

Ludmiła Zawadzka
Jarosław Badurek
Jolanta Łopatowska

INTELIGENTNE SYSTEMY PRODUKCYJNE

EWOLUCJA
I PROBLEMY ORGANIZACJI
PROJEKTÓW
INFORMATYCZNYCH

Ludmiła Zawadzka
Jarosław Badurek
Jolanta Łopatowska

INTELIĞENTNE SYSTEMY PRODUKCYJNE

EWOLUCJA
I PROBLEMY ORGANIZACJI
PROJEKTÓW
INFORMATYCZNYCH

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 2010

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

ISBN 978–83–7348–326–2

Spis treści

Wprowadzenie	5
Wykaz skrótów	7
Wstęp	11
Rozdział 1	
POJĘCIA PODSTAWOWE	13
1.1. System informacyjny w systemie produkcyjnym	13
1.2. Poziomy agregacji informacji	15
1.3. Inteligentny system produkcyjny	17
1.4. Transformacje organizacyjne	21
1.5. Czynniki efektywności projektowej	25
Rozdział 2	
GENEZA I RODZAJE INTELIGENTNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH	29
2.1. Elastyczność a inteligencja produkcyjna	29
2.2. Klasyczne i przyszłościowe systemy produkcyjne	36
2.3. Cechy ISP	46
Rozdział 3	
FALE I FAZY ROZWOJU ISP/IT	50
3.1. Paradygmat cykliczności transformacyjnej	50
3.2. Prawa rozwoju IT	54
3.3. Modele ewolucji rozwoju ISP	59
Rozdział 4	
TRANSFORMACJE W PROCESACH PLANISTYCZNO-STERUJĄCYCH	64
4.1. Istota planowania i sterowania w systemach produkcyjnych	64
4.2. Klasyczne metody planowania i sterowania	70
4.3. Kierunki zmian w procesach planistyczno-sterujących	71
4.4. Zarządzanie zmianą procesów planistyczno-sterujących	74
4.4.1. Zidentyfikowanie potrzeby zmian	76
4.4.2. Lider i zespół zmian	77
4.4.3. Wizja i cele zmiany	78
4.4.4. Planowanie zmiany	79
4.4.5. Szkolenia i wdrażanie zmiany	81
4.4.6. Ocena i kontynuacja zmiany, informowanie	83

Rozdział 5	
PROBLEMY ORGANIZACJI PROJEKTÓW IT W ISP	86
5.1. Zjawiska kryzysowe inżynierii softwarowej	86
5.2. Pozatechniczne czynniki sukcesów projektowych	90
5.3. Modele referencyjne ładu korporacyjnego.	96
Rozdział 6	
WNIOSKI	101
BIBLIOGRAFIA	105

Wprowadzenie

Niniejsza monografia jest wynikiem realizacji przez autorów pierwszego etapu projektu badawczego nr NN115015237, pt. *Optymalizacja technologii informacyjnych w inteligentnych systemach produkcyjnych. Aspekty techniczne i pozatechniczne* kierownik Ludmiła Zawadzka, wykonawcy: Jarosław Badurek, Jolanta Łopatowska.

Uposzczelnienie całościowych wyników badań z realizacji projektu badawczego w monografiach przewidziano w następującym układzie:

Część 1.: *Inteligentne systemy produkcyjne – ewolucja i problemy organizacji projektów informatycznych.*

Część 2.: *Optymalizacja IT w ISP – aspekty techniczne i pozatechniczne.*

Część 3.: *Systemy produkcyjne nowej generacji – modele interdyscyplinarne.*

Na **genezę projektu** złożyły się problemy związane z poszukiwaniem efektywnych metod projektowania i wdrażania systemów produkcyjnych, należących do kręgu podstawowych kierunków prac badawczych o istotnym znaczeniu w nauce o inżynierii i zarządzaniu produkcją. Jednocześnie charakterystyki trendów dotyczących znaczenia technologii informacyjnych w sferze wytwórczej oraz analiza ideału jakim są Inteligentne Systemy Produkcyjne (ISP) stanowi szeroki i aktualny obszar badawczy, zarówno w sferze teoretycznej jak i zastosowań praktycznych. Dalszych badań wymagają także modele optymalizacyjne dla zarządzania transformacjami w produkcyjnych procesach planistyczno-sterujących.

Przedmiotem projektu są badania związane z identyfikacją ewolucji, kierunków rozwojowych ISP oraz problemów w sferze optymalizacji i zmian ich sfery IT (*Information Technology*) wraz z propozycjami i przykładami rozwiązań modelowych i praktycznych.

Główny cel projektu stanowi interdyscyplinarna systematyzacja czynników transformacyjnych systemu produkcyjnego w kategoriach informacyjnych z uwzględnieniem empirii przemysłowej, tj. modele oceny efektywności zmian projektowych i realizacyjnych w ISP w sferze projektowania, planowania, sterowania i zarządzania zmianą dla dyskretnych systemów produkcyjnych z uwzględnieniem technicznych, organizacyjnych, ekonomicznych i społecznych aspektów. Cel taki wymaga opracowania modeli optymalizacji technologii informatycznych w inteligentnych systemach produkcyjnych i ich zweryfikowanie w warunkach praktyki przemysłowej.

Niniejsza praca dotyczy systematyzacji faz rozwoju ISP w oparciu o zintegrowane rozumienie inteligencji organizacji, efektywnie łączącej naturalną inteligencję człowieka z jego otoczeniem wytwórczym. Przeprowadzono przy tym analizę metod planowania i sterowania produkcją, z uwzględnieniem zmiennych czynników o charakterze organiza-

cyjnym i technicznym. Jednocześnie wyspecyfikowano przyczyny kryzysowych zjawisk w sferze IT, np. niewystarczające rozpoznanie fenomenu informacji, niestosowanie modeli referencyjnych czy niedoceniecie pozatechnicznych aspektów przedsięwzięć optymalizacji IT.

Wykaz skrótów

3D	– trójwymiarowy, <i>Three-Dimensional</i>
4GL	– język czwartej generacji, <i>4th Generation Language</i>
AC	– afektywne przetwarzanie, <i>Affective Computing</i>
AI	– sztuczna inteligencja, <i>Artificial Intelligence</i>
AMT	– zaawansowane technologie wytwarzania, <i>Advanced Manufacturing Technology</i>
ANP	– analiza sieciowa procesu, <i>Analytical Network Process</i>
ANSI	– Amerykański Krajowy Instytut Normalizacyjny, <i>American National Standards Institute</i>
ARIS	– Architektura Zintegrowanych Systemów Informacyjnych, <i>Architectur of Integrated Information Systems</i>
ARPA	– Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych, <i>Advanced Research Projects Agency</i>
BMS	– bioniczny system wytwórczy, <i>Bionic Manufacturing System</i>
BOM	– lista części, <i>Bill Of Materials</i>
BPEL	– <i>Business Process Execution Language</i> (język definiowania procesów biznesowych)
BPM	– zarządzanie procesami biznesowymi, <i>Business Process Management</i>
BPR	– reorganizacja procesów biznesowych, <i>Business Process Reengineering</i>
CAD	– komputerowo wspomagane projektowanie, <i>Computer Aided Design</i>
CAM	– komputerowo wspomagane wytwarzanie, <i>Computer Aided Manufacturing</i>
CEO	– dyrektor generalny, prezes zarządu, <i>Chief Executive Officer</i>
CI	– ciągłe doskonalenie, <i>Countinous Improvement</i>
CIM	– komputerowo zintegrowane wytwarzanie, <i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CMM	– model dojrzałości organizacyjnej, <i>Capability Maturity Model</i>
CMMI	– zintegrowany model dojrzałości organizacyjnej, <i>Capability Maturity Model Integration</i>
COBIT	– cele kontrolne dla technologii informacyjnych i powiązanych, <i>Control Objectives for Information and related Technology</i>
COCOMO	– konstruktywny model kosztowy, <i>COConstructive COst Model</i>
CODASYL	– organizacja opracowująca języki programowania, <i>COConference on DAta SYstems Languages</i>
COMIC	– konwersacyjne, wielomodalne współdziałanie z komputerami, <i>Conversational Multimodal Interaction with Computers</i>
CONWIP	– ciągła praca w procesie, <i>Constant Work in Process</i>
COPSEMO	– konstruktywny model planowanych faz i nakładów, <i>COConstructive Phase Scheduled and Effort Model</i>
CORADMO	– konstruktywny model szybkiego tworzenia aplikacji, <i>COConstructive Rapid Application Development Model</i>
CORBA	– powszechna architektura komunikowania się obiektów, <i>Common Object Broker Request Architecture</i>
COSO	– organizacja wspierająca prawidłowość finansowego kontrolingu i reportingu, <i>Com-mittee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission</i>
CRAD	– kompozycja szbkiego tworzenia aplikacji, <i>Composition Rapid Application Deve-lopment</i>

-
- CRM – zarządzanie relacjami z klientami, *Customer Relationship Management*
 - CRP – planowanie zdolności produkcyjnych, *Capacity Requirements Planning*
 - C/S – klient/serwer, *Client/Server*
 - DBR – werbel-bufor-lina, *Drum-Buffer-Rope*
 - DMAIC – Definiuj, Mierz, Analizuj, Implementuj poprawę, Kontroluj, *Define-Measure-Analyze-Improve-Control*
 - DNA – kwas dezoksyrybonukleinowy, *DeoxyriboNucleic Acid*
 - DNC – bezpośrednie sterowanie numeryczne, *Direct Numerical Control*
 - DOE – projektowanie eksperymentów, *Design of Experiments*
 - EAS – elektroniczny monitoring produktów, *Electronic Article Surveillance*
 - EDI – elektroniczna wymiana danych, *Electronic Data Interchange*
 - EFQM – Europejska Fundacja Zarządzania Jakością, *European Foundation for Quality Management*
 - ENIAC – Elektroniczny, Numeryczny Integrator i Komputer, *Electronic Numerical Integrator And Computer*
 - EQ – iloraz emocji, *Emotional Quotient*
 - ERP – planowanie zasobów przedsiębiorstwa, *Enterprise Resource Planning*
 - ESM – Elastyczny System Montażowy
 - ESP – Elastyczny System Produkcyjny
 - ESW – Elastyczny System Wytwórczy
 - FAS – elastyczny system montażowy, *Flexible Assembly System*
 - FFMS – system wytwórczy fabryki fraktalnej, *Fractal Factory Manufacturing System*
 - FIFO – pierwszy na wejściu, pierwszy na wyjściu, *First In, First Out*
 - FMEA – analiza rodzajów i skutów błędów, *First Failure Modes and Effects Analysis*
 - FMS – elastyczny system produkcyjny, *Flexible Manufacturing System*
 - FP – punkty funkcyjne, *Function Points*
 - FRAD – całościowy system szybkiego tworzenia aplikacji, *Full-System Rapid Application Development*
 - GRI – Genetyczna Reprezentacja Informacji
 - GRAD – generator szybkiego tworzenia aplikacji, *First Generator Rapid Application Development*
 - HACCP – Analiza Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli, *Hazard Analysis and Critical Control Points*
 - HMS – holoniczny system wytwórczy, *Holonic Manufacturing System*
 - HT – wysokozwinięta technologia, *High Technology*
 - IC – układ scalony, *Integrated Circuit*
 - ICOT – Instytut Technologii Komputerów Nowej Generacji, *Institute for New Generation Computer Technology*
 - iERP – internetowe planowanie zasobów przedsiębiorstwa, *Internet Enterprise Resource Planning*
 - IKBS – inteligentny system wiedzy, *Intelligent Knowledge Based System*
 - IMS – inteligentny system wytwórczy, *Intelligent Manufacturing System*
 - IOC – wstępne zdolności operacyjne, *Initial Operational Capability*
 - IQ – iloraz inteligencji, *Intelligence Quotient*
 - ISACA – Stowarzyszenie Audytów i Kontroli Systemów Informacyjnych, *Information Systems Audit and Control Association*
 - ISO – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna, *International Organization for Standardization*
 - ISP – Inteligentny System Produkcyjny
 - IT – technologia informacyjna, *Information Technology*
 - ITGI – Instytut Ładu Korporacyjnego Technologii Informacyjnych, *Information Technology Governance Institute*
 - ITIL – biblioteka infrastruktury technologii informacyjnych, *Information Technology Infrastructure Library*

JiT	– dokładnie na czas, <i>Just in Time</i>
KSLOC	– linie kodu źródłowego w tysiącach, <i>Kilo Source Lines Of Code</i>
LAN	– lokalna sieć komputerowa, <i>Local Area Network</i>
LCA	– architektura w cyklu projektowym, <i>Life Cycle Architecture</i>
LCO	– cele cyklu projektowego, <i>Life Cycle Objectives</i>
LoC	– linia kodu, <i>Line of Code</i>
MAS	– system multiagentowy, <i>Multi-Agent-System</i>
MBASE	– modelowo bazowany system architektury i inżynierii softwarowej, <i>Model Base System Architecting and Software Engineering</i>
MINO	– modelu tylko z nazwy, <i>Model In Name Only</i>
MPS	– główny harmonogram produkcji, <i>Master Production Scheduling</i>
MRP	– planowanie zapotrzebowania materiałowego, <i>Material Requirements Planning</i>
NC	– komputer sieciowy, <i>Network Computer</i>
NGMS	– system wytwórczy następnej generacji, <i>Next Generation Manufacturing System</i>
OD	– osobodzień
ODF	– otwarta fabryka cyfrowa, <i>Open Digital Factory</i>
OE	– nakłady operacyjne, <i>Operating Expenses</i>
OLAP	– przetwarzanie analityczne <i>online</i> , <i>OnLine Analytical Processing</i>
OM	– osobomiesiąc
OSF	– fundacja systemów otwartych, <i>Open System Foundation</i>
PC	– komputer osobisty, <i>Personal Computer</i>
PECS	– warunki fizyczne, stan emocjonalny, zdolności kognitywne, status społeczny, <i>Physical Emotional state, Cognitive capabilities conditions, Social status</i>
PF	– osobisty fabrykator, <i>Personal Fabricator</i>
PL/1	– język programowania/jeden, <i>Programming Language One</i>
PMBOK	– zbiór wiedzy zarządzania projektami, <i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	– Instytut Zarządzania Projektami, <i>Project Management Institute</i>
PRINCE	– projekty w sterowanym środowisku, <i>PRojects IN a Controlled Environment</i>
RAD	– szybkie tworzenie aplikacji, <i>Rapid Application Development</i>
RAID	– nadmiarowa macierz niezależnych dysków, <i>Redundant Array of Independent Disks</i>
RAM	– pamięć o dostępie swobodnym, <i>Random Access Memory</i>
RDF	– format opisu zasobów, <i>Resource Description Framework</i>
RFID	– identyfikacja falami elektromagnetycznymi, <i>Radio Frequency Identification</i>
ROM	– pamięć tylko do odczytu, <i>Read-Only Memory</i>
RUP	– racjonalnie zunifikowany proces, <i>Rational Unified Process</i>
SCM	– <i>Supply Chain Management</i> (zarządzanie łańcuchem dostaw)
SCOR	– model referencyjny łańcucha dostaw, <i>Supply Chain Operation Reference</i>
SE	– inżynieria softwarowa, <i>Software Engineering</i>
SI	– System Informacyjny
SO	– system otwarty, <i>Open System</i>
SOA	– architektura zorientowana usługowo, <i>Service-Oriented Architecture</i>
S&OP	– planowanie sprzedaży i operacji, <i>Sales and Operations Planning</i>
SQL	– strukturalny język zapytań, <i>Structured Query Language</i>
TOC	– teoria ograniczeń, <i>Theory of Constraints</i>
TOGAF	– szkielet architektury Otwartej Grupy, <i>The Open Group Architecture Framework</i>
TQL	– totalne przewodnictwo jakościowe, <i>Total Quality Leadership</i>
TQM	– kompleksowe zarządzanie przez jakość, <i>Total Quality Management</i>
UML	– Zunifikowany Język Modelowania, <i>Unified Modelling Language</i>
VLSI	– bardzo duża skala integracji, <i>Very Large Scale Integration</i>
VMN	– wirtualna sieć wytwórcza, <i>Virtual Manufacturing Network</i>
VR	– rzeczywistość wirtualna, <i>Virtual Reality</i>
WAN	– rozległa sieć komputerowa, <i>Wide Area Network</i>
Y2K	– problem roku 2000, <i>Year 2 Kilo</i> .

Wstęp

Rosnąca złożoność procesów produkcyjnych współczesnego przedsiębiorstwa wymaga konstruowania odpowiednich modeli dla podnoszenia jego efektywności. Z kolei prawdopodobieństwo utrzymania się przedsiębiorstwa na rynku w dużym stopniu zależy od poziomu realizowanej w nim strategii konkurencyjności. Efektywność tej strategii jest tym większa, im bardziej procesy produkcyjne zbliżone są do stanu **organizacyjnej autoregulacji**. Stan taki odpowiada **biologicznej homeostazie**, co wskazuje na znaczenie konstruowania modeli o charakterze interdyscyplinarnym (bioorganizacyjnym). W szczególności, dalszych badań wymagają także modele optymalizacyjne dla zarządzania transformacjami w produkcyjnych procesach planistyczno-sterujących. Poszukiwanie efektywnych metod projektowania i wdrażania systemów produkcyjnych należy do podstawowych kierunków prac badawczych o istotnym znaczeniu dla nauki o inżynierii i zarządzaniu produkcją. Jednocześnie rośnie znaczenie informacji w systemie produkcyjnym. Charakterystyki trendów dotyczących znaczenia technologii informacyjnych w sferze wytwórczej oraz analiza ideału, jakim są Inteligentne Systemy Produkcyjne (ISP) stanowi szeroki i aktualny obszar badawczy, zarówno w sferze teoretycznej jak i zastosowań praktycznych.

- Podstawowy **cel projektu** (s. 5) implikuje następujące **zagadnienia badawcze** (część 1):
- systematyzację podstawowych pojęć przedmiotowego obszaru badawczego ze szczególnym uwzględnieniem informacji,
 - zintegrowane zdefiniowanie inteligencji organizacji, efektywnie łączącej naturalną inteligencję człowieka z jego otoczeniem wytwórczym,
 - specyfikację ewolucyjnych faz rozwojowych elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) jako genyzy ISP,
 - klasyfikację metod planowania i sterowania produkcją, z uwzględnieniem zmiennych czynników o charakterze organizacyjnym i technicznym,
 - określenie przyczyn kryzysowych zjawisk w sferze IT, model wieloaspektowy, kładący nacisk na czynniki pozatechniczne.

Zasoby materialne (kapitałowe) przedsiębiorstwa tracą na znaczeniu, a podstawowym czynnikiem jego sukcesu staje się informacja (wiedza). Klasyczne już **paradygmaty rozwoju** przedsiębiorstwa, takie jak szkoła instytucjonalno-ekonomiczna czy biologiczno-behawioralna nie wystarczają, aby mogło ono w pełni odpowiedzieć na wyzwania globalnego społeczeństwa informacyjnego. Istnieje potrzeba ich ściślejszego integrowania, co prowadzi do przyjęcia następujących założeń:

1. Konstruowane **modele zarządzania** z informatyzowanym środowiskiem wytwórczym przyczyniają się do zmniejszenia luki poznawczej, jaką jest brak uniwersalnych i efektywnych metod projektowania komputerowego wspomaganych systemów ISP.
2. Niedocenianie **pozatechnicznych aspektów** modelowania systemów IT pogarsza wskaźniki efektywności przedsiębiorstwa, co w szczególny sposób uwidacznia się w systemach ISP z uwagi na ich wysokie wymagania organizacyjne.

3. Złożoność sfery wytwórczo-logistycznej ISP wymaga łączenia wiedzy ekonomiczno-organizacyjnej z techniczno-informatyczną dla wyeliminowania **zjawisk kryzysowych** w skojarzonych projektach IT.
4. Efektywność procesu produkcyjnego jest zależna od jego elementów składowych. W szczególności jednym z nich jest podsystem informatyczny i skojarzone z nim modele zarządzania oraz sposób ich implementacji w praktyce. Zastosowanie **modeli referencyjnych** pozwala na zwiększenie efektywności ekonomicznej i pozaekonomicznej systemu produkcji.

Tekst monografii podzielono na pięć rozdziałów. W **rozdziale pierwszym** sprecyzowano szereg podstawowych terminów, przede wszystkim bezpośrednio wynikających z tematu pracy. Są to w szczególności następujące pojęcia:

- system informacyjny,
- system produkcyjny,
- organizacja produkcji,
- informacja,
- inteligentny system produkcyjny.

Szereg definicji sformułowano w kategoriach teoriomnogościowych, zwracając uwagę na zjawiska ewolucji systemów produkcyjnych oraz IT. Odrębnej analizie poddano fenomen transformacji organizacyjnych oraz czynniki efektywności projektowej.

W **rozdziale drugim**, na podstawie wybranych przykładów, pokazano genezę i ewolucję inteligentnych systemów produkcyjnych. Jako punkt wyjścia przyjęto tu wyspecyfikowane związki między metacechą elastyczności a inteligencją produkcyjną. Porównano klasyczne i przyszłościowe systemy produkcyjne, uwzględniając m.in. modele bioorganizacyjne (bioniczne) i holoniczne. W efekcie określono cechy inteligentnego systemu produkcyjnego w kontekście interdyscyplinarnego paradygmatu komputerowego wspomagania zarządzania.

Rozdział trzeci dotyczy ewolucji elastycznych systemów produkcyjnych, w których podstawowym rodzajem elastyczności jest informacyjna. Rozwijając wnioski wynikające z klasyfikacji systemów produkcji, rozważono problem prognozowalności transformacji organizacyjnych, wskazując na ich cykliczność. Uszczegółowiono systematyzację faz ewolucji ISP, pokazując prawa rządzące rozwojem IT, nawiązując przy tym do charakterystyki ekonomii cyfrowej (sieciowej). Pozwoliło to na zbadanie szeregu modeli ewolucji ISP co zreasumowano w końcowej części rozdziału.

Rozdział czwarty poświęcony jest istocie planowania i sterowania w systemach produkcyjnych i związanymi z tym procesami transformacji organizacyjnych. Szczegółnej analizie poddano etapy procesu realizacji zmiany zwracając uwagę na rolę takich czynników organizacyjnych jak komunikacja i informowanie. Uwzględniono przy tym zarówno rozwiązania klasyczne jak i przyszłościowe, pokazując kierunki zmian w badanym obszarze.

W **rozdziale piątym** zidentyfikowano podstawowe problemy organizacji projektów informatycznych w sferze ISP. W tym celu dokonano specyfikacji przyczyn kryzysowych zjawisk inżynierii softwarowej, odrębnie traktując czynniki pozatechniczne. W związku z tym zaproponowano strategię pomocne w znajdowaniu optimum organizacyjnych, uwzględniając modele referencyjne ładu korporacyjnego.

W zakończeniu monografii sformułowano szereg wniosków oraz nakreślono dalsze kierunki badawcze wynikające z opracowywanego tematu. Zwrócono przy tym uwagę na prognostyczne podejście do zarządzania procesami w przedsiębiorstwie i związane z tym modele ewolucji ESP w kierunku ISP.

Pojęcia podstawowe

Aktualnie istnieje potrzeba konstruowania uniwersalnych modeli w sferze produkcyjno-logistycznej [38]. Jednocześnie badanie ewolucji systemów ESP w kierunku ISP wymaga modeli integrujących teorię informacji z praktyką gospodarczą, tj. modeli o charakterze **interdyscyplinarnym**. Mechanizm homeostazy, na którym bazuje koncepcja ISP dotyczy utrzymywania równowagi procesowej przedsiębiorstwa również w wymiarze makroekonomicznym [111]. Jednocześnie w pracy [107] wykazano, że z dynamiką zmian lepiej radzą sobie przedsiębiorstwa posiadające systemowe strategie zarządzania wiedzą. W niniejszym rozdziale sprecyzowano szereg podstawowych terminów, przede wszystkim bezpośrednio wynikających z tematu monografii. Są to w szczególności takie pojęcia jak: system informacyjny, system produkcyjny, organizacja produkcji, informacja, inteligentny system produkcyjny.

Szereg definicji sformułowano w kategoriach teoriomnogościowych, zwracając uwagę na zjawiska ewolucji systemów produkcyjnych oraz IT. Odrębną analizie poddano fenomen transformacji organizacyjnych oraz czynniki efektywności projektowej. Ostatni z wymienionych elementów ma kluczowe znaczenie dla efektywności projektowej ISP i został poddany szczegółowej analizie w dalszych rozdziałach. Główne postulaty reengineeringu oraz taksonomię metod stosowanych w restrukturyzacji przedsiębiorstw podano w pracy [112].

Pod pojęciem **efektywności projektowej** rozumiemy zdolność do realizacji złożonych celów projektowych zgodnie z ich zdefiniowaną jakością, w zaplanowanym czasie oraz w ramach zaplanowanych środków, w tym finansowych i osobowych. Projekt efektywny zostaje zrealizowany sprawnie (tj. optymalnie w odniesieniu do nakładów niezbędnych dla osiągnięcia celów) oraz skutecznie (tj. cele zostały dobrane i wdrożone właściwie z punktu widzenia przedsiębiorstwa). Dla pomiaru efektywności projektowej wykorzystuje się różne cząstkowe i syntetyczne miary wykorzystania zasobów [34, 66, 118].

1.1. System informacyjny w systemie produkcyjnym

Systemy informacyjne definiowane są w sposób sformalizowany na gruncie matematycznej teorii informacji. Definicje te, z uwagi na swój bezkontekstowy charakter, mniej nadają się do praktycznych zastosowań gospodarczych. Liczna jest także grupa definicji o charakterze opisowym, np. pod pojęciem systemu informacyjnego (*information system*) można rozumieć „maszyny i ludzi wytwarzających i/lub wykorzystujących informacje, połączonych wzajemnie relacjami komunikacyjnymi”. Innym podejściem jest wskazywanie na system informacyjny jako podsystem systemu gospodarczego, służący kierowaniu procesami występującymi w danym systemie gospodarczym.

Porównując różnorodne określenia informacji i systemów informacyjnych [116, 128, 129], za punkt wyjścia przyjęto definicję dostosowaną do potrzeb specyfiki komputerowo wspomaganych systemów informacyjnych [2]. Zakłada się bowiem, że wspomaganie takie jest niezbędne dla sprawnego działania dowolnego systemu informacyjnego, należącego do rozważanej klasy.

Przez system informacyjny rozumiemy zatem 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:

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

Z drugiej strony *tradycyjne modele systemów produkcyjnych z trudem radzą sobie z sytuacją, w której informacja jest coraz ważniejszym towarem i w której manewr informacją jest coraz ważniejszym procesem*. Wprowadzimy więc **model systemu produkcyjnego S** realizującego określone cele, gdzie mamy do czynienia z transformacjami (zmianami) Z, stanów materialnych M, odbywających się w czasoprzestrzeni (T, P), zgodnie z logiką definiowaną przez informację I. Mamy zatem środowisko produkcyjne opisane pięcioma kategoriami:

- wąsko rozumiana materia M (masa) podlegająca zmianom,
- energia E będąca fizyczną siłą napędową tych zmian,
- czas T będący miarą zmian (jedną z wielu),
- przestrzeń P (trójwymiarowa) będącą miejscem zmiany,
- informacja I określająca logikę tych zmian (informacja sterująca).

Owe 5 kategorii składa się na szeroko rozumianą materię, tj. świat realny (rzeczywistość) R. Podany model upraszczająco pomija efekty rekurencyjne, których uwzględnienie miało by znaczenie w aspekcie pozaprodukcyjnym (np. nie ma „czystej” informacji bez jej fizycznej reprezentacji, tak jak nie istnieją obiekty jedynie „fizyczne” bez skojarzonego z nimi ładunku informacyjnego). Jednocześnie przyjęty on został do specyfiki dyskretnej produkcji przemysłowej, w szczególności podsystemu wytwórczego, gdzie efektywnie przetwarzanym tworzywem jest materialny wyrób, a nie np. energia czy sama informacja. Model pomija tu znaczenie sfery finansowej, prawnej czy społecznej, które zostaną rozważone odrębnie. W prezentowanym ujęciu matematycznym człowiek reprezentowany jest przez czynnik informacyjny. Zachodzi więc:

$$S = \langle R, I \rangle \text{ względnie } S = \langle M, E, T, P, I \rangle \quad (1.4)$$

oraz

$$Z_i: S_i \rightarrow S_{i+1} \quad (1.5)$$

gdzie Z_i jest funkcją zmiany, transformującą celowo S ze stanu S_i do stanu S_{i+1} przy pomocy informacji I.

Na szczególną uwagę zasługuje również definicja systemu informacyjnego sformułowana przez J. Kisielnickiego oraz M. Srokę [70]: „...system informacyjny (SI) możemy określić jako wielopoziomową strukturę, która pozwala użytkownikowi tego systemu na transformowanie określonych informacji wejścia na pożądane informacje wyjścia za pomocą odpowiednich procedur i modeli”. W wyniku uzyskania tych informacji podejmowane są określone decyzje. Dlatego więc konkretny system informacyjny można rozpatrywać jako:

- wielopoziomową strukturę,
- element łańcucha decyzyjnego funkcjonujący w systemie zarządzania.

Z formalnego punktu widzenia system informacyjny (SI) dowolnej organizacji można przedstawić jako następujący zbiór elementów:

$$SI = \{P, I, T, O, M, R\} \quad (1.6)$$

gdzie: SI – system informacyjny danej organizacji,

P – zbiór podmiotów, które są użytkownikami systemu,

I – zbiór informacji o sferze realnej, czyli o jej stanie i zachodzących w niej zmianach, a więc tzw. zasoby informacyjne,

T – zbiór narzędzi technicznych stosowanych w procesie pobierania, przesyłania, przetwarzania, przechowywania i wydawania informacji),

O – zbiór rozwiązań systemowych stosowanych w danej organizacji, a więc stosowana formuła zarządzania (scentralizowana, rynkowa),

M – zbiór metainformacji, czyli opis systemu informacyjnego i jego zasobów informacyjnych,

R – relacje między poszczególnymi zbiorami.

W organizacji produkcji kluczowe znaczenie ma celowe przetwarzanie informacji, określających logikę zmian stanów materialno-energetycznych sfery produkcyjnej w czasoprzestrzeni. Tak rozumiana organizacja ma charakter trójaspекtowy:

- **organizacja jako proces** (przetwarzania informacji, a więc także ich kreowania, kasowania, zapamiętywania, przesyłania, modyfikowania, łączenia, agregowania, pozyskiwania, walidacji i weryfikacji, udostępniania i rozpowszechniania, zabezpieczenia),
- **organizacja jako narzędzie** (instrumentarium reguł, kompetencje, podział zadań i ich delegowanie, funkcje porządkujące zachowania nieformalne, integracja uwarunkowań kulturowych i in.),
- **organizacja jako struktura** instytucjonalna (normy prawne i umowy, misja i cele, pracownicy i partnerzy, połączenia z otoczeniem).

1.2. Poziomy agregacji informacji

W ujęciu klasycznym dane można modelować trójpoziomowo w postaci prostej (dane proste) i zagregowanej (dane złożone, informacje, wiedza). Na kolejnych poziomach agregacji można mówić o inteligencji, a nawet o sferze uczuciowej (AC, *Affective Computing*), której znaczenia nie można pominąć w modelowaniu systemu produkcyjnego. W jego centrum znajduje się bowiem człowiek wraz z całością swoich właściwości rzutujących na pozatechniczne aspekty przedsięwzięć technicznych (informatycznych).

Samo pojęcie informacji, będące jednym z fundamentalnych w wielu dziedzinach nauki, używane jest często nieprecyzyjnie, przyjmowane jako niedefiniowalne (podstawowe) bądź definiowane jedynie w sposób opisowy. Dalej proponuje się następującą **definicję**

informacji dla systemu produkcyjnego w ujęciu matematycznym. Niech dany będzie zbiór obiektów O , w N -wymiarowej przestrzeni informacyjnej ich możliwych parametrów P . Informacja jest wartością parametru $p \in P$ dla wymiaru $n \in N$ i dla obiektu $o \in O$. Mamy zatem do czynienia z pewną funkcją informacyjną f :

$$f = \{ (n, o, p) \mid n \in N, o \in O, p \in P, p = f(n, o) \} \quad (1.7)$$

Taka definicja odpowiada przede wszystkim pojęciu „dana”, w szczególności „dana prosta”. Złożenia danych prostych mogą prowadzić do danych zagregowanych.

Proponowana definicja uwzględnia fakt często zamiennego używania pojęć „dane” i „informacje”, przyjmując, że każdemu obiektowi można przyporządkować współrzędne w odpowiednio dobranym układzie przestrzeni informacyjnej, co koresponduje z zasadą **numerycznego opisu rzeczywistości** implikującego parametryzację obiektów. Proponowana matematyczna (numeryczna) definicja informacji jest uogólnieniem innych jej definicji, pozostając w niesprzeczności z nimi, np. informacja jako „treść zaczerpnięta ze świata zewnętrznego”, „informacja jako wiadomość, sygnał, komunikat”, „informacja jako prawdopodobieństwo wyboru”, „informacja w sensie entropicznym”, „informacja jako fenomen polimorficzny i koncept polisemantyczny” [42].

W systemie produkcyjnym (świecie rzeczywistym) mamy do czynienia z informacjami (danymi) prostymi oraz w różnym stopniu złożonymi (zagregowanymi). Zbiór wszystkich bazodanowych parametrów obiektu jest takim agregatem informacyjnym. Jeszcze bardziej złożone są informacje, które w języku potocznym określamy jako „sens” czy „wiedza”. Także i w takim przypadku można je jednak sprowadzić do określonych wartości przestrzeni informacyjnej. Szczególnym przypadkiem informacji jest **algorytm**. Również i tu mamy do czynienia z wartościami parametrów charakteryzujących algorytm w przestrzeni informacyjnej (algorytmów) czyli podprzestrzeni algorytmów. Każdy algorytm jest bowiem tekstem, np. w języku maszynowym, a zatem również obiektem o ustalonej kolejności użytych liter, wyrażen, procedur i innych elementów języka. Z kolei sama podprzestrzeń algorytmów jest niezwykle złożona z uwagi na nieograniczoną ilość możliwych do napisania algorytmów. Również i w obszarze języków sztucznych mamy do czynienia z **fenomenem generatywizmu** czyli języka jako zbioru zdań, który można wygenerować i opisać za pomocą formalnych reguł gramatyki.

Konsekwencje przyjętej definicji informacji i ich szczegółowy opis wykraczają poza ramy tematyczne niniejszej monografii, wymieńmy jedną z nich: kontekstowość informacji daje się odwzorować w przestrzeni informacyjnej (ontologia). Wniosek ten koresponduje z podejściem ontologicznego modelowania systemu produkcyjnego, co pozwala oczekiwać zminimalizowania jednego z głównych powodów niewymierności efektów stosowania IT w praktyce, jakim jest właśnie kontekstowość informacji. Na użytek informacyjnego modelowania systemów produkcyjnych definiujemy **ontologię** jako metajęzyk formalnego systemu reprezentacji wiedzy, określający pojęcia, relacje między nimi oraz reguły wnioskowania. Także wyrażenia ontologiczne standardu RDF (*Resource Description Framework*) również korespondują z trójelementową definicją informacji. Zasadnicza różnica polega na użyciu „wymiaru” dla kategoryzacji obiektów w numerycznej definicji informacji, podczas gdy w notacji RDF nacisk położono na definiowanie obiektów poprzez połączenia między nimi. Kategoryzacja obiektów RDF jest zatem efektem interpretacji sieci semantycznej przez pewien algorytm.

Na zakończenie tego punktu podajmy krótką genezę proponowanej definicji informacji w kontekście definicji Langeforsa [44]:

a) definicja danej elementarnej jako krotki:

<nazwa obiektu, cecha obiektu, wartość cechy, czas>

b) definicja informacji I jako wartości funkcji interpretacyjnej i dla danych D w czasie T i na podstawie pre-wiedzy S (*pre-knowledge*):

$$I = i(D, S, T) \quad (1.8)$$

W przypadku a) mamy wyraźny kontekst bazodanowy i ograniczenie do danych elementarnych, natomiast w definicji b) na tej podstawie generowane są informacje przez człowieka i jego wiedzę. W obu przypadkach wyróżniono czynnik czasu. Z kolei definicja proponowana w niniejszym rozdziale rezygnuje z czynnika czasu, traktując go w kategoriach fizycznych. Owszem, czas jako miara zmiany (jedna z wielu) też może być informacją. Jednocześnie zrezygnowano z pojęcia funkcji interpretacyjnej, związanej z wiedzą obserwatora, wprowadzając ogólną funkcję informacyjną, związaną z pojęciem uniwersalnej przestrzeni informacyjnej.

1.3. Inteligentny system produkcyjny

Szereg definicji **sztucznej inteligencji** AI (*Artificial Intelligence*) podano porównawczo i skategoryzowano w pracy [123]. Z punktu widzenia praktyki gospodarczej możemy zatem syntetycznie stwierdzić, że AI jest działem informatyki, którego celem jest tworzenie oprogramowania naśladowującego inteligentne zachowania człowieka. Mamy tu do czynienia z inteligencją będącą efektem działań inżynierskich (technologia), a nie procesów naturalnych. W szczególności sfera AI obejmuje takie problemy jak:

- przetwarzanie języka naturalnego,
- zarządzanie wiedzą,
- podejmowanie decyzji (w warunkach niepełnej informacji),
- wnioskowanie (systemy ekspertowe),
- niestandardowe algorytmy (np. genetyczne, neuronalne, rozmyte).

Jednocześnie istnieje podział metod AI na „silne” (*strong*) i „słabe” (*weak*) [125]. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z ideą wiernego naśladowania procesów myślowych i świadomości człowieka (sztuczny umysł), w drugim celem jest fragmentaryczna symulacja działań ludzkich dla celów praktycznych. Z punktu widzenia zastosowań gospodarczych główne znaczenie posiada aktualnie ów drugi nurt badawczy zwany także inteligencją techniczną.

Za inteligentny (IMS, *Intelligent Manufacturing System* [61]) uważamy taki system produkcyjny, który efektywnie integruje inteligencję ludzką z jej materialnym otoczeniem wytwórczym. Zakładamy zatem, że naturalna inteligencja człowieka może podlegać ograniczeniom w złożonym „nieinteligentnym” systemie produkcyjnym. Celem projektowania tak rozumianych, **inteligentnych systemów produkcyjnych** nie jest więc autonomiczny, zautomatyzowany system zdolny do inteligentnych zachowań jako całość w sensie „silnej” sztucznej inteligencji (*strong artificial intelligence*). Owszem, zaproponowana definicja uwzględnia elastyczność systemu produkcyjnego. Jednocześnie, realistycznie traktując

aktualne możliwości technologii informatycznych IT (*information technology*), nie wyklucza ona stosowania AI jako rozwiązań cząstkowych w podsystemach przedsiębiorstwa. Również w obszarze IMS przyjęto, że **najefektywniejszym rodzajem inteligencji jest naturalna, co koresponduje z bioorganizacyjnym paradygmatem sfery produkcyjnej**.

O elastyczności systemu produkcyjnego decyduje zatem poziom jego informatyczności, tj. poziom jego informatycznego wspomagania. W czasach przedinformatycznych mieliśmy do czynienia z systemami produkcyjnymi, których informacyjność miała charakter werbalny, piśmienniczy (rękopisy, druk), a także elektryczny (telegraf, telefon), a nawet elektroniczny (radio, telewizja przemysłowa) ale nie komputerowy, co istotnie ograniczało ich elastyczność. Ograniczenia te występują nadal, gdyż wymienione formy informacyjności znajdujemy także we współczesnych systemach produkcyjnych. W związku z tym możemy wyróżnić **pięć rodzajów elastyczności informacyjnej** w zależności od zasięgu komputerowego wspomagania organizacji produkcji (tab. 1.1).

Tabela 1.1

Rodzaje elastyczności informacyjnej

Rodzaj elastyczności	Czas powstania (zgrubnie dekadowo)	Cechy	Przykłady
funkcyjna	lata 60.	wspomaganie pojedynczych funkcji	drukowanie statystyk sprzedaży
grup funkcji	lata 70.	wspomaganie wydziałów	zarządzanie zapasami w gospodarce magazynowej
procesowa	lata 80.	przejście do organizacji procesowej	całościowe pakiety ERP
partnerska	lata 90.	integracja wielu przedsiębiorstw	standardy EDI, <i>e-commerce</i> , CRM, <i>customer replenishment</i>
sieciowa	pierwsza dekada XXI w.	globalna ekonomia sieciowa	rozproszone usługi webowe, ontologiczne bazy danych, SOA

Skróty w tabeli: EDI – *Electronic Data Interchange*, CRM – *Customer Relationship Management*, SOA – *Service-Oriented Architecture*. Źródło: [153]

Proponowana klasyfikacja jest w znacznej mierze niezależna od poziomu stosowanej inteligencji informatycznej w sensie AI (*Artificial Intelligence*). Ta ostatnia może być stosowana zarówno na poziomie implementacji wyspowych (*stand alone*) lub w odniesieniu do całości systemu produkcyjnego. Możemy przy tym wyróżnić trzy rodzaje stosowanych algorytmów:

- algorytmy bez sprzężenia zwrotnego, np. odpowiadające na bazodanowe zapytania typu „podaj wykaz surowców krytycznych ze względu na zapotrzebowanie”,
- algorytmy ze sprzężeniem zwrotnym, np. modyfikujące harmonogramy produkcyjne ze względu na optimum czasowe (przebrojenie linii) z uwzględnieniem zmiennych czasów dostaw surowców,
- algorytmy samouczące się czyli inteligentne.

W tym ostatnim przypadku mamy do czynienia z cechą systemu produkcyjnego ciągle mającą w znacznym stopniu charakter postulatyczny, jednak niezbędną dla nowej generacji IMS/NGMS (*Next Generation Manufacturing System*). Zgodnie z definicjami i przykłada-

mi ze wstępu do p. 1.3, postrzegając **inteligencję jako zdolność do przetwarzania wiedzy** (a więc także do jej kreowania), widzimy, że środkiem do osiągnięcia tego celu jest przezwyciężanie kontekstowości informacji na drodze ontologicznego modelowania systemu produkcyjnego w oparciu o SOA.

Podejście ontologiczne [5] integruje zatem szereg strategii kontrolowania kompleksowości rzeczywistości:

- metodę zstępowania (*top-down*),
- generalizowanie metodą wstępowania (*bottom-up*),
- tworzenie systemów upraszczanie powielalnych poprzez standaryzację,
- antropomorfizację aplikacji (ergonomia).

Zwłaszcza ostatni aspekt odgrywa kluczową rolę, mówimy bowiem *de facto* o przetwarzaniu języka naturalnego. Ontologiczna baza danych (sieć semantyczna) nie składa się bowiem z danych (prostych, zagregowanych), ale z wyrażień (zdań) postaci <podmiot, orzeczenie, dopełnienie> czyli, w notacji RDF (*Resource Description Framework*), <*resource, property, object*>, gdzie sam obiekt może być kolejnym zasobem (podmiotem) bądź daną (literal).

Kolejnym problemem jest sposób implementacji ontologii. Aktualnie obiecującym podejściem w rozważanym obszarze jest SOA. Zdefiniujmy ten termin jako **model organizacji IT, integrujący procesy gospodarcze przedsiębiorstwa ze standaryzowaną platformą rozproszonych usług programowych, w szczególności webowych**. Proponowana wyżej definicja łączy w sobie dwa pozornie sprzeczne elementy: centralizację i decentralizację czyli architekturę integrującą rozproszone usługi. Paradoks ów łączy się wszakże z modelem organizacji uważanym za najdoskonalszy, bo wzorowanym na niedościgłych wzorach naturalnych, tj. z paradygmatem bioorganizacyjnym [133]. Biorarchia (*bionic hierarchy* – hierarchia bioniczna) oznacza bowiem rozproszone struktury cechujące się znacznym stopniem odpowiedzialności lokalnej i agregowane poziomami aż do najwyższego z nich (np. w organizmie człowieka – mózg). Taka struktura jest bardziej efektywna i elastyczna niż tradycyjne, scentralizowane hierarchie. Natomiast skojarzony z nią postulat genetycznej reprezentacji informacji (GRI) ma gwarantować zdolność jej dziedziczenia charakterystyczną dla metod obiektowych (*object oriented*).

Pytanie o aktualne możliwości implementacji komputerowego wspomaganie procesów produkcyjnych w oparciu o SOA nasuwa porównania z wcześniejszymi trendami inżynierii softwarowej (*software engineering*, SE). W latach 70. były to metody strukturalne, w 80. wspomniane obiektowe, a w 90. systemy otwarte. Wszystkie te podejścia przedstawiano w swoim czasie jako panaceum na problemy IT, co okazało się nierealne, choć poszczególne elementy tych idei są z powodzeniem stosowane także obecnie. Na przykład **obiektość** rozpowszechniła się w sferze języków programowania, natomiast nie wyparła relacyjnych baz danych, a jedynie uzupełnia je o nowe właściwości. Niemniej, w porównaniu do tych metod, **charakterystyczne dla SOA jest zdecydowane wyjście poza czysto narzędziowy wymiar SE i uwzględnienie pozatechnicznych aspektów gospodarczych aplikacji IT**. W szczególności zakłada się, że ze specyfiki modelu biznesowego można wyprowadzić architekturę wspomagającego go systemu softwarowego. Postulat to nienowoty, ale dopiero dzisiaj mamy większe możliwości jego praktycznej realizacji. Ich analizę w ujęciu historycznym znajdujemy m.in. w pracy [11]. Wynika z niej, że od początku rozwoju komputerowego wspomaganie organizacji (produkcji) próbowano ściśle łączyć wymagania gospodarcze przedsiębiorstwa ze stosowanym oprogramowaniem. Jego rozwój na przestrzeni

dziesięcioleci pozwala obecnie na wdrażanie wcześniej formułowanych idei, np. paradygmatu obiektowego [25].

