, UK, 2006.
- [121] Wang, X.L., J.Z. Xiao: The artificial neural networks for real time operation of natural gas production and sale, Proc. of the 2<sup>nd</sup> Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 17–18 July 2010, Wuhan, China.
- [122] Weiss E.: Miary efektywności organizacyjnej funkcjonowania kół kontroli jakości w Toyota Motor Company. W: Efektywność – rozważania nad istotą i pomiarem. Red. T. Dudycz, G Osbert-Pociecha. Wrocław, Wyd. Uniw. Ekonomicznego 2010.
- [123] Womack J.P., Jones. D.T.: Lean Solutions. London: Simon & Schuster 2005.
- [124] Womack J.P., Jones D.T.: Lean thinking – szczupłe myślenie. ProdPress.com., 2008.
- [125] Wrycza S. (ed.), Lenart A.: Research in Systems Analysis and Design, Models and Methods, ERP in the Colud – Benefits and Challenges. P. 39–50, 4<sup>th</sup> SIGSAND/PLAIS Euro Symposium, Gdańsk, September. New York, Springer 2011.
- [126] Zawadzka L.: Podstawy projektowania elastycznych systemów sterowania produkcją. Problemy techniczno-ekonomiczne. Gdańsk, Wyd. Polit. Gdańskiej 2000.
- [127] Zawadzka L.: Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2007.

- [128] Zawadzka L., Badurek J., Łopatowska J.: *Inteligentne Systemy Produkcyjne. Ewolucja i problemy organizacji projektów informatycznych*. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2010.
- [129] Zawadzka L., Badurek J., Oliński K.: *Integration of natural and artificial intelligence in production systems*. Poznań, Publishing House of Poznan University of Technology 2011.
- [130] Ziębicki B.: *Efektywność a jakość w sektorze publicznym. W: Społeczne aspekty przeobrażeń organizacyjnych*. Red. A. Potocki. Warszawa, Difin 2007.
- [131] Ziębicki B.: *Współczesne koncepcje oceny efektywności organizacyjnej – próba porównania. W: Efektywność – rozważania nad istotą i pomiarem*. Red. T. Dudycz, G. Osbert-Pociecha. Wrocław: Wyd. Uniw. Ekonomicznego 2010.
- [132] Zdun U. Dustdar S.: *Model-driven and pattern-based integration of process-driven SOA models*. *International Journal Business Process Integration and Management*, Vol. 2, No 2, Geneva 2007, s.109–119.
- [133] Zha X.F.: *Artificial intelligence and integrated intelligent information systems, Emerging Technologies and Applications*. Hershey, PA, USA, Idea Group Publishing 2007.
- [134] *Fuzzy set theory-and its applications*. Norwell, MA, USA, Kluwer Academic Publishers 2001.

---

## Spis rysunków

Rys. 1.1. Paradygmaty i cechy modelowania .....	14
Rys. 1.2. Trójelementowa dekompozycja wymagań projektowych .....	21
Rys. 1.3. Globalni dostawcy ERP .....	22
Rys. 2.1. Warstwowość w modelu ISP .....	26
Rys. 2.2. Przykład warstwowego modelu ISP (fragment systemu) .....	27
Rys. 2.3. Sprzężenia pomiarowo-sterujące w modelu ISP .....	28
Rys. 2.4. Podstawowe moduły sytemu eksperckiego .....	31
Rys. 2.5. Schemat podstawowego algorytmu modułu wnioskowania .....	34
Rys. 2.6. System logiki rozmytej w ISP .....	36
Rys. 2.7. Przykłady zmiennych językowych dla zapasów .....	39
Rys. 3.1. Dwuwymiarowa integracja procesów wytwórczych .....	50
Rys. 3.2. Cechy systemów niebazodanowych .....	53
Rys. 3.3. Ilustracja algorytmu znakowania partii wyrobów .....	55
Rys. 3.4. Przykłady problemów optymalizacji funkcjonalności .....	57
Rys. 4.1. Ocena efektywności w procesie realizacji zmian .....	67
Rys. 4.2. Współzależność procesów w organizacji .....	70
Rys. 4.3. Systemowa koncepcja oceny efektywności zmian procesów planistyczno-sterujących .....	72
Rys. 5.1. Model związków transformacji makro- i mikrosystemowych .....	81
Rys. 5.2. System operacyjny warunkiem działalności operacyjnej .....	87
Rys. 5.3. Przykład wieloznaczności terminologicznej .....	91
Rys. 5.4. Przykład metamodelu terminologicznego .....	92



---

## Spis tabel

Tab. 1.1. Fazy rozwoju systemu IT .....	12
Tab. 1.2. Przykłady typów organizacji i ich bazodanowych odpowiedników .....	16
Tab. 1.3. Charakterystyka telepracy .....	19
Tab. 1.4. Cechy poszukiwanej metody optymalizacyjnej .....	22
Tab. 2.1. Komponenty metacechy samoorganizacji z przykładami przyrodniczo-gospodarczymi .....	29
Tab. 2.2. Różnice między systemem eksperckim a oprogramowaniem klasycznym .....	30
Tab. 2.3. Macierz zależności między środkami transportowymi ISP a cechami jego systemu transportu (fragment) .....	37
Tab. 2.4. Mała odległość międzystanowiskowa – $OM_M$ , w zależności od odległości między stanowiskami $O$ w metrach .....	38
Tab. 2.5. Znaczna pochyłość toru – $PT_Z$ , w zależności od pochyłości toru $P$ w % .....	38
Tab. 2.6. Trendy inżynierii zarządzania w powiązaniu ze zmianami paradygmatów i technologii (IT) .....	41
Tab. 2.7. Modelowe zależności między hierarchiami w sferze produkcji i biologii .....	43
Tab. 3.1. Poziomy wytwórczej integracji pionowej .....	49
Tab. 3.2. Wymagania dla bazy danych ISP .....	52
Tab. 3.3. Parametry IP sterowania liniami produkcyjnymi .....	54
Tab. 3.4. Schematy drukowania MESLIPRI .....	54
Tab. 3.5. Dane dostawcze MESFISH .....	55
Tab. 3.6. Dane wytwórcze MESCHRSQ .....	56
Tab. 3.7. Przykład projektowej tabeli morfologicznej .....	59
Tab. 3.8. Katalog wybranych sytuacji dla zdefiniowanego rozwiązania projektowego ...	59
Tab. 4.1. Charakterystyka ujęć pojęcia efektywności organizacji .....	62
Tab. 4.2. Cechy koncepcji oceny efektywności .....	63
Tab. 4.3. Charakterystyka procesu oceny zmian w organizacji .....	68
Tab. 4.4. Cele i mierniki zmian procesów planistyczno-sterujących .....	73
Tab. 5.1. Przykład reprezentacji relacji CENTRUM_PRODUKT .....	82
Tab. 5.2. Przykład reprezentacji relacji CENTRUM, $R$ – linia zrobotyzowana .....	82
Tab. 5.3. Przykład reprezentacji relacji PRODUKT, $K$ – produkt końcowy .....	83
Tab. 5.4. Zasady rozwoju systemu produkcyjnego .....	83
Tab. 5.5. Generacje ERP .....	88
Tab. 5.6. Wymagania ERP dla transformacji IS .....	88
Tab. 5.7. Aktualne trendy badawcze BPM .....	90
Tab. 5.8. Problemy modeli genezą metamodeli w przedsiębiorstwie .....	93
Tab. 6.1. Przykłady reaktywnej i proaktywnej konfiguracji dysków .....	95