Mimo istnienia szeregu wykładni SOA znanych firm softwarowo-doradczych (np. IBM, Oracle), warto sprecyzować czym SOA nie jest:

- nie jest to typ architektury sprzętowej czy softwarowej,
- nie jest to spełnienie określonych norm,
- nie jest to korzystanie z odpowiednich produktów.

Przede wszystkim SOA jest cechą systemu wynikającą ze sposobu jego zaprojektowania, co wymaga zastosowania adekwatnych metod zarządzania. Zakłada się przy tym oparcie na pewnych standardach, ale proponowane ujęcie zapobiega powstawaniu nieporozumień, które dają się zgrupować w czterech punktach:

- aspekt softwarowy: systemy SOA związane są z Internetem (uproszczenie),
- aspekt rynkowy: systemy SOA pochodzą od wielu wytwórców (nie jest to cel sam w sobie),
- aspekt komunikacyjny: systemy SOA operują zdefiniowanymi interfejsami (możliwa zależność od jednego producenta),
- aspekt sprzętowy: systemy SOA spełniają normy przemysłowe (nieuwzględniona potrzeba integracji systemów).

Dla plastycznego zilustrowania ostatniego z przykładów można wskazać na jakościowy standard ISO (*International Organization for Standardization*). Stosowane normy w odniesieniu do konkretnych wyrobów w zakładzie nie mówią, który z nich jest produktem wyższej jakości. **Jakość** nie jest bowiem pojęciem absolutnym, a jedynie oznacza stopień spełnienia przez wyrób założonych kryteriów. ISO nie definiuje zatem parametrów technologicznych linii produkcyjnych a jedynie jest systemem wymuszającym systematykę audytów, kontrolujących przede wszystkim obieg i aktualność informacji jakościowych. Podobnie jest z systemem SOA. Warunkiem jego stosowania jest zdyscyplinowane dokumentowanie specyfikacji procesów biznesowych w kategoriach informatycznych. Przykładem takiego działania mogą być kolejne poziomy dojrzałości modelu SOA (CMMI, *Capability Maturity Model Integration*) [35].

Analiza działań i celów (*key practices, key goals*) tego modelu pokazuje, że mamy tu głównie do czynienia właśnie z procesem informacyjnym z silnymi akcentami pozatechnicznymi. Takie podejście pozwala na wyeliminowanie jednej z głównych przyczyn paradoksu produktywności IT, tj. zjawiska **dysonansu organizacyjnego** (między sferą techniczną a użytkową) [3]. Strategia SOA gwarantuje przy tym ciągłość inwestycyjną wydatków na optymalizację według metod wcześniejszych generacji. Wiąże się to z kolejną cechą SOA jaką jest luźniejsze, w porównaniu z innymi architektuрами, powiązanie modułów usługowych, co zwiększa stopień powielarności i elastyczności systemu.

Tymczasem CMMI nasuwa skojarzenia z innym standardem rozwoju IT, jakim jest ITIL (*Information Technology Infrastructure Library*) [18] (*IT Infrastructure Library*). Zatem firmy, które korzystały z tych strategii nie stoją przed zupełnie nowymi wyzwaniem w obliczu SOA. Pokazany wcześniej chronologicznie nurt referencyjnych modeli w zarządzaniu IT i skojarzonych z nimi technologii: strukturalnych, obiektowych, otwartych (C/S implementowane według założeń OSF – *Open System Foundation*) stanowi bowiem genezę SOA. Wymieńmy tu także takie narzędzia jak *warehousing OLAP* (*OnLine Analytical Processing*) czy standard CORBA (*Common Object Broker Request Architecture*). Wszyst-

kie one cechowały się szeregiem założeń podobnych do SOA tyle, że z powodów praktycznych miały często charakter postulatywny bądź mniej uniwersalny, fragmentaryczny. Tymczasem dopiero globalna sieć webowa daje możliwości efektywnej integracji rozproszonych usług. Analizy porównawczej (meta)modeli decyzyjnych przedsiębiorstwa (m.in. monoracjonalny) dokonano w pracy [105]. Szczególnym rodzajem modelowania, względnie wykorzystywaniem modeli jest symulacja. Charakterystyki technik softwarowych dla symulacji procesów (dyskretnych, ciągłych) wraz z listą specjalistycznego oprogramowania symulacyjnego zawarto w pracy [39].

1.4. Transformacje organizacyjne

Każda organizacja podlega presji czynników zewnętrznych (rynek, społeczeństwo, prawo) oraz powiązanych z nimi wewnętrznych (cele, strategie, technologie, kultura przedsiębiorstwa). W efekcie mamy do czynienia ze zmianami, które mają zapewnić optimum funkcjonowania przedsiębiorstwa. Klasyk zarządzania, Karol Adamiecki, ów pożądaný stan nazywa „harmonią” i da się go powiązać z modelem „7S” McKinseya [41] wskazującym na celowość wyważonych relacji między podstawowymi czynnikami organizacji:

- struktura (*Structure*),
- strategia (*Strategy*),
- sformalizowane procedury (*Systems*),
- umiejętności (*Skills*),
- personel (*Staff*),
- styl kierowania (*Style*),
- kultura organizacyjna (*Superordinate goals*).

Permanentne transformacje przekładają się na jeden z ważniejszych procesów występujących w nowoczesnych organizacjach: zarządzanie zmianą (*change management*). Zmiany wpływające na systemy zarządzania wynikają w szerszym aspekcie z praw fizyki, w szczególności termodynamiki i nieuchronnych zmian entropii. Przy czym znaczenie funkcji stanu wykracza poza przyrodę nieożywioną i dotyczy także funkcjonowania człowieka oraz systemów technicznych (entropiczna definicja informacji [97]). Z kolei w świecie przyrody ożywionej mamy do czynienia z ewolucyjnymi mutacjami o mniejszym znaczeniu operacyjnym dla sfery produkcyjnej. Natomiast w sferze nieożywionej występują naturalne czynniki zmian o istotnym znaczeniu gospodarczym (np. pogoda, klimat, ryzyka żywiołowe). Wreszcie wola człowieka stanowi istotny czynnik generujący zmiany w systemach tworzących cywilizację. Badając genezę zmian w systemach zarządzania, dostrzemy, że istotną cezurą było tu pojawienie się maszyn cyfrowych.

Komputerowe wspomaganie systemów zarządzania istnieje niemal tak długo jak sama informatyka. Nie oznacza to jednak, że dziedzina ta jest wystarczająco zintegrowana z praktyką organizacji. Projektanci systemów informatycznych w zbyt małym stopniu korzystają z dorobku tych nauk. Z drugiej strony na gruncie organizacji i zarządzania informatyka traktowana jest głównie instrumentalnie, jako zbiór środków technicznych, w mniejszym stopniu jako źródło idei. Tymczasem **systemy zarządzania i systemy informatyczne wykazują szereg analogii, jako że procesy zarządzania są w znacznej mierze procesami przetwarzania informacji** (tab. 1.2).

Analogie między systemem zarządzania a systemem informatycznym

Przedsiębiorstwo	System IT
system zarządzania	system informacyjny (informatyczny)
organizacja (statycznie)	konfiguracja
organizowanie (kierowanie)	system operacyjny
powiązania między obiektami (gospodarczymi)	topologia sieci komputerowej
podjęcie decyzji	generowanie procesu
hierarchia pracowników	(drzewiasta) struktura zbiorów
działania równoległe	wielozadaniowość
trudności realizacyjne	zakłócenia (elektryczne, szумы)
konieczność szybkiego działania	systemy czasu rzeczywistego
zasoby informacji	bazy danych
porozumiewanie się	języki programowania, kody
priorytety	kolejki, przerwania
schematy postępowania	algorytmy
zmiany w systemie	dynamika procesów i plików
sprawozdawczość	protokołowanie
ochrona tajemnicy	hasła, kryptografia
usuwanie błędów działania	testowanie

Źródło: [9]

Jeśli zatem mówimy o zmianach w sferze zarządzania to warto szczególną uwagę poświęcić jej wymiarowi technicznemu. Inżynieria systemów informacyjnych (*software engineering*) przydaje dynamiki również inżynierii zarządzania. Zwróćmy choćby uwagę na dwa prawa Lehmana [82], które w wymiarze organizacyjnym mogą przybrać następującą postać:

1. **Zasada ustawicznej zmiany:** organizacja musi nieustannie się zmieniać, inaczej nieustannie będzie postępować spadek jej użyteczności.
2. **Zasada rosnącej złożoności:** zmiany organizacji powodują wzrost jej złożoności, a konieczność jej redukcji wymaga dodatkowych zasobów.

Zasada pierwsza wynika z nieustannej presji zmiennego rynku (wymagania klientów, konkurencja) na przedsiębiorstwo, natomiast druga wiąże się ze wspomnianą interpretacją zarządzania jako przetwarzania informacji. W sytuacji kiedy owo przetwarzanie jest w daleko idącym stopniu wspomagane komputerowo *informatyka odgrywa w przedsiębiorstwie rolę technologii dyfuzyjnej*, tj. bezpośrednio lub pośrednio, przenikającej wszystkie jego obszary. Mamy wówczas do czynienia z wszechzwiązkami informatycznych modułów wspomagających organizację połączonych „każdy z każdym“. Sformułowane reguły potwierdzają zatem konieczność istnienia zmian – odrębną kwestia są strategie zarządzania nimi.

Formalnie dowolne zagadnienie da się rozwickłać przez kombinację dwóch metod:

- **redukcji**, podczas której kompleksowy problem zostaje rozłożony na coraz prostsze problemy cząstkowe,

— **transformacji**, polegającej na zamianie rozwiązywanego problemu na podobny o znany rozwiązaniu.

Takie podejście nasuwa skojarzenia z matematycznym indukcyjnym, a zatem nadaje się do rozwiązywania dość wąskiej klasy problemów – matematycznych czy logicznych, a więc takich, w których dysponujemy formalnie zdefiniowanymi modelami o jednoznacznych warunkach brzegowych i stanach wewnętrznych, co umożliwia ich **przetwarzanie na drodze aksjomatyczno-dedukcyjnej**. Tymczasem *praktyka zarządzania obfituje w sytuacje charakteryzujące się wysokim stopniem niepewności, wymagające wybitnie kontekstowej wiedzy, która może być różnorodnie interpretowana*: od medycyny do ekonomii i od socjologii do sfery prawnej, w szczególności praktyki przemysłowej. Dodatkowo w zarządzaniu występuje czynnik, który trudno jest modelować matematycznie: wolna wola człowieka, jego uczucia czy wręcz irracjonalizm. Stąd, w znacznej mierze, **aposterioryczny paradygmat ekonomii**, ale także dziedzin z nią powiązanych, np. informatyki gospodarczej. W praktyce oznacza to prognostyczną trudność przewidywania zmian oraz radzenia sobie z ich skutkami. Zatem podejście redukcyjno-transformacyjne nie może być uznane za uniwersalne. Można je wszakże znaleźć w genezie systemów ekspertowych.

Także rozwój systemów społecznych oraz osiągnięcia nauk organizacji i zarządzania w obszarze produkcji potwierdzają uniwersalność reguł ewolucyjnych dokumentowanych na gruncie **teorii systemów**. Stwarza to dogodny punkt wyjścia do strategicznego prognozowania dalszego rozwoju informatyki gospodarczej. Można przy tym zauważyć, że *rozwój systemu oznacza wzrost jego złożoności w dwóch wymiarach, ilościowym i jakościowym, przy czym mogą się one kompensować*.

Rośnie zatem ilość elementów systemu (wzrost ilościowy) oraz liczba połączeń między nimi (nowa jakość). W ten sposób, w przyrodzie, z prostszych organizmów powstają bardziej złożone. Podobnie jest w technice (od prostych narzędzi do skomplikowanych urządzeń), przyrodzie nieożywionej (związki chemiczne czy kosmologia) i w sferze społecznej – od jednostki, przez rosnące grupy, plemiona, społeczności lokalne czy regionalne, do państw narodowych i wreszcie grup państw, międzynarodowych organizacji, społeczeństwa globalnego. Zatem rozwój systemu to rozwój jego „sieciowości” (*networking*) [142].

Tą metaregłą odnajdziemy w każdej biologicznej komórce, których wyspecjalizowane struktury tworzą tkanki, będące na wyższym poziomie podstawą dla organów i w końcu ich układów składających się na całość organizmu. Dostrzeżenie tych zależności w połączeniu z organizacją wytwarzania (produkcji) doprowadziło do krytyki tradycyjnych, scentralizowanych i reaktywnych systemów zarządzania, owocując alternatywnym **modelem bionicznym** – BMS (*Bionic Manufacturing System*) opartym o biorarchię (*bionic hierarchy, biorarchy*) i genetyczną reprezentację informacji (GRI) odpowiadającą dynamicznym strukturom DNA [30].

Z kolei próbę stworzenia **interdyscyplinarnego modelu zmian** – łączącego osiągnięcia informatyki, bioniki, ale także nauk humanistycznych podjął węgierski badacz Koester, wprowadzając pojęcie „holonu”, złożenie greckich słów *holos* (całość) i *on* (część). W **systemach holonicznych** (reprezentowanych informatycznie przez **aplikacje multiagentowe**) można badać zmiany elementów „całoczęściowych”, co odpowiada paradygmatowi internetowej ekonomii sieciowej (*network economy*) i w ostatnich latach zaowocowało systemami wytwórczymi HMS (*Holonc Manufacturing System*), m.in. w przemyśle japońskim (Hitachi, Toshiba).

Idea paradygmatu zarządzania opartego na komputerowej bioorganizacji jest obiektywującą strategią przyszłościową i wyzwaniem cywilizacyjnym – obecnie mamy dopiero do czynienia z jej załączkami w sferze praktycznej. Od produkcji narzędzi przeszliśmy do produkcji maszyn zdolnych wytwarzać maszyny, ale w sferze materialnej nie istnieją nawet samopowielające się konstrukcje, a tym bardziej samoorganizacja w pełnym tego słowa znaczeniu. Owszem, informacyjny automat, jakim jest program komputerowy, ma zdolności prostej **samoreplikacji** oraz, częściowo, samouczenia się. Taką właściwość posiadają niektóre typy szkodliwych, komputerowych wirusów. W obszarze produktywnym warto zwrócić uwagę na **procedury rekurencyjne** czyli samowywołujące się, co oznacza specyficzny sposób samokopiowania się. W tym kierunku zdążają też **algorytmy genetyczne i sieci neuronowe**, które modyfikują swoje funkcje celu, iteracyjnie indukują zmienne drzewa decyzyjne bądź dokonują aktualizacji wag.

Obserwowana aktualnie zmiana paradygmatu w obszarze projektowania i eksploatacji systemów produkcyjnych jest faktem uwarunkowanym cyklicznością rozwojową. Zasadnym jest zatem pytanie o granice tych zmian, tzn. prognoza rozwoju przedmiotowego fenomenu. Mamy tu do czynienia z różnorodnymi modelami organizacyjnymi systemów nowej generacji NGMS (*Next Generation Manufacturing System*), wśród których warto wyróżnić m.in. takie jak BMS (*Bionic Manufacturing System*), HMS (*Holonic Manufacturing System*) czy fabrykę fraktalną FFMS (*Fractal Factory Manufacturing System*).

Zmiany są nieodłącznym elementem funkcjonowania pojedynczej organizacji i całego łańcucha dostaw. Tempo zmian otoczenia i wymagań łańcucha dostaw powoduje, że zmiany nabierają cech procesu ciągłego. Aby zmiana była efektywna i skuteczna, doskonalila i rozwijała organizację, do jej realizacji należy wykorzystać dorobek nauki w zakresie zarządzania zmianą. **Turbulencje otoczenia** powodują potrzebę dynamicznego zarządzania zmianą. Koncepcja ta odnosi się do firmy elastycznej, samoorganizującej i samouczącej [50]. Związana jest ona z umiejętnością adaptacji organizacji i całego łańcucha dostaw do odchylenia otoczenia. Po wystąpieniu odchylenia organizacja zachowuje zdolność powrotu do stanu początkowego lub utrzymuje odchylenia w ramach założonej amplitudy. Z dynamiką zmian lepiej radzą sobie organizacje, które cechuje wysoka **synergiczna stabilność**, wypracowana dzięki posiadanej wiedzy i zdolności samouczenia. Dzięki niej potrafią szybciej i lepiej dostosować się do niespodziewanych zmian w otoczeniu.

Dynamika zmian powoduje potrzebę funkcjonowania w warunkach braku stabilnej równowagi. Wiąże się to z nabyciem umiejętności ciągłego dostosowywania do nowych wymagań otoczenia, zmian w każdym z elementów łańcucha dostaw i potrzeb samej organizacji oraz z wypracowaniem umiejętności wyprzedzania tych zmian. Powoduje to sytuację, w której organizacje i całe łańcuchy dostaw znajdują się w ciągłym ruchu, drgają i odchylają się w ramach określonych amplitud, reagując na zmiany otoczenia. Takie działania powiększają zdolność i potencjał organizacji [76].

W warunkach dużej dynamiki zmian wymaganym stanem organizacji i całego łańcucha dostaw jest *adhokracja* (*adhocracy*). Główną cechą tego stanu jest „zdolność przystosowania się, elastyczność i kreatywność w sytuacji zdominowanej przez niepewność, niejednoznaczność i nadmiar informacji” [17]. Wiąże się z tym tymczasowość struktury organizacyjnej łańcucha dostaw, który składa się z zespołów powołanych i połączonych w celu zrealizowania określonego zadania. Cechę **adhokracji** posiadają systemy IMS, które nawiązują do zachowań organizmów żywych. Ich inteligencja umożliwia rozpoznanie czynników zmiany, określenie istoty transformacji i elastyczne dostosowanie się do nowych warunków

całego łańcucha dostaw. Łańcuch dostaw jest w stanie samoorganizować się, samodyscyplinować i samouczyć. Rolą liderów i zespołów zmiany jest opracowanie i wdrożenie procesów, które wykorzystując odpowiednie mechanizmy i algorytmy działań zgodnie z wymaganiami procesu realizacji zmiany, zwiększą potencjał organizacji, uruchomią jej zdolność uczenia się oraz zdolność elastycznej adaptacji do niestannych zmian otoczenia i wymagań łańcucha dostaw.

1.5. Czynniki efektywności projektowej

Ocena efektywności wdrożenia IT wymaga określenia nakładów i efektów ekonomicznych i pozaekonomicznych. Precyzja stosowanych przy tym formuł matematycznych nie wyklucza możliwości manipulowania wiązanymi przez nie wartościami. Zatem *ta sama innowacja może być uznana za efektywną bądź nieefektywną, w zależności od przyjętych kryteriów*, co pokazano w tab. 1.3.

Tabela 1.3

Przykłady problemów oceny efektywności wdrożenia projektowego IT

Kryteria	Problemy	Przykłady
Koszty	ustalenie kosztów innowacji, zwłaszcza w odniesieniu do fazy pielęgnacji (<i>maintenance</i>)	manipulowanie listą kosztów wdrożenia, zwłaszcza w odniesieniu do kosztów pośrednich
Czas	definicja czasu trwania projektu (jego formalne zakończenie nie jest tożsame z faktycznym)	rozwiązanie nieefektywne w skali roku może być uznane za efektywne w dłuższym okresie (bądź odwrotnie)
Zasięg	różnice w przyjmowaniu zasięgu terytorialnego oceny (wydział, proces, przedsiębiorstwo, otoczenie)	wszechzwiązki informacyjne w przedsiębiorstwie i jego otoczeniu, dyfuzyjność informatyki
Funkcjonalność	różne znaczenie (wartość, wagi) przypisywane efektom trudnowymiernym czy niewymiernym	efekty pozatechniczne, organizacyjne, „polityczne“

Źródło: opracowanie własne

Przedstawiona sytuacja może chronić instancje decyzyjne przed ewentualnymi sankcjami niepowodzeń projektu, skoro równie trudno jest wykazać jego efektywność jak i jej brak. Prowadzi to do rozluźnienia dyscypliny inwestycyjnej, tworząc w rozważanym zakresie dodatnie sprzężenie zwrotne (negatywne w sensie ekonomicznym), dodatkowo pogarszając wskaźniki kojarzone z efektywnością wdrożeń IT. Możliwym rozwiązaniem opisywanego problemu jest skorzystanie z ocen niezależnych ekspertów, również spoza firmy. Szczególnie ważna jest tu ocena nie tylko specjalistów IT, ale i tych po stronie użytkowników, np. ze sfery zarządzania operacyjnego. **Oceny eksperckie** mogą łączyć zarówno wyniki kwalifikowanych szacowań, bazujących na wieloletnich doświadczeniach, jak również metody algorytmiczne, gdzie istotna jest umiejętność ich praktycznej interpretacji.

Fenomen trudności w znalezieniu jednoznacznej korelacji między kosztami wdrożenia IT a jego wydajnością nosi miano **paradoksu produktywności technologii informatycznych** [15]. Przejawia się on w braku jednoznacznej korelacji między produktywnością przedsiębiorstwa a: — udziałem nakładów na informatykę w całości inwestycji przedsiębiorstwa,

- nakładami na informatykę w przeliczeniu na zatrudnionego,
- nakładami na informatykę w skali makro.

Warto tu wskazać na kilkadziesiąt lat badań P. Strassmanna [130], obejmujących setki firm amerykańskich i europejskich, w których wykazał on brak zależności między rocznymi wydatkami na informatyzację w przeliczeniu na zatrudnionego a poziomem zwrotu z kapitału akcyjnego.

Opisywane zjawisko tym bardziej zasługuje na uwagę, że relatywny spadek cen środków IT, w połączeniu ze wzrostem cen innych czynników produkcji, może prowadzić do korzystnego ich zastępowania technologiami informatycznymi. Proces taki da się postrzegać jako podnoszący elastyczność informacyjną przedsiębiorstwa, niemniej inwestor oczekuje tu pozytywnego przełożenia tego mechanizmu na wymierny wzrost wydajności. Zachowują zatem w tym kontekście swą ważność tezy o braku pełnego wyjaśnienia samego zjawiska informacji oraz niedefiniowalności (niemierzalności) postępu technicznego w ogólnym przypadku, klasyfikowanego do kręgu dyscyplin charakteryzujących się **podjęciem indukcyjno-aposteriorycznym**. Stwierdzenia te mogą być aktualnie uzupełnione o wątpliwości dotyczące możliwości uniwersalnego stosowania klasycznych praw ekonomii w gospodarce informacyjnej (*network economy*).

Pytanie o przyczyny paradoksu produktywności IT możemy uściślić pytaniem o **iluzję statystyczną**: czy omawiane zjawisko jest efektem niedoskonałości metod badawczych, czy też istnieje realnie? Mimo, że sceptycyzm w odniesieniu do stosowanych metod pomiarowych jest uzasadniony, to wiele wskazuje na faktyczny wymiar paradoksu. Jest bowiem niepodważalnym faktem inwestowanie potężnych sum w technologie informatyczne. Uzupełnijmy zatem zasygnalizowane przyczyny tej sytuacji:

- dyfuzyjność informatyki,
- błędy organizacyjne,
- negatywne skutki uboczne IT,
- dynamika lokalnych i globalnych współzależności.

Dyfuzyjność informatyki powoduje, że inwestycja w tym zakresie zaczyna w pełni działać dopiero wtedy, kiedy jej 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. Informacja odgrywa przy tym rolę czynnika definiującego logikę zmian stanów pozostałych atrybutów materialnego tworzywa.

Proces przenikania i rozprzestrzeniania technologii informatycznej wymaga czasu, wykraczającego często poza fazę inwestycyjną w określonym podsystemie przedsiębiorstwa. Co więcej, dynamika rozwoju IT (pielęgnacja) jest tak duża, że konieczność istotnych zmian, a więc wtórnych inwestycji, ujawnia się szybciej niż efekty inwestycji pierwotnej. W skrajnym przypadku może prowadzić to do słabo kontrolowanego ciągu inwestycji dokonywanych niezależnie od ich efektów. Bezspornym faktem pozostaje jednak, że wdrożenie inwestycji IT wymaga dodatkowego czasu na przełamywanie **problemów pozatechnicznych** takich jak bariery psychologiczne, wielokrotne szkolenia (tzw. „miękkie umiejętności” – *soft skills*) czy walka o wpływy w przedsiębiorstwie (wymiar „polityczny”).

Opóźnienie momentu zadziałania inwestycji IT w odniesieniu do chwili jej formalnego zakończenia potęguje dodatkowo zjawisko „tarcia wewnętrznego”, tj. funkcjonowanie

technologii informatycznej dla samej siebie. Klasycznym przykładem tego typu na większą skalę był problem Y2K (roku 2000). Podobne mechanizmy, na mniejszą skalę, ale permanentnie, wpływają negatywnie na produktywność rozważanych inwestycji. Dla ilustracji praktycznej wymieńmy tu przykładowo pozornie trywialną kwestię rozmiaru zmiennych (długość pól) bądź ich formatu (np. niezbędne konwersje numeryczno/alfanumeryczne). **Z uwagi na integracyjną rolę informacji w przedsiębiorstwie oraz wszechzwiązki przyczynowo-skutkowe złożonego środowiska informatycznego nawet niewielkie zmiany logiki funkcjonowania fragmentu infrastruktury hardwarowo-sofwarowej mogą pociągać za sobą konieczność kaskadowych zmian** skojarzonych interfejsów sprzętowych, programowych czy użytkowych (*human interface*) oraz procedur organizacyjnych.

Jednym z błędów spotykanych w fazie podejmowania decyzji inwestycyjnych jest ignorowanie przesłanek związanych z produktywnością i kierowanie się motywami „politycznymi”, np. w celu osiągnięcia określonego statusu (*image*). Jednocześnie wdrażanie technologii IT, z uwagi na ich kompleksowość, wymaga podejścia interdyscyplinarnego co nie zawsze można dostrzec wśród menedżerów. W zależności od swojego profilu osobowego, kładą oni często przesadny nacisk na czysto techniczne aspekty przedsięwzięcia, natomiast przy ich słabszej znajomości nierealistycznie szacują nakłady inwestycyjne (błędy planowania zasobów projektowych).

Zmiana istniejących rozwiązań informatycznych wymusza z reguły nowe formy organizacji zadań, rzutując na sferę osobową firmy (hierarchie, podział pracy). Tego typu **konsekwencje pozatechniczne** z trudem można uwzględnić w fazie planowania przedsięwzięcia, co prowadzi do nieprzewidzianych sytuacji. **Przykładowo:** brak oczekiwanej możliwości zmniejszenia zatrudnienia po wdrożeniu prowadzi do przeciążeń pracowników i spadku jakości ich pracy, mimo istnienia formalnie lepszego informatycznie systemu jej wspomagania. Taki efekt może się wiązać z nadmiarem informacji w nowej sytuacji, który może być podobnie szkodliwy jak ich niedomiar (wzrost czasochłonności rutynowych operacji wskutek pielęgnowania większych ilości danych).

I wreszcie kolejna z przyczyn paradoksu produktywności. W obszarze globalnym **sieci współzależności informatycznych można dostrzec we wzajemnym narzucaniu nowych rozwiązań technologicznych, np. w łańcuchach klient-sprzedawca**. Istniejący *de facto* brak planowania i koordynacji takich poczynań, wynikających z dynamiki wymagań rynku, może prowadzić do spadku produktywności wskutek makrouwarunkowań, co nie tłumaczy jednak do końca jego występowania w skali przedsiębiorstwa. W tym obszarze (lokalnym) mamy jednak do czynienia z podobnymi mechanizmami. **Przykładowo:** wzrost automatyzacji na poziomie CAM (*Computer Aided Manufacturing*) przyniesie określone zyski, jeśli idzie w parze z odpowiednimi inwestycjami w obszarze CAD (*Computer Aided Design*), prowadząc w szczególności do systemów zintegrowanych (ERP/CIM/FMS). W praktyce postulaty te mogą być trudne do spełnienia, a wdrożenie nowych standardów tylko w określonym podsystemie, w sposób organizacyjnie izolowany (*stand alone*), prowadzi do niekompatybilności z innymi podsystemami i w efekcie do spadków produktywności, pociągając konieczność nakładochłonnych dopasowań, choćby w sferze interfejsów lub podczas migracji [10].

Przyczyny pokazanego paradoksu produktywności wiążą się ze zjawiskiem **dysonansu organizacyjnego** IT oznaczającego brak dopasowania cech systemu informatycznego i skojarzonego z nim środowiska organizacyjnego. **Kompleksowość współczesnych systemów IT wymaga stosowania równie kompleksowych metod zarządzania nimi**. Dotyczy to

zarówno projektowania (modelowania), jak i fazy wdrażania, a także samej eksploatacji (pielęgnacji). Tymczasem stosowane w rozważanym obszarze metody zarządzania wykazują szereg negatywnych cech:

- przesadne dążenie do wąsko pojętej algorytmizacji, co może ograniczać elastyczność;
- jednostronne metodycznie ujmowanie rzeczywistości składającej się z różnorodnych obiektów, co implikuje wymóg posługiwania się różnorodnymi metodami;
- tworzenie zamkniętych rozwiązań, w niewielkim stopniu korzystających z istniejących standardów (normowanych i de facto);
- wycinkowość podejścia bez uwzględniania interdyscyplinarnego wszechzwiązku zjawisk.

Podejściem odmiennym byłoby oparcie się na paradygmacie o charakterze: wielowariantowym, heterogenicznym, otwartym i systemowym co koresponduje z **bioorganizacyjną definicją inteligentnego systemu produkcyjnego** [2].

Geneza i rodzaje inteligentnych systemów produkcyjnych

Znajdowanie dróg optymalizacji technologii informacyjnych w inteligentnych systemach produkcyjnych wymaga identyfikacji genezy i ewolucji tych ostatnich, czemu poświęcono niniejszy rozdział. Jako punkt wyjścia przyjęto tu wyspecyfikowane związki między metacechą elastyczności a inteligencją produkcyjną. Porównano klasyczne i przyszłościowe systemy produkcyjne, uwzględniając m.in. modele bioorganizacyjne (bioniczne) i holoniczne.

W efekcie określono cechy inteligentnego systemu produkcyjnego w kontekście interdyscyplinarnego paradygmatu komputerowego wspomaganie zarządzania. Podejście takie integruje techniczne i pozatechniczne problemy organizacji projektów informatycznych w rozważanej sferze. W końcowej części rozdziału zidentyfikowano związki cech rozwojowych IT z metodami zarządzania ISP oraz przyjęto założenia w odniesieniu do metod zarządzania systemem informacyjnym przedsiębiorstwa.

2.1. Elastyczność a inteligencja produkcyjna

Elastyczne Systemy Produkcyjne (ESP/FMS – Flexible Manufacturing System) umożliwiają implementację ciągle aktualnych zasad: harmonii doboru czynników produkcji oraz harmonii działania, sformułowanych przez Karola Adamieckiego [1]. Warto przy tym odróżniać pojęcia „produkcja” (*production*) i „wytwarzanie” (*manufacturing*). Pierwsze z tych określeń jest szersze, w szczególności samo wytwarzanie może być częścią procesów produkcyjnych. Konsekwencją takiego podejścia jest, nie zawsze spotykane, rozróżnianie Elastycznych Systemów Produkcji (ESP) i Elastycznych Systemów Wytwórczych (ESW). Utożsamianie tych terminów miało swego czasu pewne uzasadnienie, wynikające z poziomu rozwoju środków techniczno-organizacyjnych, utrudniających osiągnięcie elastyczności poza systemem wytwórczym i w bardziej uniwersalny sposób (**elastyczność informacyjna**) niż tylko przy pomocy określonych maszyn i urządzeń (np. pewne typy obrabiarek).

Z tego powodu **elastyczność produkcji**, czyli adaptacyjną zmienność asortymentu wyrobów, utożsamiano ze zautomatyzowaną elastycznością samego wytwarzania. Tak rozumiana elastyczność dotyczyła głównie jej wymiaru technologicznego w samym podsystemie wytwarzania. Obecnie w tym zakresie można wyróżnić dwa ważne nurty rozwojowe:

- a) elastyczność jako cecha systemu wytwórczego i związane z nim środki wytwarzania, np. obrabiarki NC czy centra obróbkowe, roboty przemysłowe i manipulatory, automatyczne urządzenia transportowe, zautomatyzowane magazyny materiałów, narzędzi i wyrobów, sterowniki mikroprocesorowe itp.

- b) elastyczność jako cecha całego systemu produkcyjnego wraz z jego podsystemami, w tym wytwórczym, przy czym centralne znaczenie przypisuje się tu przetwarzaniu informacji w systemie, a więc środkom informatyki (sprzęt i oprogramowanie) oraz metodom zarządzania z nimi skojarzonymi.

W przypadku (a) zakłada się, iż w elastycznym systemie produkcyjnym można wyróżnić dwa podstawowe komponenty: elastyczny system wytwarzania przetwarzający zasoby typowo materialne oraz skojarzony z nim elastyczny system zarządzania przetwarzający zasoby informacyjne. W takim ujęciu elastyczność uzyskuje się głównie przy pomocy automatyzacji procesów wytwarzania w połączeniu z komputeryzacją planowania i sterowania wytwarzaniem co prowadzi do rozwoju **komputerowo zintegrowanych systemów wytwarzania** (CIM, *Computer Integrated Manufacturing*).

Już tych kilka uwag wskazuje na fakt, iż wdrażanie elastycznych systemów wytwarzania jest zadaniem **interdyscyplinarnym**, wymagającym współpracy specjalistów z wielu różnych dziedzin: inżynierów, informatyków, ekonomistów, matematyków, socjologów, itp. Z kolei to stwierdzenie koresponduje z drugim z wymienionych nurtów rozwojowych (b), zważywszy kluczową rolę technologii informacyjnej we współczesnych systemach produkcyjnych. Ów drugi trend ma zatem charakter uniwersalny oraz integracyjny, wykorzystując także elastyczność o charakterze czysto informatycznym (np. łatwą modyfikowalność baz danych czy algorytmów) oraz w sferze zarządzania (np. adaptacyjno-procesową organizację firmy czy zmienne struktury pracownicze). Obserwujemy zatem zmiany paradygmatu w obszarze projektowania i eksploatacji elastycznych systemów produkcyjnych ESP/FMS.

Zasadnym jest więc pytanie o granice tych zmian tzn. prognoza rozwoju przedmiotowego fenomenu. Mamy tu do czynienia z różnorodnymi modelami organizacyjnymi systemów nowej generacji NGMS (*Next Generation Manufacturing System*) [64], wśród których warto wyróżnić takie jak BMS (*Bionic Manufacturing System*) [31], HMS (*Holonomic Manufacturing System*) [93] czy fabrykę fraktalną FFMS (*Fractal Factory Manufacturing System*) [79]. Pozostając w kręgu terminologicznym ostatniego z przykładów (teoria zdeterminowanego chaosu), należy poszukać atraktorów stanowiących megatrendy rozwojowe, co pozwoli podnieść poziom wiarygodności formułowanej prognozy. W związku z tym proponuje się: **miniaturyzację**, **sieciowość** (*networking*), **mobilność** i **wirtualizację**.

Korespondują one z megatrendami w obszarze IT (*Information Technology*) z uwagi na kluczową rolę czynnika informacyjnego dla inteligentnych systemów produkcyjnych IMS (*Intelligent Manufacturing System*) [61]. Innymi słowy mówiąc: stopień innowacyjności produktu jest tym większy, im większy jest poziom wymienionych czterech cech. Dotyczy to także metacechy elastyczności, w rozważanym kontekście. Proponowany miernik innowacyjności, w postaci czterowymiarowego wektora elastyczności, wymaga zatem komentarza każdej z jego składowych.

Każdy innowacyjny system stara się minimalizować fizyczne parametry przetwarzanej materii oraz skojarzonych strumieni zasileń (np. energetycznych). Owe strumienie obciążają bowiem kosztową stronę mierników efektywności systemu (finansowych) – zatem postulat zwiększania efektywności systemu generuje konieczność redukcji jego kosztów. Fizycznie rozumiana **miniaturyzacja**, w odniesieniu do NGMS, może budzić początkowo wątpliwości, jako że mówimy także o systemach wytwórczych w branży elektromechanicznej, bądź innych produkcji dyskretniej, której efektem jest wyrób o określonych gabarytach determinujących wymiary urządzeń wytwórczych. Granice miniaturyzacji

wyznacza tu ludzka biometria, np. rozmiar dłoni i skojarzonego z nią chwytaka urządzenia. Poza tymi naturalnymi granicami miniaturyzacja jest możliwa i pożądana. W szczególności dotyczy to mikroelektroniki czyli sprzętu informatycznego. W tym ostatnim obszarze *miniaturyzacja postępuje zatem nie tylko dlatego, że jest pożądana i technicznie możliwa ale również z uwagi na brak granicy poza którą nie miałyby sensu*. Dotychczasowe, klasyczne technologie produkcyjne tzw. świata „cegiel i zaprawy” (*bricks and mortar*) nie dawały takich możliwości.

W technologii IT wspomniane zależności antropomorficzne występują jedynie na złączu człowiek-maszyna i dotyczą urządzeń wejścia/wyjścia, np. rozmiary klawiatury czy monitora. Dlatego nadal można spodziewać się ważności prawa Moore’a, które w okresie niemal czterech dekad pokazuje zwiększenie ilości scalonych elementów na czipie o sześć rzędów wielkości: od kilkuset sztuk do kilkuset milionów (410 milionów w Itanium-2); dla układu Itanium Tukwila (r. 2009) liczba ta wynosi 2,05 miliarda. Jednocześnie nastąpiło przejście od mini- i mikroinformatyki do obszaru nanotechnologii z uwagi na minimalny wymiar technologiczny 0,065 mikrona czyli 65 nanometrów dla następcy Pentium-M – Preslera (również Tukwila). Tym samym pokonano wielokrotnie deklarowane jako nieprzekraczalne bariery, za którymi miał nastąpić niekontrolowany chaos efektów kwantowych, powodujących utratę logiki przetwarzania danych w układzie scalonym. Aktualne prognozy (SEMATEch, Intel) przewidują ważność prawa do 2020–2029 roku. Nie ma także powodów, aby przypuszczać, że wymiary elektronu zablokują w końcu postępy miniaturyzacji. Już dziś w laboratoriach tworzone są zręby następczyni elektroniki – spinotroniki, wykorzystującej wewnętrzne właściwości elektronu czyli jego spin (moment pędu). W ten sposób może dokonać się przejście od nano- do pikoelektroniki. I wreszcie, wyszczególniony trend miniaturyzacji ESP nowej generacji, koresponduje z koncepcją mikrofabryki (*microfactory*) [103].

Tymczasem w technologii IT wspomniane zależności antropomorficzne występują jedynie na złączu człowiek-maszyna i dotyczą urządzeń wejścia/wyjścia, np. rozmiary klawiatury czy monitora. Dlatego nadal można spodziewać się ważności prawa Moore’a, które w okresie niemal czterech dekad „zagaściło” ilość scalonych elementów na czipie o sześć rzędów wielkości: od kilkuset do kilkuset milionów (410 milionów w Itanium-2). Jednocześnie przeszliśmy niepostrzeżenie od mini- i mikroinformatyki do obszaru nanotechnologii, osiągając minimalny wymiar technologiczny 0,065 mikrona czyli 65 nanometrów dla następcy Pentium-M – Preslera. Tym samym pokonaliśmy wielokrotnie „nieprzekraczalne” bariery, za którymi miał nastąpić chaos efektów kwantowych, powodujących utratę kontroli nad logiką przetwarzania danych w układzie scalonym. Najpierw tą granicą miało być 0,25 mikrona (250 nm), potem obniżono ją do 150 nm i wreszcie do 100 nm (aktualnie 30nm). Nie ma także powodów aby przypuszczać, że „gruboziarnistość” elektronu zablokuje w końcu postępy miniaturyzacji. Już dziś w laboratoriach tworzone są zręby następczyni elektroniki – **spinotroniki**, wykorzystującej wewnętrzne właściwości elektronu czyli jego spin (moment pędu). W ten sposób może dokonać się przejście od nano- do pikoelektroniki. I wreszcie, wyszczególniony trend miniaturyzacji ESP nowej generacji koresponduje z koncepcją mikrofabryki (*microfactory*) [103].

W tym ostatnim przypadku, rozumianym klasycznie, mówimy o małogabarytowych systemach wytwórczych przeznaczonych do produkcji małogabarytowych wyrobów. Systemy takie cechują się wysokim stopniem automatyzacji z uwagi na wymogi precyzji produkcji, trudny do osiągnięcia bez automatyzacji, stanowiącej swego rodzaju interfejs mię-

dzy makroświatem pracowników a mikroświatem systemu wytwórczego. W przyszłości należy oczekiwać propagowania się tego trendu na obszar produkcji typowogabarytowej zgodnie ze schematem: makro-produkcja (*macro production*) + miniaturyzacja = mikro-produkcja (*micro production*), tzn. produkcji w sferze makro, zgodnie z ideałami oszczędności materiałowo-energetycznych sfery mikro.

Z kolei następny megatrend IT – paradygmat sieciowości, widać wyraźnie także w wymiarze lokalnej konfiguracji wytwórczej, zarówno w skali makro (wewnątrz niej połączenia występują między wszystkimi jej elementami) jak i mikro (połączenia między elementami układu scalonego). Z kolei w skali makro mamy początkowo do czynienia z sieciami lokalnymi przechodzącymi do rozwiązań globalnych. Zatem w kolejnych fazach rozwoju ESP można wyróżniać następujące etapy:

1. Wzrost indywidualnych możliwości urządzeń (np. automaty, roboty);
2. Łączenie się urządzeń w sieci lokalne (LAN, *Local Area Network*);
3. Sieci globalne (WAN, *Wide Area Network*).

Również i tu widzimy analogie do rozwoju IT (tab. 2.1) – po powstaniu pierwszych komputerów w latach 40. i 50., zaczęły się one łączyć w sieci w latach 60. (4 węzły w amerykańskiej sieci ARPA w roku 1969). Podobne zjawisko można było zaobserwować wśród komputerów osobistych, które najpierw poprawiały swoją indywidualną wydajność (lata 70.) aby łączyć się w sieci lokalne (lata 80.) i globalne (lata 90.), migrując od klasycznego PC-ta do terminala sieciowego NC (*Network Computer*). W skali globalnej sieciowość systemu produkcyjnego łączy się także z nowym paradygmatem ekonomii sieciowej (*network economy*). Obecnie, podobny proces obserwujemy w obszarze mobilnych urządzeń elektronicznych, a w bliskiej przyszłości wystąpi on w związku z intensyfikacją zastosowań etykietek RFID (*Radio Frequency IDentification*), co będzie miało kluczowe znaczenie dla systemów NGMS. Wiąże się to z rozwojem małych urządzeń elektronicznych wyposażonych w transpondery czyli miniurządzenia zdolne do wysyłania i odbioru sygnałów (*transmitter-responder*), a także dysponujące własną pamięcią (choćby jednobitową). Zaawansowane **transpondery** wyposażone są w pamięci ROM i RAM, posiadają własną logikę sterowania, w szczególności mikroprocesor. Mogą być zatem strukturalnie postrzegane jako prosty komputer i być pełnoprawnym składnikiem teleinformatycznych sieci stanowiących jedną z podstaw elastycznej infrastruktury produkcyjnej.

Tabela 2.1

Fale i fazy rozwoju IT (daty w przyszłości prognozowane)

Fala \ Fazy	I duże komputery	II mini- i mikro- komputery	III Internet, urządzenia przenośne	IV nanokomputery, spinotronika, bioinformatyka
1 Eksperymentowanie	lata 40.	lata 70.	lata 80.	2000–2020
2 Stabilizacja	lata 50.	lata 80.	lata 90.	2020–2030
3 Rozkwit	od lat 60.–70.	od lat 90.	2000–	2030–

Źródło: [4]

Korzystanie ze znaczników RFID prowadzi do użycia transponderów w towarach zabezpieczanych przed kradzieżą (EAS, *Electronic Article Surveillance*), w systemach

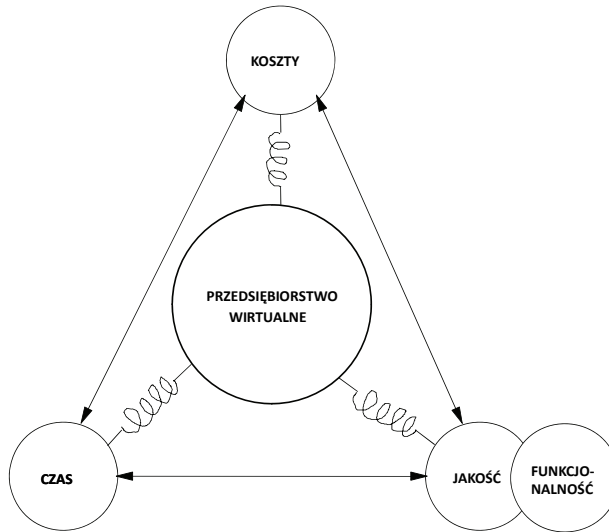
magazynowych (palety), w różnego rodzaju kartach czipowych (kontrola towarów i osób), logistycznych (identyfikacja i lokalizacja pojazdów), w zegarkach czy odzieży dla zarządzania personelem produkcyjnym. Przykładem zastosowania tych urządzeń dla tworzenia nowego rodzaju elastycznej mikroinfrastruktury wytwórczej mogą być tzw. **inteligentne podłogi** (*Infineon Technologies*) gdzie bezprzewodowe znaczniki umożliwiają automatyczną nawigację robotom transportowym, zastępując klasyczne wózki indukcyjne. W sieci zaczynają się zatem łączyć, pracujące dotąd samodzielnie (*stand alone*) roboty, zarówno te hardwarowe jak i softwarowe (technologie agentowe). Produkcyjny robot staje się także robotem sieciowym (mobilnym) – połączony z Internetem będzie dysponował zawsze najnowszym oprogramowaniem i aktualną wiedzą całej Sieci. Może to być pomocne urządzenie w tworzeniu indywidualnej mapy przestrzeni, niezbędnej do wykonywania zleconych zadań wytwórczych. Weryfikując swoje położenie, napotykać na przeszkody czy zagrożenia, robot może korzystać z baz informacji, zawierających dane o najnowszych modelach obiektów, które ma obsługiwać, topografii gruntu, po którym się porusza czy topologii wszelkiego rodzaju niewidocznych instalacji.

Informatyczno-wytwórcza sieciowość połączona z **mobilnością** ma także swój wymiar organizacyjny i oznacza przechodzenie od klasycznych, funkcyjnych organizacji hierarchicznych do zorientowanych procesowo struktur sieciowych, zarówno w wymiarze przedsiębiorstwa jak i globalnym, prowadząc do wspomnianego fenomenu ekonomii sieciowej. Również w obszarze bazodanowym przeszliśmy od liniowych czy hierarchicznych baz danych do standardów sieciowych, przy czym sztywna sieciowość CODASYL-owska (*CO*nference on *DA*tA *SY*stems *L*anguages) została zastąpiona bardziej elastyczną – relacyjną a ta z kolei poszerzana jest o wymiar obiektowości (*object oriented*). Najnowsze architektury integrujące procesy gospodarcze przedsiębiorstwa ze standaryzowaną platformą rozproszonych usług programowych, w szczególności webowych (SOA) zdecydowanie wychodzą poza czysto narzędziowy wymiar komputerowego wspomaganie elastycznej produkcji, usuwając w znacznym stopniu jedną z głównych przyczyn paradoksu produktywności nowych technologii związanych ze zjawiskiem dysonansu organizacyjnego.

Wreszcie ostatni z wymienionych trendów: **wirtualizacja**. *Mamy tu do czynienia ze zjawiskiem zastępowania materii informacją, które odbywa się na drodze wyizolowania w konfiguracji warstwy fizycznej i logicznej*. Powszechnie znanym przykładem takiego mechanizmu w sferze IT jest przyporządkowanie grupie dysków ich logicznego odpowiednika, co jest np. podstawą systemów RAID (*Redundant Array of Independent Disks*). Z kolei w sferze bazodanowej, grupie relacyjnych tabel, można przyporządkować jedną tabelę wirtualną będącą ich projekcją (*view*). Szczególnie w rozbudowanych systemach informatycznych, wirtualizacja podnosi efektywność zarządzania heterogenicznym środowiskiem wieloserwerowym, co wymaga stosowania specjalnego oprogramowania dla żądanej abstrakcji zasobów. Innym zastosowaniem wirtualizacji są wirtualne pamięci czy emulatory, przy czym możliwe jest tu również stosowanie całych maszyn wirtualnych (*virtual machine*) czyli oprogramowania instalowanego na platformie fizycznej w celu tworzenia określonego środowiska uruchomieniowego dla aplikacji.

Konsekwentne stosowanie wirtualizacji prowadzi do zintegrowanej, elastycznej i **wirtualnej sieci wytwórczej** VMN (*Virtual Manufacturing Network*), korespondującej z ideą fabryki cyfrowej (*digital factory*). Tak rozumiane **wirtualne przedsiębiorstwo jest formą organizacyjną nowego rodzaju tzn. problemowo i zadaniowo wyspecyfikowaną siecią modułów organizacyjnych dla uzyskania optimum, zorientowaną na klienta wydajności i jako-**

ści, na bazie odpowiedniej infrastruktury maszynowo-teleinformatycznej. Proponowana w powyższej definicji strategia podnoszenia elastyczności firmy przez jej wirtualizację implikuje także uwzględnianie pozostałych składników wektora elastyczności tj. sieciowości (z definicji), mobilności (np. holon wózka samojezdnego) i miniaturyzacji (wymogi infrastrukturalne). Takie podejście zapewnia także uzyskanie równowagi między podstawowymi czynnikami i zasobami decydującymi o sukcesie przedsiębiorstwa (rys. 2.1) – założono przy tym, że funkcjonalność jest częścią agregatu jakościowego. Analizę wewnętrznych i zewnętrznych aspektów przedsiębiorstwa wirtualnego przeprowadzono w pracy [106], w pracy [52] dokonano m.in. klasyfikacji etycznych problemów takiej organizacji.



Rys. 2.1. Trójkąt sił równowagi przedsiębiorstwa wirtualnego
Źródło: opracowanie własne na podstawie [156]

Istnieje wiele **rodzajów elastyczności** (przypadki a i b) na początku punktu 2.1, przy czym każdy z nich da się rozpatrywać w dwóch wymiarach: czasowym i ekonomicznym. Dla wyspecyfikowania problematyki systemu informacyjnego ESP niezbędne jest skomentowanie pojęcia elastyczności informacyjnej. W tym celu rozważymy zależność rentowności ESP od czasu związanej ze zmianą jego parametrów (np. cech wyrobów, materiałów i in.).

Rentowność – relacja między wynikiem W i nakładami N może być wyrażona jako: rentowność względna R – stosunek wyniku do poniesionych nakładów:

$$R = W/N \quad (2.1)$$

gdzie: R – rentowność względna,
 W – wynik ekonomiczny,
 N – nakłady.

Rentowność bezwzględna R_B – nadwyżka wyniku nad nakładami:

$$R_B = W - N \quad (2.2)$$

gdzie: R_B – rentowność bezwzględna,

W – wynik ekonomiczny,
N – nakłady.

Stopa rentowności S_R – stopa nadwyżki wyniku:

$$S_R = (W - N)/N \quad (2.3)$$

gdzie: S_R – stopa rentowności,
W – wynik ekonomiczny,
N – nakłady.

Elastyczność informacyjna ESP jest cechą jego systemu informacyjnego umożliwiającą adaptację do zmiennych warunków otoczenia w określonym czasie i przy określonych nakładach. Oznacza to, że elastyczność informacyjna umożliwia zmienność parametrów zawartych w systemie i jego funkcji. Modyfikacja tych elementów winna prowadzić do poprawy rentowności ESP w założonym czasie. System informacyjny ESP powinien spełniać następujące warunki:

- parametry wejściowe systemu winny być łatwo modyfikowalne, bez konieczności gruntownych zmian funkcji i struktury informacyjnej systemu,
- zmiany wartości atrybutów i obiektów w świecie rzeczywistym winny się łatwo odwzorowywać na informacje zawarte w systemie,
- zmodyfikowane odpowiedniki systemu informacyjnego powinny zachować swe cechy ergonomiczne i podnosić jego efektywność użytkową,
- zbiór funkcji systemu informacyjnego powinien się rozbudowywać w sposób modularny, a konieczność zmian w jednej funkcji pociągać za sobą ograniczoną i kontrolowaną konieczność zmian w pozostałych funkcjach.

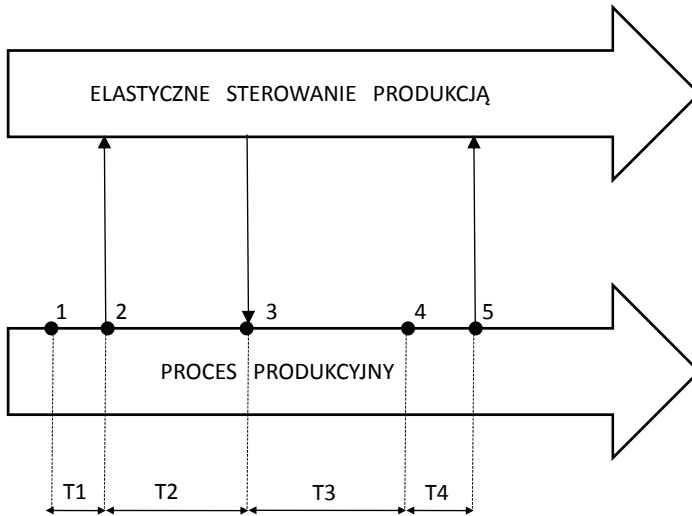
Z punktu widzenia składowej czasowej elastyczność informacyjna może być charakteryzowana za pomocą **reaktywności informacyjnej i sterowności informacyjnej** ESP definiowanych następująco (rys. 2.2):

- **reaktywność informacyjna** jest to odchylenie pomiędzy informacją wejściową o zmianie w otoczeniu a wyjściową informacją sterującą związaną z tą zmianą. Możemy ją wyrazić jako odwrotność czasu, który upływa pomiędzy informacją wejściową o zmianie w otoczeniu a wyjściową informacją sterującą;
- **sterowność informacyjna** jest mierzona odwrotnością czasu, jaki upływa pomiędzy powstaniem informacji o zmianie w otoczeniu a zadziałaniem informacji sterującej na otoczenie (proces produkcyjny).

Parametry te rzutują na adaptacyjność systemu sterowania procesem produkcyjnym. Podwyższenie reaktywności informacyjnej i sterowności informacyjnej osiąga się, skracając czasy opóźnień z nimi związane. Podstawowym środkiem wiodącym do tego celu jest unowocześnienie systemu przetwarzania informacji poprzez zastosowanie sprzętu komputerowego wykorzystującego odpowiednie algorytmy sterowania.

Przechodzenie od epoki przemysłowej do informacyjnej zmienia formy funkcjonowania przedsiębiorstw i metody zarządzania nimi. Idee Fredericka Winslowa Taylora wywarły znaczący wpływ na rozwój naszej cywilizacji od początku XX. wieku. Na wzór zaproponowanych przez amerykańskiego inżyniera, standaryzowanych, zhierarchizowanych i centralizowanych struktur tworzone szkolnictwo, bankowość i państwową administrację. W ten sposób organizowano również lecnicstwo, dystrybucję towarów, sferę rozrywki, a zwłaszcza przemysł. Obecnie standaryzację produkcji zastępuje elastyczność wytwarza-

nia będącą podstawą ISP. *Hierarchizację wypiera wirtualność dynamicznie zmieniających się organizacji, a centralizacja ustępuje miejsca otwartości nowych struktur o rozproszonym charakterze.* Jak pokazano, czynnikiem integrującym te przemiany jest informacja. Jej znaczenie ciągle rośnie, co przyspiesza przechodzenie od taylorizmu do nowego paradygmatu – informacyjnego.



Rys. 2.2. Miary elastyczności informacyjnej
Źródło: [149]

1 – powstanie informacji w procesie produkcyjnym (otoczeniu), 2 – wejście informacji o zmianie, 3 – wejście informacji sterującej, 4 – zadziałanie informacji sterującej, 5 – wejście informacji o zadziałaniu informacji sterującej; T1, T4 – czasy opóźnienia związane ze zbieraniem i przetwarzaniem informacji, T2 – czas, który upływa między informacją wejściową o zmianie w otoczeniu a wyjściową informacją sterującą, T3 – czas opóźnienia pomiędzy wejściem a zadziałaniem informacji sterującej. Reaktywność informacyjna R_i wyraża się następująco:

$$R_i = 1/T_2 \quad (2.4)$$

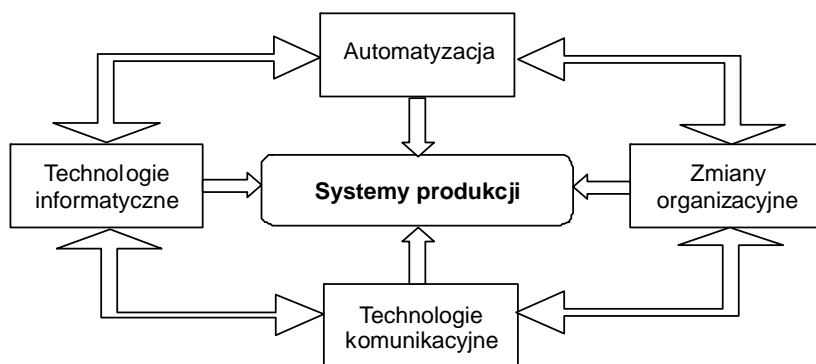
Sterowność informacyjną S_i przedstawia zależność:

$$S_i = 1/(T_1 + T_2 + T_3 + T_4). \quad (2.5)$$

2.2. Klasyczne i przyszłościowe systemy produkcyjne

Zmiany następujące w otoczeniu przedsiębiorstw wpływają na sposób realizacji transformacji zasobów wejściowych w wyjścia w systemach produkcyjnych. XX wiek, a szczególnie jego ostatnie dekady charakteryzuje gwałtowny rozwój technologii i zmiany czynników o charakterze organizacyjnym. Na rozwój systemów produkcyjnych wpływ mają przede wszystkim następujące **czynniki**: automatyzacja, technologie informatyczne IT (*Information Technology*), technologie komunikacyjne (Internet, Intranet) oraz trendy zmian organizacyjnych, co przedstawia rysunek 2.3. *Wraz z rozwojem poszczególnych*

czynników następują zmiany w dotychczasowych metodach transformacji oraz powstają nowe techniki i koncepcje, które pozwalają przedsiębiorstwom lepiej dostosować się do potrzeb rynku, w krótszym czasie realizować zmieniające się wymagania klientów i skutecznie rywalizować z konkurentami. Jednocześnie można zauważyć wzajemne powiązania między poszczególnymi czynnikami. Postęp technologiczny w ramach jednego czynnika, np. elektroniki czy informatyki umożliwia rozwój technik związanych z innymi czynnikami, np. automatyzacją. Ponadto zmiany w metodach przetwarzania związane z rozwojem jednego z czynników wywierają wpływ na techniki, które kształtują inne czynniki, np. nowe trendy w zarządzaniu są uwzględniane w **zintegrowanych systemach informatycznych**. Wszystkie czynniki zatem są współzależne, a ich wzajemne przenikanie powoduje ciągły rozwój systemów produkcyjnych i powstawanie nowych kierunków zmian. Dlatego ewolucję systemów produkcyjnych w wielu przypadkach należy rozpatrywać z perspektywy kilku czynników jednocześnie (np. technik informatycznych i komunikacyjnych).



Rys. 2.3. Czynniki wpływające na rozwój systemów produkcyjnych
Źródło: [88]

Od początku istnienia systemów produkcyjnych poszukiwano możliwości usprawnienia **procesu transformacji** ukierunkowanej na jego skuteczniejszą i bardziej efektywną realizację. Rozwój technologii pozwolił na wprowadzanie do systemów produkcyjnych automatyzacji. **Automatyzacja wytwarzania** oznacza wprowadzanie środków technicznych w celu samoczynnego sterowania i kontrolowania procesów wytwarzania. Rozwój technik produkcji wykorzystujących automatyzację nie byłby możliwy bez wykorzystania osiągnięć elektroniki, technologii informatycznych, a następnie technologii komunikacyjnych. Czynniki te pozwoliły na kształtowanie technik produkcji opartych na kryterium *Advanced Manufacturing Technology* (AMT) oraz *High Technology* (HT). Efektem dalszego rozwoju metod wykorzystujących elastyczną automatyzację było powstanie **elastycznego systemu produkcyjnego** ESP (FMS, *Flexible Manufacturing System*). Stanowi on metodę dochodzenia do stadium organizacji systemu produkcyjnego, jakim jest elastyczny system produkcyjny zintegrowany komputerowo – ESP/CIM [151]. Według Matczewskiego [95] ESP jest to system techniczny, w którym przepływ materiałów i energii, ich transformacja oraz procesy regulacyjne są zintegrowane w sposób zapewniający automatyczną i ciągłą realizację zadań produkcyjnych. Brzeziński [16] uważa, że mianem ESP określa się najczęściej system produkcji, w którym zastosowano tzw. środki elastycznej automatyzacji produkcji, tj. urządzenia produkcyjne sterowane komputerowo, charakteryzujące się dużą

wielostronnością i łatwością przezbrajania. Templemeier i Kuhn definiują ESP jako system produkcyjny składający się ze zbioru identycznych i/lub komplementarnych obrabiarek CNC, centrów obróbkowych, narzędzi i systemów magazynowania, połączonych przez automatyczny system transportu materiałów i narzędzi oraz przepływ informacji [135]. Elastyczny system produkcyjny zatem jest to zautomatyzowany zbiór wyposażenia, w którym następuje systemowa integracja procesów wytwórczych z procesami pomocniczymi, przygotowania technologicznego i organizacji, dzięki komputerowej kontroli systemu sterowania. ESP pozwala szybko dostosować się do zmiennych wymagań rynku. Można dzięki niemu produkować szeroki asortyment wyrobów w krótkim czasie (krótki cykl produkcyjny), w niewielkich partiach, skróceniu ulega czas przezbrojenia i czas uruchomienia produkcji nowych wyrobów oraz dzięki stałej dokładności i wysokiej jakości wyrobów zmniejszają się koszty materiałowe, maleją koszty robocizny bezpośredniej, powierzchni produkcyjnej i magazynowania [16, 86, 114].

Najpierw elastyczne systemy produkcyjne były stosowane przez przedsiębiorstwa japońskie, później, w latach 80. szybko rozprzestrzeniły się w USA i Europie Zachodniej. Początkowe ESP związane były tylko z procesami **obróbki**, dopiero później powstawały ich **montażowe** odpowiedniki: elastyczne systemy montażowe ESM (FAS, *Flexible Assembly System*). W praktyce przemysłowej można spotkać mniejsze jednostki organizacyjne, tj. elastyczne moduły, elastyczne gniazda produkcyjne lub elastyczne linie produkcyjne [16, 113]. Podstawowe problemy elastycznych systemów produkcyjnych, wraz z ich klasyfikacją oraz przykładami praktycznych rozwiązań można znaleźć w pracach L. Zawadzkiej [148, 149, 151].

Rozwój elastycznej automatyzacji i technologii informatycznych umożliwił integrację wszystkich obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa. W **komputerowo zintegrowanym systemie produkcyjnym** CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) wszystkie funkcje i elementy uczestniczące w realizacji procesu produkcyjnego są zintegrowane przez jednolity system informacyjno-decyzyjny. CIM wykorzystuje sieci komunikacyjne wewnętrzne (Intranet) i zewnętrzne (Internet), które umożliwiają wszystkim użytkownikom dostęp do informacji oraz wykorzystanie systemów eksperckich w zakresie m.in. projektowania nowych wyrobów, procesów, kooperacji i dystrybucji [20, 51]. Z założenia CIM ma zapewnić kompleksową realizację zleceń produkcyjnych, od zaopatrzenia, przez konstruowanie, przygotowanie produkcji i planowanie pracy aż po wytwarzanie i dystrybucję.

Potrzeba dostosowywania się do dynamicznych zmian otoczenia spowodowała konieczność odejścia od hierarchicznych i scentralizowanych systemów produkcji, jakimi są klasycznie rozumiane systemy CIM/ESP. W połowie lat 90. XX wieku powstała koncepcja kolejnej generacji systemów produkcyjnych – inteligentne systemy produkcji IMS (*Intelligent Manufacturing System*). IMS składa się z następujących elementów [29]:

- modelu świata (*world model*), który odwzorowuje stan otoczenia,
- podsystemu oceny wartości (*value judgement subsystem*), który analizuje model świata i na tej podstawie buduje alternatywy działań,
- podsystemu generowania zachowań (*behavior generation subsystem*), który analizuje wypracowane alternatywy i na tej podstawie określa plan działań,
- podsystemu przetwarzania czuciowego (*sensory processing subsystem*), który umożliwia komunikację i wymianę informacji między podsystemami oraz pomiędzy podsystemami i otoczeniem.

Przykładami IMS są:

- holoniczne systemy produkcyjne HMS (*Holonic Manufacturing Systems*),
- bioniczne systemy produkcyjne BMS (*Bionic Manufacturing Systems*),
- fraktalne systemy produkcji FMS (*Fractal Factory, Fractal Manufacturing System*).

Podstawowym elementem HMS jest **holon**, czyli inteligentny, autonomiczny i kooperujący blok systemu produkcyjnego odpowiedzialny za transformację, transport, magazynowanie i/lub nadawanie ważności informacjom i obiektom fizycznym towarzyszącym procesowi produkcji [68]. Pierwsze praktyczne eksperymenty w tym zakresie miały miejsce w latach 90. w japońskich przedsiębiorstwach. Holon może działać samodzielnie lub być częścią *holarchy*, czyli systemu holonów współdziałających dla osiągnięcia założonego celu. *Holarchy* (holarchia) definiuje podstawowe zasady współpracy i granice autonomii holonów. HMS to zmienna, ulegająca ciągłemu procesowi reorganizacji, dostosowująca się do wymagań otoczenia struktura, która integruje w pełni fizyczny i informacyjny wymiar systemu produkcji [115].

Poszczególne funkcje **organizacji holonicznej** są zautomatyzowane dzięki wykorzystaniu m.in. robotów, manipulatorów, automatycznych magazynów i testerów oraz sterowania CNC. Technologie informatyczne umożliwiają realizację funkcji sterowania procesami, m.in. w zakresie przyjmowania zamówień klientów, zakupów materiałów, bilansowania zdolności produkcyjnych, modelowania produktów czy kontrolowania harmonogramów i przebiegu produkcji [16].

BMS w swojej istocie to dynamicznie adaptujące się do zmian w otoczeniu wewnętrznym i zewnętrznym systemy produkcyjne, które takie własności posiadają dzięki odwzorowaniu mechanizmu zachowań organizmów żywych. Charakteryzują się one m.in. **samoorganizacją** dzięki budowie wielopoziomowych sieci, które odwzorują obszary produkcyjne, samoodtworzeniem, samorozpoznawalnością, samouczeniem, adaptacją do zmian produktu i produkcji oraz samowzrostem.

Podstawowym elementem FMS są fraktale, czyli elementy składowe całości, które doskonale odwzorowują jej strukturę, samodzielnie funkcjonują i mają jednoznacznie określone cele i możliwości funkcjonowania. **Fraktale cechuje samopodobieństwo, samoorganizacja, dynamika i samooptrymalizowanie** (podporządkowanie realizacji celów całego systemu). IMS są systemami przyszłości, ich koncepcje podlegają ciągłemu rozwojowi.

Gwałtowny rozwój narzędzi i technik informatycznych, który rozpoczął się w latach 80. miał zdecydowany wpływ na funkcjonowanie przedsiębiorstw i realizację ich podstawowych funkcji. Rosnące wymagania klientów, zaostrzona konkurencja, potrzeba funkcjonowania w warunkach dużej zmienności wymogły na przedsiębiorstwach konieczność integracji i optymalizacji realizowanych procesów z punktu widzenia nie tylko pojedynczego przedsiębiorstwa, ale całego łańcucha dostaw i sieci przedsiębiorstw. Umożliwił to rozwój technologii informatycznych i komunikacyjnych, a systemy produkcyjne związane z ich rozwojem przedstawia tab. 2.2.

Pod koniec lat 80. rozpoczął się gwałtowny rozwój technologii informatycznych IT i technologii komunikacyjnych. Konsekwencją tego były systemy produkcyjne oparte na systemach planowania zasobów przedsiębiorstwa ERP (*Enterprise Resources Planning*). Systemy te przejęły standardy i funkcje realizowane przez systemy klasy MRPII związane z optymalizacją zasobów rzeczowych i dodatkowo rozszerzyły je o moduły związane z zarządzaniem płynnością i wolnymi środkami finansowymi, analizą możliwości rozwoju, analizą rentowności inwestycji finansowych czy zarządzaniem kadrami. Pozwoliły zatem

planować i nadzorować realizację wszystkich procesów w systemach produkcyjnych. Kale [65] definiuje system ERP jako gotowy do implementacji zbiór modułów (aplikacji) obsługujących wszystkie biznesowe funkcje systemu produkcyjnego, który posiada możliwość dynamicznej konfiguracji. **ERP umożliwia przedsiębiorstwom przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym, w zintegrowanym, nastawionym na realizację procesów i kierowanym informacjami środowisku.**

Tabela 2.2

Systemy produkcyjne ukształtowane pod wpływem technologii informatycznych i komunikacyjnych

System produkcyjny	Narodziny koncepcji
MRP	lata 50. XX w
MRPII	lata 80. XX w
ERP	lata 90. XX w
e-ERP	lata 90. XX w
Organizacja wirtualna	lata 90. XX w
Organizacja sieciowa	lata 90. XX w

Źródło: [88]

Systemy klasy ERP realizują funkcje z następujących obszarów:

- logistyki: planowanie zaopatrzenia i sprzedaży, planowanie i sterowanie produkcją, gospodarka magazynowa, zarządzanie jakością, zarządzanie projektami (dotyczącymi m.in. projektowania wyrobów i prac rozwojowych),
- finansów: rachunkowość finansowa, controlling, zarządzanie inwestycjami,
- zasobów ludzkich: zarządzanie kadrami i płacami, czasem pracy, szkoleniami, delegacjami, organizacją.

Integrację wszystkich obszarów funkcjonalnych systemu produkcji umożliwia **hurtownia danych**. Zbiera ona dane ze wszystkich obszarów i konwertuje je na informacje dotyczące planowania, sterowania i podejmowania decyzji w systemach produkcji. Dzięki temu wszyscy użytkownicy systemu mają bieżący dostęp do informacji potrzebnych do sprawnego realizowania zadań. Zastosowanie Internetu umożliwiło połączenie systemów ERP poszczególnych przedsiębiorstw i utworzenie **zintegrowanego łańcucha wartości i dostaw**. Lech [81] nazywa takie zintegrowane systemy informatyczne zarządzania systemami klasy ERP, natomiast Dudycz i Dyczkowski [33] nazywają je systemem eERP lub iERP (*Internet Enterprise Resource Planning*). Przykładem nowego rodzaju standardu, wywodzącego się z MRP/ERP jest CALS/OASIS [37].

Dzięki bezpośredniej komunikacji między klientami, systemem produkcyjnym i dostawcami, poprzez stosowanie systemów klasy *business-to-business* B2B, *business-to-customer* B2C, jeszcze lepiej i szybciej można realizować wymagania klientów oraz dalszej poprawie ulega produktywność i efektywność działania. Dostawcy mogą na bieżąco kontrolować stan magazynów i szybko uzupełniać braki, a klienci uzyskują informacje o dostępnych produktach czy stopniu realizacji zamówienia. Jest to bardzo ważne w dobie rosnących i szybko zmieniających się wymagań rynku i znaczącej roli czynnika czasu.

Systemy klasy ERP, dzięki integracji wszystkich funkcji, kształtują systemy produkcji i wspomagają dokonywany w nich proces transformacji oraz **zarządzanie wektorami wejścia i wyjścia**. Można je integrować z innymi rozwiązaniami, na przykład do systemów klasy ERP mogą być włączane komputerowo zintegrowane systemy wytórcze CIM (*Computer Integrated Manufacturing Systems*) [99].

Systemy CIM, wykorzystując elastyczną automatyzację, integrują obszary produkcji i logistyki i w tym zakresie realizują podobne funkcje jak systemy ERP. Pełne wdrożenie do przedsiębiorstwa systemu klasy ERP jest działaniem długotrwałym, trudnym i kosztownym. Wymaga najpierw wielu zmian w przedsiębiorstwach, przede wszystkim analizy i **reinżynierii** realizowanych procesów, ujednoczenia postaci danych, a potem szkoleń, zmian przyzwyczajzeń, respektowania zasad wdrażania i zaangażowania wszystkich w proces wdrażania.

Dalszy rozwój technologii informatycznych i komunikacyjnych prowadzi do powstania nowych form organizacji systemów produkcji identyfikowanych również z perspektywy **łańcucha dostaw** (*supply chain*). Powstaje koncepcja organizacji inteligentnych, samouczących i wirtualnych (*virtual organization*). Są to elastycznie zmieniające swoją organizację systemy produkcji przyszłości oparte na wiedzy. Wykorzystując wiedzę i umiejętności wysoko wykształconych pracowników oraz metody i techniki umożliwiające zarządzanie wiedzą, mają one zdolność do samoorganizacji, podnoszenia złożoności, dostosowywania się do zmian otoczenia i zarządzania, które sprostą wyzwaniom otoczenia [51]. Trzecieliński określa organizację wirtualną (wirtualny system produkcji) jako tymczasową sieć niezależnych przedsiębiorstw – dostawców i klientów, nawet dotychczasowych konkurentów – połączonych najnowszymi środkami IT w celu dzielenia się umiejętnościami i kosztami dla zdobycia nowych rynków [106].

Perechuda stwierdza, że organizacja wirtualna jest siecią instytucji, firm (systemów produkcji), zespołów i osób zlokalizowanych w różnych miejscach [117]. Wirtualne systemy produkcji traktowane są jako zintegrowana struktura elastycznych zasobów, budowana i możliwa dzięki aliansom przedsiębiorstw, które są wysoce kompetentne w specyficznych funkcjach biznesowych. Do modelowania interrelacji (*interrelationships*) różnych dziedzin decyzji w celu prioryteźacji wymiaru elastyczności stosowany jest proces ANP (*Analytical Network Process*) [140]. Definicje te zwracają uwagę na podstawowe cechy organizacji wirtualnej: jej dynamikę, umiejętność elastycznej reorganizacji łańcucha dostaw dzięki wykorzystaniu elektronicznej komunikacji, rozproszenie geograficzne czy potrzebę pracy zespołowej i wzajemne dostosowanie podmiotów realizujących proces produkcji dla osiągnięcia założonych celów. Istnienie organizacji wirtualnej nie byłoby możliwe bez rozwoju IT i sieci komputerowych: Internetu, Intranetu czy Ekstranetu. Integracja wszelkich działań rozproszonych uczestników procesu produkcji jest możliwa m.in. dzięki:

- systemom klasy MRPII/ERP,
- systemom zarządzania przepływem pracy (*workflow systems*),
- systemom zarządzania wiedzą (*Knowledge Management Systems*),
- tele- wideokonferencjom, telefonii komórkowej,
- systemom zarządzania łańcuchem dostawców SCM (*Supply Chain Management*),
- systemom zarządzania relacjami z klientami CRM (*Customer Relationship Management*),
- systemom „czwartej generacji” („*fourth generation*” systems) (np. systemom eksperckim, sieciom neuronowym, systemom wieloagendowym).

Przedsiębiorstwo wirtualne jest systemem produkcji przyszłości. Umożliwia ono funkcjonowanie na rynku globalnym, łączenie i współdziałanie najlepszych i najbardziej kompetentnych podmiotów w procesie realizacji zmiennych potrzeb klientów, a dzięki temu poprawę elastyczności i efektywności działania. Kolejną formą organizacji systemów produkcyjnych ukształtowaną pod wpływem burzliwego rozwoju technik informacyjnych i komunikacyjnych jest **organizacja sieciowa** (*network business*). Stanowi ona względnie stałe powiązanie przedsiębiorstw lub jednostek przedsiębiorstw, które charakteryzuje minimum formalnej struktury i ukierunkowanie na realizację określonych, wspólnych celów. Wykorzystuje intensywnie technologie informatyczne i komunikacyjne oraz bogate zasoby *know-how* wewnątrz całego łańcucha wartości (*value chain*) i szybko oraz efektywnie je przekształca (dzięki m.in. sieciom neuronowym).

Organizacja sieciowa daje możliwość dominacji w zakresie standardów technologicznych w swoim sektorze, dzięki transdyscyplinarności i synergii pozwala na osiągnięcie efektów nowych jakościowo, często rewolucyjnych dających znaczną przewagę w konkurencyjnym otoczeniu. Działania całej sieci koordynuje broker, centralne ogniwo sieci, a poszczególne jednostki realizują jedynie część zadań (w których są ekspertami), jakie wykonuje tradycyjne przedsiębiorstwo. Organizacje sieciowe tworzone są zarówno przez jednostki odległe terytorialnie, które korzystają np. z formy organizacji wirtualnej, jak i jednostki z sąsiedztwa i bliskiego regionu zorganizowane np. w formy klastrów (*clusters*).

Kolejnym czynnikiem, który ma wpływ na rozwój systemów produkcyjnych są zmiany organizacyjne. Technologie informatyczne i komunikacyjne wspierają je, ale nie są warunkiem koniecznym ich stosowania. Filozofie funkcjonowania ukształtowane przez ten czynnik przyczyniają się do rozwoju i są również adaptowane przez opisane powyżej systemy produkcyjne. Koncepcje systemów produkcyjnych, których źródłem są czynniki organizacyjne przedstawia tab. 2.3.

Tabela 2.3

Koncepcje kształtowane przez zmiany organizacyjne

Czas	Koncepcja	Twórca(y)
Lata 50.	<i>Just in Time</i> (JiT)	Taichi Ohno
Lata 70.	<i>Total Quality Management</i> (TQM)	Phil Crosby
Lata 80.	<i>Theory of Constraints</i> (TOC)	Eliyahu Goldratt
Lata 80.	<i>Six Sigma</i>	Bob Galvin, Bill Smith
Lata 80.	<i>Supply Chain Management</i>	Oliver/Webber, Cooper/Ellram
Lata 90.	<i>Lean Management</i>	James Womack, Daniel Jones
Lata 90.	<i>Business Process Reengineering</i> (BPR)	Michael Hammer
Początek XXI w.	<i>LeanSigma</i>	Jack Welch

Źródło: [88]

Od lat 50. XX wieku w zakładach Toyoty pracowano nad nowym systemem produkcji, który określono mianem ***Just in Time***. Z założenia, według definicji APICS, jest to system, który ma eliminować wszystkie straty, rozumiane jako działania nie dodające wartości produktowi. Rodzaje strat, tzw. *muda* (zbędny ruch, transport, niewłaściwe metody, braki, nadprodukcja, zapasy, oczekiwanie), które występują w systemach produkcyjnych

zdefiniował i scharakteryzował Taiichi Ohno [83, 102]. Ponadto system JiT eliminuje nierównomierność pracy maszyn i ludzi (*mura*) i przeciążenie ludzi lub maszyn pracą (*muri*). **Istotą systemu JiT jest uzyskanie harmonijnego przepływu czynników materialnych i informacji. W tym celu zastosowano ciągły proces identyfikowania problemów i strat, wyrównane i wypoziomowane obciążenie pracą (load leveling or smoothing)** dzięki zastosowaniu hejunki, systemu kanban, standaryzacji zadań, kontroli wizualnej, upelnomocnienia pracowników oraz przerywania procesów w celu rozwiązywania pojawiających się problemów (*jidoka*) [67, 83].

Harmonijny przepływ nie byłby możliwy gdyby nie wynaleziony przez Taiichi Ohno **system kanban** sygnalizacji popytu, eliminacji nadprodukcji i zarządzania zapasami. Umożliwia on sygnalizowanie procesom w górze strumienia potrzeby produkcji takich elementów, które są aktualnie potrzebne procesom w dole strumienia do zrealizowania zamówienia klienta, czyli pracę w systemie pull [67]. System JiT zakłada również dbałość o jakość u źródła, czyli u jego podstaw stoi eliminowanie przyczyn błędów. Wykorzystano w nim poglądy na temat jakości wyrobów i procesów głoszone od lat 50. przez Deminga. Zmiany systemu produkcji w Toyocie, które trwały do lat 80. doprowadziły do powstania systemu produkcji, który nosi nazwę System Produkcji Toyoty TPS (Toyota Production System). Jego zasadniczą cechą jest połączenie systemu JiT wraz z systemem kanban i elementami koncepcji zarządzania jakością totalną TQM. O sukcesie TPS zdecydowało wykorzystanie szeregu metod i technik doskonalących systemy produkcyjne, m.in. 5S, standaryzacji, kontroli wizualnej, SMED, Poka-Yoke, TPM, a ponadto stawianie dalekosiężnych celów, dbałość o rozwój pracowników, stosowanie procesu ciągłego identyfikowania problemów z wykorzystaniem systemu jidoka i ciągłego doskonalenia [83, 137].

Proces usprawniania produkcji, który doprowadził do powstania TPS został sformalizowany przez Amerykanów Womack'a i Jones'a i określony pojęciem *Lean Manufacturing*, czyli „odchudzona” produkcja. Całość zmian organizacyjnych realizowanych zgodnie z ideą odchudzonego myślenia sformułowali oni w formie pięciu zasad [143, 144]:

- dokładnie ustalić wartość produktu z punktu widzenia klienta,
- zidentyfikować strumień wartości produktu,
- zapewnić niezakłócony przepływ strumienia wartości produktu,
- pozwolić klientowi na wyciąganie wartości od producenta,
- dążyć do doskonałości.

Punktem wyjścia w dokonywaniu zmian zgodnie z koncepcją *Lean* jest zidentyfikowanie potrzeb klienta, które stanowią o wartości produktu. Kolejno realizowane czynności obejmują właściwe uszeregowanie i uporządkowanie działań prowadzących do wyprodukowania produktu i sprawienie, by działania te mogły być realizowane bez zakłóceń wtedy, gdy zaistnieje taka potrzeba. Znamienną sprawą jest również przejęcie przez tę koncepcję założenia o potrzebie ciągłego doskonalenia głoszonego przez filozofię *kaizen*. Ciągłemu doskonaleniu podlega cały strumień wartości produktu, tak by produkt mógł być realizowany coraz efektywniej.

U podstaw koncepcji *Lean* tkwi potrzeba eliminacji *muda*, *muri* i *mura*, co wiąże się z eliminacją czynności nie dodających wartości produktowi (*non value adding activity*) i zmniejszaniu nakładów potrzebnych na ich wykonanie. Początkowo filozofia *Lean* odnosiła się do procesu produkcji, następnie jej podejście zostało rozszerzone na wszystkie procesy realizowane w systemach produkcyjnych i łańcuchach dostaw, a mianem *Lean Management* określone zostało zarządzanie zgodnie z ideami wyszczuplania.

Inne podejście do zarządzania systemami produkcyjnymi przedstawił Goldratt. Opracowana przez niego **Teoria Ograniczeń** (TOC, *Theory of Constraints*) zwraca uwagę na potrzebę właściwego zarządzania najbardziej obciążonym elementem w systemie produkcyjnym, które stanowi ograniczenie systemu (tzw. wąskie gardło – *bottleneck*). Zgodnie z TOC system produkcyjny jest tak mocny, jak jego najsłabsze ogniwo, czyli „wąskie gardło”. *Istotą TOC jest zatem konieczność podporządkowania całej działalności systemu potrzebie maksymalnego wykorzystania możliwości ograniczenia*. Podobnie jak szereg koncepcji ukształtowanych pod wpływem czynników organizacyjnych (np. *Lean Management*, JiT, TQM), TOC dąży do zwiększenia przepustowości systemu (*throughput*) rozumianej jako tempo produkowania wyrobów gotowych, na które czekają klienci. W związku z tym, w celu realizacji usprawnień przyczyniających się do poprawy przepustowości zakłada potrzebę realizacji pięciu kroków [46]:

1. Identyfikacja ograniczenia („wąskiego gardła”).
2. Eksploatacja ograniczenia – maksymalne wykorzystanie obecnych możliwości „wąskiego gardła”.
3. Podporządkowanie wszystkich działań konieczności maksymalnego wykorzystania ograniczenia.
4. Wzmocnienie ograniczenia.
5. Powrót do kroku 1.

Efektem zastosowania procesu ciągłego doskonalenia (określonego przez pięć kroków) jest metoda werbel-bufor-lina DBR (*drum-buffer-robe*) poświęcona planowaniu i sterowaniu produkcji w systemach produkcyjnych. Jej podstawą jest zapewnienie ciągłej pracy ograniczenia i uzyskanie maksymalnej przepustowości systemu dzięki odpowiednio rozmieszczonym globalnym buforom czasowym oraz wyciąganiu przez ograniczenie, przy pomocy umownej liny, niezbędnych materiałów od poprzedzających procesów [21]. Podejmowaniu właściwych decyzji dotyczących funkcjonowania systemów produkcyjnych służy **rachunkowość przerobowa** (*Throughput Accounting*), której podstawowymi miarami efektywności systemu są: **przerób** (*throughput*), **inwestycje** (*investment*) i **nakłady operacyjne** (*operating expenses*) [27].

W latach 90. Hammer i Champy opracowali koncepcję realizowania zmian w przedsiębiorstwie, którą określili mianem *Business Process Reengineering* BPR. *Reengineering* oznacza radykalne zmiany w działalności systemu produkcyjnego, które mają służyć znaczącej poprawie efektywności jego funkcjonowania. Radykalne zmiany związane są z realizacją ambitnych celów, jakie powinno stawiać sobie przedsiębiorstwo. Reengineering zakłada konieczność odejścia od funkcji realizowanych w przedsiębiorstwie, na rzecz spójnych, przekrojowych procesów ukierunkowanych na klienta. Na wyjściu procesu powinien pojawić się efekt, który charakteryzuje się wartością określoną i oczekiwaną przez klienta [54]. Podobnie jak w Lean Manufacturing i TQM punktem wyjścia w BPR jest zatem realizowanie potrzeb klientów.

Do realizacji gruntownych zmian i integracji procesów należy wykorzystać możliwości jakie dają nowe technologie informatyczne. Klasyczny *reengineering* przebiega w dwóch fazach [14]:

- badań i tworzenia nowej koncepcji,
- wdrożenia koncepcji.

Dbanie o jakość, zarówno produktu jak i procesu, stało się w obecnych czasach koniecznością. Podwaliny **Total Quality Management** TQM stanowią powstałe w pierwszej połowie XX wieku koncepcje, takie jak Quality Control QC czy Statistical Quality Control SQC oraz narzędzia, takie jak Statistical Process Control SPC czy Acceptable Quality Level AQL [90]. Pierwsze systemowe podejście, zgodnie z którym doskonalenie jakości powinno być procesem ciągłym i obejmować wszystkie sfery działalności przedsiębiorstwa określił Crosby, a następnie rozwinęli japońscy przedsiębiorcy.

TQM polega na rozpowszechnianiu w całym przedsiębiorstwie zasad i metod zabezpieczania jakości, które zastąpiły kontrolę końcowych wyników samokontrolą i poszukiwaniem rozwiązań przez samych wykonawców operacji oraz szybkim ich testowaniem i wdrażaniem [14]. W systemie TQM można znaleźć podobieństwo do innych koncepcji rozwijanych pod wpływem czynników organizacyjnych (np. JiT, koncepcja *Lean*), bowiem podstawę TQM stanowi m.in. orientacja na procesy, identyfikacja potrzeb klienta, powszechne zaangażowanie pracowników, przyjmowanie długoterminowych perspektyw czy wdrażanie cyklu ciągłego doskonalenia CI (*Countinuous Improvement*). W ostatnich latach pojawiła się nowa, przyszłościowa koncepcja TQM, czyli TQL (*Total Quality Leadership*), która oznacza **totalne przodownictwo i przewodnictwo jakościowe**.

Programy **Six Sigma** zostały opracowane i rozpowszechnione przez firmę Motorola pod koniec lat 80. w celu doskonalenia procesów i obniżania kosztów funkcjonowania systemów produkcyjnych poprzez redukcję kosztów złej jakości (*Cost of Poor Quality*). Ograniczanie zmienności procesów i eliminowanie przyczyn powstawania braków jest realizowane w trakcie przeprowadzania projektów, które składają się z kilku ściśle określonych etapów. Ich podstawą jest algorytm postępowania określony przez metodę DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*). Rozpoczyna go określenie problemu z punktu widzenia klienta i zidentyfikowanie cech krytycznych jakości, następnie mierzona jest z wykorzystaniem statystycznych metod aktualna zdolność kluczowego procesu, a zebrane dane analizowane są w celu zidentyfikowania czynników wpływających na cechy krytyczne. Działanie kończy określenie planów poprawy czynników w celu optymalizowania cechy krytycznej i wdrożenie ich [91, 127].

Kluczowymi narzędziami *SixSigma*, wykorzystywanymi w czasie realizacji programu DMAIC są: mapowanie procesów (*process mapping*), macierz przyczyn i skutków (*cause and effect matrix*), system analizy pomiarów (*measurement system analysis*), zdolność procesu (*capability study*), analiza FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), projektowanie eksperymentów DOE (*Design of Experiments*), plany kontroli (*control plans*) [127].

Na początku XXI wieku, na bazie praktycznych doświadczeń powstała koncepcja **Lean Six Sigma** (zwana też *LeanSigma*), łącząca koncepcje *Lean* i programy *Six Sigma*. Nowa koncepcja zapewnia efektywność funkcjonowania systemów produkcyjnych dzięki realizowaniu wymagań klienta poprzez kontrolę i doskonalenie procesów z wykorzystaniem narzędzi statystycznych, ale jednocześnie z uwzględnieniem kryteriów czasu i kosztów realizacji procesów. Jej kluczowymi elementami są klient, potrzeba identyfikowania jego potrzeb i wartości produktu, proces, którego przebieg jest ciągle analizowany i usprawniany oraz upełnomocnieni pracownicy zaangażowani poprzez pracę zespołową w proces ciągłego doskonalenia.

Koncepcje, których źródłem są czynniki organizacyjne, a które kształtują systemy produkcyjne charakteryzują podobne elementy. W każdej z nich punktem wyjścia jest identyfikacja potrzeb klienta, występuje konieczność stosowania podejścia procesowego,

uzyskania jak największej przepustowości systemu i potrzeby ciągłego doskonalenia w celu obniżenia kosztów, poprawy zadowolenia klienta, elastyczności i ogólnej efektywności funkcjonowania. Na rozwój systemów produkcji związany z czynnikami, nie tylko o charakterze organizacyjnym, duże znaczenie miało powstanie na początku lat 80. koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw *SCM (Supply Chain Management)*. Łańcuch dostaw określany jest jako sieć producentów, którzy współpracują ze sobą w celu przetwarzania i przemieszczania dóbr [13, 131]. Takie podejście pozwala rozszerzyć perspektywę systemu produkcyjnego z pojedynczego przedsiębiorstwa do **sieci przedsiębiorstw**, połączonych przepływami materialnymi i informacyjnymi, w celu przekształcenia dóbr od fazy surowca po wyrób końcowy.

2.3. Cechy ISP

W punkcie 2.1 scharakteryzowano elastyczność informacyjną systemu produkcyjnego (ESP). Możemy zatem stwierdzić, że *system ISP jest takim ESP, w którym dominującym rodzajem elastyczności jest informacyjna*. Ten rodzaj elastyczności pełni bowiem rolę metacechy w odniesieniu do innych rodzajów elastyczności (np. automatyzacji, strukturalnej, asortymentowej, marszrut, przebrojeń). Jednocześnie czynnikiem integrującym transformacje, prowadzące od klasycznie rozumianych systemów produkcyjnych do ISP, jest informacja (tab. 2.4).

Tabela 2.4

Zmiany paradygmatu zarządzania systemami wytwórczymi

Tradycyjne systemy produkcyjne	ISP
zarządzanie materialne	zarządzanie informatyczne
klasyczny determinizm	zdeterminowany chaos
hierarchiczność	relacyjność (obiektowość)
szttywność decyzyjna, logika klasyczna	wielowariantowość, logika rozmyta
statyczna równowaga	dynamiczne dysproporcje
centralizacja	struktury rozproszone
funkcyjność	procesowość
ekspansywna konkurencyjność	partnerska współpraca
monolityczność, zamkniętość	otwartość, heterogeniczność, wirtualność
sekwencyjność, redukcjonizm	równoległość, systemowość
ograniczona samodzielność	autonomiczność
zależności lokalne	zależności globalne
wolne reakcje	reakcje <i>on-line (real-time)</i>
część jako fragment całości	całość (holon), fraktalność

Źródło: opracowanie własne na podstawie [155]

Zasadnym jest zatem postawienie pytania o **związki cech rozwojowych IT z metodami zarządzania ISP**. W pracy [152] wskazano na cztery trendy IT:

I. Miniaturyzacja.

Każdy innowacyjny system stara się minimalizować fizyczne parametry przetwarzanej materii oraz skojarzonych strumieni zasileń (np. energetycznych). W szczególności dotyczy to mikroelektroniki, czyli sprzętu informatycznego.

II. Sieciowość.

Sieciowość IT widać wyraźnie zarówno w skali makro konfiguracji (wewnątrz niej połączenia występują między wszystkimi jej elementami) jak i mikro (połączenia między elementami układu scalonego), przy czym w kolejnych fazach rozwoju IT można wyróżniać następujące etapy: najpierw wzrost indywidualnych możliwości urządzeń, a następnie łączenie się ich w sieci (punkt 2.1).

III. Mobilność.

Zminiaturyzowane urządzenia w sieci w naturalny sposób stają się mobilne, zachowując swoją funkcjonalność. Wiąże się to także z rozwojem małych urządzeń elektronicznych wyposażonych w **transpondery** czyli miniurządzenia zdolne do wysyłania i odbioru sygnałów (*transmitter-responder*). Zaawansowane transpondery wyposażone są w pamięci, posiadają własną logikę sterowania, w szczególności mikroprocesor. Mogą być zatem strukturalnie postrzegane jako prosty komputer i być pełnoprawnym składnikiem teleinformatycznych sieci stanowiących jedną z podstaw elastycznej infrastruktury produkcyjnej.

VI. Wirtualizacja.

Mamy tu do czynienia ze zjawiskiem zastępowania materii informacją, co odbywa się na drodze wyizolowania w konfiguracji warstwy fizycznej i logicznej. W rozbudowanych systemach informatycznych wirtualizacja podnosi efektywność zarządzania heterogenicznym środowiskiem wieloserwerowym, co wymaga stosowania specjalnego oprogramowania dla żądanej abstrakcji zasobów. Możliwe jest również stosowanie maszyn wirtualnych (*virtual machine*), czyli oprogramowania instalowanego na platformie fizycznej w celu tworzenia określonego środowiska uruchomieniowego dla aplikacji. Z aplikacyjnego punktu widzenia w skali makro prowadzi to do przetwarzania chmurowego (*cloud computing*).

Z kolei w odniesieniu do metody zarządzania systemem IT przedsiębiorstwa (ISP) przyjęto następujące założenia co do jej cech:

A. Wielowariantowość

Nawet w ramach założonej klasy systemów produkcyjnych (branża) istnieje wielka ilość rozwiązań, co do których nie ma jednoznacznej pewności o wyższości danego wariantu. Dla ich oceny należy korzystać z **modeli referencyjnych** ładu korporacyjnego [53].

B. Heterogeniczność

Mimo kuszącej, z punktu widzenia „czystości organizacyjnej”, wizji tworzenia metody o jednolitej linii koncepcyjnej (np. konsekwentne stosowanie narzędzi obiektowych czy oprogramowania jednego dostawcy) zróżnicowanie procesów i elementów świata rzeczywistego wymusza każdorazowo ustępstwa na rzecz kompromisu między jednolitością metody (**homogeniczność**) a praktycznym zróżnicowaniem przemysłowego środowiska hardwarowo-sofwarowego.

C. Otwartość

Dynamika współczesnych systemów produkcyjnych powoduje, że również konstruowany system nie może być statyczny. W tym kontekście zakładana otwartość umożliwia jego lepsze kontrolowanie i **modularne modyfikowanie**.

Stosowane algorytmy (organizacyjne i skojarzone z nimi programowe) winny być jak najbardziej zbliżone do ideału „samouczących się”.

D. Systemowość

Metoda organizacyjna kreująca i pielęgnująca system IT dla skojarzonego z nim systemu produkcyjnego winna także posiadać tę cechę – celowe łączenie w spójną całość sprawdzonych metod cząstkowych tworzy nową jakość będącą czymś więcej niż tylko sumą rozwiązań składowych. W znacznej mierze cecha ta wynika z coraz bardziej **interdyscyplinarnego paradygmatu** komputerowego wspomaganego zarządzania (operacyjnego).

Syntetycznie ujmując wymienione cechy, możemy stwierdzić, że drogą **wielowariantowej integracji** dochodzimy do rozwiązania systemowego, które pomoże nam zredukować złożoność informacyjną przedsiębiorstwa w heterogenicznym środowisku sprzętowo-programowym. Warunkiem zastosowania takiej metody jest właśnie jej otwartość, co wymaga **systemów otwartych SO** (*open system*) w sensie informatycznym. W ten sposób metacecha otwartości (C) okazuje się być łącznikiem integrującym punkty I–IV. z A–D. Gwarancją elastyczności konfiguracji sprzętowej jest bowiem jej informatyczna otwartość. *Z kolei otwartość systemu informatycznego koresponduje z jego elastycznością i obejmuje jego całość (nie tylko sprzęt)*. Zatem nie jest to spełnienie odpowiednich norm, nie jest to typ architektury informatycznej, a także nie jest to korzystanie z określonych produktów. **Otwartość** jest cechą wynikającą ze sposobu konfigurowania systemu. Widzimy zatem związki tak interpretowanej otwartości z modelem implementacji ISP – SOA (punkt 1.3).

Konsekwentnie należy tu postawić pytanie o związki technicznej definicji otwartości [58] z cechami IMS, co prowadzi do następujących spostrzeżeń:

- **przenośność** (*portability*) aplikacyjna gwarantuje stosowanie różnych programów i zadań produkcyjno-logistycznych w oparciu o różne konfiguracje materialne (elastyczne fabryki, przezbrajalne linie produkcyjne, zautomatyzowane środki magazynowe i transportowe),
- **interoperacyjność** (*interoperability*) pozwala na wspólną pracę składników systemu, co wymaga łączenia ich w sieci, w szczególności o charakterze otwartym,
- niezależna komunikacja z użytkownikiem (*user portability*) oznacza, iż różne komponenty systemu w podobny sposób komunikują się z użytkownikiem, co wymaga szukania kompromisów między elastycznością (otwartością) systemu, a jego standaryzacją.

Zmiany paradygmatu zarządzania systemami wytwórczymi (tab. 2.4) prowadzą do powstania ich nowej generacji – IMS, charakteryzującej się nowym, otwartym typem inteligencji wytwórczej (tab. 2.5). Charakterystyka cech w tab. 8 uprawnia do spostrzeżenia, że **organizacja podsystemu wytwórczego, magazynowego czy logistycznego w inteligentnym systemie produkcyjnym wymaga partnerskiej współpracy przedsiębiorstwa i jego otoczenia**. Na tym przykładzie widać wyraźnie jak sztywne dotąd granice między firmą a otoczeniem zewnętrznym ulegają zatarciu. W analogiczny sposób mogą być kształtowane relacje między przedsiębiorstwem a dostawcami surowców czy usług. W zależności od potrzeb możliwe jest tu np. włączanie dostawców do struktur przedsiębiorstwa bądź **delegowanie**

zadań na zewnątrz (*outsourcing*). Istotne jest przy tym, aby dostawcy wewnętrzni i zewnętrzni mieli taki sam, partnerski status.

Podobnego traktowania wymagają również klienci: zanika tu tradycyjny podział na „ważnych” klientów zewnętrznych i „nieważnych” wewnętrznych. Znowu widzimy tu kolejny trend zmian technik metod organizacji i zarządzania, tym razem w obszarze **teorii gier**: odchodzenie od, najistotniejszych w systemach tradycyjnych, gier o sumie zerowej. Ta kategoria gier charakteryzuje systemy zamknięte, tymczasem **charakterystyka IMS implikuje otwartość ich struktur, co odpowiada grom kooperacyjnym o sumie niezerowej (dowolnej)**. Podobnie dzieje się w przyrodzie, gdzie mechanizmy ewolucyjne gwarantują ciągły rozwój i powstawanie nowych jakości (coraz doskonalsze organizmy) przy zachowaniu wyważonych proporcji między partnerstwem a konkurencją, zarówno w obszarze gatunku jak i między nimi.

Tabela 2.5

Otwarta organizacja IMS, a tradycyjny system produkcyjny

Cecha	IMS	System reaktywny
Przepływy materiałowo-informacyjne	Zasada odbioru (proces następnym determinuje poprzedni)	Zasada dostarczania („przepychanie” zleceń)
Planowanie produkcji	Autonomiczna i zgrubna, na podstawie celów holonów, agentów czy fraktali	Zcentralizowana i szczegółowa, na podstawie stanu zasobów
Typ organizacji	Hierarchiczno-sieciowy, relacyjny	Hierarchiczny
Granice przedsiębiorstwa	Elastyczne, otwarte, np. generowanie zleceń (<i>customer replenishment</i>)	Sztywne, zamknięte (np. tradycyjne zlecenia klientów)
Forma przedsiębiorstwa	Całościowa struktura systemowa (wirtualność, sieciowość)	Prosta suma składowych
Ewolucja przedsiębiorstwa	Nieliniowa, adaptacyjna, bardziej elastyczna i otwarta	Liniowa, deterministyczna, mniej odporna na zakłócenia
Prognozowalność	Słabsza i mniej istotna (bezmagazynowa produkcja „na czas” – JiT, <i>Just in Time</i>)	Teoretycznie długofalowa, praktycznie nieodporna na zmiany

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6].

Zidentyfikowaną w sferze IMS **metacechę otwartości** można dostrzec także w jej komunikacyjnym i osobowym wymiarze. Nowoczesne **przedsiębiorstwa umożliwiają swoim pracownikom korzystanie z firmowych portali społecznościowych czy otwartych repozytoriów wiedzy opartych o technologie wiki, zastępujących tradycyjne narzędzia pracy grupowej**. Pracownicy, którzy prywatnie rozwijają swoją osobowość na specjalistycznych forach dyskusyjnych w Internecie czy w blogosferze chętnie korzystają z podobnych technologii w firmie aby w otwarty sposób dzielić się swą fachową wiedzą z innymi pracownikami.

Takie podejście koresponduje z odchodzeniem w systemach przekazywania wiedzy od metafory „pustego naczynia”, które scholastycznie można wypełnić pożądanymi treściami. Doświadczenia praktyki przemysłowej pokazują, że wiedzę nabywa się bardziej w jakościowych procesach zaangażowanych kontaktów społecznych, a mniej poprzez jej mechaniczne absorbowanie ilościowe. Także w edukacji i obszarach badawczych obserwujemy wyraźne narastanie tendencji **nauki otwartej (open science)**, co przejawia się m.in. w publikowaniu artykułów na zasadach otwartego dostępu (*open access*), np. z wykorzystaniem licencji niewyłącznej.

Fale i fazy rozwoju ISP/IT

Rozdział dotyczy ewolucji elastycznych systemów produkcyjnych, w których podstawowym rodzajem elastyczności jest informacyjna. Rozwijając wnioski wynikające z klasyfikacji systemów produkcji, rozważono problem prognozowalności transformacji organizacyjnych, wskazując na ich cykliczność. Paradygmat cykliczności transformacyjnej zilustrowano w skali makro na przykładzie długich fal Kondratiewa, w wymiarze mikroekonomicznym punktem odniesienia jest krzywa cyklu technologicznego.

Uszczegółowiono systematyzację faz ewolucji ISP, pokazując prawa rządzące rozwojem IT, nawiązując przy tym do charakterystyki ekonomii cyfrowej (sieciowej) oraz generacyjności hardwarowo-sofwarowej IT w powiązaniu z rozwojem elastyczności wytwórczej. Pozwoliło to na zbadanie szeregu modeli ewolucji ISP, co zreasumowano w końcowej części rozdziału. W szczególności analizie poddano cechy modeli bionicznych interpretowane w kategoriach produkcyjnych.

3.1. Paradygmat cykliczności transformacyjnej

Transformacje organizacyjne, na które wskazano w p. 1.4 nasuwają pytanie o ich prognozowalność. Przewycięzanie problemów transformacyjnych wymaga bowiem tworzenia rozwiązań innowacyjnych, aby zastępować istniejące, mniej efektywne i klasyczne. Dotyczy to także jednej z najdynamiczniejszych sfer przedsiębiorstwa – informatyki. **Przykładowo:** dostawca nawet najnowocześniejszego oprogramowania może niespodziewanie odkryć, że kurczy się dla niego rynek zbytu i to nie z powodu słabej jakości softwaru. Jeśli zadamy tu pytanie: dlaczego tak się dzieje, wrócimy do wcześniej zasygnalizowanej kwestii – czy zjawiska, o których mówimy dają się w ogóle przewidywać? Jedną z takich prób podjął rosyjski ekonomista Mikołaj Kondratiew, przewidując wielki kryzys gospodarczy lat 30. w pracy opublikowanej w Berlinie w roku 1926 (*Die langen Wellen der Konjunktur*). Wykazał cykliczność rozwoju technologicznego przebiegającego w powtarzalnych okresach o długości ok. 50 lat (tab. 3.1).

Musimy przy tym pamiętać, że *mówimy tu o modelach natury empirycznej, które w sposób syntetyczny dobrze tłumaczą rozwój cywilizacyjno-technologiczny, ale nie są w stanie integrować wszelkich czynników mających na niego wpływ, a tym bardziej dostarczyć precyzyjnej wiedzy o tym, co zdarzy się w przyszłości*. Podobnie jak prawo Moore'a nie jest w stanie odpowiedzieć na szczegółowe pytania typu „kiedy na rynku rozpowszechni się papier elektroniczny”, a jedynie pokazać w jakim okresie możemy spodziewać się odpowiednio dużej wydajności urządzeń mikroelektronicznych w związku ze wzrostem gęstości upakowania układów scalonych. Warto zatem postawić pytanie w kontekście optymalizacji IT/ISP: gdzie, w odniesieniu do wskazanej teorii, znajdujemy się obecnie?

Tabela 3.1

Długie fale Kondratiewa (jeden z wariantów) i ich możliwa prognoza

Cykl	Zgrubne datowanie	Technologie	Trendy cywilizacyjne
Pierwszy Kondratiew	1780–1840	krosno, maszyna parowa	przemysł tekstylny, industrializacja
Drugi Kondratiew	1840–1890	kolej, parowce, stalownie	masowy transport, przemysł ciężki
Trzeci Kondratiew	1890–1940	elektryczność, chemia	sieci telefoniczne, media (kino, radio)
Czwarty Kondratiew	1940–1990	samochód, elektronika, komputer	indywidualna mobilność, automatyzacja
Piąty Kondratiew	1990–2040	Internet, mikroelektronika, samolot	globalizacja, ekologia, multimedia
Szósty Kondratiew	2040–2090	biotechnologie, nanotechnologie, grawiton	telepraca, wirtualizacja, podróże kosmiczne

Źródło: [9]

Panuje tu zgoda, że w piątym cyklu sinusoida aktualnego (zaczęła się już około roku 1980) zakończy się zaledwie po 40 latach ponieważ według niektórych badaczy same cykle ulegają skracaniu. Wynikałoby z tego, że w jej szczytowym momencie znajdowaliśmy się na początku bieżącego stulecia (pęknięcie tzw. bańki internetowej *dot-comów*), a obecna recesja jest wstępem do jeszcze dynamiczniejszego rozwoju w najbliższych latach [9]. Czy uzbrojeni w taką wiedzę możemy łagodzić możliwe skutki negatywne obecnego przesilenia i spowodować szybsze przejście do następnego okresu prosperity? Wiele wskazuje na to, że tak, przy czym *ważne jest uchwycenie przyczyn opisywanych fenomenów w skali mikroekonomicznej, tj. na poziomie przedsiębiorstwa – w jego sferze organizacji i zarządzania oraz technologii informacyjnej.*

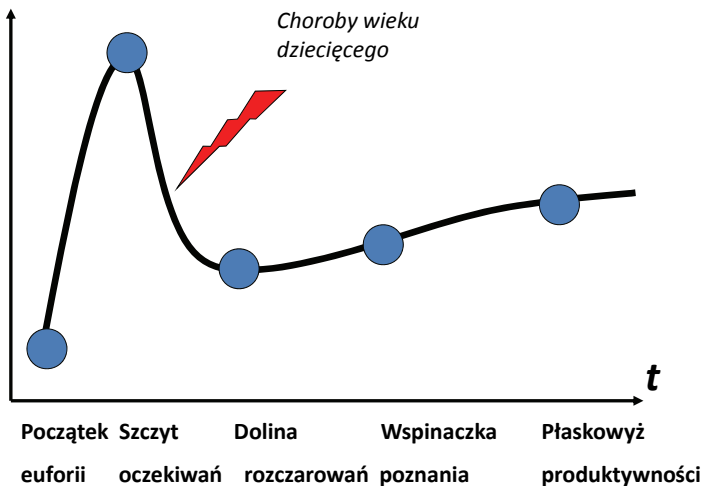
Przykładowo, w praktyce przemysłowej często zadajemy pytanie: dlaczego coraz szybsze komputery na biurkach pracowników nie zawsze przekładają się na oczekiwany wzrost wydajności pracy? Dlaczego wiele projektów softwarowych nie kończy się pełnym sukcesem [63]? Dlaczego coraz bardziej rozbudowane funkcjonalnie oprogramowanie nie podnosi rentowności firmy, zgodnie z założeniami? Okazuje się, że prześledzenie mechanizmów powstawania fal Kondratiewa daje tu interesujące wskazówki. Teoria ma także swoich krytyków, ale nikt nie podważa cykliczności jako metaparadygmatu rozwojowego. Cykliczność rozwojowa jest dobrze znana co najmniej od czasów Clementa Juglara, który opublikował swoją teorię wahań koniunkturalnych ok. półtora wieku temu. Krótki cykl koniunkturalny (kryzys, depresja, ożywienie, rozkwit) trwa kilka lat i można zaobserwować go także współcześnie. Cykliczność jest zaburzona, m.in. wskutek interwencjonizmu państwowego, amplituda wahań jest spłaszczona, niemniej samo zjawisko, jako cecha systemów gospodarczych występuje. Co istotne, obok cykli krótszych, występują też znacznie dłuższe, w tym Kondratiewa (45. – 60. lat) i Ewijka (140. – 180. lat) [43].

Zidentyfikujmy przebieg cyklu, przyjmując, że kryzys jest jego początkiem. Wówczas rośnie gotowość do podjęcia ryzyka i przechodzenia na nowe technologie, które mają gwarantować wyższą efektywność (stare już się zużyły). Ssanie technologiczne ze strony rynku owocuje nowymi wynalazkami i ideami. Oznacza to zmianę obowiązujących paradygma-

tów. Później następuje faza nasycenia, wreszcie kolejny kryzys i cykl się zamyka. Trwający obecnie superdługi cykl Ewijka rozpoczął się w okresie I wojny światowej. Jego druga część zaczęła się mniej więcej w latach 70. Wynikałoby z tego, że kolejnego wielkiego przełomu cywilizacyjnego możemy oczekiwać w latach 2020–2030.

Tak jak w fizycznych zjawiskach falowych, również w ekonomii nakładanie się fal może prowadzić do efektów wzmacniających lub osłabiających określone trendy. Jeśli superdługi cykl Ewijka nałożyłby się na pozytywną fazę cyklu Kondratiewa, mielibyśmy do czynienia z rzadkim przełomem cywilizacyjnym na wielką skalę. Świat połowy XXI wieku różniłby się tak bardzo od obecnego, jak ten z drugiej połowy ubiegłego stulecia nie przypominał rzeczywistości sprzed 100 lat. Warto przy tym pamiętać, że każdy cykl technologiczny przebiega podobnie i da się w nim wyspecyfikować następujące fazy, plastycznie porównywalne do górskiej ekspedycji (rys. 3.1).

Zidentyfikowany poziom wydajności



Rys. 3.1. Krzywa cyklu technologicznego z początkowymi problemami wdrożeniowymi („choroby wieku dziecięcego”)
Źródło: opracowanie własne

Z użytkowego punktu widzenia najbardziej istotna jest faza końcowa: stabilne, niedrogie, powszechnie dostępne rozwiązania. Tymczasem właśnie w takim momencie ekonomiczny impet nowej (starej) technologii jest już niewielki. Faktycznie znajduje się ona w okresie schyłkowym, stanowiąc przewidywalny składnik rzeczywistości gospodarczej, od dawna w nią wkalkulowany. Tzw. ssanie technologiczne klasycznego rozwiązania jest mniejsze. Można w ten sposób spokojnie trwać, rutynowo korzystając z niedawno fascynujących wynalazków, ale nie można zagwarantować wysokiej dynamiki rozwojowej.

Kiedy maszyna parowa (pierwszy Kondratiew) się rozpowszechniła i spowodowała wzrost wskaźników produktywności w przemyśle tekstylnym o rzędy wielkości, kryzys nastąpił, gdy pojawiło się wąskie gardło rozwojowe, jakim były wówczas koszty transportu. Ich zmniejszenie wymagało już nowej technologii, tym razem infrastrukturalnej, tj. kolei

(drugi Kondratiew). Dodajmy, że większość firm, które chciały budować koleje, bankrutowała, prowadząc do załamania się kursów giełdowych w tym sektorze, podobnie jak to bywa obecnie w nowocześniejszych branżach. Kryzys lat 30. nastąpił, gdy fabryki były zelektryfikowane (trzeci Kondratiew) i potrzebne było przejście od elektryczności do elektroniki (czwarty Kondratiew). Kolejny cykl wymagał z kolei innowacji mikroelektronicznych (piąty Kondratiew).

Zatem stajemy w obliczu znanych z wcześniejszych cykli problemów. Wspomniane „komputery na każdym biurku” nie mogą przynosić już takich efektów jak wtedy, gdy pojawiały się innowacyjne systemy CAD/CAM (*Computer Aided Design /Manufacturing*), powodujące gwałtowny wzrost efektywności projektowania wyrobów przemysłowych. **Potrzebujemy zatem nowego cyklu i nowych technologii obejmujących takie propozycje jak: bioinformatyka, spinoelektronika, komputery kwantowe, telematyczny transport, nowe rodzaje energii i nowe systemy organizacji dla wszechplanetarnego społeczeństwa metainformacyjnego.** Rosnąca złożoność globalnych sieci teleinformatycznych i przenikanie do przedsiębiorstw oraz gospodarstw domowych (klientów firm) coraz większej liczby komputerowo-bazowanych urzędów powodują, że klasyczne metody ich projektowania oraz zarządzania nimi są niewystarczające. Obiecującą strategią przyszłości jest tutaj informatyczna bioorganizacja.

Podstawową cechą znamionującą bioorganizację jest samoorganizacja i jest to także ideał każdego systemu technicznego, a zwłaszcza komputerowego. Takie wymagania stawia się rozproszonym systemom wieloagentowym (holonicznym), które wykazują zdolność do samodzielnego rozwiązywania problemów bez klasycznie definiowanej centralnej instancji decyzyjnej. Softwarowy agent [22] jest bowiem tworem autonomicznie kooperującym – w terminologii holonicznej (*holonic system*) powiedzielibyśmy, że jest „całościowy”. Organiczny system komputerowy powinien zatem posiadać szereg samowłasności, których bio-odpowiedniki znajdziemy w przyrodzie:

- samorozpoznawanie (wzajemna identyfikacja elementów i procesów systemu, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych),
- samodopasowywanie (elastyczność reakcji, w szczególności podczas zakłóceń),
- samoodtwarzanie (naprawy i wymiana zużytych elementów, korekty kodu softwarowego),
- samowzrost (realizacja założeń eksploatacyjno-rozwojowych i ciągła poprawa wskaźników ekonomicznych),
- samoewolucja (nowe warianty systemu i jego formy, partnerska ekspansja rynkowa).

Bioorganizacja daje więc systemowi technicznemu elastyczność, ale nie wyklucza jego wysokiej złożoności. Jaka jest jednak gwarancja optimum kompromisu między tymi przeciwstawnymi tendencjami? Zapewnia ją także inna bioidea: **ewolucyjność**. Pokazuje ona, że 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*, gdzie korzystając z prostszych obiektów (klas, procedur) można budować złożone aplikacje. Nie inaczej dzieje się w biologii, gdzie zaledwie czteroliterowy **alfabet nukleotydów** jest podstawą dla większego zbioru aminokwasów, które dają całe bogactwo wszelkich form życiowych z fenomenem człowieczeństwa włącznie.

Zatem organiczny system techniczny czy bioorganizacyjny wyrób finalny muszą być w istocie zaprojektowane tylko raz „od początku” (*top-down*), a wyposażone w mechanizmy bioorganizacyjne są w stanie funkcjonować samodzielnie, tak jak żywy organizm,

posiadając **metacechę** samoorganizacji i samouczenia się wraz z pokazanymi wcześniej składowymi. **Również w obszarze przepływu informacji (komunikacja, sieci), model bioorganizacyjny, korzysta z doświadczeń żywych organizmów.** Stabilizację wewnętrznego środowiska chemicznego (chemo-elektrycznego) tych ostatnich zapewniają enzymy odpowiedzialne katalizująco za regulację metabolizmu komórek. W sferze techniki odpowiadają im **atraktory** koordynacyjne, wokół których grupują się działania operacyjne poziomu podstawowego (modułowego). Z kolei międzyorganizmowy przepływ informacji biologicznej jest domeną **hormonów**, którym odpowiadają strategie realizowane w systemie informatycznym dla zachowania jego **homeostazy** (stabilności).

Idea paradygmatu zarządzania opartego na komputerowej bioorganizacji jest obiecującą strategią przyszłościową i wielkim wyzwaniem cywilizacyjnym – obecnie mamy dopiero do czynienia z jej załączkami w sferze praktycznej. Od produkcji narzędzi przeszliśmy do produkcji maszyn zdolnych wytwarzać maszyny, ale **w sferze materialnej nie istnieją nawet samopowielające się konstrukcje, a tym bardziej samoorganizacja, w pełnym tego słowa znaczeniu.** Owszem, informacyjny automat, jakim jest program komputerowy, ma zdolności prostej **samoreplikacji** oraz, częściowo, samouczenia się. Taką właściwość posiadają niektóre typy szkodliwych komputerowych wirusów [40]. W obszarze produktywnym warto zwrócić uwagę na **procedury rekurencyjne**, czyli samowywołujące się, co oznacza specyficzny sposób samokopiiowania się. W tym kierunku zdążają też **algorytmy genetyczne i sieci neuronowe**, które modyfikują swoje funkcje celu, iteracyjnie indukują zmienne drzewa decyzyjne bądź dokonują aktualizacji wag. Natomiast w sferze materialnej techniczne osiągi są skromniejsze: aktualnie takie urządzenia jak osobisty fabrykator PF (*Personal Fabricator*) potrafią się replikować w ok. 60–70%.

Obserwowana aktualnie zmiana paradygmatu w obszarze projektowania i eksploatacji systemów produkcyjnych jest faktem uwarunkowanym cyklicznością rozwojową. Zasadnym jest zatem pytanie o granice tych zmian, tzn. prognoza rozwoju przedmiotowego fenomenu oraz wyspecyfikowanie głównych trendów rozwojowych. Mamy tu do czynienia z różnorodnymi modelami organizacyjnymi systemów nowej generacji NGMS (*Next Generation Manufacturing System*), wśród których warto wyróżnić BMS (*Bionic Manufacturing System*), HMS (*Holonics Manufacturing System*) czy fabrykę fraktalną FFMS (*Fractal Factory Manufacturing System*). Do **megatrendów rozwojowych** w tym obszarze można zaliczyć: miniaturyzację, sieciowość (*networking*), mobilność oraz wirtualizację. Korespondują one z megatrendami w obszarze IT (*Information Technology*), z uwagi na kluczową rolę czynnika informacyjnego dla inteligentnych systemów produkcyjnych IMS (*Intelligent Manufacturing System*) oraz skojarzonych z nimi systemów zarządzania. Problemy i szanse jakie stwarza postępująca wirtualizacja rzeczywistości gospodarczej pokazano w pracy [36].

3.2. Prawa rozwoju IT

W punkcie 2.1 (tab. 2.1) pokazano fale i fazy rozwoju IT wraz z jego prognozą. Kolejnym elementem wymagającym identyfikacji jest aktualny stan technologii wytwórczych i wspomagających je komputerowych, co wiąże się z **cyklicznością** charakteryzującą rozwój gospodarczy w aspekcie koniunkturalnym. Możemy się zatem spodziewać jej wpływu także na sferę IT oraz IMS. Cykliczność nie ma charakteru prostej powtarzalności, ale przypomina raczej wznoszącą się spiralę, co może dotyczyć także całego rozwoju cywilizacji. Model spiralny znajdujemy również w inżynierii IT, jako syntezę modelu iteracyjnego

i kaskadowego. W związku z tym definiujemy **generacyjność** w obszarze IT jako wirtualnie rozumiany, jakościowo-skokowy przejaw ilościowego prawa Moore'a i jego pochodnych (np. prawa Huntleya, Metcalfa, Arthursa, Gildera i in. [119]), działających z kolei realnie w sposób ilościowy i ciągły. Fazowo-falowy rozwój IT sumarycznie zilustrowano w tab. 3.2 przykładami generacyjności w różnych jego obszarach.

Tabela 3.2

Generacyjność hardwarowo-sofwarowa IT w powiązaniu z rozwojem elastyczności wytwórczej

Generacja	Hardware	Języki programowania	Bazy danych	Rodzaje elastyczności	Czas (zgrubnie)
0	przełączniki	sprzętowe	pliki	brak	1940
1	lampy	maszynowe	liniowe	funkcji	1950
2	tranzystory	asemblyery	hierarchiczne	grup funkcji	1960
3	układy scalone	wyższego rzędu	sieciowe	procesowa	1970
4	mikroprocesory	4GL	relacyjne	integracyjna	1980
5	technologie przyszłościowe	systemy inteligentne	postrelacyjne	wirtualna	1990

Źródło: opracowanie własne

Sumaryczne dane w tab. 3.2 wymagają komentarza:

1. Hardware

Systemy przełącznikowe, programowane ręcznymi zmianami w obwodach, miały charakter prototypowy i nie były stosowane do celów gospodarczych w sensie wspomaganie systemów wytwórczych. Z kolei znanym przykładem maszyny lampowej był ENIAC (1946 r.). Natomiast pierwszy patent układu scalonego (IC, *Integrated Circuit*) zarejestrowano w 1959 r. przy czym mikroprocesor jest również takim układem o bardzo dużym stopniu integracji (VLSI – *Very Large Scale Integration*). Przykłady te wskazują na modelowość (zgrubność) generacyjności sprzętowej rozumianej dekadowo. Dodajmy, że mianem komputerów 5. generacji określa się maszyny funkcjonujące w oparciu o sztuczną inteligencję (AI, *Artificial Intelligence*); w praktyce zrealizowano fragmenty tej koncepcji, zapoczątkowane japońskim projektem, w powołanym do tego celu instytucie ICOT (*Institute for New Generation Computer Technology*, 1982 r.). Czasami (zamiennie z terminem „6. generacja”) mówi się w tym kontekście o **alternatywnych i przyszłościowych technologiach komputerowych** (optyczne, biologiczne, chemiczne, neuronalne, kwantowe, spinotroniczne).

2. Języki programowania

Podział na hardware i software jest modelem, a więc uproszczeniem stosowanym dla lepszego rozumienia zjawiska, niemniej w informatyce nie istnieje ścisła granica między sprzętem a oprogramowaniem. Możliwa jest **emulacja** funkcji sprzętowych na drodze programowej, względnie implementowanie mikro kodu bezpośrednio w postaci układu elektronicznego. Języki maszynowe (*machine language*) korzystają z instrukcji procesora, natomiast asemblyery (*assembler language*), zachowując strukturę rozkazów maszynowych, korzystają z wyrażen (nazw) symbolicznych. Z kolei generacja 3, obejmuje języki wyższego rzędu (*higher programming language*), tj. takie, których kod źró-

dłowy (*source*) może być przenoszony na inne procesory (po kompilacji), w szczególności należą do nich języki imperatywne (*imperative language*), względnie proceduralne (*procedural language*). Natomiast języki 4GL mają (założenie teoretyczne) charakter nieproceduralny, tj. dostępną użytkownikowi warstwę projektowania logiki aplikacji i generowaną przez narzędzie warstwę sterowania (proceduralną). Ilustracją 5. generacji mogą być języki stosowane w obszarze inteligentnych systemów wiedzy IKBS (*Intelligent Knowledge Based System*).

3. Bazy danych

Na poziomie 0 praktycznie mamy do czynienia z „bazą danych bez bazy danych”. Z kolei na poziomie 5 możemy mówić o **modelach obiektowych czy niestandardowych**. Zaprezentowany wyżej szkic generacyjności IT nie wyczerpuje zagadnienia, zarówno jeśli idzie o analizę porównawczą jak i rozległość badanego obszaru, który może obejmować kolejne sfery sprzętowe czy programowe. Wymieńmy tu przykładowo rozwój sieci teleinformatycznych w aspekcie stosowanych mediów, protokołów czy przepustowości, względnie zmieniające się paradygmaty inżynierii softwarowej (metody strukturalne, analiza obiektowa).

4. Rodzaje elastyczności (poziom aplikacji)

Zidentyfikowana generacyjność hardwarowo-sofwarowa każe oczekiwać podobnego fenomenu w rozległym obszarze oprogramowania użytkowego, przy czym początkowo stosowano komputerowe wspomaganie pojedynczych funkcji (zadań) związanych z produkcją, np. drukowanie statystyk sprzedaży, dalej programy obsługujące grupy funkcji (wydziały), np. zarządzanie zapasami w gospodarce magazynowej. Nastąpiło przejście od organizacji funkcyjnej do procesowej i pojawienie się całościowych pakietów ERP rozszerzanych o standardy integracji partnerów gospodarczych wielu przedsiębiorstw. Aplikacje gwarantujące elastyczność IT/ISP na poziomie wirtualnym wiążą się z rozwojem **ekonomii sieciowej** (*network economy*).

5. Czas generacji

Generacje IT można powiązać z rozwojem systemów wytwórczych. Mamy tu do czynienia z różnorodnymi modelami organizacyjnymi systemów nowej generacji wśród których warto wyróżnić takie jak BMS (*Bionic Manufacturing System*), HMS (*Holonc Manufacturing System*) czy fabrykę fraktalną FFMS (*Fractal Factory Manufacturing System*). Jednocześnie **definiowanie generacji technologicznej** jest utrudnione w momencie jej powstawania i łatwiejsze oraz weryfikowalne dopiero z pewnej perspektywy czasowej. W momencie pojawienia się nowej, przełomowej technologii nie myślimy o niej w kategoriach pierwszej generacji – ta definiowana jest dopiero w chwili, gdy pojawia się generacja następna. Taka zależność utrudnia początkowo syntezę badawczą rozważanego obszaru, co można pokazać na przykładzie generacyjności rozwiązań elektronicznych: kiedy zaczęto konstruować maszyny cyfrowe na tranzystorach zauważono, że technologiczny postęp uprawnia, aby mówić o nich jako o sprzęcie drugiej generacji, w odróżnieniu od technologii lampowej, która charakteryzowała generację pierwszą. Jednocześnie określono w ten sposób, co jest podstawą generacyjności komputerów – technologia wykonania ich podstawowych składników elektronicznych. Dostrzeżono wówczas, że przed lampami były przekaźniki i uzupełniono klasyfikację o numer zerowy dla tych urządzeń.

Opisanym schematem rozwojowym można posłużyć się dla identyfikacji generacyjności systemów wytwórczych. Należy przy tym zdefiniować podstawowe **kryterium generacyjności**, porównując różne formy systemów wytwórczych. Inteligentne *systemy produkcyjne nowej generacji, w odniesieniu do swoich poprzedników, cechują się zmianą proporcji między maszynowym przetwarzaniem materii a informacją, na rzecz tej ostatniej, także w samym podsystemie wytwórczym systemu produkcyjnego.*

W tak rozumianym systemie produkcyjnym (wytwórczym) mamy do czynienia z transformacją materii przez nadawanie jej nowego kontekstu informacyjnego z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego (maszynowe przetwarzanie informacji). **Elastyczność systemu produkcyjnego** jest zatem w znacznej mierze elastycznością informacyjną, co wiąże się z genezą obecności systemów informatycznych w środowisku produkcyjnym, tj. chęcią opanowywania jego złożoności dla osiągnięcia optimum podczas realizacji celów gospodarczych. W wymiarze aplikacyjnym przedsiębiorstwa szczególnie rolę odgrywają systemy ERP. Efekty ich stosowania, proces selekcji oprogramowania tej klasy oraz aspekty pozaekonomiczne (wpływ na kulturę organizacyjną) pokazano w pracy [109].

W punkcie 1.4 wskazano na prawa Lehmana [82], interpretując je w wymiarze organizacyjnym. Zasygnalizowane na początku punktu 3.2 prawa rozwoju IT mają w znacznej mierze charakter techniczny, niemniej składają się na fenomen **ekonomii sieciowej**, która odgrywa istotną rolę kształtującą środowisko gospodarcze ISP. Sieciowość okazuje się decydującym czynnikiem, wpływającym na kształt współczesnych technologii informatycznych zaawansowanych systemów produkcji. Wiąże się to również ze zmianami w organizacji przedsiębiorstwa produkcyjnego: od funkcyjnej, przez procesową, do sieciowej. W tabelach 2.4 i 2.5 podano charakterystyki tradycyjnego i nowoczesnego (przyszłościowego) systemu produkcyjnego. Wynika z nich, że *tradycyjne zarządzanie z trudem radzi sobie z systemem produkcyjnym, w którym informacja jest coraz ważniejszym towarem i w której manewr informacją jest coraz ważniejszym procesem.* W tej nowej ekonomii obowiązują nowe prawa rozszerzające klasyczne reguły biznesu. Tymczasem geneza (tradycyjnych) systemów zarządzania produkcją wiąże się z problemami przetwarzania materii (proces wytwórczy), a tam, gdzie dotyczą one przetwarzania informacji mamy do czynienia ze specyfiką przedinformatyczną.

Aby zilustrować omawiany fenomen, zreasumujmy wybrane tezy dotyczące cyfrowej ekonomii, m.in. formułowane w opracowaniach firmy Oracle i doradcy prezydenta USA, Dona Tapscotta [134]:

1. Nowa ekonomia nie opiera się na sile mięśni, ale na wiedzy. Bogactwem firmy produkcyjnej są intelektualne zdolności jej pracowników – ich wiedza i kreatywność liczą się bardziej niż maszyny czy kapitał.
2. Era produkcji przemysłowej miała charakter „fizyczny” i analogowy (wyroby, pieniądze, rachunki, dokumentacja, komunikacja między pracownikami itp.). Nowa ekonomia ma charakter cyfrowy. Przedmioty i usługi są digitalizowane już w momencie ich kreowania, stając się w ten sposób dostępnymi w skali globalnej.
3. Transformacje analogowo/cyfrowe przekształcają rzeczy realne w wirtualne: wirtualna rzeczywistość, wirtualne przedsiębiorstwa, wirtualne sklepy i urzędy.
4. Nowa ekonomia jest molekularna. Przymiotnik „masowy” zastępowany jest przez „molekularny”: molekularna produkcja, molekularny marketing (elastyczne wytwarzanie jednostkowych wyrobów w skali masowej).

5. Nowa infrastruktura oferuje firmom „ekonomię skali” (*economy of scale*) bez balastu charakterystycznego dla dużych firm. Mury firm zostają rozbite, tworząc miejsce dla sieci obejmujących partnerów, klientów, a nawet konkurentów.
6. Możliwość bezpośredniej komunikacji między konsumentem i producentem powoduje, że pośrednicy stają się zbędni. Stanowi to wyzwanie w zakresie tworzenia wartości dodanej dla wszelkiego rodzaju handlowców, dystrybutorów, czy tzw. menedżerów średniego szczebla.
7. Kwestią kluczową dla nowego przedsiębiorstwa jest jego innowacyjność (skracanie cyklu rozwojowego wyrobów).
8. Produkcja w czasie rzeczywistym (*real time*) oznacza rozszerzenie zasady „*Just in Time*” i zmianę dotychczasowego hasła „lepiej późno niż wcale” na „lepiej wcale niż późno”.
9. Wiedza nie zna granic. Globalnie „usieciowione” przedsiębiorstwa umożliwiają korzystanie z ich usług 24 godziny na dobę. Możliwa jest także praca bez nocnych zmian – wystarczy praca w ciągu dnia, każdorazowo w odpowiedniej strefie czasowej.
10. Globalne sieci to nowe rynki, nowe aplikacje i nowe technologie, co stwarza nowe ryzyka, ale przede wszystkim nowe szanse rozwojowe.

Nowa ekonomia jest także kontynuacją czy rozszerzeniem tej starszej (*old economy*), gdyż dobra o charakterze wirtualnym (informacje) występowały, w ograniczonym zakresie, już w czasach przedelektronicznych. Dziś, rozwój techniki powoduje, że spotęgowaniu ulega obrót nimi. Mamy tu do czynienia z analogią, jaką można znaleźć w prawach fizyki: równania Einsteina dla małych prędkości przyjmują klasyczną postać newtonowską. Podobnie dzieje się **w nowej, cyfrowej ekonomii: dobra podlegają jej prawom w tym większym stopniu, im ważniejszą rolę w tworzeniu ich wartości odgrywa zawarty w nich ładunek informacyjny**. W praktyce mamy bowiem często do czynienia z płynnością granicy między materią a informacją i z wzajemnym przenikaniem się tych wymiarów, żaden bowiem nie istnieje samodzielnie bez drugiego i dopiero razem tworzą one całość wytworów, z których korzystamy. To prawda, że nie można np. kopiować samochodu kliknięciem myszki. Ale to auto także potrzebuje zaszytego w nim softwaru, specyfikacji technologii niezbędnych do jego wykonania, danych zawierających doświadczenia eksploatacyjne, planów budowy czy informacji marketingowych.

Przykładem ewolucji praw rozwoju IT jest relacja między prawami Amdahla a Gustafsona. **Prawo Amdahla** pokazuje, że istnieją granice złożoności, poza którymi opłacalność zwiększania ilości procesorów w konfiguracji szybko zaczyna maleć. W każdym problemie, wymagającym obliczeń, można wyróżnić część sekwencyjną, której nie da się „zrównoleglić”. Innymi słowy: paralelizacja problemu nie przyspiesza tego krytycznego czasowo fragmentu algorytmu, co powoduje, że od pewnej ilości procesorów jej zwiększanie jest technicznym marnotrawstwem. **Gustafson** zauważył, że Amdahl rozważa jedynie pojedyncze problemy o zadanej wielkości. Co stanie się jednak, gdy zamiast jednego problemu, liczonego szeregowo lub równoległe, zechcemy także zwiększać liczbę problemów? Okaże się wówczas, że zwiększanie ilości procesorów ma sens. Jego prawo koresponduje zatem także z ekonomią sieciową i tzw. „pochwałą głupoty” (*dumb power*) przekładającą się na rozwój superkomputerów wirtualnych, tj. przetwarzania rozproszonego (*distributed processing*) i kratowego (*grid*) ewoluującego w kierunku chmurowym (*cloud*). Ekonomia sieci bazuje na sprzężeniu między zmniejszaniem się mikrokosmosu układów scalonych i eksplozją telekosmosu połączeń co prowadzi do powstania Wszechnetu (*evernet*) o planetar-

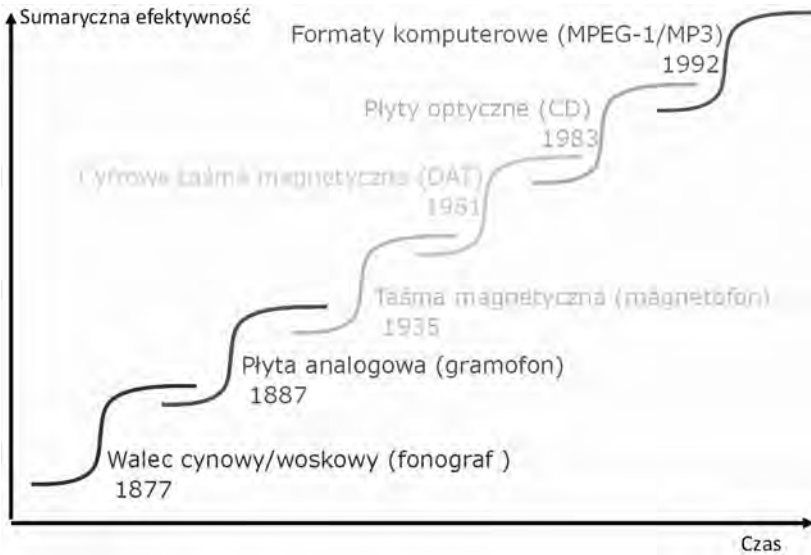
nym zasięgu. Ta dynamiczna struktura może być interpretowana właśnie jako rodzaj globalnego ISP, dzięki wcześniej wymienionym technologiom z wirtualizacją na czele.

3.3. Modele ewolucji rozwoju ISP

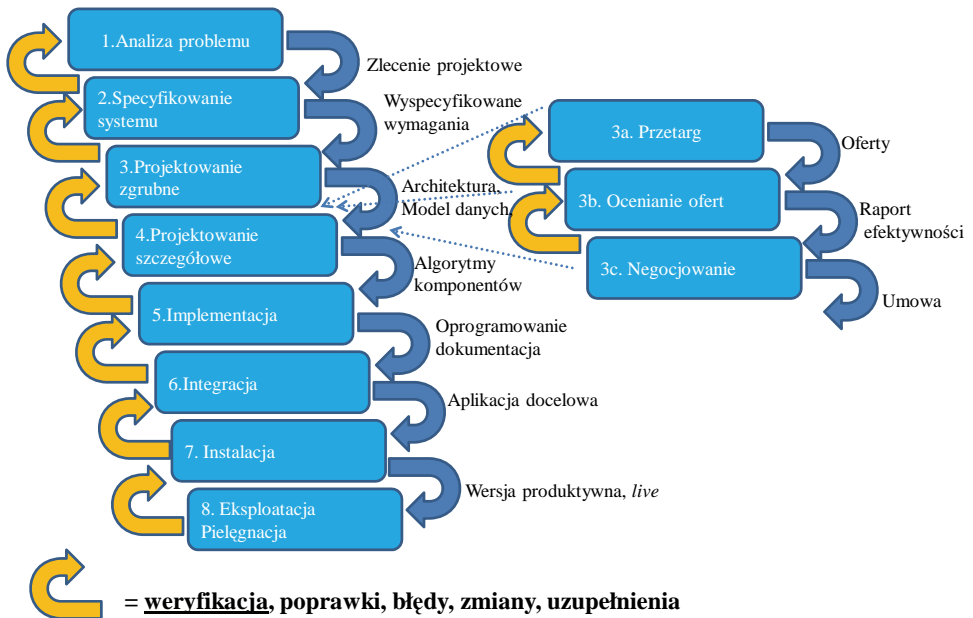
W poprzednim punkcie pokazaliśmy, że ewolucja ESP w kierunku ISP powoduje, iż produkt pozornie czysto materialny, np. samochód, staje się także dobrem cyfrowym. Owszem, pojazd nie da się „skopiować” tak jak pliku danych, ale można to zrobić z technologią produkcji zakodowaną w systemach CAD/CAM/CIM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Intergrated Manufacturing*). Auto czy inny wyrób także potrzebuje zintegrowanego oprogramowania (również w swoim wnętrzu – *embedded*), specyfikacji technologii niezbędnych do jego wykonania, danych zawierających doświadczenia eksploatacyjne, planów konstrukcyjnych czy informacji marketingowych. W początkowych generacjach ESP koncentrowano się na optymalizacji procesów materialnych przy pomocy maszyn, przechodząc stopniowo od urządzeń prostszych do coraz bardziej złożonych i dochodząc wreszcie do automatów i robotów.

Ten proces jeszcze się nie zakończył, ale już dziś widać wyraźnie **wzrost znaczenia informacji w przetwarzaniu materii**. Na charakterystykę systemu produkcyjnego (wydajność) w istotny sposób wpływa sfera wspomagającego oprogramowania. To ono w coraz większym stopniu decyduje, czy wytwarzanie będzie faktycznie elastyczne oraz efektywne, zgodnie z ideałem masowej indywidualizacji (*mass customization*), osiągając ekonomiczne parametry produkcji seryjnej przy wytwarzaniu jednostkowych wyrobów. Nie musimy zatem poszukiwać generacji ESP tylko w całkowicie nowych, pojedynczych technologiach i cząstkowych rozwiązaniach. Nowa jakość, o której mowa, wynika w znacznej mierze z systemowych efektów, wcześniej znanych rozwiązań, które na naszych oczach łączą się ze sobą, tworząc nowe możliwości. Podobne procesory, programy czy lokalne bazy danych przestają działać w sposób izolowany i intensywnie ze sobą współpracują; coraz bardziej autonomicznie (technologie agentowe). Cechą tej nowej generacji jest wspomniana, potęgująca się sieciowość (*networking*) wykraczająca poza klasycznie rozumiany Internet i integrująca kolejne klasy urządzeń i aplikacji we wszechsieci (*evernet*).

Model rozwoju technologicznego w postaci krzywej z rysunku 4 może być sprowadzony do krzywych S (rys. 3.2). Mamy w tym przypadku do czynienia z podobnie uniwersalnym prawem jak krzywa rozkładu normalnego Gaussa w statystyce. Naukowa teoria potwierdza tu powszechną świadomość ze sfery zjawisk praktycznych. Każda technologia wymaga na początku relatywnie dużych nakładów, aby osiągnąć fazę rozkwitu i wreszcie wypłaszczenia, związanego z jej wyeksploatowaniem. **Problem prognozowania polega na tym, że w miejscu, w którym krzywa S wchodzi w fazę nasycenia, tzn. osiągamy maksimum efektywności, dla danego typu technologii, pojawia się nowa krzywa S i dalszy rozwój zaczyna przebiegać według podobnego schematu, na wyższym poziomie. Ów przeskok z krzywej na krzywą jest punktem nieciągłości** charakterystyki całego rozwoju w określonym obszarze i jego przewidzenie jest niezwykle trudne.



Rys. 3.2. Technologiczne krzywe „S” (fragmenty)
na przykładzie ewolucji zapisu danych dźwiękowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie [120]



Rys. 3.3. Kaskadowy model życia systemu wg Beynona-Davies
Źródło: opracowanie własne na podstawie [11]

W ramach poszczególnych krzywych S możemy wyróżnić cykle technologiczne przebiegające zgodnie z klasycznym cyklem organizatorskim, tj. od formułowania proble-

mu projektowego, poprzez specyfikację zasobów dla jego realizacji, aż do kontroli wyników prowadzącej do nowego cyklu. W modelu cyklicznym kolejna faza projektowa zaczyna się po zakończeniu poprzedniej, co w praktyce jest nierealistyczne. Ścisła sekwencyjność modelu ogranicza jego elastyczność, a chęć usunięcia tej podstawowej wady prowadzi do modelu kaskadowego (rys. 3.3) i dalej spiralnego [15].

W **modelu kaskadowym** fazę projektowania systemu rozbito na 2 części, zgrubną i szczegółową oraz wprowadzono fazę instalacji. Najistotniejszą modyfikacją jest wprowadzenie iteracji: po każdej fazie następuje weryfikacja i ewentualny powrót, ale tylko do sąsiedniej fazy (powroty do innych faz niż bezpośrednio poprzednia, tj. z przeskokiem, są możliwe, ale kosztowniejsze). *W modelu tym wyraźniej widać uwarunkowania ekonomiczne, w szczególności raport efektywności zawiera porównanie wad i zalet ofert, spodziewanych nakładów i efektów oraz wskazanie zwycięzcy przetargu.* Podejściem, które może być uznane za próbę stworzenia bardziej uniwersalnego modelu o charakterze iteracyjno-kaskadowym jest model spiralny Boehma (*spiral model*). Ponadto istnieje szereg innych modeli takich jak szybkie prototypowanie (*rapid prototyping*), prototypowanie strukturalne (*structured prototyping*) czy rozwój ewolucyjny (*evolutionary development*).

Dla identyfikacji modeli rozwojowych w przedmiotowym zakresie warto poszukać związków między technologiami IT, a aplikacjami ISP. W szczególności, dla celów prognostycznych, interesujące są analizy dla rozwiązań o charakterze przyszłościowym (p. 1.4). Geneza HMS wiąże się ze słabością systemów klasycznych CIM/FMS, których paradygmatyczna elastyczność sprzętowa ograniczona jest przez hierarchiczność ich scentralizowanego systemu informacyjnego. W kontekście produkcyjnym możemy zdefiniować HMS jako holarchiczny system wytwórczy złożony z holonów. Sam holon to autonomiczny i kooperatywny moduł odpowiedzialny za przetwarzanie obiektów fizycznych oraz skojarzonych z nimi informacji w ramach określonych operacji produkcyjnych. Z kolei holarchia to dynamiczna hierachia kooperujących holonów, celowo i czasowo agregująca i ograniczająca ich autonomiczność zgodnie ze zdefiniowanymi zadaniami produkcyjnymi. Do softwarowej implementacji HMS dobrze nadają się **systemy multiagentowe MAS** (*multi-agent-systems*).

Dla identyfikacji modeli rozwojowych HMS/MAS należy postawić pytanie o bardziej szczegółowe związki między MAS a HMS. *W obu przypadkach mamy bowiem do czynienia ze strategiami, których podstawą są inteligentne obiekty kooperujące ze sobą dla osiągnięcia zadanych celów z uwzględnieniem ich dynamiki, jak również zmiennego otoczenia.* Niemniej technologie agentowe są konstrukcją przede wszystkim softwarową, choć efekty ich działań są przyporządkowane obiektom ze świata rzeczywistego. Z kolei holony HMS to jednostki integrujące bezpośrednio świat fizyczny i informacyjny, czyli realny i wirtualny. **Holon** obejmuje również mechanikę samego procesu wytwórczego i można wyróżnić w nim trzy warstwy: fizyczną, sterującą, interfejsu.

Pierwsza z nich integruje w holonie właściwe operacje produkcyjne, np. frezowanie. Powiązana jest ona z warstwą sterującą – ta właśnie część może być traktowana jako wspólna dla systemów MAS i HMS. W warstwie interfejsu możemy z kolei wyróżnić trzy komponenty: fizyczny (hardwarowy), interfejs człowiek-maszyna oraz interfejs międzyholonowy. Pierwszy z nich łączy warstwę sterującą holonu z jego warstwą fizyczną, drugi jest złączem umożliwiającym komunikację człowieka z holonem, a trzeci zapewnia komunikację interholonową w ramach holarchii. Tak więc *wyspecyfikowana maszyna systemu wytwórczego może być interpretowana przez holon przyporządkowujący zadania, jako holon stanowiskowy (maszyny).* W rzeczywistości ów drugi jest złożeniem dwóch odrębnych

holonów: holonu przydziału zasobów i holonu sterującego. Te dwa holony odpowiedzialne są za przydział zasobów fizycznych do wykonania zadania oraz za przesył impulsów sterujących czyli w obu przypadkach ich partnerem jest odrębny holon zasobów. W tym przypadku, w zależności od przyjętego poziomu abstrakcji modelowania, mamy do czynienia z trój- bądź pięciohonową holarchią.

Badając modele rozwojowe systemów FMS/CIM do HMS, w kontekście struktury holonu, nieodparcie nasuwają się skojarzenia z **transformacją systemów softwarowych**, jaką obserwujemy w ostatnich latach: od programowania strukturalnego do obiektowego (w rzeczywistości proces ten trwa dziesięciolecie, zważywszy występowanie mechanizmów charakterystycznych dla języków obiektowych już w SIMULI, w latach 60.). Holon integruje fizyczny i informacyjny wymiar systemu wytwórczego, podobnie jak obiekt programy znosi tradycyjne podziały wynikające z klasycznej, wirthowskiej formuły: program = algorytm + dane. Ewolucje systemów IT i ISP wykazują zatem daleko posuniętą analogię na skutek występowania czynnika je integrującego: informacji.

Z samym holonem skojarzony jest zarówno określony algorytm jak i struktury danych. Można tu wręcz mówić o **bazie danych holonu**, a zatem także i w zakresie bazodanowym znajdziemy stosowne technologie, których specyfika dobrze odpowiada charakterystykom holonów. Na poziomie multiholonowym taką technologią mogą być relacyjne bazy danych, jako opozycja do wcześniejszych rozwiązań hierarchiczno-sieciowych odpowiadających sztywnym i scentralizowanym systemom produkcyjnym. Jak wiadomo, w relacyjnych bazach danych ścieżki dostępu do danych tworzone są (z punktu widzenia użytkownika) *ad hoc*, tj. w zależności od programu (*query*) uruchomianego w określonym momencie. Również i w *systemie holonicznym nie można wyróżnić stanu typowego (normalnego), ponieważ stan zasobów czy plan procesu może ulec zmianie w dowolnej chwili w zależności od kryteriów wyznaczających rozwiązania alternatywne* (np. koszt, jakość, czas).

Z kolei obecna, początkowa faza ewolucji BMS dotyczy przede wszystkim poszukiwań wzrostu efektywności ESP na bazie mechanizmów biologicznych, które gwarantują, że organizm żywy potrafi być elastyczny, zarówno w bieżącym wymiarze operatywnym jak i strategicznym (ewolucja gatunków). Oznacza to autonomiczność systemu wyrażającą się w jego podstawowych cechach pokazanych w tab. 3.3.

Tabela 3.3

Cechy BMS i ich transformacje znaczeniowe w kategoriach produkcyjnych

Nr cechy	Cecha BMS	Odpowiedniki IMS
1.	samorozpoznawanie	wzajemna identyfikacja elementów i procesów systemu, zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych
2.	samodopasowywanie	elastyczność reakcji, w szczególności podczas zakłóceń
3.	samoodtwarzanie	naprawy i wymiana zużytych elementów
4.	samoorganizacja	marketing, planowanie, przetwarzanie zleceń, organizacja produkcji, logistyka zaopatrzeniowa i dostawcza, sprzedaż i obsługa klientów, finanse, analizy gospodarcze
5.	samowzrost	realizacja założeń budżetowych i ciągła poprawa wskaźników ekonomicznych
6.	samoewolucja	nowe produkty i formy ich produkcji, ekspansja rynkowa

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9]

Cechy podstawowe składają się na trzy metacechy BMS: biorarchia, genetyczna reprezentacja informacji (GRI), zdolność uczenia się (cechy 1–6 w tab. 3.1). **Biorarchia** (*bionic hierarchy* – hierarchia bioniczna) oznacza rozproszone struktury cechujące się znacznym stopniem odpowiedzialności lokalnej i agregowane poziomami aż do najwyższego (np. w organizmie człowieka – mózg). Biorarchia jest bardziej efektywna i elastyczna niż tradycyjne, scentralizowane hierarchie. **Genetyczna reprezentacja informacji** gwarantuje zdolność jej dziedziczenia. Proste formy takiej zdolności znajdziemy już w klasycznych rozwinięciach listy części wyrobu BOM (*Bill Of Materials*), aczkolwiek ważna jest tu także ich reprezentacja softwarowa.

W ciągle popularnych, relacyjnych systemach bazodanowych tabelarycznie grupowane rekordy przetwarzane są proceduralnie. W istocie oznacza to większą elastyczność w porównaniu ze sztywnymi schematami hierarchiczno-sieciowymi, z uwagi na powiązania między obiektami tworzone *ad hoc* podczas wykonywania się programu. Niemniej **programowanie obiektowe** z definicji hermetyzuje procedury i, koncentrując się na samych związkach między obiektami, czyni z dziedziczenia swój paradygmat projektowy.

W żywym organizmie wadliwy ciąg nukleotydów prowadzi do wadliwych genów, a w konsekwencji do wadliwych protein, a więc choroby czy śmierci. W sferze BMS przetwarzającego genetyczne informacje produkcyjne analogia jest oczywista: wadliwy ciąg bitów prowadzi do wadliwego oprogramowania przetwarzającego wadliwe dane i w konsekwencji do strat produkcyjnych. Zakłada się jednak, że naturalne wzorce genetyczne dają większe gwarancje elastycznej niezawodności niż oprogramowanie tradycyjne.

Ostatnia metacecha BMS ma ciągle, w znacznym stopniu, charakter postulatyczny. Warunkiem dla istnienia oprogramowania samouczącego się jest jego **samomodyfikowalność**, tymczasem cecha ta występuje jedynie w bardzo wąskim rozumieniu tego terminu. Warto zauważyć, że pojawienia się samouczącego algorytmu produkcyjnego należy oczekiwać raczej nie na drodze tworzenia rozbudowanych, zamkniętych systemów o charakterze wyspowym (*stand alone*), ale w efekcie wzrostu złożoności dynamicznych systemów, składających się z dużych zbiorów, stosunkowo prostych, reagujących ze sobą autonomicznych modułów (agentów). Takie podejście koresponduje również z genetycznym paradygmatem funkcjonowania systemów: czteroliterowy alfabet nukleotydów DNA jest podstawą dla 20-literowego alfabetu aminokwasów tworzących zbiór genów, wprawdzie znacznie większy bo liczony już w tysiącach, niemniej bardzo ograniczony, zważywszy różnorodność otaczających nas form organizmów z bogactwem człowieczeństwa włącznie.

Ponownie sięgając do definicji klasyki metodologii programowania, Niklause Wirtha: algorytmy + struktury danych = programy, można powiedzieć, że BMS = biorarchia + GRI. Aby korzystać z doświadczeń natury należy wyspecyfikować relacje między systemem żywym a wytwórczym dla zdefiniowania biorarchii. W systemie żywym jej odpowiednikiem jest pięć podstawowych poziomów: komórka, tkanka, organ, układ, organizm. Trzeba przy tym wyraźnie podkreślić, że należy traktować je jedynie jako strategiczny punkt wyjścia do definiowania bardziej szczegółowych zależności w rozważanym obszarze z uwagi na jego złożoność, zarówno w sferze biologicznej jak i produkcyjnej. Widzimy jednak, że w obszarze modelowania ewolucji ISP podejście bioorganizacyjne wyróżnia się swoją uniwersalnością.

Transformacje w procesach planistyczno-sterujących

W rozdziale scharakteryzowane zostały podstawowe pojęcia dotyczące sterowania produkcją i sterowania przepływem produkcji oraz funkcje realizowane przez procesy planistyczno-sterujące. Przedstawiono również metody związane z klasycznym podejściem do tych procesów, kierunki ich zmian i kształtowane pod ich wpływem metody realizacji procesów planistyczno-sterujących. W ostatniej części rozdziału scharakteryzowano etapy zarządzania zmianą procesów planistyczno-sterujących i zwrócono uwagę na zakres działań niezbędnych do wykonania na każdym z etapów.

4.1. Istota planowania i sterowania w systemach produkcyjnych

Planowanie i sterowanie produkcją jest jedną z istotniejszych funkcji realizowanych przez przedsiębiorstwo. Jego rolą jest zapewnienie sprawnego i efektywnego wykonywania zadań, realizacji operacji oraz przepływu materiałów i informacji wewnątrz organizacji i w całym łańcuchu dostaw, czego wynikiem jest wytworzenie wyrobu lub usługi oczekiwanej przez klienta. Celem planowania i sterowania jest efektywne zarządzanie działalnością podstawową, czyli procesami produkcyjnymi lub usługowymi w organizacji. Istotność tych procesów oraz wzajemne powiązania wszelkich procesów realizowanych przez przedsiębiorstwo i cały łańcuch dostaw powoduje, że proces planowania i sterowania produkcją łączy szereg funkcji wykonywanych przez wszystkich uczestników łańcucha dostaw, poczynając od zaopatrzenia przez produkcję po dystrybucję.

Z tego względu sposób realizacji tego procesu ma bezpośredni wpływ na efekty osiągnięte przez poszczególne przedsiębiorstwa. Dynamicznie zmieniające się warunki otoczenia powodują ciągłą potrzebę dostosowywania do nich sposobu realizacji procesów w przedsiębiorstwie i całym łańcuchu dostaw. W zakresie procesów podstawowych dotyczy to również procesu planowania i sterowania.

Naukowe podstawy zagadnieniom planowania i sterowania dała dyscyplina naukowa, jaką jest cybernetyka. Zajmuje się ona sterowaniem i regulacją sprzężonych działań przy czynowo-skutkowych, którym podlegają wszystkie układy bez względu na ich charakter przedmiotowy [48]. Współczesne przedsiębiorstwo, ze względu na jego złożoność, powiązania i cechy może być rozpatrywane jako układ cybernetyczny. Dlatego można przyjąć, że ogólne zasady, prawidłowości i pojęcia określone przez cybernetykę dla procesów sterowania przez analogie odnoszą się do sterowania procesami produkcyjnymi. Do zdefiniowania procesów sterowania można zatem wykorzystać pojęcia sformułowane w bogatej literaturze cybernetyki, m.in. [47, 48, 56, 71].

W każdym działającym systemie występuje przyporządkowanie określonym sygnałom wejściowym określonych stanów i określonych sygnałów wyjściowych. Sposób przyporządkowania zależy oczywiście od charakteru systemu, który może być probabilistyczny lub deterministyczny. W systemach deterministycznych relacje między wejściami i wyjściami mają charakter funkcyjny, natomiast w systemach probabilistycznych – stochastyczny. W oddziaływaniu otoczenia na system mogą pojawić się obok bodźców głównych również bodźce przypadkowe, zakłócające sprawne funkcjonowanie systemu. Jeżeli wielkość wyjściowa odchyła się od normy ponad dopuszczalną granicę, to musi być zastosowana **regulacja**. Polega ona na zapewnieniu takiego działania układu regulowanego, aby wielkość wyjściowa została doprowadzona do odpowiedniej normy. Norma stanu wyjściowego może być wielkością zmieniającą się lub wielkością, od której zależy realizacja określonego celu i wówczas zamiast regulacji występuje **sterowanie**. Polega ono już nie na doprowadzeniu wielkości wyjściowej do stanu normy, lecz na utrzymaniu jej na poziomie tzw. wartości zadanej. Musi więc istnieć określony program sterowania, który w odpowiednich momentach będzie uruchamiać środki regulacji [47]. Sterowanie stanowi ciągły proces doprowadzania stanu wyjściowego układu sterowanego do zmieniającego się stanu przyjmowanego za stan pożądany.

W systemie sterowania można wyróżnić dwa podstawowe moduły:

- system sterujący (organizator procesu, którego rolę pełni proces planowania i sterowania),
- obiekt sterowany (którym jest proces produkcji i łańcuch dostaw).

Między tymi modułami zachodzą relacje sterowania polegające na celowym oddziaływaniu systemu sterującego na obiekt sterowany w celu uzyskania pożądanych zmian w przebiegu procesów sterowanych.

Wejściem systemu sterowania jest **sygnał zadany**, natomiast wyjściem – **wielkość sterowana**. Sygnały zadane przekazują systemowi, jakie mają być wartości wielkości sterowanych lub program, według którego mają przebiegać zmiany wielkości sterowanych. Wielkości sterowane to wielkości fizyczne lub stany procesu kształtowane w wyniku sterowania. Rodzaje sterowania, klasyfikacja procesów sterowania oraz parametry systemu dynamicznego takie jak: stabilność, sprawność i niezawodność zostały szeroko scharakteryzowane w pracy [151].

Dorobek cybernetyki w zakresie regulacji i sterowania dał podstawę do zdefiniowania pojęcia **sterowania przepływem produkcji**. Istotą sterowania przepływem produkcji są wszystkie działania zmierzające do doprowadzenia (lub utrzymania) procesu do określonej normy, która może być wektorem różnych parametrów. *Sterowanie przepływem produkcji można również zdefiniować jako ogół działań dotyczących bliskiego i nieodległego horyzontu czasu, dotyczących budowy planu zbytu wyrobów gotowych i wynikających z niego planów produkcji elementów składowych wyrobów gotowych wraz z zapotrzebowaniem na materiały* [146].

Przedmiotem sterowania jest przepływ wyrobów przez tzw. komórki ruchu. Parametrami tego przepływu są ilość i czas. Przez komórkę ruchu rozumie się każdą komórkę przedsiębiorstwa, przez którą przepływają przedmioty produkcji podstawowej, i w której przepływ jest sterowany. O sposobie sterowania produkcją decyduje model operacyjny, czyli algorytm planowania, ewidencji, kontroli i korekty przebiegu produkcji. To podejście reprezentuje wielu badaczy [85, 145, 146]. Różnice w algorytmach sterowania będą decydowały o sposobach sterowania produkcją.

Algorytmy planowania wyznaczają wykonanie określonej liczby wyrobów finalnych, ich części prostych i złożonych lub operacji i wynikające stąd potrzeby materiałów, urządzeń i ludzi w przewidzianym okresie czasu.

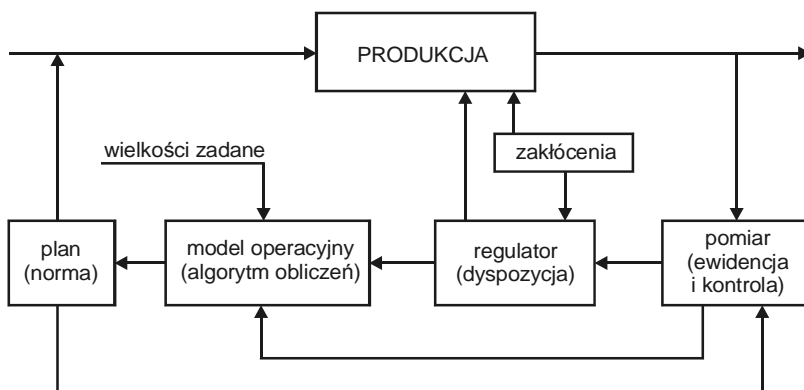
Algorytmy ewidencji określają liczbę wykonywanych wyrobów lub operacji, zużytych materiałów, godzin pracy, urządzeń i ludzi w danym przedziale czasowym.

Za pomocą **algorytmów kontroli** dokonuje się porównania liczby zaplanowanych do wykonania wyrobów, operacji, zużytych materiałów, godzin pracy urządzeń i ludzi z faktycznie wykonanymi lub zużytymi zasobami oraz kontrolowanie dostępności powyższych środków i gotowości zadań przewidzianych do realizacji w danym okresie czasu.

Algorytmy korygowania pozwalają na zmianę zaplanowanej do wykonania liczby wyrobów lub operacji i wynikających stąd ilości potrzebnych materiałów (surowców, części, podzespołów i wyrobów gotowych), urządzeń i ludzi w następnych okresach.

Wymienione algorytmy spełniają podstawowe funkcje sterowania przepływem produkcji. Podział zakresu działania funkcji sterowania przepływem produkcji jest umowny, mogą się one przenikać wzajemnie, bądź też łączyć w przypadkach bardzo złożonych. Ogólny schemat sterowania przepływem produkcji pokazano na rys. 4.1 [84].

Przedstawiony układ sterowania może dotyczyć obiektu dowolnego stopnia, zarówno przedsiębiorstwa, jak i komórki produkcyjnej I stopnia. Różnice występują jedynie w zakresie realizowanych funkcji. Blok **produkcja** reprezentuje komórki produkcyjne (wraz z magazynami), w których realizuje się podstawowy proces produkcji wyrobów.



Rys. 4.1. Schemat ogólny systemu sterowania przepływem produkcji

Źródło: [84]

Proces produkcyjny winien odbywać się zgodnie z planem ustalonym dla danego okresu planistycznego lub korygowanym na bieżąco według przyjętego kryterium. W rzeczywistości podczas procesu produkcyjnego występują z reguły odchylenia od ustalonych norm, spowodowane zakłóceniami zewnętrznymi i wewnętrznymi. Pomiaru, ewidencji i kontroli rzeczywistych parametrów procesu produkcyjnego dokonuje się dla porównania z założonymi parametrami, w celu ustalenia odchyłeń. Na tej podstawie dokonuje się korekty przebiegu procesu.

W regulatorze dokonuje się bieżącej korekty i koordynacji parametrów procesu produkcyjnego, jak również zmian w następnym okresie planistycznym.

Blok zwany umownie **modelem operacyjnym** przedstawia sposób obliczeń planów produkcji, ich korekty oraz zmiany parametrów procesu produkcyjnego. Zawiera on algorytmy planowania, ewidencji, kontroli i korekty przepływu produkcji.

System sterowania przepływem produkcji w przedsiębiorstwie musi być budowany indywidualnie, z wykorzystaniem jego cech charakterystycznych. Jest on zależny od charakteru wyrobów, asortymentu, cech procesu produkcyjnego, struktury produkcyjnej i odmian organizacji produkcji występujących w przedsiębiorstwie.

System sterowania przepływem produkcji jest wspomagany przez system zarządzania (zwany controllingiem)¹⁾, koordynujący procesy planowania, kontroli, kierowania oraz zasilania w informacje i umożliwiający tym samym sterowanie przedsiębiorstwem zgodnie z wyznaczonymi celami; *controlling* nie zastępuje zarządzania, ale wspomagając, opiniując i doradzając, czyni zarządzanie możliwym [132]. Nowak w swojej pracy określa *controlling* jako ponadfunkcyjny instrument zarządzania, stanowiący proces sterowania zorientowany na wynik przedsiębiorstwa, a realizowany przez planowanie, kontrolę, sprawozdawczość i kierowanie, zaś rachunkowość w aspekcie *controllingu* jest instrumentem dostarczającym różnym szczeblom decyzyjnym wieloprzekrojowych informacji, niezbędnych w zarządzaniu przedsiębiorstwem z nastawieniem na przyszłość [100].

Controlling w obszarze produkcji obejmuje ekonomiczne sterowanie produkcją, rozumiane jako oddziaływanie – w sposób pośredni i bezpośredni – na kształt struktury asortymentowo-ilościowej produkcji oraz na jej przebieg w czasie i przestrzeni dla zapewnienia najkorzystniejszej w danych warunkach, realizacji zadań ekonomicznych organizacji [101].

Pośród różnych określeń pojęcia controlling na uwagę zasługuje sformułowana przez Webera definicja, która obejmuje trzy części składowe [141]:

- a) funkcję *controllingu*,
- b) realizację funkcji w ujęciu organizacyjnym,
- c) wyznaczenie obszaru objętego systemem.

Każdą z tych części Weber opisuje następująco:

- a) *controlling* jest podsystemem zarządzania przedsiębiorstwem, który częściowo przejmuje, a częściowo wspomaga procesy planowania, sterowania i kontrolowania, umożliwiając w ten sposób koordynację całego systemu;
- b) funkcje *controllingu* mogą być wykonywane przez odrębną komórkę organizacyjną lub stanowisko pracy (*controller'a*), jednak w małych i średnich firmach takie organizacyjne wyodrębnienie nie jest konieczne i zwykle nie jest stosowane;
- c) obszar objęty systemem *controllingu* zależy od tego, czy dotyczy operacyjnej części *controllingu*, czy jego części strategicznej.

Controlling wspiera zarządzanie w ten sposób, że łączy planowanie, kontrolę i informację [124]. Istotną rolę spełnia w nim przewidywanie, które powinno zapewnić osiągnięcie założonych podstawowych celów jednostki gospodarczej.

W obszarze systemu *controllingu* wyróżnia się *controlling* strategiczny i operacyjny. Do podstawowych zagadnień **controllingu strategicznego** zalicza się:

- a) podział celów przedsiębiorstwa na etapy,

¹⁾ Pojęcie controllingu nie jest jednoznacznie określane w literaturze angielsko- i niemieckojęzycznej. Chociaż pochodzi ono od wyrazu angielskiego *to control*, to nie można go utożsamiać z kontrolą lub kontrolą wewnętrzną, gdyż pod terminem *control* rozumie się w większym stopniu: kierowanie, sterowanie, regulację procesów.

- b) kontrolę osiągania celów w poszczególnych etapach,
- c) ustalenie odchyłań,
- d) bieżącą obserwację i badanie realności celów w poszczególnych etapach i ewentualne dostosowanie do aktualnych warunków, co może spowodować zmianę kierunku działania.

Controlling operacyjny powinien wspomagać podejmowanie decyzji w okresach miesięcznych, kwartalnych i rocznych, w zasadzie nie przekraczających 3–5 lat. Istotne jest tu przede wszystkim ściśle powiązanie planowania, rozliczania, kontroli i analizy wszelkiego rodzaju informacji dla celów optymalnego sterowania systemem, a dopiero w drugiej kolejności kontrola skutków. Szersze omówienie tych zagadnień zawierają m.in. prace [46, 101, 132, 139].

W obszarze sterowania produkcją controlling wykorzystuje system wskaźników techniczno-ekonomicznych, takich jak: jakość, produktywność, stany produkcji i zapasów, czasy cykli produkcyjnych i terminy dostaw. Większe odchylenia od wielkości planowanych powodują konieczność korekty zapewniającej realizację długookresowego celu ekonomicznego przedsiębiorstwa.

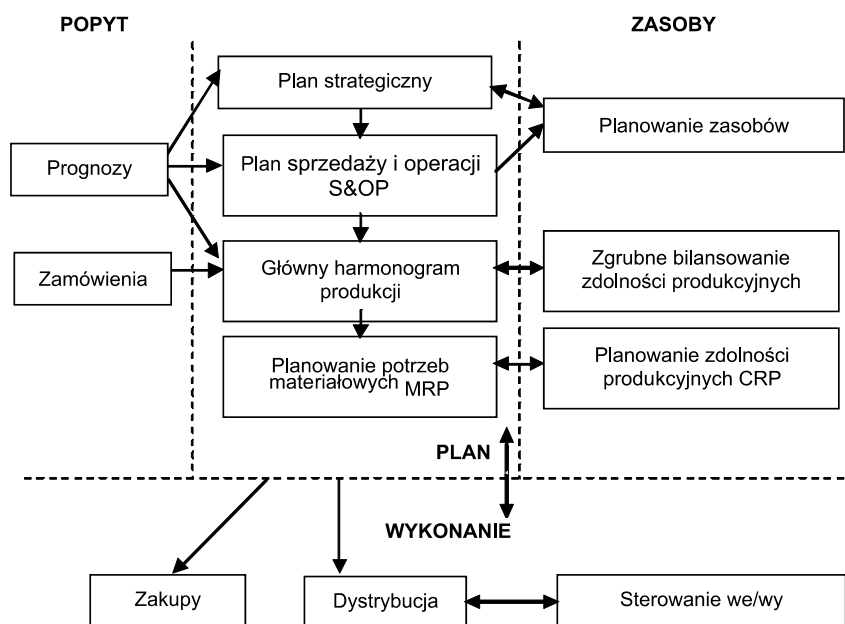
Szersze omówienie pojęć z teorii sterowania znajdujemy w literaturze specjalistycznej [47, 48, 56, 62, 74, 78, 146].

Sterowanie przepływem produkcji skierowane jest do działań na poziomie operacyjnym. Ukształtowane pod jego wpływem metody planowania i sterowania produkcją zaliczane są do metod klasycznych. Funkcjonowały one w okresie stabilnego otoczenia, w warunkach którego plany długoterminowe zawierały szczegółowe wytyczne działań krótkoterminowych. Sterowanie przepływem produkcji związane jest z tradycyjnym podejściem do organizacji i sposobu realizacji procesu produkcji. Oznacza ono ukierunkowanie na techniczne warunki procesu produkcji. O postaci procesu produkcji decydowała technologia i potrzeba maksymalnego wykorzystania wyposażenia technicznego, w znacznie większym stopniu niż wymagania rynku. Kolejność „konstrukcja–technologia–organizacja” decydowała o kształcie procesu produkcyjnego i sposobie sterowania nim [16].

Narastająca zmienność otoczenia spowodowała potrzebę innego spojrzenia na procesy planistyczno-sterujące. Niezbędne stało się rozszerzenie zakresu tych procesów na wszystkie poziomy zarządzania i cały łańcuch dostaw. W takich warunkach pojęciem związanym z tymi procesami stało się planowanie i sterowanie produkcją. W literaturze można znaleźć szereg definicji dotyczących planowania i sterowania produkcją. Najpełniejszą definicję podaje Stowarzyszenie dla Zarządzania Operacyjnego APICS²⁾. Zgodnie z nią **sterowanie produkcją jest to funkcja kierowania i regulacji przepływu materiałów obejmująca całkowity cykl wytwarzania, od określenia zapotrzebowania na surowce do dostawy produktu finalnego**. Ze względu na horyzont czasu planowanie i sterowanie produkcją określane jest jako pojęcie nadrzędne względem sterowania przepływem produkcji. Takie ujęcie sterowania produkcją odpowiada nowoczesnemu spojrzeniu na zarządzanie przedsiębiorstwem i całym łańcuchem dostaw. Zwraca uwagę na potrzebę kompleksowego spojrzenia na proces produkcji i powiązane z nim procesy oraz podkreśla potrzebę takiego kształtowania procesów logistycznych w całym łańcuchu dostaw, które prowadzi do realizacji zintegrowanego zarządzania [16].

²⁾ APICS – *The Association for Operations Management* – stowarzyszenie budujące wiedzę i umiejętności z zakresu zarządzania operacyjnego

Planowanie i sterowanie obejmuje działania na wszystkich poziomach działalności przedsiębiorstw: strategicznym, taktycznym i operacyjnym. Rysunek 8 przedstawia zakres realizowanych działań i przepływ informacji w procesie planowania i sterowania. Przedstawione działania obejmują zarządzanie wydajnością, zarządzanie popytem, budowę planów produkcji na poziomie strategicznym i taktycznym oraz sterowanie bieżącą realizacją zadań (które obejmuje również wprowadzanie korekt do planów zgodnie z bieżącymi wymaganiami) na poziomie operacyjnym.



Rys. 4.2. Zakres działań i przepływ informacji w procesie planowania i sterowania
Źródło: [21]

Centralne miejsce na schemacie zajmują czynności planowania – określenie strategii operacyjnej oraz planów operacji i sprzedaży – *Sales and Operations Planning* (S&OP), opracowanie głównego harmonogramu produkcji *Master Production Scheduling* (MPS) i planowanie potrzeb materiałowych – *Material Requirements Planning* (MRP). Na postać planu na danym poziomie ma wpływ plan zatwierdzony na wyższym poziomie działalności oraz bieżące informacje napływające z obszaru zarządzania popytem i wydajnością. Przy dłuższym horyzoncie planowania stawiane mu cele mają przede wszystkim charakter finansowy, im krótszy horyzont planowania, tym większego znaczenia nabierają miary operacyjne [126]. Im wyższy poziom planowania, tym bardziej ogólny charakter planów.

Pomiędzy niektórymi działaniami można zauważyć dwukierunkowy przepływ informacji, co nazywane jest czasem zamkniętą pętlą planowania [21]. W przypadku działań w ramach łańcucha dostaw przepływ informacji następuje również między organizacjami. Dotyczy on przykładowo planowania zasobów i zdolności produkcyjnych czy planowania potrzeb materiałowych. Informacje są niezbędne do koordynacji działań w ramach całego łańcucha dostaw.

Dynamiczne zmiany otoczenia spowodowały potrzebę zmiany podejścia do procesu planowania i sterowania. Zmiany te uwidaczniają się również w zmiennym sposobie definiowania procesów planistyczno-sterujących. Znaczenia nabrało planowanie produkcji na wszystkich poziomach działalności organizacji, potrzeba koordynacji procesów w całym łańcuchu dostaw, a podstawowym celem planowania i sterowania stało się dostosowanie procesów do zmiennych wymagań rynku. Na sposób realizacji procesów planistyczno-sterujących decydujący wpływ mają klienci i sytuacja rynkowa, a technologia i potrzeba maksymalnego wykorzystania zasobów stały się celem drugoplanowym. Dlatego obok klasycznych metod planowania i sterowania produkcją powstało szereg nowoczesnych metod urzeczywistniających istotę pojęcia sterowania produkcją. Niezbędna stała się transformacja procesów planistyczno-sterujących w kierunku większej humanizacji procesów produkcyjnych, poprawy efektywności funkcjonowania łańcucha dostaw oraz lepszego dostosowania do ciągle zmieniających się wymagań rynku [16].

4.2. Klasyczne metody planowania i sterowania

W ujęciu **klasycznym planowanie produkcji** podporządkowane jest potrzebie maksymalnego wykorzystania zasobów (przede wszystkim maszyn i ludzi). Obejmuje zatem następujące rodzaje działań [16, 77, 146]:

- planowanie techniczno-ekonomiczne,
- planowanie operatywne, które zawiera:
 - planowanie ogólnozakładowe,
 - planowanie międzykomórkowe,
 - planowanie wewnątrzkomórkowe.

Plany techniczno-ekonomiczne koordynują dwie, wzajemnie zależne sfery funkcjonowania przedsiębiorstwa. Pierwsza z nich dotyczy procesu produkcji, jego planu i zasobów niezbędnych do realizacji, czyli zapotrzebowania na materiały, powierzchnię, pracę ludzi i maszyn. Druga natomiast dotyczy kosztów produkcji (m.in. kosztów płac, pracy maszyn, materiałów) i wyników finansowych procesu produkcji. Plan techniczno-ekonomiczny przedstawia zatem odpowiednio powiązane ze sobą czynniki o charakterze technicznym i ekonomicznym w ujęciu ilościowo-wartościowym. **Planowanie operatywne** stanowi przełożenie planów techniczno-ekonomicznych na plan produkcji dla nieodległego horyzontu czasu. Obejmuje decyzje dotyczące rozdziału zadań na poszczególne komórki ruchu, rozmieszczenia zadań w czasie, poziomu zapasów wyrobów gotowych i produkcji w toku, bilansowania zasobów produkcyjnych i stopnia wykorzystania zasobów, czy wielkości zaangażowanego kapitału. **Plany ogólnozakładowe** tworzone są na poziomie całego przedsiębiorstwa i dotyczą budowy planów produkcji wyrobów gotowych. Plany międzykomórkowe wyznaczają i koordynują plan pracy komórek produkcyjnych przedsiębiorstwa (linii, gniazd, wydziałów), natomiast plany wewnątrzkomórkowe określają, koordynują i aktualizują plany pracy stanowisk roboczych w obrębie pojedynczej komórki produkcyjnej. Zakres i złożoność tych planów zależy przede wszystkim od typu i formy organizacji produkcji oraz stopnia specjalizacji komórek produkcyjnych. Przykładowo plany międzykomórkowe mają istotne znaczenie w przypadku technologicznej specjalizacji komórek produkcyjnych, natomiast przy przedmiotowej specjalizacji komórek produkcyjnych odgrywają znikomą rolę [16].

Kontrolowaniem bieżącej sytuacji i podejmowaniem działań korygujących w stosunku do planów zajmuje się **międzykomórkowe i wewnątrzkomórkowe sterowanie produkcją**. Metody sterowania przepływem produkcji są szeroko scharakteryzowane w literaturze, m.in. w pracach [16, 77, 80, 84, 146]. Zależą one od typu, formy i odmiany produkcji. Metody międzykomórkowego i wewnątrzkomórkowego sterowania produkcją ulegały doskonaleniu wraz z rozwojem technologii produkcji i technologii informatycznych oraz pod wpływem zmian w zakresie organizacji systemów produkcji. Do międzykomórkowych metod sterowania produkcją można zaliczyć m.in. metodę sterowania według taktu produkcji, okresu powtarzalności produkcji, wyprzedzeń, czy stanów zapasów. Wśród metod **wewnątrzkomórkowego sterowania produkcją** można wyróżnić sterowanie w liniach potokowych zsynchronizowanych i niesynchronizowanych, gniazdach przedmiotowych o produkcji powtarzalnej i niepowtarzalnej.

Zmianom podlega również sposób realizacji podstawowych funkcji planowania przepływem produkcji, czyli planowania, ewidencji, kontroli i korygowania procesów produkcji. W procesie realizacji tych zadań kluczowym czynnikiem optymalnego sterowania przebiegiem procesu jest ustalenie takiego przydziału zasobów (stanowisk i operatorów) poszczególnym zadaniom w celu wykonania poszczególnych operacji oraz wyznaczenie odpowiedniej kolejności wykonania zadań na tych stanowiskach, które zapewni optymalne efekty mierzone wartościami określonego kryterium efektywności. Zagadnienia te w literaturze określane są mianem zadań planowania kalendarzowego. Ich wykonanie przebiega za pośrednictwem odpowiednich algorytmów i metod uzależnionych również od typu, formy i odmiany produkcji oraz od klasy wyrobu. W literaturze można znaleźć szereg algorytmów pozwalających rozwiązać zagadnienia tego rodzaju. Przegląd metod planowania kalendarzowego wraz z licznymi przykładami algorytmów rozwiązań w praktyce można znaleźć w pracy [151].

4.3. Kierunki zmian w procesach planistyczno-sterujących

Na zmiany w procesach planistyczno-sterujących wpływa szereg czynników. Rozwój systemów produkcji umożliwiły automatyzacja i postęp technologii, szczególnie informatycznych i komunikacyjnych, czynniki o charakterze organizacyjnym. Zmianom ulega sposób organizacji i zasady funkcjonowania systemów produkcji. Dynamika zmian otoczenia powoduje, że podstawowym czynnikiem przy organizowaniu i planowaniu funkcjonowania systemów produkcji jest klient i jego wymagania. Kluczowe staje się zidentyfikowanie potrzeb klienta, określenie oczekiwanej przez klienta wartości produktu, na którą składają się cechy produktu, jego jakość, ilość i czas dostarczenia. Zidentyfikowana wartość produktu daje podstawę do określenia czynności niezbędnych do zrealizowania w celu jej wykreowania (zwanych **strumieniem wartości**) [143]. Strona techniczna funkcjonowania systemów produkcji jest czynnikiem drugorzędym, kształtowana jest tak, by strumień wartości mógł być realizowany. W związku z tym zmianom, w porównaniu z podejściem klasycznym uległa rola procesów planistyczno-sterujących. Ich główny cel, został przeniesiony z maksymalnego wykorzystania zasobów na konieczność spełniania wymagań klienta. Preferowana w klasycznych systemach sekwencja konstrukcja-technologia-organizacja” zostaje zastąpiona kolejnością „zbyt-organizacja-technika” [16].

Wymagania klienta oraz pozostałe elementy otoczenia systemów produkcji ulegają ciągłym zmianom. By nadążać za nimi systemy produkcji nabierają cech samoorganizacji

i samoregulacji. Występuje konieczność dynamicznej adaptacji do nowych warunków funkcjonowania. Łańcuchy dostaw zmieniają swoją konfigurację. Powstają organizacje inteligentne, sieciowe i wirtualne. Również procesy planistyczno-sterujące muszą posiadać umiejętność szybkiego i elastycznego dostosowywania sposobu realizacji procesów w zmieniającym się łańcuchu dostaw do dynamicznych zmian rynku. Stawiane jest im zadanie podnoszenia złożoności, samoorganizacji, samouczenia, czy samooptymalizacji.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na zmiany w procesach planistyczno-sterujących jest ciągła potrzeba poprawy efektywności funkcjonowania systemów produkcji. Uzyskiwana jest ona poprzez stosowanie takich form organizacji i zasad funkcjonowania systemów produkcji, które pozwolą na zwiększanie przychodu systemu uzyskiwanego ze sprzedaży produktów. Miarą wpływów środków finansowych może być wskaźnik proponowany przez Teorię Ograniczeń (*Theory of Constraints*) i związaną z nią rachunkowość przerobową (*Throughput Accounting*), jakim jest przerób (*Throughput*) [27]. Jest on rozumiany jako tempo wpływu pieniędzy za sprzedane produkty i zależy od przepustowości systemu. Procesy planistyczno-sterujące zatem powinny być ukierunkowane na maksymalizację przepustowości i przerobu systemu produkcyjnego osiąganą poprzez sprzedaż wyrobów zgodnie z oczekiwaniami klientów.

Drugim kierunkiem poprawy efektywności funkcjonowania systemów produkcji jest obniżanie kosztów realizacji procesów produkcyjnych. Przed procesami planistyczno-sterującymi stawia to zadanie spełniania wymagań klientów przy ograniczonym i zmniejszającym się poziomie zapasów i poprawie wskaźników rotacji zapasów. Działania te wpływają na zmniejszenie wielkości zamrożonych środków obrotowych i poprawę efektywności funkcjonowania. Ponadto duży nacisk jest kładziony na skracanie czasów trwania procesów produkcyjnych, co wiąże się z minimalizacją długości cyklu produkcji i czasu przejścia (*Lead Time*) materiału przez system. Zadaniem procesów planistyczno-sterujących jest minimalizacja strat związanych z realizowaniem czynności nie dodających wartości produktowi (*non value adding activity*), ale za to dodających koszt. Potrzeba poprawy efektywności funkcjonowania systemów produkcyjnych nie jest możliwa bez spojrzenia na cały strumień wartości produktów, a nie tylko na strumień wewnętrzny, realizowany w pojedynczym systemie produkcyjnym. Rolą procesów planistyczno-sterujących staje się zatem integracja i koordynowanie procesów produkcyjnych nie tylko wewnątrz pojedynczego systemu produkcyjnego, ale też w całym łańcuchu dostaw.

Turbulentne otoczenie oraz potrzeba integrowania przepływu materiałów w całym łańcuchu dostaw powodują, że wzrasta rola informacji i zarządzania nią wewnątrz łańcucha. Informacja staje się kluczowym czynnikiem systemu produkcyjnego. Właściwa realizacja procesów planistyczno-sterujących wymaga zbierania szeregu danych z różnych miejsc łańcucha dostaw i przetwarzania ich na informacje wykorzystywane do integracji procesów planistycznych z pozostałymi procesami w łańcuchu dostaw oraz z potrzebami klienta i wymaganiami rynku. Wynika stąd potrzeba ewolucji procesów planistyczno-sterujących w kierunku wykorzystania systemów informacyjnych, zintegrowanych systemów informatycznych i technologii informatycznej.

I wreszcie zmiany w procesach planowania i sterowania muszą również uwzględnić nową rolę człowieka w systemach produkcji. Jej istotą jest podmiotowość człowieka, potrzeba ciekawej, bezpiecznej i wolnej od nadmiernego obciążenia fizycznego pracy. Wzrasta rola czynnika ludzkiego i niezbędna jest humanizacja procesów pracy. Znaczenia nabiera zarządzanie wiedzą i rośnie rola pracy zespołowej.

Dostosowanie do trendów zmian oznacza dla procesów planistyczno-sterujących potrzebę odejścia od modelu **pchania** (*push*), na rzecz modelu **ssania** (*pull*). Taki model zapewnia, że klient otrzymuje zindywidualizowany produkt o oczekiwanej przez niego wartości, w pożądanej ilości i w wymaganym czasie, a jednocześnie koszty wytworzenia produktu są minimalne. Dzieje się tak dzięki działaniom związanym z ograniczeniem poziomu zapasów (poprzez ilość sygnałów kanban w łańcuchu dostaw), równoważeniu i wyrównywaniu (balansowaniu) obciążenia pracą [67, 83] oraz dostosowaniu tempa pracy strumienia wartości do wymagań klienta, określanych taktem klienta. Zgodnie z taką filozofią pracuje **system kanban**, dzięki któremu możliwe jest wyciąganie od procesów w górze strumienia przez procesy w dole strumienia takich elementów, które są niezbędne do zrealizowania aktualnych potrzeb klienta (wewnętrznego i zewnętrznego). Poza czystym systemem ssania istnieją koncepcje mieszanych, ssano-pchanych modeli funkcjonowania procesów planistyczno-sterujących. Można tutaj mówić o **systemie CONWIP** (*Constant Work in Process*), w którym pomiędzy procesami objętymi jednym obiegiem sygnałów kanban realizowany jest model pchania, a ssanie następuje pomiędzy odrębnymi obiegami. Przykładem metody działającej w oparciu o model ssano-pchany jest również zgodna z Teorią Ograniczeń **metoda werbel-bufor-łina DBR** (*drum-buffer-robe*). Zgodnie z nią ograniczenie systemu (wąskie gardło – *bottleneck*) wyciąga od procesów w górze strumienia niezbędne elementy, które następnie zgodnie z zasadą pchania są przekazywane procesom w dole strumienia.

Z punktu widzenia minimalizacji kosztów zapasów, najbardziej efektywną metodą realizacji procesów planistyczno-sterujących jest **przepływ jednej sztuki** (*one piece flow*), zwany też ciągłym przepływem (*continious flow*) [122]. W strumieniu, w którym jest on realizowany, następuje ciągły przepływ materiału, którego tempo dostosowane jest rzeczywistych potrzeb klienta określanych za pomocą taktu klienta (*client takt time*). Ograniczenie wielkości zapasów następuje poprzez ograniczenie pojemności buforów. System kanban (i jego odmiany) wymagają funkcjonowania buforów lokalnych o pojemności ograniczonej liczbą sygnałów kanban, natomiast realizacja metody DBR wymaga określenia poziomu i kontrolowania stanu globalnych buforów czasowych ograniczenia, montażu i dystrybucji (*constraint time buffer, assembly time buffer, shipping time buffer*). Ograniczenie poziomu zapasów możliwe jest również w systemach wykorzystujących pchany model pracy. Przykład stanowi tutaj **linia FIFO** (*FIFO Line*) [121], w której proces w górze strumienia kończy pracę po wypełnieniu do maksymalnego poziomu buforu zlokalizowanego pomiędzy nim, a procesem w dole strumienia. Poprawa przepustowości łańcucha dostaw, zgodnie z Teorią Ograniczeń wymaga ukierunkowania procesów planistyczno-sterujących na maksymalne wykorzystanie zasobu ograniczającego pracę łańcucha i podporządkowanie temu wszelkich decyzji dotyczących pozostałych elementów łańcucha.

Potrzeba integracji przepływu informacji realizowana jest poprzez zastosowanie zarządzania wiedzą oraz zintegrowanych systemów informatycznych i wytwarzania, np. klasy ERP, CRM, SCM czy CIM. Wspomagają one realizację procesów planistyczno-sterujących na każdym poziomie działalności organizacji i pozwalają w całym łańcuchu dostaw zintegrować przepływ materiałów i informacji. Elastyczność w dostosowywaniu procesów planistyczno-sterujących do zmiennych wymagań otoczenia oznacza potrzebę wykorzystania metod ukształtowanych pod wpływem czynników o charakterze organizacyjnym (np. *Lean, LeanSigma*), inteligentnej automatyzacji, rozproszonych usług webowych czy SOA. Do realizacji poszczególnych zadań procesów planistyczno-sterujących stosowane są algoryt-

my wykorzystujące inteligencję obliczeniową (*Computational Intelligence*), do których zaliczane są sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne czy systemy rozmyte [104]. Stanowią one podstawę automatycznego planowania (*automated planning*). Jest ono elementem sztucznej inteligencji AI. Jego zadaniem jest generowanie planów lub sekwencji działań (przy wykorzystaniu inteligentnych agentów), które prowadzą od określonego stanu początkowego do stanu spełniającego postawione cele. Automatyczne planowanie ma głównie zastosowanie w robotyce, logistyce oraz harmonogramowaniu zadań. Dzięki własności samoczenia i samoopimalizacji umożliwia budowanie planów dostosowanych do dynamicznych zmian rynku i efektywne sterowanie procesami firmy.

Zmiany procesów planistyczno-sterujących wymagają holistycznego podejścia. Różnorodność czynników wywołujących zmiany wymaga uwzględnienia czynników o charakterze organizacyjnym, technicznym, finansowym i ludzkim. Złożoność procesu zmiany powoduje, że należy ją realizować zgodnie z dorobkiem nauki w zakresie zarządzania zmianą.

4.4. Zarządzanie zmianą procesów planistyczno-sterujących

Proces zmian dotyczy każdej organizacji. Globalizacja gospodarki, szybki rozwój technologii (szczególnie informatycznych i komunikacyjnych), szybko powiększające się zasoby wiedzy, ciągle zmieniające się wymagania klientów, czy presja konkurencji z jednej strony umożliwiają zmiany, a z drugiej sprawiają, że bez zmian przedsiębiorstwo przestanie istnieć. Zmiany stają się jednym pewnym elementem w funkcjonowaniu systemów produkcji. Ciągły charakter procesu zmian powoduje, że cechą organizacji, którą traktować można jako system otwarty, jest homeostaza dynamiczna. Oznacza ona osiągnięcie stanu równowagi, która jednak nie jest całkowitym bezruchem, czy stałą równowagą, tylko cały czas podlega zmianom ukierunkowanym na zrównoważenie przepływu energii pomiędzy organizacją i jej otoczeniem.

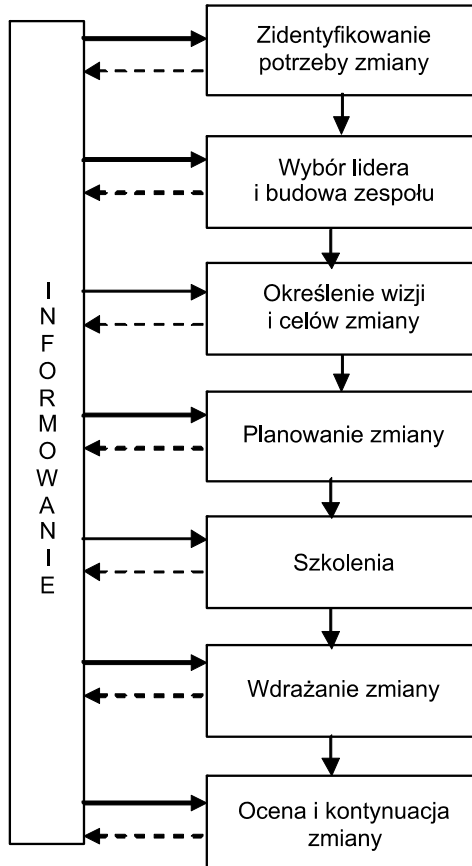
Na brak stałej równowagi i nieustanność zmian w organizacji zwraca uwagę Masłyk-Musiał, definiując zmianę jako przeciwieństwo bezruchu „stan zmian w organizacji jest intensyfikacją tego, co istnieje w stanie jej *bezruchu*” [94]. Na ciągłą obecność zmian w organizacjach zwracają uwagę Goetsh i Richburg, stwierdzając, że zmiana „jest wszechobecna, nieustająca i niesłabnąca. Jest jedynym stałym czynnikiem w środowisku biznesowym, czasem nieprzewidywalnym, często niestałym, zawsze płynnym” [45]. Podobnie Koźmiński i Jemieliński zwracają uwagę na wszechobecność zmian jako wyniku licznych i złożonych powiązań między poszczególnymi elementami łańcucha dostaw i otoczenia, definiując zmianę jako „wszechobecny, stały element w życiu współczesnym organizacji. (...) Wynika ze swoistej gęstości zewnętrznego i wewnętrznego środowiska organizacji, czyli z ogromnej ilości i skomplikowania bezpośrednich i pośrednich powiązań między zjawiskami zachodzącymi w otoczeniu i wnętrzu organizacji” [75]. Griffin określa natomiast zmianę jako „każdą istotną modyfikację jakiejś części organizacji” [49], a Nogalski definiuje zmianę jako „przejście organizacji ze stanu dotychczasowego do stanu innego jednoznacznie odmiennego” [28]. Zmiany są zatem wszechobecne, modyfikacjom podlegają wszystkie elementy, zarówno pojedynczych organizacji, jak i całe strumienie wartości. Dotyczą one zatem również procesów planistyczno-sterujących, których zmiany muszą być odpowiednio zarządzane, zgodnie z wymaganiami otoczenia i łańcuchów dostaw oraz dorobkiem nauki.

Uporządkowanie procesu zmiany, sformalizowanie i usystematyzowanie go ułatwia realizację zmiany i powoduje, że zwiększa się prawdopodobieństwo odniesienia sukcesu. Postępowanie według określonego schematu pozwala zachować odpowiednią kolejność działań, wykonać wszystkie wymagane kroki i objąć realizacją zmian właściwe obszary funkcjonowania przedsiębiorstwa i właściwych pracowników. Określeniem procesu realizacji zmian zajmowało się wielu autorów. Hirschorn przedstawił proces realizacji zmian jako wykonanie trzech kampanii wzajemnie ze sobą powiązanych. Wyszczególnił tutaj [57]:

- kampanię „polityczną”,
- kampanię „marketingową”,
- kampanię „militarną”.

Celem **kampanii „politycznej”** jest stworzenie zespołu i koalicji, która będzie popierała zmianę aż do jej zrealizowania. W tej fazie wymagane jest usprawnienie systemu informacyjnego w firmie i zbudowanie odpowiedniej struktury organizacyjnej, co odgrywa znaczącą rolę w uzyskaniu poparcia dla zmiany. W **kampanii „marketingowej”** ma miejsce ogłoszenie potrzeby zmian pracownikom i wszystkim *stakeholders* w taki sposób, by zachęcić ich do zmiany i ukazać jej konieczność. **Kampania „militarna”** to zapewnienie procesowi zmian poparcia kierownictwa i zainteresowanie wdrażaniem zmian pracowników. Wspomagają te działania projekty pilotażowe, które pozwalają ukazać możliwe do uzyskania korzyści i w ten sposób dają motywację do dalszych działań. Kampanie powinny być realizowane równolegle, ale w praktyce bywa to trudne. Można zauważyć, że kampanie te szczególną uwagę zwracają na **czynnik ludzki** i potrzebę zaangażowania wszystkich pracowników w proces zmian.

W literaturze można znaleźć również szereg innych modeli realizacji zmiany. Znany jest między innymi **model Lewina**: rozmrażanie–zmiana–zamrażanie, istnieje wieloetapowy program zmiany Argyrisa, a kompleksowe podejście do zmian przedstawia Griffin w swoim siedmioetapowym modelu. Wielu autorów uszczegóławia plan zmiany, określa etapy i kroki, których realizacja jest niezbędna, niezależnie od rodzaju zmiany. Goetsh i Richburg określają dziesięć kroków ku efektywnej zmianie, natomiast eksperci z Harvard Business School definiują siedem kroków w kierunku realizacji efektywnej zmiany. Podobnie Clark przedstawia **siedem etapów** w procesie przeprowadzenia zmianom, a Nogalski określa siedem etapów w modelu cyklu przeprowadzania zmiany. Kotter definiuje osiem etapów, które musi pokonać organizacja w procesie transformacji. W przedstawionych podejściach przewijają się podobne działania. Jest mowa o potrzebie określenia celów i wizji zmiany, planowaniu zmiany, wdrażaniu zmiany, ocenie i kontynuacji zmiany. Zwracana jest uwaga na konieczność budowania zespołów realizujących zmiany, przekazywania informacji we wszystkich kierunkach organizacji i jej otoczenia oraz motywowania pracowników do podążania drogą zmian. Na podstawie literatury, m.in. [24, 28, 45, 55, 73] można określić, że proces kompleksowej realizacji zmiany, również transformacji procesów planistyczno-sterujących, składa się z ośmiu etapów przedstawionych na rys. 4.3. Zaczyna go zidentyfikowanie potrzeby zmiany, a kończy ocena i kontynuacja procesu zmian. Na każdym etapie należy wykonać odpowiednie działania, które zostaną scharakteryzowane w dalszej części rozdziału.



Rys. 4.3. Etapy procesu realizacji zmiany
Źródło: [87]

4.4.1. Zidentyfikowanie potrzeby zmian

Proces zmian rozpoczyna się od zidentyfikowania potrzeby transformacji. Potrzebę zmian wywołują czynniki zmiany, które dla danego obszaru mogą mieć charakter wewnętrzny lub zewnętrzny. W przypadku procesów planistyczno-sterujących **czynniki wewnętrzne** wpływają z wnętrza tych procesów i mogą być związane z kulturą organizacyjną, niedogodnościami i problemami występującymi przy realizowaniu procesów czy z brakiem realizacji określonych funkcji. **Czynniki zewnętrzne** związane są z otoczeniem procesów planistyczno-sterujących, czyli pozostałymi procesami realizowanym w łańcuchu dostaw, które są powiązane z procesami planistyczno-sterującymi oraz mikro i makrootoczeniem organizacji. Można zaliczyć do nich czynniki o charakterze organizacyjnym, finansowym, technicznym, rynkowym, polityczno-prawnym, technologicznym czy czynniki związane z rozwojem wiedzy [89].

Dostrzeżenie potrzeby zmian jest bardzo ważną sprawą dla rozwoju organizacji i całego łańcucha dostaw, ponieważ inaczej stosowane są rozwiązania, które były dobre w przeszłości, ale w nowej sytuacji nie sprawdzają się i mogą doprowadzić do upadku przedsię-

biorstwa i problemów w całym strumieniu wartości. Istnieje szereg metod i sposobów, które pomagają zidentyfikować potrzebę zmian. Podstawę stanowi monitorowanie poziomu i stanu czynników wywołujących zmiany i określanie ich wpływu na organizację oraz analiza realizowanych przez przedsiębiorstwo procesów. Proces monitorowania czynników zmiany ułatwi przypisanie, szczególnie kluczowym dla organizacji czynnikom zmiany, odpowiednich miar. Przekroczenie przez nie przyjętych wartości progowych generuje sygnał o potrzebie transformacji. Potrzebę zmian identyfikuje też porównanie wyników związanych z efektywnością i skutecznością realizacji procesów planistyczno-sterujących i powiązanych z nimi procesów z różnych obszarów przedsiębiorstwa (np. produkcji, logistyki) z okresu przeszłego i obecnej chwili lub dokonanie benchmarkingu. Do określenia kierunku i zakresu wymaganej zmiany można wykorzystać również **metodę szukania luki rozwojowej**. Polega ona na wyznaczeniu kierunku zmiany na podstawie różnicy między stanem obecnym, a wymaganym lub projektowanym w danym obszarze. Określenie luki rozwojowej stanowi podstawę do szukania szczegółowych rozwiązań.

Bardzo dobrze, jeżeli w proces identyfikacji potrzeby zmian są włączeni pracownicy. Tylko ludzie, którzy są najbliższej danej sytuacji właściwie ją oceniają. Pozostawienie oceny zarządzającym grozi niewłaściwym określeniem problemu, bo „z góry” menadżer widzi tylko jego część, co implikuje zbyt wąskie zarysowanie rozwiązań [55]. Włączenie i zaangażowanie pracowników w proces identyfikowania potrzeby zmian może odbywać się m.in. z wykorzystaniem metody burzy mózgów lub jej odmian, z zastosowaniem narzędzi Logicznego Wnioskowania, poprzez koła jakości, koła produktywności czy **systemy sugestii**. Pracownicy przez możliwość wygłaszania własnych opinii i prezentowania własnych analiz są od samego początku zaangażowani w proces zmian i dzięki temu do nich zmotywowani. W przypadku IMS *rola identyfikowania potrzeby zmian może być przypisana inteligentnym elementom organizacji (np. holonom), które nadzorują stan czynników zmiany, analizują realizację procesów w łańcuchu dostaw i podejmują decyzje o konieczności przeprowadzenia zmiany*.

Po zidentyfikowaniu potrzeby zmian w obszarze procesów planistyczno-sterujących musi być ona ogłoszona, poprzez funkcjonujący system informacyjny, wszystkim pracownikom i elementom strumienia wartości powiązanim z tym obszarem. Pracownicy poprzez przekaz ustny wspierany wykresami, zdjęciami, rysunkami są stawiani w obliczu problemów firmy. Jednocześnie otrzymują oni informacje o skutkach nie podejmowania zmian – o zmniejszaniu wynagrodzeń, zwolnieniach, a może upadku firmy. Wczesne ogłoszenie potrzeby i kierunku zmian oraz uzasadnienie niezbędności zmian pozwala pracownikom pogodzić się z koniecznością realizacji nowych zadań, daje czas na przejście psychologicznych etapów zmian, od szoku poprzez negację po akceptację i adaptację oraz zmniejsza opór przeciwko zmianom.

4.4.2. Lider i zespół zmian

Przez proces zmian organizację ma przeprowadzić zespół skupiony wokół lidera zmiany. Według ekspertów z Harvardu **przywódca zmiany** „musi być jak mistrz, gromadzić zasoby potrzebne do przedsięwzięcia oraz brać na siebie odpowiedzialność za sukces lub porażkę” [55]. Ale nawet CEO (*Change Effective Officer*), lider posiadający wiedzę, umiejętności, energię i zaangażowanie do realizacji dużych zmian, nie powinien wprowadzać zmiany samotnie [45]. Dla przeprowadzenia zmian z sukcesem potrzebny jest **zespół**. W jego skład wchodzi ludzie, którzy popierają zmianę, mają wpływy w organizacji i auto-

rytet, są darzeni szacunkiem, dysponują właściwą, dogłębną wiedzą, umiejętnościami, doświadczeniem oraz energią do działań. Istotną sprawą jest również to, by w zespole znalazły się osoby, których zmiana będzie dotyczyła, zatem związane z procesami planistyczno-sterującymi oraz z obszarami realizującymi współzależne procesy. Jeżeli plan zmian będzie opracowywany również przez nie, będzie lepszy i spotka się z mniejszym sprzeciwem. Kotter zdefiniował czynniki, dzięki którym zespół może odnieść sukces. Należą do nich [72]:

- znalezienie właściwych ludzi (spośród menedżerów i pozostałych pracowników),
- zbudowanie zaufania – służy temu otwarta komunikacja, uczciwość, wspólne planowanie zmiany, dyskusje i wspólne rozwiązywanie problemów,
- zidentyfikowanie wspólnego celu – jest podstawą odniesienia sukcesu, plan zmian jest „nasz” a nie „twój” lub „mój”.

Skład zespołu nie jest niezmienny. Kotter i Cohen [73] mówią o wciąganiu (*pull*) do zespołu ludzi, identyfikujących się ze zmianą i wypychaniu z niego (*push*) członków, którzy widzą same przeszkody w realizacji zmiany i stawiają opór. Skład zespołu zależy też od rodzaju realizowanej zmiany. Nie ma zespołu, który z sukcesem będzie przeprowadzał wszystkie zmiany w organizacji. Zadaniem lidera zmiany nie jest tradycyjnie rozumiane kierowanie zespołem przez planowanie pracy, wydawanie poleceń, monitorowanie programów i ocenę zmian, ale coaching. Lider ukierunkowuje zespół na zadania, angażuje członków w proces zmian, umożliwia poszukiwanie lepszych rozwiązań i pełne wykorzystanie swojej wiedzy i umiejętności.

Zespół przewodzi zmianom organizacji przez wykonanie następujących czynności [98]:

- objęcie własnością inicjatywy zmian,
- komunikowanie kierunków zmiany,
- pomoc udzielona przez wszystkich członków zespołu menedżerom w dostosowaniu celów jednostek do celu zmiany i wciąganiu wszystkich *stakeholders* w nurt tych zmian,
- uczynienie menedżerów odpowiedzialnymi za zapewnienie sukcesu zmiany w ich jednostce,
- wyznaczenie pracowników do realizacji fragmentów procesu zmian i *empowerment* pracowników,
- nagradzanie za cząstkowe sukcesy.

Bardzo często w skład zespołu zmiany wchodzi zewnątrzni konsultanci. Oni swoją wiedzą i doświadczeniem wspierają proces planowania i realizacji zmiany. Ich rola jest szczególnie duża w początkowej fazie, przy identyfikowaniu potrzeby zmiany i określaniu jej wizji i celów, a wraz z realizacją procesu zmian zmniejsza się.

4.4.3. Wizja i cele zmiany

Następnym krokiem w procesie realizacji zmiany jest opracowanie wizji zmian procesów planistyczno-sterujących. Z reguły lider zespołu, identyfikując się z kierunkiem zmian, nakreśla wizję zmiany, ale jej szczegółowe opracowanie jest zadaniem całego zespołu zmian. **Wizja zmiany** ukazuje dystans do pokonania i jest narzędziem motywowania. Aby mogła zrealizować swe cele musi być prosta, łatwa do zrozumienia, zwięzła, odważna, ale realizowalna, wywołująca zainteresowanie, pozbawiona liczb, musi odwoływać się do wartości, nadziei i idei członków organizacji, których będą dotyczyły efekty zmian i pozostałych *stakeholders*, których poparcie jest potrzebne [45, 147]. Zanim pracownicy (**inteli-**

gentne holony) poddani zostaną radykalnej zmianie, potrzebują wizji przyszłości, która będzie wystarczająco atrakcyjna, żeby uzasadnić konieczność poświęcenia przeszłości i wykonania ciężkiej pracy. Jasna wizja pomaga podejmować i koordynować decyzje oraz działania ludziom i jednostkom, które związane są z różnymi obszarami współdziałającymi z procesami planistyczno-sterującymi. Przy opracowywaniu wizji można wykorzystać między innymi metodę burzy mózgów lub scenariusze rozwoju czynników zmiany [24].

Z wizją łączą się **cele zmiany**. Mogą one mieć postać mierzalną (np. zwiększenie produkcji, skrócenie czasu realizacji zamówienia klienta, zmniejszenie poziomu zapasów, zmniejszenie kosztów produkcji czy poziomu braków) lub niemierzalną (np. wzrost kultury organizacji, poziomu wiedzy i umiejętności, poprawa morale pracowników realizujących procesy planistyczno-sterujące). Zgodnie z modelem SCOR (*Supply-Chain Operations Reference*) cele zmian procesów planistyczno-sterujących powinny być ukierunkowane na udoskonalenie atrybutów łańcucha dostaw jakimi są: niezawodność, zdolność do szybkiego reagowania na potrzeby klientów, elastyczność w dostosowywaniu się do wymagań klientów, koszty funkcjonowania i stopień wykorzystania aktywów.

Uszczegółowienie celu zmiany procesów planistyczno-sterujących jest wynikiem następującej sekwencji działań [28]:

- wykonanych prac diagnostycznych, związanych z identyfikacją stanu czynników zmiany procesów planistyczno-sterujących,
- zdefiniowania problemu (kluczowych obszarów, w których występują niesprawności lub możliwości rozwoju),
- wykorzystania opinii ekspertów,
- oceny wyników prac diagnostycznych i prognostycznych,
- diagnozy stanu procesów planistyczno-sterujących i możliwości ich rozwoju.

Wizja i cele zmian są komunikowane pracownikom i pozostałym stakeholders.

4.4.4. Planowanie zmiany

Wizja nadaje kierunek zmianom i wskazuje docelowy stan procesów planistyczno-sterujących oraz miejsce, w którym organizacja ma się znaleźć. Plan zmian natomiast prezentuje w jaki sposób dotrzeć do tego miejsca. Jest narzędziem wykonawczym wizji. Przy opracowywaniu planu zmian należy pamiętać, że musi być on realizowalny, musi zatem obejmować działania możliwe do wykonania. Zbyt ambitne cele i skomplikowane działania zniechęcają do ich realizacji. Plan zmian składa się z następujących elementów [45]:

- strategii,
- projektów działań,
- budżetu.

Strategia jest zwięzłym przedstawieniem tego, co ma być zrobione, by organizacja zrealizowała wizję zmian. **Projekty działań** natomiast przedstawiają w sposób bardziej szczegółowy to, co należy wykonać w ramach określonej strategii. Projekty definiują jakie działania mają być realizowane, w jaki sposób, kto ma je wykonać, jakie są spodziewane efekty i kiedy te efekty zostaną osiągnięte [55].

Dla procesów planistyczno-sterujących określenie projektu działań wymaga zdefiniowania:

- typu procesów (pchany, ssany) w powiązaniu z poszczególnymi produktami lub elementami łańcucha dostaw oraz zastosowanych metod realizacji procesów (np. kanban, CONWIP, linia FIFO),

- struktury funkcjonalnej, czyli określenia grup funkcji (w ramach zarządzania zdolnością produkcyjną, budowy planów czy zarządzania popytem) i zadań realizowanych na każdym poziomie działalności operacyjnej (operacyjnym, taktycznym i strategicznym) organizacji i łańcucha dostaw,
- struktury technicznej.

Zdefiniowanie zadań procesów planistyczno-sterujących wymaga określenia sposobu ich wykonania, wyboru lub opracowania **odpowiednich metod i algorytmów postępowania** oraz przydziału niezbędnych zasobów (ludzi, wyposażenia, elementów składowych organizacji) do ich wykonania. Projekt określa ramy działań, natomiast wypełnienie tych ram szczegółowymi zadaniami następuje już na etapie realizacji. Należy również mieć na uwadze złożoność i współzależność zmian. *W obszarze procesów planistyczno-sterujących mogą one wymagać modyfikacji w innych procesach w organizacji i łańcuchu dostaw, np. zmian organizacyjnych łańcucha, zbudowania nowej sieci powiązań czy zastosowania nowych sposobów oceny finansowej.* Zatem plan zmian musi również obejmować zmiany w powiązanych obszarach.

Istotnym czynnikiem jest również określenie oczekiwanych efektów planów, ponieważ działania zdefiniowane w projektach muszą być podporządkowane możliwości osiągnięcia zaplanowanych wyników. Ze względu na możliwą złożoność zmian do oceny wariantów planu zmiany i wyboru najlepszego można wykorzystać szereg mierników i metod. Można wskazać tutaj **miary operacyjne** powiązane z procesami planistyczno-sterującymi (np. długość cyklu realizacji zamówienia, takt spływu produkcji, stopień wykorzystania urządzeń, elastyczność procesów) oraz **miary finansowe** efektów przeprowadzenia zmian (np. koszt, zysk, przerób). Można mówić o **rachunku kosztów**, który pozwala na identyfikowanie i analizowanie w różnych układach kosztów związanych z realizacją danej opcji planu. Można też wymienić **rachunkowość przerobową** (*throughput accounting*), w której podstawowymi miarami efektywności są [27]:

- przerób (*throughput*) T, czyli tempo, w jakim system generuje pieniądze przez sprzedaż,
- inwestycje (*investment*) I, czyli wszystkie pieniądze wydane przez system na zakup tego, co zamierza sprzedać,
- nakłady operacyjne (*operating expenses*) OE, czyli wszystkie pieniądze wydawane przez system na zamianę inwestycji w przerób.

Planowana zmiana procesów planistyczno-sterujących będzie efektywna jeżeli spełniona zostanie zależność:

$$\Delta T - (\Delta I + \Delta OE) > 0 \quad (4.1)$$

co oznacza, że następujący w jej wyniku przyrost przerobu musi być większy od wywołanej zmianą sumy przyrostów inwestycji i nakładów operacyjnych.

W przypadku oceny planów zmian procesów planistyczno-sterujących, które dotyczą wykorzystania technologii informatycznych i telekomunikacyjnych i budowy organizacji sieciowych zastosowanie ma **ekonomia sieciowa** (*network economy*). Ze względu na złożony charakter zmian procesów planistyczno-sterujących i powiązanych z nimi procesów niezbędnym staje się usystematyzowanie miar i wskazanie relacji między nimi, np. określenie wpływu miar operacyjnych na miary finansowe. Rozległość efektów zmian procesów planistyczno-sterujących i różnorodność możliwych ocen powoduje potrzebę zhierarchizowania systemu oceny (przy pomocy np. wieloaspektowego modelu ocen), co może wspomóc odpowiednie dobranie mierników do postawionych celów zmiany oraz podjęcie optymalnych dla organizacji i całego łańcucha dostaw decyzji przy wyborze opcji planu.

Każdemu projektowi zmian procesów planistyczno-sterujących należy **przydzielić zasoby** ludzkie, rzeczowe i finansowe niezbędne do jego wykonania. Planując zmianę, trzeba również określić osoby odpowiedzialne za realizację poszczególnych działań oraz określić **harmonogram realizacji zmian**, zgodnie z metodologią zarządzania projektami. Integralną częścią planu jest **budżet**, który przewiduje jakie wydatki i kiedy należy ponieść w związku z realizacją zmiany. Budżet każdej zmiany jest inny, ale rodzaje wydatków są takie same. Należą do nich koszty szkoleń, nowych technologii, materiałów, wyposażenia, podróży, komunikacji, wynagrodzeń konsultantów i pracowników, budowania sieci powiązań [45]. Plan zmiany musi ukazywać możliwe do osiągnięcia korzyści, zarówno wymierne, jak i niewymierne, oraz system wynagradzania za uzyskane rezultaty.

W procesie planowania zmiany, dla rozwiązania postawionych problemów, mogą być generowane różne rozwiązania, przykładowo może być rozważane wykorzystanie różnych metod planowania i sterowania procesami (np. kanban, werbel-bufor-lina). Spośród nich należy wybrać do realizacji najlepszy plan, kierując się następującymi **kryteriami** [45]:

- analizą planowanych kosztów i możliwych do uzyskania efektów (wieloaspektowy model oceny zmiany),
- czasem realizacji zmian,
- trwałością rozwiązań lub problemów, które mogą się pojawić,
- uwarunkowaniami etycznymi i moralnymi (rolą poszczególnych elementów organizacji i pracowników).

W czasie wdrażania planu ujawniają się nowe problemy, zmieniają się warunki otoczenia i w związku z tym plan zmian musi być elastyczny i tak skonstruowany, żeby możliwe były jego dostosowania do aktualnych potrzeb. Zmiany mogą dotyczyć na przykład korygowania celów i terminów ich realizacji, harmonogramu realizacji poszczególnych etapów, kolejności działań czy przydziału zasobów. Clark zwraca uwagę na bardzo duże znaczenie czynnika czasu w procesie planowania zmiany. Krótsze projektowanie daje możliwość szybszej zmiany i uzyskania przewagi konkurencyjnej [24]. Mankins i Steele zwracają uwagę na **potrzebę porzucenia tradycyjnego budowania doskonałych planów na rzecz wielokrotnego procesu podejmowania decyzji, budowania i realizowania planów małymi krokami, w oparciu o ciągłą identyfikację i systematyczne rozwiązywanie problemów**. Przedstawiają oni model *Continuous Decision-Oriented Planning* [92], który zakłada ciągłe uaktualnianie głównych planów zmiany, budżetów i planów operacyjnych. Dzięki temu łatwiej, w krótszym czasie i w pełniejszym stopniu możliwa jest realizacja wizji i celów zmiany. Jest to zgodne z zasadami stosowanymi przez praktyków *kaizen*, które mówią by nie szukać perfekcji w planowaniu tylko realizować plany od razu, nawet jeżeli zapewnia to osiągnięcie w danej chwili tylko 50% celu [60]. Kolejne decyzje i plany będą zbliżały do pełnej realizacji celu. Zgodnie z powyższymi rozważaniami plan dużych zmian (np. całkowitych, innowacyjnych) należy zastąpić kilkoma mniejszymi, łatwiejszymi do realizacji i uaktualnianymi, których zakończenie przynosi wyraźnie określone efekty.

4.4.5. Szkolenia i wdrażanie zmiany

Realizacja planów zmiany procesów planistyczno-sterujących wymaga od pracowników i inteligentnych elementów budowanej sieci powiązań przyjmowania odpowiednich postaw, wykonywania określonych zadań i wykazania się niezbędnymi umiejętnościami. W związku z tym integralną częścią procesu zmiany stają się **szkolenia**, które umożliwiają

uzyskanie odpowiedniej wiedzy i umiejętności. Należy zdefiniować zakres szkoleń dla poszczególnych pracowników i elementów łańcucha dostaw oraz przewidzieć w budżecie zmiany pieniądze na szkolenia.

Można mówić o szkoleniach wewnętrznych i zewnętrznych. Wewnętrzne szkolenia są prowadzone przez jednostki o większym doświadczeniu i umiejętnościach, zewnętrzne przez profesjonalne organizacje. W czasie szkoleń należy pamiętać o następujących zasadach uczenia [45]:

- potrzeba gotowości do zmian;
- proces nauczania przebiega szybciej, jeżeli opiera się na znanych elementach;
- najlepiej uczyć się krok po kroku;
- najlepiej uczyć się przez działanie;
- im częściej wykorzystywana jest przekazywana wiedza, tym lepiej jest zrozumiana i zapamiętana;
- szkolenie zakończone sukcesem rodzi potrzebę kolejnych szkoleń.

Uzyskanie odpowiedniej wiedzy i umiejętności zmniejszy opór przeciwko zmianom i pozwoli na efektywne wprowadzenie zmiany.

Wdrażanie jest krytycznym etapem procesu realizacji zmiany. Obejmuje ono następujące działania:

- opracowanie planów wdrożeniowych,
- wdrożenie pilotażowe,
- właściwe wdrożenie.

Opracowanie planów wdrożeniowych dla nowego sposobu realizacji procesów planistyczno-sterujących i powiązanych z nimi obszarów łańcucha dostaw wymaga określenia szczegółowych działań, zgodnych z kierunkami zawartymi w planach zmiany. W związku z tym plan działań musi być najpierw poddany analizie pod kątem punktów krytycznych, problemów i przeszkód, które mogą się pojawić w trakcie realizacji. Określając zadania do wykonania, trzeba również uwzględnić te, które pozwolą pokonać punkty krytyczne i uniknąć problemów. **Plan wdrożeniowy** jest szczegółowym zestawieniem czynności, czasów ich wykonania, terminów realizacji, niezbędnych zasobów i osób odpowiedzialnych za ich wykonanie. Zgodnie z wymogami zarządzania projektami plan wdrożeniowy podzielony jest na mniejsze części. Realizowane czynności pogrupowane są w etapy, każdy etap stanowi pewną całość działań, kończy go uzyskanie określonych efektów i osiągnięcie kamieni milowych. Zrealizowanie jednego etapu planu może spowodować korektę kolejnych etapów. Formy zapisu planów wdrożeniowych mogą być różne, przykłady można znaleźć w literaturze, m.in. prezentują je Clark oraz Goetsh i Richburg [24, 45]. Plany wdrożeniowe opracowywane są przez zespół zmiany, ale konsultowane są również m.in. z osobami i inteligentnymi elementami łańcucha dostaw, których zmiana dotyczy. Zaakceptowanie go przez wszystkie strony umożliwia jego wdrażanie.

Wdrażanie zmiany trzeba rozpocząć w odpowiednim momencie, którego wybór ma duże znaczenie dla jej efektywności. Moment ten zależy od gotowości organizacji i całego strumienia wartości do zmiany. Gotowość zostaje osiągnięta dzięki posiadaniu odpowiedniej wiedzy i umiejętności uzyskanych np. w czasie szkoleń, właściwej informacji na temat zmiany, motywacji i odpowiedniego stanu emocjonalnego. Rozpoczęcie wdrażania zmiany możliwe jest wtedy, gdy zostanie zbudowana ze wszystkich *stakeholders* koalicja na rzecz zmian.

Dobłą możliwością przetestowania opracowanych planów wdrożeniowych jest **wdrożenie pilotażowe**. Jeżeli tylko istnieje taka możliwość należy z niej skorzystać. Wdrożeniem pilotażowym powinien być objęty obszar organizacji czy łańcucha dostaw, w którym zmiana przyniesie wyraźne korzyści. Stanowić to będzie dodatkowy czynnik motywacyjny do realizacji zmiany w całej organizacji. Pilotażowe wdrożenie pozwoli poza tym sprawdzić poprawność zaproponowanych rozwiązań i przetestować zawarte w planie działania. Da możliwość zidentyfikowania czynników, które nie zostały ujęte i skorygowania opracowanych planów. Pozwoli również pracownikom zdobyć doświadczenia niezbędne w dalszym wdrażaniu. Dzięki temu zmiany w pozostałych obszarach będą przebiegały sprawniej i przyniosą większe efekty.

Na etapie wdrażania zmiany trzeba przygotować i dostarczyć zasoby niezbędne dla realizacji zmiany (m.in. materiały, dokumenty, narzędzia, oprogramowanie), zidentyfikować i pokonać bariery zmian, monitorować postęp i dokonywać koniecznych korekt planu. W fazie realizacji niezbędne staje się wizytowanie przez zespoły zmian obszarów organizacji ulegającym zmianom i pomoc w rozwiązywaniu problemów. Zainteresowanie i bezpośredni udział zespołów zmiany we wdrażaniu zmiany podnosi rangę realizowanych działań i pozwala budować pozytywne postawy pracowników i inteligentnych elementów łańcucha dostaw [45]. Wdrażanie zmiany musi być ciągle monitorowane. Realizowane działania i uzyskiwane wyniki trzeba kontrolować, porównywać z planem i albo zintensyfikować wysiłki, albo skorygować plany. Bardzo dobrze jest jeżeli wszyscy uczestnicy zmiany mają możliwość porównania planu z bieżącą realizacją. Dlatego o postępach i wynikach prac należy informować. Dla poprawy postaw, podtrzymania energii i zapału do zmian trzeba świętować postęp w pracach i osiągnięcie kamieni milowych.

4.4.6. Ocena i kontynuacja zmiany, informowanie

Po zrealizowaniu zmiany procesów planistyczno-sterujących należy dokonać jej oceny. **Efektywność zmian** można ocenić, wykorzystując następujące miary:

- **skuteczność** – rozumianą jako stopień osiągnięcia zdefiniowanego celu zmiany,
- **korzystność** – definiowaną jako różnica pomiędzy użytecznym wynikiem zmiany, a nakładami poniesionymi na jej wdrożenie [69],
- **ekonomiczność** – określaną jako stosunek użytecznego wyniku zmiany do nakładów związanych z jej wdrożeniem.

Użyteczny wynik zmian procesów planistyczno-sterujących można wyznaczyć wykorzystując wieloaspektowy model oceny zmiany obejmujący czynniki finansowe, techniczne i potechiczne, pomocny przy wyborze planu zmiany.

Na podstawie dokonanej oceny porównawczej zmiany procesów planistyczno-sterujących można również określić kierunki dalszych działań. O wynikach wdrożenia muszą być poinformowani wszyscy uczestnicy. Pozwala to docenić ich pracę, zaangażowanie i wysiłek włożony w realizację zmiany. Wprowadzoną zmianę organizacja wspólnie świętuje, a pracownicy za swój wkład w zmianę muszą być nagrodzeni. Wdrożona zmiana musi zostać wzmocniona i w sposób formalny zatwierdzona, by nie nastąpił powrót do poprzedniej sytuacji. Służy temu zmiana procedur, struktur, zakresu obowiązków pracowników i inteligentnych elementów łańcucha dostaw, sposobu realizacji procesów, lokalizacji zasobów, form pracy, systemów wynagrodzeń, stylów zarządzania, kanałów informacji, postaci dokumentów i dostosowanie ich do nowej sytuacji.

Poprzez proces realizacji zmiany organizacja zdobywa nową wiedzę i umiejętności. Zakończona z sukcesem zmiana poprawia morale organizacji i podnosi kulturę organizacyjną. Daje wiarę we własne możliwości, buduje pozytywne postawy i otwiera na potrzebę zmian. Okazuje się, że program zmian można zrealizować, a nowa sytuacja daje wiele korzyści. Trzeba to wykorzystać i stworzyć możliwość realizacji ciągłego procesu zmian. Ciągły proces zmian (zgodny z **filozofią kaizen**) to planowane zmiany realizowane małymi krokami. Małe zmiany są łatwiejsze do wdrożenia, a ciągłość ich wprowadzania powoduje, że pracownicy przyzwyczajają się do takiej sytuacji i nie budzi ona ich oporów. W tym celu trzeba m.in. rozwijać czynniki organizacji sprzyjające zmianom. Należy również stworzyć mechanizmy ciągłej identyfikacji i analizy czynników otoczenia. Pamiętać trzeba również o ciągłej analizie realizowanych procesów i szukaniu możliwości ich usprawniania.

Implementacja z sukcesem zmiany wymaga aktywnego udziału wielu ludzi z różnych jednostek funkcjonalnych, którzy często nie pracują w jednym pomieszczeniu i nie spotykają się codziennie oraz wielu różnych elementów łańcucha dostaw. Konieczna jest również współpraca pracowników i elementów organizacji, nawet jeżeli nie odgrywają oni w zmianie bezpośredniej roli. Z tego względu dla zapewnienia zaangażowania, poparcia i sprawnej współpracy ogromną rolę odgrywa informacja, jej postać i zawartość oraz system rozprzestrzeniania. Potwierdzają to słowa Druckera: „Niesolidna, niepełna informacja wywołuje bowiem najbardziej negatywne skutki w procesie kontynuacji i współpracy” [32].

Przekazywanie informacji musi następować w czasie całego procesu zmiany. Już w momencie zidentyfikowania potrzeby zmiany należy przekazać odpowiednią informację pracownikom i pozostałym *stakeholders* procesów planistyczno-sterujących w łańcuchu dostaw. Uczynić to trzeba nawet wtedy, kiedy znany jest tylko kierunek zmiany i trudno jeszcze odpowiedzieć na bardziej szczegółowe pytania, bowiem jak stwierdza Clark: „Zbyt długie wyczekiwanie poprzedzające moment włączenia w proces zmian okazuje się zwykle fatalnym w skutkach błędem” [24]. Zmiana wymaga poparcia ludzi, inteligentnych elementów sieci, zaangażowania w proces realizacji, a tylko wczesne ogłoszenie potrzeby zmian zmniejsza opór przeciwko nim, daje możliwość zbudowania koalicji na rzecz zmian. Informacja przekazana w początkowej fazie realizacji procesu zmiany umożliwia organizacjom poniesienie odpowiedzialności za zmianę.

Informacje w procesie implementacji zmiany muszą być przekazywane we wszystkich kierunkach, „z góry na dół”, „z dołu do góry” i w poprzek budowanej sieci powiązań. ***Kanały informacyjne muszą być dwukierunkowe, by po przestaniu wiadomości dać możliwość odesłania informacji zwrotnej, która jest reakcją na dostarczone wiadomości.*** Do przekazywania informacji należy wykorzystywać kanały formalne i nieformalne. Przekazanie wiadomości o radykalnej treści wymaga bezpośrednich spotkań menedżerów z pracownikami i pozostałymi *stakeholders*. W takiej sytuacji przekaz informacji z pierwszej ręki odgrywa kluczową rolę.

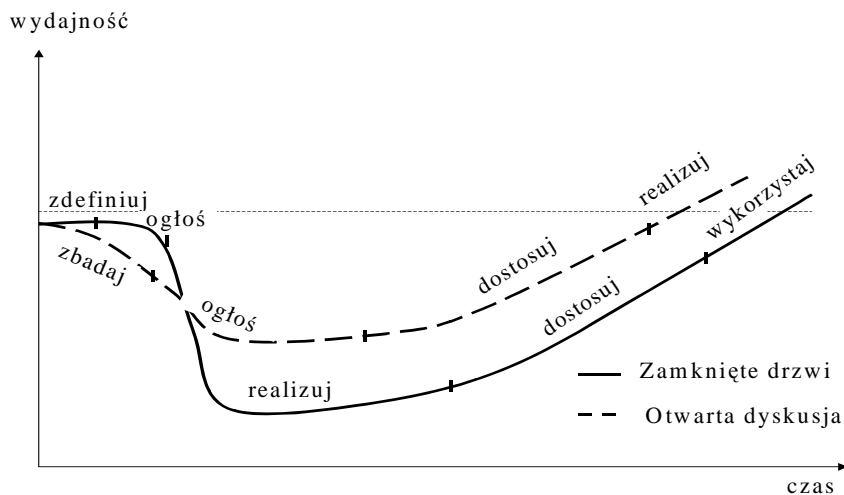
Komunikacja będzie efektywna, jeżeli spełnione zostaną następujące warunki [45]:

- informacja zostanie wysłana,
- informacja zostanie odebrana przez właściwych adresatów,
- informacja jest zrozumiała,
- informacja jest zaakceptowana.

Trzy pierwsze warunki stanowią podstawę komunikacji. Natomiast komunikacja będzie efektywna, jeżeli spełniony zostanie warunek czwarty. Aby informacja była zrozumiała

musi być jasna, jednoznacznie sformułowana i przedstawiona znanym wszystkim językiem. Bardzo dobrze jeżeli jest ilustrowana rysunkami i wykresami, bowiem w sposób znaczący ułatwia to przyswojenie jej treści. Pamiętajć trzeba, że **dla zrozumienia informacji należy ją wielokrotnie powtarzać**. Przekazana informacja może budzić u adresatów wiele wątpliwości i pytań. Dopóki pytania nie uzyskają odpowiedzi, a wątpliwości nie zostaną rozwiązane stakeholders nie zaakceptują informacji i realizacja zmiany stanie pod znakiem zapytania. Czynnikiem gwarantującym akceptację informacji jest jej uczciwość. Informacja w sposób rzetelny opisuje rzeczywistość, przedstawiając zarówno korzyści, jak i koszty dokonywanych działań. Informacja musi być uczciwa, nawet wtedy, gdy zmiana przechodzi kryzys, pojawiają się problemy i trzeba ponieść dodatkowe koszty.

Efektywną komunikację zatem gwarantują **wielokierunkowe systemy przesyłania informacji**. Wielokierunkowość umożliwia przekazanie sygnałów o pojawiających się problemach i dokonaniach, oczekiwaniach i pomysłach, dzięki czemu możliwe jest lepsze zaplanowanie zmiany i skuteczniejsza jej realizacja, budowa pozytywnych postaw wobec zmian i niedopuszczenie do trwałego oporu. Częste informowanie i wielokierunkowość sygnałów pozwalają na pełną koordynację zarówno planów, jak i ich realizacji, bieżące identyfikowanie i rozwiązywanie problemów, korygowanie planów i działań. Informowanie o stopniu realizacji planów, osiągnięciach i uzyskanych efektach motywuje i dodaje sił do dalszych działań. Rzetelne informowanie już od samego początku zmiany powoduje, że spadek wydajności pracy (do której zaangażowani są ludzie) w okresie przejściowym realizacji zmiany jest mniejszy, co obrazuje rys. 4.4.



Rys. 4.4. Wydajność pracy w zależności od sposobu komunikacji

Źródło: [24]

Jak można zauważyć na rys. 4.4 otwarta dyskusja i informowanie o zmianie od samego początku opłaca się. Mimo, że początkowo wymaga więcej wysiłku, przynosi efekty. W krótszym czasie umożliwia uzyskanie korzyści z przeprowadzonej zmiany, również w zakresie procesów planistyczno-sterujących. Jednocześnie zarządzanie zmianami wymaga nie tylko uwzględniania czynników mikroekonomicznych, ale także sfery makro [110].

Problemy organizacji projektów IT w ISP

Punktem wyjścia rozdziału są zjawiska kryzysowe inżynierii softwarowej oraz główne przyczyny i symptomy problemów w projektach IT. W związku z tym zidentyfikowano podstawowe problemy organizacji projektów informatycznych w sferze ISP. W tym celu dokonano specyfikacji czynników wpływających na efektywność projektową, odrębnie traktując pozatechniczne. Z kolei zaproponowano strategię pomocne w znajdowaniu optyków organizacyjnych, uwzględniając modele referencyjne ładu korporacyjnego.

Pokazano konsekwencje zarządzania w ramach IMS rozumianego jako przetwarzanie informacji i występującego w dwoistej postaci: jako modele (matematyczne) rzeczywistości oraz jako strategię jej transformowania (systemy informacyjne). W efekcie dokonano porównania inteligencji sztucznej i naturalnej w kontekście antropomorfizacji IT.

5.1. Zjawiska kryzysowe inżynierii softwarowej

W tabeli 3.3 pokazano przykłady problemów oceny efektywności wdrożenia projektowego IT. Nasuwa się zatem pytanie o ich przyczyny. Warto tu sięgnąć do cyklicznie przygotowywanych opracowań *Chaos-Report* autorstwa Standish Group Inc. (USA). W ciągu wielu lat jej badacze przeanalizowali w setkach przedsiębiorstw tysiące projektów informatycznych, dzieląc je na trzy grupy:

- sukces (*successful*) – projekt zakończono i wdrożono zgodnie z założeniami;
- porażka (*failed*) – projekt przerwany bądź nie wdrożony;
- wątpliwość (*challenged*) – projekt zakończono i wdrożono nie zachowując założonych ram finansowych, czasowych bądź jakościowych.

Wieloletnie statystyki dają zgrubnie, trójdzielny obraz: w każdej kategorii znajduje się około 1/3 projektów. Niemniej w określonych latach udział poszczególnych grup waha się nawet o 10 punktów procentowych. Niezależnie od szczegółów generalny wniosek jest jasny: większość projektów nie kończy się pełnym sukcesem. Cytowane raporty pośrednio odpowiadają też na przyczyny niepowodzeń wskazując na pięć najważniejszych **czynników sukcesu**:

- wsparcie kierownictwa (18%),
- zaangażowanie użytkowników (16%),
- doświadczenie wykonawców projektu (14%),
- jasne cele biznesowe (12%),
- minimalizacja zakresu projektu (10%).

Pozostałe 25% sukcesu to użycie standardów informatycznych, niezmienność podstawowych wymagań, formalna metodologia i wiarygodne oszacowania. Pełne 100% zamyka 5% czynników kategorizowanych jako „inne” (*other criteria*).

Dla wyspecyfikowania symptomów omawianego fenomenu należy zauważyć, że wdrażanie projektów informatycznych rozgrywa się w polu sił organizacyjnego trójkąta (rys. 1), którego wierzchołki wyznaczają: czas, koszty i jakość (niekiedy mówi się o kwadracie, różniąc dodatkowo jakość i funkcjonalność) [154]. Można więc powiązać z tymi elementami główne symptomy wymienionego kryzysu – tab. 5.1.

Tabela 5.1

Główne przyczyny i symptomy problemów w projektach IT

Problem	Przyczyny	Symptomy
Koszty	nieznajomość specyfiki produktywności informatycznej, słaba wydajność ludzi i sprzętu, błędy planowania kosztów, brak bieżącej kontroli kosztów, sztywne przepisy finansowe, nieprzestrzeganie zasad bezpieczeństwa informatycznego	nieuzasadnione koszty wdrożeniowe i eksploatacyjne, zawyżone koszty projektowania, serwisu i pielęgnacji, częste zmiany kosztorysu, nierentowność inwestycyjna
Jakość	złe praktyki testowania i odbioru, niewystarczające procedury kontrolne, niewystarczająca specyfikacja wymagań użytkowych, niestosowanie technik zarządzania jakością, błędy systemowe w projektowaniu	niefunkcjonalność, zawodność, niestabilność, niska efektywność oprogramowania, nieergonomiczność, brak dokumentacji, słaba testowalność, trudna modyfikowalność, ograniczona przenośność
Czas	słaba koordynacja i zarządzanie projektem, błędy szacowania, niedocenianie pozatechnicznych aspektów zadania, niewystarczająca wiedza członków zespołu i duży rozrzut ich umiejętności, wadliwa polityka szkoleniowa, nieznajomość realiów środowiska implementacyjnego	przesuwanie terminów realizacji faz i odbioru, zbyt długie czasy projektowania i wdrażania, nerwowość w wykonywaniu zadań, „szturmowszczyzna” i praca w ciągłym niedoczasie

Źródło: [154]

Wyżej scharakteryzowane fenomeny wynikają ze specyfiki informatyki. **Każdy nowy projekt informatyczny jest nowym wyzwaniem i ryzykiem, a jego indywidualność przeważa z reguły nad elementami typowości.** Nasuwa się tu nieodparcie skojarzenie z modelem deterministycznego chaosu. Tym bardziej nieprzypadkowe, że dotyczy ono systemów złożonych, a takowymi są właśnie informatyczne. Ich złożoność często przewyższa kompleksowość skojarzonych z nimi podsystemów materialnych z punktu widzenia celów definiowanych przez człowieka.

Wyjściem z opisywanych dylematów jest definiowanie IMS w sensie bioorganizacyjnego paradygmatu organizacyjnego (p. 1.3), tj. uznanie za idealną naturalnej inteligencji ludzkiej. Takie założenie implikuje **postulat antropomorfizacji systemów komputerowych.** Owszem, maszyna może być teoretycznie efektywniejsza od człowieka (jest szybsza), ale pożądany efekt nie zawsze osiągniemy na drodze siłowej (*brute-force*), zwiększając moc komputera.

Tymczasem w praktyce okazuje się, że człowiek z reguły unika strategii polegających na mozolnym rozważaniu wszelkich możliwych wariantów decyzyjnych (*exhaustive search*). Inteligencja ludzka opiera się na doświadczeniu i zdrowym rozsądku, wybierając niejako intuicyjnie rozwiązanie, które wydaje się być najlepsze, jednocześnie z góry odrzucając większość wariantów. Te **selektywne zdolności ludzkiego umysłu w algorytmice odpowiadają heurystykom i prowadzą do rozwiązań akceptowalnych w praktyce, mimo że**

nie są one w 100% teoretycznym optimum. Jednocześnie udowodniono, że niektóre heurystyki prowadzą do rozwiązań, które można uznać za dokładne nawet dla dużej ilości danych. Ponownie zatem dochodzimy tu do kwestii efektywnej integracji naturalnej inteligencji ludzkiej z wytwórczym otoczeniem IMS wspomaganym technologiami IT.

Zarządzanie w ramach IMS, rozumiane jako przetwarzanie informacji, może więc występować w dwoistej postaci:

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

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z upraszczaniem rzeczywistości dla jej lepszego zrozumienia – **model jest zawsze takim uproszczeniem i z definicji byłby bezwartościowy gdyby jego złożoność miała przewyższać realnie istniejącą.** 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 **pełna integracja tych strategii, będąca warunkiem kontrolowania kompleksowości rzeczywistości, wymaga wielodziedzinowości.**

Co zatem wynika w praktyce z takiego postulatu? Potęgą modelowania rzeczywistości przy pomocy struktur matematycznych, w połączeniu z ich doświadczalną weryfikacją, nadal jest jednym z fundamentów gwarantujących techniczny rozwój naszej cywilizacji. Niemniej tradycyjne, sekwencyjne ciągi myślowe typu „założenie, teza dowód”, formalnie uzasadnione, mogą okazywać się niewystarczające w praktyce i owocować nadmiernie rozbudowanymi i nieprzejrzystymi modelami organizacji. Zwróćmy uwagę, że modele referencyjne ładu korporacyjnego (IT Governance), np. COBIT czy PRINCE, stawiają na **podejście interdyscyplinarne.** Znaczenia nabierają także dziedziny, które na fali przesadnego technokratyzmu w mniejszym stopniu uwzględniano w sferze IT, np. filozofia. Przykładowo: **precyzja matematyki i elastyczna kontekstowość naturalizmu językowego dają się połączyć na gruncie ontologicznym z wykorzystaniem generatywizmu językowego,** który działa podobnie w softwarowym kompilatorze, a więc w dialogu człowiek-maszyna, jak i w rozmowie między ludźmi; standardowa notacja sieci semantycznych RDF (*Resource Description Framework*) opowiada bowiem konstrukcjom języka naturalnego typu: podmiot, orzeczenie, dopełnienie.

Pokazany wyżej przykład praktyczny ze sfery IMS systemu produkcyjnego (i skojarzonego z nim podsystemu logistycznego) prowadzi do wniosku, że z każdym procesem biznesowym skojarzony jest podległy mu proces informacyjny, implementowany (w pewnym stopniu) informatycznie, tj. sprzętowo i programowo. **Z reguły niemożliwa jest istotna poprawa funkcjonowania procesu biznesowego bez modyfikacji sfery technologii informacyjnej (IT) z uwagi na jej dyfuzyjny, tj. wszechobecny charakter w systemie gospodarczym.** Z kolei rozważane modyfikacje stanowią istotny czynnik kosztowy i często wiążą się z poważnymi inwestycjami. Ich efektywność wymaga zatem właściwego planowania projektu informatycznego, w szczególności kwalifikowanego szacowania jego złożoności czasowej.

Pojęcie **czasowej złożoności projektu** jest szersze niż prosta wartość długości jego trwania, ponieważ obejmuje także uwarunkowania osobowe czy strukturalne (moduły projektowe). Mówimy tu o funkcjach wiążących czas wykonania zadania z jego rozmiarem i wspomnianymi parametrami osobowo-strukturalnymi. Funkcje te mają charakter empiryczny, niemniej w sensie ich wiarygodności stanowią jedynie prognozę postaci:

$$P = f(W, E) \quad (5.1)$$

gdzie: $P = \{p_1, \dots, p_i\}$ zbiór wyników prognostycznych,
 $W = \{w_1, \dots, w_j\}$ zbiór wartości pomierzonych,
 $E = \{e_1, \dots, e_k\}$ zbiór wartości estymacyjnych.

Na podstawie tego modelu możemy wyróżnić następujące sytuacje:

$E = \{\emptyset\}$ – precyzyjne określenie złożoności, rzadka w praktyce, sytuacja idealna,
 $j \gg k$ – kwalifikowane szacowanie,
 $j \approx k$ lub $k \ll j$ – szacowania o różnym poziomie wiarygodności,
 $W = \{\emptyset\}$ – prognoza o nieustalonej wiarygodności, nie do przyjęcia w praktyce inżynierskiej.

Praktyka projektowa pokazuje, że **nawet kwalifikowane oszacowanie złożoności tworzonego oprogramowania nie gwarantuje wyznaczenia czasowego optimum przedsięwzięcia, niemniej istnieją sprawdzone narzędzia inżynierii softwarowej, wspomagające procesy estymacyjne**. Wśród nich można wyróżnić algorytmiczne i niealgorytmiczne. W drugiej grupie mamy do czynienia z różnymi metodami szacowania, jak np. ekspertyzy delphi czy specyficzne dla danej firmy krzywe czasowe, natomiast reprezentatywnym przykładem pierwszej grupy metod jest COCOMO (*CO*nstructive *CO*st *MO*del) [12].

Przy tym istnieje szereg wersji (I/II) czy wariantów modelu, np. COPSEMO (*CO*nstructive *Phase Scheduled and Effort MO*del) wspomagający szacowania poszczególnych faz projektu. Model wykorzystuje metody RUP (*Rational Unified Process*) i MBASE (*MO*del *Base System Architecting and Software Engineering*), specyfikując trzy fazy projektu:

- definicję problemu LCO (*Life Cycle Objectives*);
- definicję architektury systemu LCA (*Life Cycle Architecture*);
- implementację IOC (*Initial Operational Capability*).

Z kolei dla szybkiego tworzenia aplikacji RAD (*Rapid Application Development*) przewidziano model CORADMO korzystający z trzech metod RAD:

- GRAD (*Generator RAD*),
- CRAD (*Composition RAD*),
- FRAD (*Full-System RAD*).

Niezależnie od szczegółowej postaci formuł i wartości współczynników określających postać stosowanego modelu prognostycznego COCOMO, można sprowadzić je do następujących wniosków:

- przebieg rzeczywisty czasowej krzywej projektu jest niemalejący w relacji do planowanej;
- krzywa rośnie szybko, gdy planowany czas znajduje się poniżej optimum;
- krzywa rośnie powoli, gdy planowany czas znajduje się powyżej optimum;
- optimum czasowe należy wyznaczyć formułą postaci:

$$T_R = C (T_P)^d \quad (5.2)$$

gdzie: T_R – kalendarzowy czas optymalny (rzeczywisty),

- T_p – nakłady czasowe w osobomiesiącach (OM), pierwotnie szacowane innymi metodami (analogie do innych projektów),
 C, D – stałe projektowe, przy czym D jest ułamkowym wykładnikiem dla uzyskania efektu nieliniowości formuły.

Już pierwszy z wniosków może być swego rodzaju zaskoczeniem. Jak to możliwe żeby w inżynierskiej dziedzinie nie wyciągać wniosków z błędów szacowań w przeszłości? Jedną z przyczyn tego stanu rzeczy są błędy pomiaru i szacowania **złożoności projektowej** w sferze informatycznej. Za jej podstawową miarę uznajemy rozmiar zasobów niezbędnych do realizacji zadania, zwłaszcza w postaci zagregowanej, tj. czasowych i finansowych. Jej pomiar dotyczy już istniejących systemów, w celu uzyskania punktu wyjścia dla oszacowań dotyczących systemów nowopowstających. Szczególną trudność stanowi tu unikalność rozwiązań w rozważanej dziedzinie, co obrazowo można ująć w twierdzeniu, iż wiele z nowych systemów, *de facto*, trzeba by oznaczyć w softwarowej numeracji wersją 1.0. Tak więc **nawet precyzyjny pomiar złożoności w systemie wdrożonym nie gwarantuje tej precyzji dla nowych przedsięwzięć**. Dodatkowym problemem jest brak jednoznacznej metody pomiaru złożoności systemów już istniejących. Trzeba się zatem liczyć z tym, że te dwa źródła błędów będą się na siebie nakładać. Dotykamy tu paradoksu produktywności technologii informatycznych, który wiąże się z następnym punktem (5.2).

5.2. Pozatechniczne czynniki sukcesów projektowych

Przeprowadzona w poprzednich punktach (1.5 i 5.1) analiza problemów inżynierii softwarowej upoważnia do wniosku, że **istotną przyczyną niepowodzeń projektów IT są czynniki pozatechniczne**. Brzmi to paradoksalnie, bo informatyka jak najbardziej wywołuje skojarzenia z dziedzinami technicznymi. Wydaje się zatem, że jeśli zakupimy supersprzęt, najnowocześniejszy software i do tego dodamy zdolnych programistów, to uzyskamy gwarancję sukcesu. Tymczasem są to jedynie warunki konieczne pomyślności zamierzenia. Dodatkowo musimy uwzględnić tzw. „czynnik ludzki”. Również „miękkie” cechy i umiejętności pracowników (*softskills*), np. komunikatywność czy zdolność do pracy w zespole, współdecydują o powodzeniu przedsięwzięcia [7].

Wróćmy do wyszczególnionych w poprzednim punkcie czynników sukcesu projektowego.

Czynniki o charakterze technicznym zdecydowanie stanowią procentową mniejszość wśród nich. Już pięć czołowych tworzy 70% całości, przy czym jedynie „doświadczenie wykonawców projektu“ można uznać za czynnik pośrednio techniczny. Wreszcie kolejny czynnik, bardzo istotny dla rozważanego problemu, również całkowicie pozatechniczny, wynikający z chęci wykazania rentowności przedsięwzięcia metodami podobnymi jak w świecie pozainformatycznym ekonomii klasycznej (*bricks and mortar world*). Takie podejście jest generalnie wątpliwe w obszarze IT z uwagi na niewymierny charakter samej informacji, względnie mechanizmy opisujące jej sferę wirtualną czy ekonomię sieciową (*network economy*) wiążące się z występowaniem wspomnianego paradoksu produktywności IT i prowadzące do sytuacji „opóźnienia wskutek przyspieszenia”, rozwijającej się według następującego schematu:

1. Projekt poddany zostaje kosztowej presji pozatechnicznej.
2. Planowany czas przedsięwzięcia zostaje niedoszacowany.
3. Niedoszacowanie ujawnia się narastającym w trakcie trwania projektu opóźnieniem.

4. Konieczność nadrobienia opóźnienia powoduje powiększenie zespołu projektowego, a zatem natychmiastowy wzrost kosztów osobowych.
5. W kolejnej fazie projektowej zespół traci znaczną część czasu na wdrożenie jego nowych członków.
6. Trwający wzrost opóźnień prowadzi do dalszego rozrostu grupy projektowej, która teoretycznie posiada teraz wielkość gwarantującą ukończenie projektu na czas.
7. Wykładniczy wzrost ilości kanałów komunikacyjnych w zespole zwiększa chaos organizacyjny i owocuje w skrajnym przypadku załamaniem projektu.

Teoretycznym wyjściem z impasu byłyby systematyczna reorganizacja projektu, co równałoby się przerwaniu pierwotnego projektu i przygotowaniu nowego. Z oczywistych, znowu pozatechnicznych względów, taki wariant rozwoju sytuacji jest bardzo rzadki. Trudno się bowiem spodziewać od kierownictwa projektu, że w trakcie jego trwania wycofa się z błędnej strategii, skoro przyjęto ją świadomie już na jego początku.

Punktem wyjścia dla wiarygodnego szacowania kalendarzowego czasu trwania projektu mogą być nakłady w osobomiesiącach wynikające z rozmiaru zadania określonego w liniach kodowych. Pojawia się tu pytanie o zasadność takiego podejścia w kontekście systemów obiektowych, klasy wyższej niż 3GL, tj. 4GL, gdzie program nie powstaje klasyczną drogą jego pisania, ale jest w znacznej mierze generowany. Sygnalizowany *problem związany jest ze zjawiskiem paradoksu produktywności LoC jako metryki softwarowej, nieuwzględniającej poziomu abstrakcyjności narzędzia programowania, który ma istotne i pozytywne znaczenie dla parametrów jakościowych tworzonego systemu.*

Paradoks produktywności LoC zilustrowano przykładem w tab. 5.2; mimo całościowo korzystniejszej kalkulacji, wyższa generacja narzędzi softwarowych prowadzi do paradoksu produktywności LoC: wolniejszego kreowania, droższego jednostkowo kodu. Należy wyraźnie podkreślić, że **paradoks produktywności IT** jest fenomenem nietechnicznym (organizacyjno-ekonomicznym), natomiast paradoks LoC ma w znacznej mierze charakter techniczny (narzędziowo-aplikacyjny). Niemniej obie sfery przenikają się w projektach IT/ISP i winny być traktowane łącznie. Od wad związanych z estymacjami LoC nie są także wolne metody szacowania, porównujące rozmiar kodu w bitach bądź korzystające z różnego rodzaju funkcji dla ilościowych cech kodu, np. ilości stosowanych symboli i słowników (cyklomatyka McCabe). Również i w tym przypadku mogą być one zależne od określonej konfiguracji sprzętowo-softwarowej aplikacji, a nie od niej samej, tzn. od jej funkcjonalności. Zatem interesującym rozwiązaniem wydaje się być korzystanie z metod szacowania zorientowanych aplikacyjnie, uwzględniających punkty funkcyjne systemu FP (*Function Points*) [59].

W ten sposób możliwe jest zastosowanie formuły odpowiadającej podejściu COCOMO pokazanemu w poprzednim punkcie:

$$OM_N = A (KSLOC)^B \quad (5.3)$$

gdzie: OM_N – osobomiesiące nominalnie,
 KSLOC – linie kodowe w tysiącach (*Kilo Source Lines Of Code*),
 A, B – współczynniki projektowe.

Stała A w prosty sposób odzwierciedla efekty mnożnikowe zwiększania się nakładów niezbędnych do realizacji projektu, w zależności od jego wielkości. Z kolei wykładniczy współczynnik B odpowiada za **nieliniowość ekonomiczności skali projektu**. W trywialnym przypadku $B = 1$ mamy do czynienia z modelem liniowym, co oznacza ekonomiczne

zbalansowanie projektu i może być stosowane dla szacowania nakładów mniejszych przedsięwzięć.

Najbardziej pożądanym jest przypadek gdy $B < 1$, co oznacza ekonomiczną skalowalność projektu: np. dla trzy razy większego przedsięwzięcia, nakłady rosną mniej niż trzykrotnie. W takiej sytuacji produktywność rośnie wraz z wielkością projektu ale w praktyce może to być trudne do osiągnięcia. Główną przyczyną tego stanu rzeczy jest, z definicji, **systemowość projektów informatycznych**. System jest czymś więcej niż tylko prostą sumą jego składowych elementów. W obszarze IT dodatkowo mamy tu do czynienia z problemem integracji 3 rodzajów interfejsów:

- osobowego (interpersonal communication),
- softwarowego,
- hardwarowego.

Tabela 5.2

Przykład paradoksu produktywności LoC

Miary \ Język	3GL	4GL
LoC	9000	3000
Osobodni (OD)	450	250
Koszt (1000 zł/OD) w zł	450000	250000
Cena 1 LoC w zł	50	83
Wydajność LoC/OD	20	12
Czas Min/LoC (1 OD = 480 min)	24	40

Źródło: opracowanie własne na podstawie [150]

W pierwszym mamy do czynienia z czynnikiem nietechnicznym pokazanym wcześniej w związku ze zjawiskiem „opóźnienia wskutek przyspieszenia”. Liczba połączeń komunikacyjnych L między N członkami zespołu rośnie wykładniczo zgodnie z formułą

$$L = N(N - 1)/2 \quad (5.4)$$

prowadząc do szybkiego wzrostu czasu przeznaczanego na koordynację działań w grupie. Natomiast *w zakresie softwarowym już niewielkie zmiany projektowe prowadzą do istotnego wzrostu kosztów*, co wiąże się z koniecznością kontroli (modyfikacji) interfejsów softwarowych oraz tzw. **karą za zrozumienie** (*understanding penalty*), jak naprawdę działania oprogramowanie, czyli przejście od modelu „czarnej skrzynki” (*black box*) do „białej skrzynki” (*white box*).

W tym obszarze przyjmuje się, że modyfikacja K modułów, spośród ich ogólnej liczby M , powoduje konieczność zweryfikowania

$$I = K(M - K) + K(K - 1)/2 \quad (5.5)$$

interfejsów, tj. nie tylko wszelkich połączeń między weryfikowanymi modułami (drugi człon równania), ale także interfejsów między „nowymi” a „starymi” modułami. Bez szczegółowego badania przebiegu zmienności tej funkcji widać szybki przyrost jej wartości

w zależności od K, niezależnie od poziomu parametru M. **Przykładowo:** modyfikacja 4 zamiast 2 modułów z 8 to niemal dwukrotny wzrost ilości interfejsów do weryfikacji (z 13 do 22), podobnie jak w przypadku całkowitej liczby modułów równej 12 (z 21 do 38). **Integracja interfejsów softwarowych jest działaniem technicznym, ale z uwagi na jej wpływ na osobowy wymiar projektu wiąże się z jego wymiarem pozatechnicznym.** Ta obserwacja jest potwierdzeniem wcześniejszej tezy o znaczeniu interdyscyplinarnych modeli optymalizacyjnych dla zarządzania transformacjami (IT) w ISP. Modele takie mają bowiem charakter integrujący techniczne i nietechniczne czynniki projektowe w rozważanym obszarze badawczym.

Jednocześnie aktualnym pozostaje spostrzeżenie, iż **czynnikiem integrującym badane transformacje jest informacja, w szczególności skojarzona z naturalną (ludzką) inteligencją.** Modelowanie złożonych procesów gospodarczych (ISP) wymaga komputerowego wspomaganie, które wykracza poza zdolność operowania prostymi danymi, ale obejmuje np. tak trudno wymierny obszar, jak psychologia ludzkich zachowań. Od softwarowego agenta wymaga się nie tylko wysokiego współczynnika **inteligencji algorytmicznej (IQ)**, ale wręcz zdolności rozpoznawania czy przetwarzania **stanów emocjonalnych EQ** (*Emotional Quotient*). Jednym z największych sukcesów nowożytniej nauki jest spektakularne połączenie teorii matematycznego opisu z praktyką fizycznego doświadczenia. Owo spostrzeżenie jest ważne także w sferze technologii informatycznych ISP. Obowiązuje tu zasada weryfikowania założeń modelowych empirią. Niemniej szereg obszarów informatyki dostarcza wyników o wiele mniej jednoznacznych. Dotyczy to np. aplikacji w sferze produkcyjno-usługowej, w zarządzaniu i ekonomii czy statystyce (informatyka gospodarcza). Jak pokazano wcześniej trudno mierzalne pozostają efekty stosowania informatyki, a sprawdzalność numerycznie przygotowanych przewidywań nadal pozostawia wiele do życzenia.

W tym miejscu nasuwa się pytanie o genezę przyszłej, silnej (p. p 1.3) sztucznej inteligencji w ISP. Czy należy spodziewać się jej wskutek powstawania coraz bardziej wyrafinowanych algorytmów czy też raczej jako efektu łączenia się ich ze sobą, nawet jeśli nie są zbyt wyrafinowane jednostkowo? Można tu dostrzec analogię do procesów, którym sami podlegamy jako gatunek: ***jesteśmy odrębnymi jednostkami, ale istnieje też wymiar świadomości zbiorowej. Ten ostatni, potęgując się, będzie powodował także wzrost owego indywidualnego. Działanie podobnego sprzężenia można już dziś zaobserwować w globalnych sieciach teleinformatycznych.*** Jak zatem wskazano w p. 1.4 rozwój systemu ISP to rozwój jego „siecowości” (*networking*).

Nie każde zagadnienie daje się rozwiązać drogą redukcjonizmu, tj. rozkładu kompleksowego problemu na coraz prostsze problemy cząstkowe. Takie podejście nasuwa skojarzenia z **matematycznym indukcjonizmem**, a zatem nadaje się do rozwiązywania dość wąskiej klasy problemów – matematycznych czy logicznych właśnie. A więc takich, w których dysponujemy formalnie zdefiniowanymi modelami o jednoznacznych warunkach brzegowych i stanach wewnętrznych, co umożliwia ich przetwarzanie na drodze aksjomatyczno-dedukcyjnej. Tymczasem ***praktyka produkcyjna obfituje w sytuacje, charakteryzujące się wysokim stopniem niepewności, wybitnie kontekstowej wiedzy, która może być różnorodnie interpretowana.***

Dlatego ciągle jesteśmy zaskakiwani klęskami sztucznej inteligencji w konfrontacji z naszą naturalną. To co sprawdza się w maszynowym wspomaganie procesów obliczeniowych, sprawia trudności wszędzie tam, gdzie tą metodą chcemy wspomagać nie tylko

przetwarzanie informacji, ale także wiedzy, a nawet inteligencji. Sztuczna inteligencja, jeśli chce być uniwersalnie efektywna w obszarze komputerowego wspomaganie organizacji produkcji, musi przekształcać się w naturalną, zacierając różnice między człowiekiem a komputerem (tab. 5.3). Wniosek ten koresponduje z charakterystykami zawartymi w tab. 2.4 i 2.5 (porównanie tradycyjnych systemów produkcyjnych z ISP) oraz 11 (cechy BMS).

Tabela 5.3

Charakterystyka różnic między człowiekiem a komputerem

Człowiek – inteligencja naturalna	Komputer – inteligencja sztuczna
Nieschematyczne myślenie asocjacyjne	Rutynowe działanie algorytmiczne
Logika wielowartościowa	Logika binarna (ograniczona rozmyta)
Mechanizmy samouczenia się	Brak samodzielnej ewolucji
Język naturalny, elastycznie normowany	Języki sztuczne ze sztywną gramatyką
Kontekstowe przetwarzanie wrażeń	Rozwinięta funkcjonalność obliczeniowa
Wielowariantowość efektów pracy	Jednoznaczność rozwiązań
Uwarunkowania środowiskowe	Izolacja w wymiarze technicznym
Rozbudowana wielozmysłowość	Słabsza analiza dźwięku, obrazu, zapachu
Zmienna efektywność (nastrojowość)	Stały poziom wydajności
Mobilność fizyczna	Stacjonarność urządzeń
Lokalne przetwarzanie bodźców (mózg)	Łączność globalna (teleinformatyka)
Ograniczona pojemność pamięci	Rosnąca pojemność pamięci
Ustalona szybkość funkcjonowania	Rosnąca szybkość przetwarzania
Ahierarchiczność i nieproceduralność	Przetwarzanie sekwencyjne (ograniczone równoległe)
Otwartość myślenia	Operacje transakcyjne
Indywidualne motywacje ideologiczne	Cele wyłącznie zewnętrzne
Systemowość działania	Zbiór metod cząstkowych
Biologiczna ewolucyjność	Brak samoreplikacji
Heterogeniczny indeterminizm	Proste związki przyczynowo-skutkowe

Źródło: [8]

Aktualne badania pokazują, że *bez uwzględnienia w większym stopniu czynników pozatechnicznych, a więc ergonomicznych czy wręcz emocjonalnych funkcjonalność oprogramowania wspomagającego ISP jest niepełna*. Wynika to z faktu, że jego użytkownik nie zawsze postępuje czysto racjonalnie. **Przykładowo:** klasyczne komputerowe symulacje zachowań grupy ludzi w sytuacji paniki pokazują, że przy dwóch wyjściach z pomieszczenia, grupa równomiernie się rozdzieli i je opuści. W rzeczywistości często dochodzi jednak do całkowitego zablokowania któregoś z wyjść i niekorzystania z drugiego. Taki przebieg ewakuacji można również przewidzieć na drodze softwarowej, jeśli uwzględni się nieracjonalność ludzkich zachowań, modelowaną funkcjami reakcji w zależności od prędkości przemieszczania jednostek oraz zmian odległości między nimi.

Podobne zależności można dostrzec w procesach produkcyjnych. **Przykładowo:** planiści generujący zlecenia wytwórcze często uważają, że brak ograniczeń w tym procesie (dowolność modyfikowania zleceń co do planowej ilości, centrum wytwórczego czy daty zlecenia, włącznie z datowaniem wstecznym) zwiększa efektywność systemu i przyczynia

się do osiągnięcia, z definicji sprzecznych celów, jakimi są: **maksymalizacja realizowalności zleceń klientów i minimalizacja zasobów**. W rzeczywistości produkcyjnej granice tak rozumianej elastyczności mogą być wyznaczone przy użyciu oprogramowania zdolnego do dynamicznego obliczania kosztów zmian nie tylko w sensie bezpośrednio finansowym (np. koszty magazynowania czy zakupów surowców), ale także organizacyjnym (np. próba przesunięcia zlecenia na inną linię produkcyjną w trakcie jego trwania).

Programy badawcze jak PECS (*Physical conditions, Emotional state, Cognitive capabilities, Social status*) czy wspierany przez Unię Europejską projekt COMIC (*Conversational Multimodal Interaction with Computers*) zmierzają w kierunku szerszego uwzględnienia cech człowieka w oprogramowaniu komputerowym. Pierwszy z nich stawia sobie za cel **implementację sfery uczuciowej w systemach multiagentowych**. Natomiast drugi nawiązuje do informatyki uczuciowej – AC (*affective computing*). Celem przedsięwzięć jest stworzenie bardziej naturalnego interfejsu użytkownik-komputer. Początkowo w dialogu człowieka z maszyną cyfrową koncentrowano się na przekazie danych. Stopniowo agregowano je w informacje, co umożliwiło przejście do poziomu wymiany wiedzy a za ideał uznano przekaz inteligencji. Obecnie jednak, w miarę rozwoju AI (sztuczna inteligencja) dostrzeżono na horyzoncie jeszcze wyższy poziom człowieczeństwa: samoświadomość powiązana ze sferą uczuć.

Stąd rozwój dialogowego interfejsu zgodnie ze schematem:

dane → informacje → wiedza → inteligencja → uczucia.

Ten ostatni poziom okazuje się być nawet trudniejszy w implementacji niż poprzednie z uwagi na trudności w jego algorytmizacji. **Przykład:** komputer wyraża swoje uczucia przy pomocy awatara, sygnalizując np. mimiką, że jego zasoby są zbyt obciążone. Ten sposób dialogu odpowiada zatem komunikacji między ludźmi, gdzie sygnały niewerbalne odgrywają często decydującą rolę. Interfejs AC może oddziaływać także w kierunku człowiek → komputer (analiza stanów emocjonalnych).

Wynika stąd istotny wniosek prognostyczny dla systemów ISP. Mamy do czynienia z istotną zmianą informatycznego paradygmatu: **postępuje antropomorfizacja komputerów i z czasem końcowy użytkownik będzie w większym stopniu niezależny od sztucznych języków techniki**. Alternatywą dla takiego rozwoju byłaby sytuacja prowadząca do swego rodzaju digitalizacji ludzkiej świadomości. Dialog między maszyną a człowiekiem może odbywać się tylko we wspólnym języku. Należy zatem implementować cechy naturalnej, ludzkiej inteligencji w oprogramowaniu wspomagającym systemy wytwórcze.

Niezależnie od tego, jak pokazano wcześniej, w świecie fizycznych obiektów materii i energii istnieją ograniczenia (np. przestrzenne) skracania czasu wykonania zadania, drogą zwiększania ilości pracowników pracujących na danym odcinku. Również o obszarze ISP/IT mamy do czynienia z podobnymi granicami, wynikającymi przede wszystkim z opisanego uprzednio problemu trójwymiarowej integracji projektowej (ludzie, oprogramowanie, sprzęt) oraz specyfiki którą charakteryzują m.in.:

- niestandardowość (indywidualność) rozwiązań,
- heterogeniczność środowiska hardwarowo-sofwarowego,
- wielodyscyplinowość (interdyscyplinaryzm).

Ponadto z uwagi na podwyższone ryzyko projektowe mamy tu często do czynienia ze sztywnymi ramami finansowo-czasowymi, co paradoksalnie wpływa dodatkowo na jego

zwiększenie. Stąd *do podstawowych obowiązków projektanta należy znalezienie wyważonej (optymalnej) relacji w trójkącie: czas, pieniądz, jakość (funkcjonalność)*.

Zwłaszcza dla pomiarów i kwalifikowanych szacowań pierwszego z wymienionych czynników warto stosować standaryzowane algorytmy. Szczególnie efektywnym podejściem wydaje się tu być kombinowanie różnych metod. W takim przypadku należy jednak zachować ostrożność, aby nie doszło do ich mechanicznej (bezkrytycznej) kombinacji, co prowadziłoby do potęgowania się błędów szacowań. Strategiami, które mogą być pomocne w znajdowaniu optymalnych organizacyjnych w rozważanej sferze mogą być modele referencyjne ładu korporacyjnego.

5.3. Modele referencyjne ładu korporacyjnego

Kwestia mierzalności efektów IT ma istotne znaczenie dla optymalizacji tych technologii, a zatem poprawiania konkurencyjności przedsiębiorstwa [107]. Oznacza to, że *efektywne zarządzanie sferą aplikacji ISP wymaga wyjścia poza klasyczną rachunkowość ekonomiczną i modelowania przedsiębiorstwa jako całości, wraz z jego otoczeniem*. W ten sposób pojawiło się pojęcie **ładu korporacyjnego** (IT Governance), jako zasadniczego czynnika zarządzania firmą, optymalizującego wspomaganie misji (strategie i cele przedsiębiorstwa) przez IT. Widać zatem, że ów nowy czynnik łączy, jako nadrzędny, dwa występujące już wcześniej, IT Management (zarządzanie) i IT Alignment (ukierunkowanie na cele firmy). W tym miejscu natychmiast pojawia się pytanie: jak zagwarantować taką optymalizację w praktyce? Istnieje tu bowiem bardzo wiele metod o charakterze uniwersalnym oraz cząstkowym. Można podzielić je na dwa duże obszary:

- a) wybór nowej technologii;
- b) pomiar efektywności istniejącej technologii.

Pierwszy z nich wiąże się z zarządzaniem zmianą, cyklem życia produktu (technologii), a więc np. modelem kaskadowym czy spiralnym rozwoju IT [11] oraz kryteriami oceny nowych technologii w fazie wyboru (modyfikacji) i w związku z tym organizacją projektu IT, także prognozowaniem, rachunkiem inwestycyjnym. Drugi obszar to także punkty wyżej wymienione, a więc również kwestia przyjętych kryteriów oceny (mierników) i przełożenie problemu oceny na konkretnie istniejące metody, a tych, najbardziej rozpowszechnionych, nie jest już tak wiele. Wymieńmy tu, częściowo wraz z ich krótkimi charakterystykami, takie modele jak:

- **COBIT** [26], 1993 r. (4.1, 2006 r.) (*Control Objectives for Information and Related Technology*), wywodzi się z COSO, 1985 r. (*Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission*) – organizacja wspierająca prawidłowość finansowego kontrolingu i reportingu, skojarzony z ITGI – *IT Governance Institute*; stanowi próbę przełożenia doświadczeń i precyzji regulacji finansowych na normy zarządzania systemami IT. Wg ISACA (zał. 1969 r.), *Information Systems Audit and Control Association* (zrzesza kilkadziesiąt tysięcy audytorów w 140 krajach) 95% dużych firm używa Cobitu lub jego elementów;
- **ISO** (*International Organization for Standardization*), zał. 1947 r., w szczególności ISO 20000 (2005 r.) – norma (certyfikat), może być widziana jako zbiór celów podczas gdy zbiorem odpowiedzi jest ITIL;
- **ITIL** (*IT Infrastructure Library*), lata 80. (Wlk. Brytania), V3 (2007 r.);

- **CMM/CMMI** [23] (*Capability Maturity Model/Capability Maturity Model Integration*), model dojrzałości IT, lata 80. USA, 2006 r. V1.2 zintegrowana uniwersalna (nie tylko IT);
- **TOGAF** (*The Open Group Architecture Framework*), szkielet dla architektury korporacyjnej, 1994 r. od 2006 r. wersja 8.1.1 [136];
- amerykański **PMBOK** Guide (standard ANSI USA) autorstwa PMI (*Project Management Institute*);
- brytyjski **PRINCE/PRINCE2** (geneza w IT od lat 70.), obecnie uniwersalna wersja z 2005 r.;
- **TQM** (EFQM, *European Foundation for Quality Management*, 1988 r.);
- **SixSigma** (nie tylko statystyka, ale pewna metodyka);
- **BPM** (*Business Process Management*);
- **ARIS** (*Architectur of Integrated Information Systems*).

Z kolei przykładami metod prostszych lub bardziej specjalizowanych, tj. **narzędzi referencyjnych** mogą być:

- siatka **Zachmana** (*Zachmans Framework*) – tab. 5.4, holistyczny schemat przedsiębiorstwa uzyskany na podstawie sześciu podstawowych pytań zadanych pięciu grupom użytkowników,
- kwestionariusz oceny ryzyka **Thomsetta** (*Risk Assessment Questionnaire*),
- lista zagrożeń **McConnell**,
- diagram **Ishikawy** (narzędzie graficzne),
- **BPEL** (*Business Process Execution Language*),
- **UML** (*Unified Modelling Language*),
- **HACCP** (*Hazard Analysis and Critical Control Points*).

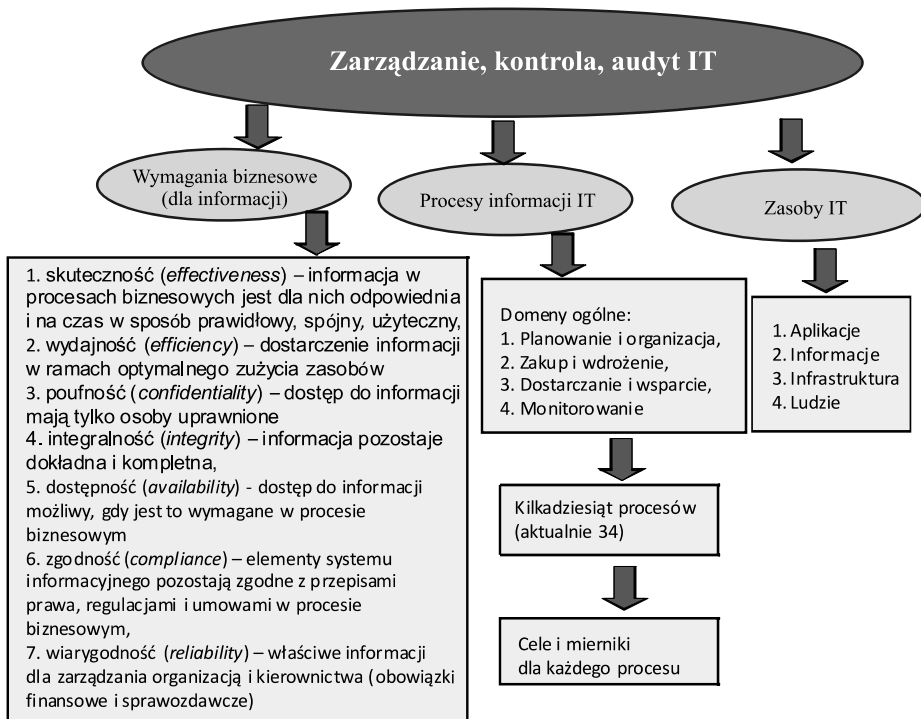
Tabela 5.4

Siatka Zachmana (*Zachman Framework for Enterprise Architecture and Information Systems Architecture*) dla architektury przedsiębiorstwa i architektury systemów informacyjnych

Pytanie Użytkownicy	CO? Dane	JAK? Funkcje	GDZIE? Sieci	KTO? Ludzie	KIEDY? Czas	DLACZEGO? Motywacja
PLANUJĄCY Zakres	Lista elementów ważnych dla biznesu	Lista procesów biznesowych	Lista lokacji biznesowych	Lista organizacji biznesowych	Lista zdarzeń i cykli biznesowych	Lista strategii i celów biznesowych
WŁAŚCICIEL Model biznesowy	Model semantyczny relacji biznesowych	Model procesów biznesowych (we/wy)	System logistyczny, połączenia	Model przepływu pracy (produktów)	Harmonogramy, kalendarze	Plany biznesowe
PROJEKTANT Model systemowy, logiczny	Logiczny model danych	Architektura aplikacji (maski, raporty)	Architektura dystrybucji, magazyny	Dialog człowieka z maszyną	Czasowa struktura przetwarzania	Model reguł gospodarczych
TWÓRCA Model technologiczny, fizyczny	Fizyczny model danych	Projekt systemu, funkcje	Architektura technologii	Architektura prezentacji (formaty ekranowe)	Struktury sterowania	Projekt reguł
PODWYKONAWCA Reprezentacja szczegółowa	Definicje danych	Programy	Sieć komputer.	Dostęp do danych, bezpieczeństwo	Specyfikacje czasowe	Specyfikacja reguł

Źródło: opracowanie własne na podstawie [138]

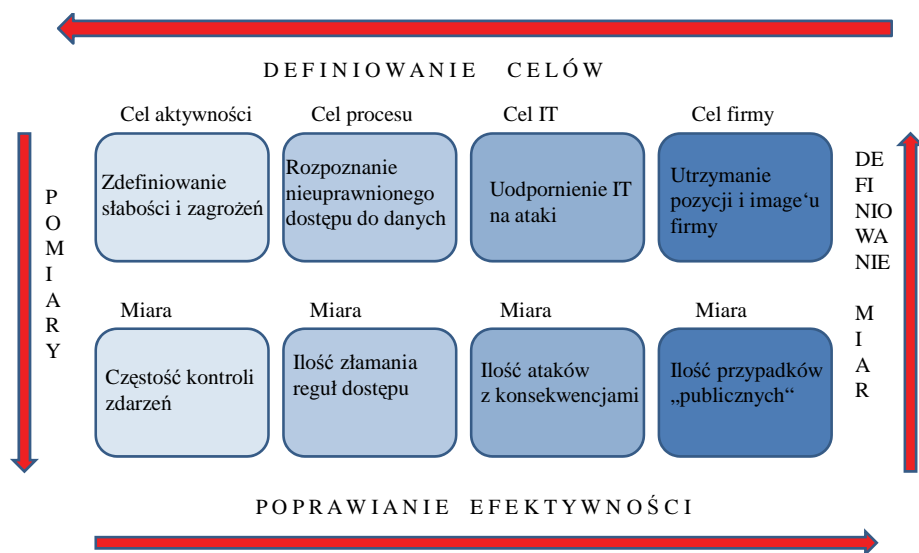
Wcześniej cytowane stwierdzenie o 95% poziomie rozpowszechnienia COBIT-u wiąże się z reprezentatywnością modelu (modele wykazują podobieństwa) i wysokim poziomem certyfikowalności przedsiębiorstw. Stąd „elementy” COBIT-u można spotkać także tam gdzie stosowane są inne modele. Syntetyczną charakterystykę modelu pokazano na rys. 5.1 a przykład zastosowania na rys. 5.2. Struktura modelu wskazuje, które z siedmiu kryteriów informacyjnych oraz które zasoby IT są istotne dla procesów zachodzących w organizacji IT tak, aby te mogły w pełni wspierać procesy biznesowe. Rysunek 5.2 pokazuje, metryki procesu DS5 *Ensure systems security* (zapewnienie bezpieczeństwa systemu); ustalanie celów odbywa się metodą *top-down* (od firmy do konkretnych procesów), a pomiary metodą *bottom-up* (z wyników cząstkowych wyniki całości) co tworzy cykl sterowania.



Rys. 5.1. COBIT – struktura

Źródło: opracowanie własne na podstawie [26]

Dokonując strategii wyboru aplikacji IT warto wziąć pod uwagę kryteria jej oceny (tab. 5.5). Widzimy zatem, że błędna strategia arbitralna pozwoli nam wprowadzić na minimalizację kosztów wyboru technologii ale nic poza tym. Skojarzymy z kolei dane z tab. 5.5 ze statystykami projektów IT prowadzonymi przez praktyków, pozwalającymi na identyfikację kilku głównych czynników sukcesu projektów IT (p. 5.1). Widzimy zatem, że **jeśli tylko zdecydujemy się na projekt z zaangażowanym kierownictwem i użytkownikami oraz doświadczonymi wykonawcami (doradcami) to mamy statystyczną gwarancję ponad połowy sukcesu**. Zawsze warto jednak używać standardów referencyjnych, lub choćby prostych narzędzi do „samodzielnego” użytku, w przypadku mniejszych przedsięwzięć aby minimalizować ryzyko inwestycyjne.



Rys. 5.2. COBIT – przykład praktyczny

Źródło: [26]

Tabela 5.5

Wybrane kryteria oceny metody optymalizacji IT w powiązaniu ze strategiami implementacji

Kryteria oceny / Strategia implementacji	Minimalizacja ryzyka inwestycyjnego	Wysoki poziom uwzględnienia wymagań systemowych	Właściwy stopień integracji procesów organizacyjnych	Minimalizacja czasu i kosztów wyboru technologii IT
Projekt z doradcami i udziałem użytkowników	TAK	TAK	TAK	?
Zadanie dla kierownika IT	NIE	?	NIE	NIE
Zadanie dla doświadczonego pracownika	?	?	?	?
Decyzja arbitralna	NIE	NIE	NIE	TAK

Źródło: opracowanie własne

Można przy tym skorzystać z dostępnych **kwestionariuszy**, np. *General Project Risk Assessment* i na tej podstawie (arkusz kalkulacyjny) dokonać adaptacji wag przypisywanych poszczególnym odpowiedziom, np. punkty ryzyka dla pytania o poziom języka programowania: bardzo wysoki poziom (SQL)/niskie ryzyko/2 punkty, wysoki(PL/1)/niskie ryzyko /6, średni(java)/średnie ryzyko /10, niski (assembler)/wysokie ryzyko /16.

Wypełniony kwestionariusz kwalifikuje całkowite ryzyko projektu, ponadto mamy możliwość analizy poszczególnych pytań i **obszarów ryzyka**: ryzyka biznesowe (klienci, użytkownicy, środowisko docelowe), projektowe (zespół i jego środowisko), techniczne (złożoność, nowe technologie). Z kolei możemy identyfikować **zagrożenia** przy pomocy listy McConnella w celu ich bezpośredniego zmniejszenia (jeśli to możliwe), ale przede wszystkim dla opracowania planów awaryjnych oraz **śledzenia ryzyka**, tj. alternatyw

wykonania, ustalenia odpowiedzialności za śledzenie ryzyka, metod jego śledzenia, procedur uruchamiania planów awaryjnych i przydziału zasobów w związku z nimi.

Dla oceny i poprawy funkcjonowania złożonego systemu powinniśmy skorzystać ze standaryzowanego **modelu referencyjnego**. Szereg wymienionych wcześniej modeli referencyjnych zawiera wiele cech podobnych jak w przypadku COBIT-u:

- wspierane są przez rządowe bądź niekomercyjne instytucje udostępniające dokumentację, szablony opisów funkcji biznesowych czy kart procesów;
- stosowanie modelu referencyjnego wymusza standaryzację dokumentacji, co gwarantuje wysoki poziom dojrzałości procesowej oraz efektywną powtarzalność projektową;
- modele korzystają ze sprawdzonych w praktyce technik i narzędzi.

Formalna świadomość istnienia modeli referencyjnych, w tym tak istotnych jak TOGAF czy ITIL, nie przekłada się jeszcze wystarczająco efektywnie na ich stosowanie w praktyce, co wymaga aplikacyjnych interpretacji tych systemów. Jak zaznaczono we wprowadzeniu, m.in. tym zagadnieniom będą poświęcone kolejne prace autorów. Przykładowo, wg definicji ITIL „incydent to nieplanowane zdarzenie powodujące przerwanie lub obniżenie jakości usługi IT”. W praktyce incydenty często są mylone z „problemami” co prowadzi do niewłaściwego zarządzania nimi. Awaria jednego dysku systemu RAID5 (Redundant Array of Independent Disks) nie jest z reguły postrzegana przez użytkowników systemu komputerowego i nie przerywa dostępu do niego, ale następuje tu obniżenie jakości usługi z uwagi na wzrost prawdopodobieństwa awarii całości systemu (awaria następnego dysku) w połączeniu z utratą danych (utrata spójności).

Incidentem jest też żądanie serwisowe (*service request*) ze strony użytkownika. Może ono wystąpić, gdy (nowy) pracownik potrzebuje dostępu do dodatkowych zasobów hardware'owych (np. terminal PC) czy softwarowych (np. transakcje, profile, grupy użytkowników, licencje). Z kolei problem to incydent(y) o nieznanym jeszcze przyczynie. Widzimy zatem, że incydent staje się problemem, gdy nie wystarczają działania w ramach procesu zarządzania incydentem i niezbędne jest uruchomienie procedur w ramach zarządzania problemem.

Podsumowując stwierdzamy, że normy ISO mogą być interpretowane jako zbiór referencyjnych celów podczas, gdy techniki ITIL stanowią zbiór odpowiedzi: jakie działania są konieczne do realizacji tych celów. Z kolei COBIT to wytyczne sterowania technologiami IT i skojarzonymi, wg ITGI (*IT Governance Institute*). Model ten jest próbą przełożenia doświadczeń i precyzji regulacji finansowych (COSO, *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission* [96]) na normy zarządzania systemami IT.

Minusy modeli referencyjnych z reguły nie dotyczą ich samych, ale wadliwych metod ich stosowania tj. syndromu MINO (*Model In Name Only*), czyli modelu tylko z nazwy, tzn. wybiórczego stosowania modelu w odniesieniu do pojedynczych składników, bez głębszej analizy i zwracania uwagi na całość metodyki:

- dokumentacja, która jest nieodzowna podczas stosowania modelu referencyjnego, staje się celem samym w sobie, prowadząc nawet do niepowodzeń projektowych, wskutek przerosłów biurokracji organizacyjnej (problem bardzo dużych firm);
- konieczność regularnej wymiany informacji między uczestnikami projektu prowokuje niekończące się ciągi bezproduktywnych spotkań, ograniczające ilość czasu na rzeczywiste implementacje;
- dla małych projektów, zbyt ściśle przestrzeganie procedur referencyjnych może być bardzo pracochłonne i w takim przypadku niezbędna jest adaptacja modelu uwzględniająca lokalne realia biznesowe.

Wnioski

Nowy paradygmat zarządzania procesami w przedsiębiorstwie odchodzi od klasycznego już podejścia diagnostycznego na rzecz prognostycznego. W tym nurcie mieści się model BPM (*Business Process Management*), którego efektywne stosowanie wymaga nie tylko określonych technologii, ale także uwzględnienia szeregu pozatechnicznych czynników organizacyjnych. Pojęcie BPM ma swojego prekursora – BPR (*Business Process Reengineering*) a obecnie traktowane jest szerzej w grupie *X-reengineering* [19]. Sam skrót BPM używany jest także w znaczeniu *Business Process Modeling* oraz *Business Performance Measurement* a wszystkie te pojęcia można powiązać **cykliczną triadą**:

modelowanie → zarządzanie → mierzenie.

Innymi słowy mówiąc: ***modelowanie (mapowanie) procesów w przedsiębiorstwie jest podstawą efektywnego zarządzania nimi, pod warunkiem, że pamiętamy o regule „co nie może być zmierzone, nie może być poprawione”***. Widzimy zatem, że podejście BPM nasuwa skojarzenia z zasadami Deminga i metodologią stosowaną np. w strategii SixSigma, tj. cyklem organizatorskim DMAIC – Definiuj, Mierz, Analizuj, Implementuj poprawę, Kontroluj (Define, Measure, Analyse, Improve, Control). Nie jest to przypadkiem, gdyż BPM mieści się w nurcie modeli referencyjnych ładu korporacyjnego.

Trzeba przy tym pamiętać, że BPM jest projektem odnoszącym się do procesów przedsiębiorstwa. Warto więc zwrócić uwagę na różnice między tymi dwoma podstawowymi typami działań. **Projekt** jest przedsięwzięciem innowacyjnym i unikatowym, ukierunkowanym na zmiany, w tym radykalne, dla osiągnięcia nowych celów w przyszłości, związanym z podwyższonym ryzykiem oraz częstymi konfliktami wymagającymi zaangażowania kierownictwa względnie doradców. Z kolei **proces** to stabilne czy rutynowe operacje nakierunkowane na cele bieżące, podlegające ewolucyjnym zmianom o niewielkich zagrożeniach, w warunkach stabilnych relacji międzyludzkich oraz mniejszego zaangażowania kierownictwa.

Jeśli uznamy BPM za metastrategię referencyjną to nasuwa się pytanie o korzyści wynikające z jej stosowania oraz możliwości ich pomiaru. Odpowiedź może być trudna, ponieważ mówimy o technologii systemowej, tj. przenikającej całość przedsiębiorstwa. BPM ma charakter dyfuzyjny, co nasuwa skojarzenia z aspektami infrastrukturalnymi ISP: nie wątpimy w potrzebę posiadania infrastruktury choć niełatwo wykazać wymierne zyski przez nią generowane (paradoks produktywności IT, p. 1.5, 5.2). Takie próby są jednak podejmowane przez instytucje badawcze czy firmy doradcze i pozwalają na kwalifikowane oszacowanie oszczędności wynikających ze stosowania BPM, na podstawie doświadczeń praktycznych:

- obniżenie kosztów projektowych na poziomie 5–10% budżetu,
- skrócenie czasów projektowych o ok. 15–20%,
- zmniejszenie bezpośrednich kosztów procesowych rzędu 10–15% .

Wymienione **efekty ilościowe** korespondują z ich **jakościowymi przyczynami**:

- zmniejszenie złożoności problemów projektowych dzięki podejściu systemowemu,
- przejrzystość procesów w całości i w rozbiciu na fragmenty żądanej wielkości,
- jasne zdefiniowanie celów i zakresów odpowiedzialności,
- spełnienie wymagań prawnych i rewizyjnych,
- małoredundantna dokumentacja procesowa dostępna także dla partnerów,
- ustalenie miar pozwalających na optymalizację procesów,
- jednolita terminologia dla wykonawców, użytkowników, klientów i dostawców.

Konsekwentne stosowanie BPM pozwala uniknąć „huśtawki“ popadania w skrajności podczas kolejnych etapów projektu (rys. 3.1) pozwalając na systematyczne uzyskanie optimum wydajności procesów. Możemy zatem podsumować tę część badań stwierdzeniem: **stosowanie modeli referencyjnych jest warunkiem koniecznym implementacji i optymalizacji ISP**. Wniosek ten koresponduje z klasyfikacją systemów produkcji i związanych z nimi metod sterowania i planowania w związku z rodzajami stosowanych algorytmów (tab. 6.1). W kontekście prognostycznym, na podstawie pracy [108], możemy ok. roku 2020 oczekiwać od komputerów osobistych parametrów pojemnościowych (wydajnościowych) porównywalnych z ludzkim mózgiem.

Tabela 6.1

Ewolucja ESP w kierunku ISP. Źródło: opracowanie własne

Komputerowo wspomagane wytwarzanie (ESP)	Czas powstania (zgrubnie dekadowo)	Rodzaj stosowanych algorytmów	Przykłady aplikacji w sferze organizacyjno-produkcyjnej
sterowanie numeryczne, DNC (<i>Direct Numerical Control</i>)	lata 60.	bez sprzężenia zwrotnego	wytwarzanie wsadowe (<i>batch</i>), sekwencyjne
CAD/CAM	lata 70.	ograniczone sprzężenie zwrotne	wytwarzanie wielomodułowe, częściowo równoległe
CIM/FMS/ERP	lata 80.	rozbudowane sprzężenie zwrotne	wytwarzanie wieloprocesowe, zintegrowane w ramach firmy
(prototypowe) systemy NGMS holoniczne (HMS), fraktalne (FFMS), bioniczne (BMS)	lata 90.	samoregulacja (ograniczona inteligencja ISP)	multiagentowe wytwarzanie zintegrowane na partnerskim poziomie międzyfirmowym
globalna fabryka cyfrowa, standaryzowanie ODF (<i>Open Digital Factory</i>)	od 2000-	samouczenie się (rozbudowana inteligencja ISP)	rozproszone wytwarzanie chmurowe (<i>cloud</i>), sieci VMN, ontologiczne modele referencyjne

Źródło: opracowanie własne

Najbardziej charakterystycznym spośród głównych trendów rozwojowych ewolucji ESP w kierunku ISP jest **wirtualizacja**, czyli zastępowanie materii informacją. W tym ostatnim przypadku mamy do czynienia z procesem towarzyszącym całemu rozwojowi ludzkości – **wirtualizacją rzeczywistości było pismo obrazkowe, naturalistyczne malarstwo czy nasz język naturalny. Technologie komputerowe jedynie potęgują możliwości tego trendu.**

W tym kontekście idea fabryki cyfrowej (*digital factory*) nie wydaje się być nowa. Cóż bardziej naturalnego od zastąpienia fizycznej maszyny jej komputerowym modelem w celu efektywniejszego planowania i sterowania wytwarzaniem? Długa jest jednak droga „od pomysłu do przemysłu”. Dopiero dziś cyfrowe wytwarzanie (*digital manufacturing*) staje się czymś więcej niż komputerowo sterowaną obrabiarką DNC (*Direct Numerical Control*), współpracującą z innymi urządzeniami i korzystającą z bazy danych CAD/CAM (*Computer Aided Manufacturing*) zintegrowanej w ramach CIM/FMS (*Computer Integrated Manufacturing/Flexible Manufacturing System*).

Możemy zatem powiedzieć, że **cyfrowa fabryka** jest systemem komputerowych modeli umożliwiających symulację funkcjonowania przedsiębiorstwa, w szczególności produkcji z wykorzystaniem wizualizacji 3D/VR. Ostatni warunek jest kluczowy dla prezentowanej aplikacji. Sama bowiem **symulacja procesów przedsiębiorstwa** dla poprawienia jego efektywności była możliwa i stosowana już kilkadziesiąt lat temu. Wymieńmy choćby algorytmy planowania produkcji czy szeregowania zadań wytwórczych, umożliwiających dysponentowi znajdowanie optimum czasowo-kosztowo-jakościowych dla wykorzystywania zasobów firmy (ludzie, surowce, maszyny). Takie podejście miało jednak charakter cząstkowy, a nie całościowy i niewystarczająco uwzględniało dynamikę procesów wytwórczych oraz człowieka jako trójwymiarowego obiektu w tej sferze.

Klasyczne **projektowanie systemu produkcyjnego** odbywa się metodą wskaźnikową. Na podstawie rodzajów wyrobów i zakładanego programu produkcyjnego definiuje się niezbędną strukturę wytwórczą w oparciu o normatywy 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. Fabryka cyfrowa go przyspiesza, symulując całość procesów na hali produkcyjnej tak, jakby odbywały się one rzeczywiście.

Nie wystarczy zatem system CAD i obejrzenie w nim ze wszystkich stron projektowanego detalu. Baza danych CAM/CIM nie odpowie nam na pytanie, jak będzie wyglądać hala produkcyjna, gdzie automaty i ludzie będą montować ten detal dla określonego wyrobu.

Widzimy zatem, że **idea fabryki cyfrowej jest rozszerzeniem cech wcześniejszych, elastycznych systemów wytwórczych FMS**. W przeszłości termin „elastyczność” rozumiano wąsko, utożsamiając ją z elastycznością zautomatyzowanego wytwarzania. Tymczasem rozwój technologii informatycznych spowodował, że możliwe stało się rozszerzenie tego pojęcia na całość systemu produkcyjnego tak, aby posiadał zdolność łatwej adaptacji do dynamicznych wymagań rynku, poprzez możliwość ekonomicznego wytwarzania zmieniających asortymentu wyrobów, również w małych seriach.

Właśnie **elastyczność informacyjna** przedsiębiorstwa stała się podstawowym warunkiem dla zindywidualizowanej produkcji masowej realizowanej wedle formuły:

$$\text{mass production} + \text{customization} = \text{mass customization.}$$

Niemniej obecnie jest to rozwiązanie zbyt mało standaryzowane, a więc zbyt kosztowne, aby nadawało się dla małych i średnich przedsiębiorstw. Już tylko korzystanie z charakterystycznych dla VR „jaskiń” immersyjnych (*cave*) wyposażonych w wielometrowe ściany projekcyjne (*powerwall*) słusznie kojarzy się niewielkiej firmie z inwestycjami znacznie większymi niż zakup komputerowych rzutników (*beamer*). A przecież znacznie poważniej-

sze są wydatki na zakup stosownego oprogramowania, zawierającego efekty nawet setek osobolat specjalistycznej pracy zespołów projektowych.

Niemniej i w tym obszarze można zaobserwować trendy *open source*. Idea oprogramowania otwartego obejmuje już najbardziej zaawansowane przykłady stosowania IT w przedsiębiorstwie, z pakietami ERP włącznie (np. MyFactory, sql-ledger, Compiere, ERP5 czy OpenPro). Także w sferze fabryki cyfrowej mamy do czynienia z próbami standaryzacji różnych rozwiązań z uwzględnieniem możliwości aplikacyjnych mniejszych przedsiębiorstw (ODF, *Open Digital Factory*).

Bibliografia

- [1] Adamiecki K.: O nauce organizacji. Warszawa: PWE 1970.
- [2] Badurek J.: Paradygmat bioorganizacyjny w inteligentnych systemach produkcyjnych. Inżynieria systemów zarządzania. Modelowanie systemów gospodarczych w przedsiębiorstwach europejskich. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2005, s. 7–24.
- [3] Badurek J.: Eksperckie metody oceny wdrożeń technologii informatycznych. W: Zarządzanie technologiami informatycznymi – stan i perspektywy rozwoju. Red. C. Orłowskiego. Gdańsk: PWNT 2006.
- [4] Badurek J.: Technologie informatyczne w zaawansowanych systemach produkcji. Współczesne problemy i wybrane zagadnienia modelowania systemów gospodarczych. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2006.
- [5] Badurek J.: Ontological modelling of productions systems. W: Methods of decisions assistance in economy modelling and applications. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2007.
- [6] Badurek J., Zawadzka L.: Influence of generation-oriented IT-development on models of production-organisation. Organizations in changing environment: current problems, concepts and methods of management: proceedings of the Eleventh International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing: Agility and Hybrid Automation 4 International Conference ERGON-AXIA, HAAMAHA '07, Managing Enterprise of the Future, 9–12 July 2007, Poznań, Red. W.M. Grudzewski, I. Hejduk, S. Trzecieliński. Madison, WI, USA: IEA Press, 2007, s. 519–525.
- [7] Badurek J., Zawadzka L.: Pozatechniczne ograniczenia rozwoju efektywności baz danych w ESP. Problemy zarządzania i inżynierii produkcji. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2007.
- [8] Badurek J.: Numeryczna definicja informacji w modelowaniu systemów produkcyjnych. Metody wspomagania decyzji w systemach gospodarczych. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2008.
- [9] Badurek J.: Cyclical changes of management paradigm. W: The modern modelling conceptions of business systems. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2009.
- [10] Badurek J.: Wiarygodność baz danych w migracyjnych projektach ERP. XIII Konferencja Komputerowo Zintegrowane, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Zakopane, 10–13.01.2010, s. 36.
- [11] Beynon-Davies P.: Inżynieria systemów informatycznych. Warszawa: WNT 1999.
- [12] Boehm B.: Software Cost Estimation with COCOMO II. New York: Prentice Hall Inc., New Jersey: Upper Saddle River 2000.
- [13] Bozarth C., Handfield R.B.: Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw. Gliwice: Helion 2007.
- [14] Brillman J.: Nowoczesne koncepcje i metody zarządzania. Warszawa: PWE 2002.
- [15] Brynjolfsson E.: The Productivity Paradox of Information Technology. Communications of the ACM. December 1993/Vol. 36, No. 12, New York 1993, s. 67–77.
- [16] Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. Warszawa: Placet 2002.
- [17] Cameron K.S., Quinn R.E.: Kultura organizacyjna – diagnoza i zmiana: model wartości konkurujących. Kraków: Oficyna Ekonomiczna 2003.
- [18] Cannon D.: Service Operation Itil, Version 3 (Itil), Stationery Office 3 ed., Norwich, UK, 2007.

-
- [19] Champy J.: X-Engineering the Corporation: Reinventing Your Business in the Digital Age. New York: Warner Books 2003.
- [20] Chan F. T. S., Bhagwat R., Wadhwa S.: Comparative performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS): a review-period-based control. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, Issue 1, January 2008.
- [21] Chapman S.: *Fundamentals of Production Planning & Control*. New York: Prentice Hall 2005.
- [22] Choren R.: *Software Engineering for Multi-Agent Systems III: Research Issues and Practical Applications*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2005.
- [23] Chrissis M.B.: *CMMI@: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*, 2nd ed., Boston: Addison Wesley Professional 2006.
- [24] Clark L.: *Zarządzanie zmianą*. Warszawa: Wyd. Felberg SJA 2001.
- [25] Coad P., Yourdon E.: *Object-Oriented Design*. New Jersey: Prentice Hall 1998.
- [26] Cobit 4.0: *Control Objectives Management Guidelines Maturity Models*. IT Governance Institute, Rolling Meadows, IL, USA, KPMG Vienna, 2005.
- [27] Corbett T.: *Finanse do góry nogami: Zdroworozsądkowa rewolucja w rachunkowości*. Mint Books 2007.
- [28] Czermiński A., Czerska M., Nogalski B., Rutka R.: *Organizacja i zarządzanie*. Gdańsk: Wyd. Uniw. Gdańskiego 2001.
- [29] Dagli C.H. (red.): *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing*, Chapman&Hall, 1994.
- [30] Deen S.M., *Agent Based Manufacturing*. New York: Springer 2003.
- [31] Demeester L.: *Organic Production Systems: What the Biological Cell Can Teach Us About Manufacturing*. *Informs: Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 6 No. 2, 2004.
- [32] Drucker P.F.: *Praktyka zarządzania*. Warszawa: Czytelnik 1998.
- [33] Dudycz H., Dyczkowski M.: *Kierunki rozwoju zintegrowanych gospodarczych systemów informacyjnych a strategię informatyzacji przedsiębiorstw przyszłości*. W: *Praktyka zarządzania nowoczesnym przedsiębiorstwem*. Red. M. Fertsch, S. Trzcieliński. Wyd. Polit. Poznańskiej, Poznań 2003.
- [34] Dudycz H., Dyczkowski M.: *Efektywność przedsięwzięć informatycznych. Podstawy metodyczne pomiaru i przykłady zastosowań*. Wrocław: Wyd. AE 2007.
- [35] Erl T.: *Service-Oriented Architecture (SOA): Concepts, Technology, and Design.*, New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River 2005.
- [36] Fertsch M., Trzcieliński S.: *Praktyka zarządzania nowoczesnym przedsiębiorstwem*. Poznań: Wyd. Polit. Poznańskiej 2003.
- [37] Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A.: *CALS-OASIS Standard – geneza, podstawy teoretyczne i stan obecny*. *Logistyka i zarządzanie produkcją – nowe wyzwania, odległe granice*. Monografia, s. 9–15, Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A. (red.), Instytut Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań, 2007.
- [38] Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A.: *Modele systemów produkcyjnych i logistycznych – próba klasyfikacji*. *Logistyka i zarządzanie produkcją – narzędzia, techniki, metody, modele, systemy*. Monografia Instytutu Inżynierii Zarządzania Polit. Poznańskiej. Poznań 2008.
- [39] Fertsch M., Pawlewski P.: *Comparison of process simulation software technics. Modelling of modern enterprises logistics*, monograph. Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A. (eds.). Publishing House of Poznań University of Technology 2009, s. 189–200.
- [40] Filiol E.: *Computer Viruses: from theory to applications*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 2005.
- [41] Fleisher C.S.: *Business and Competitive Analysis: Effective Application of New and Classic Methods*. New Jersey: FT Press, Upper Saddle River 2007.
- [42] Floridi L.: *Is semantic information meaningful data*. *Philosophy and Phenomenological Research*, International Phenomenological Society, USA, Vol. LXX, No. 2, March 2005.
- [43] Freeman C.: *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*. New York: Oxford University Press 2002.
- [44] Gillman D.W.: *The nature of data*. Joint UNECE/Eurostat/OECD work session on statistical metadata (METIS) – Geneva, Bureau of Labor Statistics. New York, 3–5 April 2006.

-
- [45] Goetsh D., Richburg J: *Effective Change Management*. New Jersey: Prentice Hall 2005.
- [46] Goldratt E.M., Cox J.: *Cel. Doskonałość w produkcji*. Warszawa: Werbel 2000.
- [47] Gościński J.: *Elementy cybernetyki w zarządzaniu*. Warszawa: PWN 1968.
- [48] Gościński J.: *Zarys teorii sterowanie ekonomicznego*. Warszawa PWN 1977.
- [49] Griffin R.W.: *Podstawy zarządzania organizacjami*. Warszawa: PWN 2004.
- [50] Grzybowska K.: *The transformation of business processes. Evolution of the concept of organizational change management in a company. W: The modern modelling conceptions of business systems*. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2009.
- [51] Grudzewski W., Hejduk I.: *Systemy zarządzania wiedzą – nowy paradygmat czy wyzwanie? Przedsiębiorstwo przyszłości. Fikcja i rzeczywistość*. Warszawa: Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemysle ORGMASZ 2004.
- [52] Grudzewski W., Hejduk I., Sankowska A., Wańtuchowicz M.: *Trust Management in Virtual Work Environments*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2008.
- [53] Guldentops E., *Board Briefing on IT Governance*. IT Governance Institute, Rolling Meadows, IL, USA, 2003.
- [54] Hammer M., Champy J.: *Reengineering w przedsiębiorstwie*. Neumann Management Institute 1996.
- [55] *Harvard Business Essentials: Zarządzanie zmianą i okresem przejściowym*. Warszawa: MT Biznes 2003.
- [56] Hellwig Z.: *Aproksymacja stochastyczna*. Warszawa: PWN 1965.
- [57] Hirschorn L.: *Kampania na rzecz zmian*. Harvard Business Review, Polska, kwiecień 2003.
- [58] Hungate J.I.: *Application portability profile and open system environment*. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. Vol. 100, No. 6, Gaithersburg, MD, USA, November–December 1995.
- [59] *IFPUG: Function Points Counting Practices Manual – Release 4.1*. Wisconsin, USA: International Function Point Users Group (IFPUG), 1999.
- [60] Imai M.: *Gemba Kaizen*. Warszawa MT Biznes 2006.
- [61] *IMS: Intelligent Manufacturing Systems. Impact Report (Full Report), History and achievements of Phase I*. Gaithersburg MD USA: IMS, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2005.
- [62] Jajuga K.T., Wrzosek J.S.: *Elementy teorii systemów i analizy systemowej*. Wrocław: Wyd. Akademii Ekonomicznej 1983.
- [63] Johnson B.: *Flexible Software Design: Systems Development for Changing Requirements*. Auerbach Publications, Boca Raton FL, USA, 2007.
- [64] Jordan J.A.: *Next Generation Manufacturing Methods and Techniques*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- [65] Kale V.: *SAP R/3. Przewodnik dla menadżerów*. Gliwice: Helion 2001.
- [66] Kan S.H.: *Metrics and Models in Software Quality Engineering*. San Francisco: Addison-Wesley 2003.
- [67] *Kanban for the Shopfloor*. Portland: Oregon: Productivity Press 2002.
- [68] Kanchanaseeve P., Biswas G, Kawamura K, Tamura S: *Contrach-Net Based Scheduling for Holonic Manufacturing Systems*. Proceedings of SPIE „Architectures and Intelligent Systems for Manufacturing Integration”. Pittsburgh, Pensylwania, 15–16 October 1997.
- [69] Kieżun W.: *Sprawne zarządzanie organizacją*. Warszawa: SGH 1997.
- [70] Kisielnicki J., Sroka H.: *Systemy informacyjne biznesu. Informatyka dla zarządzania*. Warszawa: Agencja Wyd. PlacetC 1999.
- [71] Konieczny J.: *Inżynieria systemów działania*. Warszawa: PWN 1983.
- [72] Kotter J.P.: *Leading Change*. Boston: Harvard Business School Press 1996.
- [73] Kotter J.P., Cohen D.S.: *The Heart of Change*. Boston: Harvard Business School Press 2002.
- [74] Koźmiński A. K., Obłój K.: *Zarys teorii równowagi organizacyjnej*. Warszawa: PWE 1989.
- [75] Koźmiński A., Jemielniak D.: *Zarządzanie od podstaw*. Warszawa: Wyd. Akademickie i Profesjonalne 2008.
- [76] Krupski R.: *Zarządzanie przedsiębiorstwem w turbulentnym otoczeniu*. Warszawa: PWE 2005.
- [77] Kryński M. (red.): *Zasady organizacji przedsiębiorstwa przemysłowego*. Warszawa: WNT 1974.

-
- [78] Kulikowski R.: Zależność optymalnego sterowania od parametrów procesu. Arch. Autom. i Telemekhanizacji, z. 2., Warszawa 1964.
- [79] Kwangyeol R.: Goal-orientation mechanism in a fractal manufacturing system. London United Kingdom: Taylor & Francis, International Journal of Production Research Vol. 42, No. 11, 2004.
- [80] Kwiek J.: Sterowanie produkcją zmiennoseryjną. Warszawa: WNT 1982.
- [81] Lech P.: Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP/II. Warszawa: Difin 2003.
- [82] Lehman M.M.: Metrics and laws of software evolution—the nineties view. Proceedings of the 4th International Software Metrics Symposium (METRICS '97), IEEE, Albuquerque, NM, USA, 5–7 November 1997, s. 20–32.
- [83] Liker J.K.: Droga Toyoty. Warszawa: MT Biznes 2005.
- [84] Lis S.: Podstawy projektowania systemu rytmicznej produkcji. Warszawa: WNT 1978.
- [85] Lis S. (red.): Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych i sterowanie produkcją, cz. I, II, III. Warszawa: Wyd. Polit. Warszawskiej 1978.
- [86] Lis S., Santarek K., Strzelczak S.: Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych. Warszawa: PWN 1994.
- [87] 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.
- [88] Łopatowska J.: Evolution of manufacturing systems. W : The modern modelling conceptions of business systems: practice and theory. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2009.
- [89] Łopatowska J.: Factors of change in the planning and control process. W: Contemporary corporate management. Red. K. Grzybowska, A. Stachowiak. Poznań: Publishing House of Poznan University of Technology 2009.
- [90] Maciaszczyk A.: Ewolucja metod zarządzania jakością i początki systemów zarządzania jakością. W: Inżynieria zarządzania przedsięwzięciami. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2003.
- [91] Maciaszczyk A.: Programy Six Sigma jako zaawansowana metodyka doskonalenia działalności przedsiębiorstw. W: Inżynieria systemów zarządzania Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2006.
- [92] Mankins C, Steele R.: Stop Making Plans; Start Making Decisions. Harvard Business Review, Special Issue, January, Boston, MA, USA, 2006.
- [93] Marik V.: Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing : First International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2003 Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer: 1 Ed., September 2003.
- [94] Masłyk-Musiał E.: Organizacje w ruchu. Strategie zarządzania zmianami. Kraków: Oficyna Ekonomiczna 2003.
- [95] Matczewski A: Zarządzanie produkcją. (red. A. Koźmiński, W.Piotrowski). Warszawa: PWN 1995.
- [96] Moeller R.R.: COSO Enterprise Risk Management: Understanding the New Integrated ERM Framework., Hoboken, NY: John Wiley & Sons 2007.
- [97] Muller S.J., Asymmetry: The Foundation of Information. New York: Springer 2007.
- [98] Nadler D.A.: Champions of Change. San Francisco: Jossey-Bass Publishers 1998.
- [99] Nogueira Neto M., Massote A.A.: Strategies of the information management In a supply chain and the analogy with ERP system. W: Value Stream Activities Management. Red. W. Karwowski&S. Trzcieliński. IEA Press, Madison USA 2007.
- [100] Nowak E. (red). Rachunkowość w controllingu przedsiębiorstwa. Warszawa: PWE 1996.
- [101] Nowosielski S.: Podstawy kontrolingu w zarządzaniu produkcją. Wrocław: Wyd. Akademii Ekonomicznej 1994.
- [102] Ohno T.: Toyota production system. Beyond large-scale production. Portland: Productivity Press 1988.
- [103] Okazaki Y.: Microfactory – Concept, History, and Developments. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 126, Issue 4. November 2004, s. 837–844.

-
- [104] Pacholski L.: Fuzzy logic application in ergonomic renewal of multiagent manufacturing systems. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, Vol. 29. Vienna: Taylor & Francis 1998, s. 715–728.
- [105] Pacholski L.: Decision models for macroergonomic advance of manufacturing company. *Design Aspects of Human – Computer Interaction*, Vol. 2. Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers 2001, s. 182–186.
- [106] Pacholski L., Trzcieliński S. (red.): *Przedsiębiorstwo wirtualne – aspekt zewnętrzny i wewnętrzny. Koncepcja zarządzania przedsiębiorstwem (w otoczeniu burzliwym i nieprzewidywalnym)*. Inst. Inżynierii Zarządzania, Polit. Poznańska 2003.
- [107] Pacholski L., Trzcieliński S.: *Przedsiębiorstwo konkurencyjne*. Poznań: Wyd. Polit. Poznańskiej 2005.
- [108] Pacholski L.: Ergonomic issues of the neural integrated human-computer interaction. *Cybernetics and Systems: An International Journal*, Vol. 37, No. 2–3. Vienna: Taylor & Francis 2006, s. 219 – 228.
- [109] 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.
- [110] Pacholski L., Piotrowski K.: Political ergonomics: macroergonomic battles. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 18, Issue 5, New Jersey, USA: Wiley Periodicals 2008, s. 515 – 524, ,
- [111] Pacholski L., Trzcieliński S., Wyrwicka M.: Formation of regional macroergonomic zones of business competition. *Foundations of Control and Management Sciences*, No 11. Poznań: Publishing House of Poznań University of Technology 2008, s. 25–39
- [112] Pacholski L., Cempel W., Pawlewski P.: *Reengineering; Reformowanie procesów biznesowych i produkcyjnych w przedsiębiorstwie*. Poznań: Wyd. Polit. Poznańskiej 2009.
- [113] Pająk E.: *Zarządzanie produkcją*. Warszawa: PWN 2006.
- [114] Pasternak K.: *Zarys zarządzania produkcją*. Warszawa: PWE 2005.
- [115] Pawlewski P., Galas M.: Uwzględnienie wymogów planowania i symulacji w implementacji holonowych systemów wytwarzania przy użyciu agentów. W: *Logistyka i zarządzanie produkcją – narzędzia, techniki, metody, modele, systemy*. Red. M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak. Poznań: Inst. Inżynierii Zarządzania Polit. Poznańskiej 2008.
- [116] Pearlson K.E.: *Managing and Using Information Systems*. John Wiley and Sons, 111 River Street, Hoboken NJ, USA, 2010.
- [117] Perechuda K.: *Zarządzanie wirtualne*. W: *Przedsiębiorstwo przyszłości*. Red. W. Grudzewski, I. Hejduk. Warszawa: Difin 2000.
- [118] Phillips J.: *IT Projekt Management. On Track from Start to Finish*. Emeryville, California McGraw-Hill/Osborne 2004.
- [119] Pohler M.: *Technologische und ökonomische Langfristperspektiven der Telekommunikation*. TU Dresden SAP Entrepreneurship & Innovation. Dresden September 2006.
- [120] Porter A.L., Cunningham S.W.: *Tech Mining Exploiting New Technologies for Competitive Advantage*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2005.
- [121] Rother M., Schook J.: *Learning to see. Value stream mapping to create value and eliminate muda*. The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, USA 1999.
- [122] Rother M., Harris R.: *Tworzenie ciągłego przepływu. Przewodnik dla menedżerów inżynierów i pracowników produkcji*. Wrocław: Wrocławskie Centrum Transferu Technologii Polit. Wrocławskiej 2004.
- [123] Russell S., Norvig P.: *Artificial Intelligence a Modern Approach*. New Jersey: Pearson Education Inc. Upper Saddle River 2010.
- [124 R4-39] Sawicki K (red.). *Rachunek kosztów, t. II*. Warszawa: Fundacja Rozwoju Rachunkowości w Polsce 1996.
- [125] Searle J.R.: *Is The Brain’s Mind a Computer Program? Reading in Language and Mind*. Red. H. Geirsson, M. Losonsky. Cambridge, Massachusetts: Blackwell Publishers 1996, s. 264–273.

-
- [126] Slack N, Chambers S., Johnson R.: Operations Management. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River 2004.
- [127] Snee R.D., Hoerl R.W.: Six Sigma Beyond the Factory Floor – Deployment Strategies for Financial Services, Health Care and the Rest of Real Economy. PH Professional Business, 2004.
- [128] Stair. R.: Fundamentals of Information Systems. Course Technology, 25 Thomson Place, Boston MA, USA, 2008.
- [129] Stonier T.: Information and Meaning: An Evolutionary Perspective. New York: Springer 1997.
- [130] Strassmann P.: Measuring and Evaluating the Productivity of U.S. Corporate Information Management. The U.S. Military Academy, West Point N.Y., Washington D.C., 15 April 1999.
- [131] Supply-Chain Operations reference-model Version 9.0. Supply-Chain Council Inc. Washington, DC, USA, 2008.
- [132] Szczepanowski P.: Kontrola i controlling. W: Zarządzanie, teoria i praktyka. Red. A.K. Koźmiński, W. Piotrowski. Warszawa: PWN 1997.
- [133] Szczerbicki E., Nghoc Than Nguyen (red.). Smart Information and Knowledge Management: Advances, Challenges, and Critical Issues (Studies in Computational Intelligence). Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag 2010.
- [134] Tapscott D: Blueprint to the Digital Economy, 1 ed. New York: McGraw-Hill 1999.
- [135] Templemeier H., Kuhn H.: Flexible Manufacturing Systems. Decision support for design and Operation. John Wiley & Sons, INC, Hoboken, NJ, USA, 1993.
- [136] Togaf: The Open Group Architecture Framework. Berkshire: The Open Group, Reading 2009. ISBN: 978-90-8753-230-7
- [137] Toyota Motor Cooperation: The Toyota Production System. Tokyo: International Public Affairs Division 1996.
- [138] Van't Wout J.: The Integrated Architecture Framework Explained. New York: Springer 2010.
- [139] Vollmuth H. J.: Controlling – planowanie, kontrola, zarządzanie. Warszawa: Agencja Wyd. Placet 1993.
- [140] Wadhwa S., Mishra M., Chan F.T.S.: Organizing a virtual manufacturing enterprise: an analytic network process based approach for enterprise flexibility. International Journal of Production Research, Vol. 47, Issue 1 January. Abingdon, Oxford: Taylor and Francis Ltd, UK, 2009, s. 163–186
- [141] Weber J.: Einführung in das Controlling. W: Sammlung Poeschel Nr 113. Stuttgart: CE Poeschel Verlag 1990.
- [142] Whitford J., The New Old Economy: Networks, Institutions, and the Organizational Transformation of American Manufacturing., New York: Oxford University Press 2006.
- [143] Womack J., Jones D.: Odchudzenie firm. Warszawa: CIM 2001.
- [144] Womack J., Jones D.: Lean thinking – szczupłe myślenie. Wrocław: ProdPress.com 2008.
- [145] Wróblewski K.J., Krawczyński R., Kosieradzka A., Kasprzyk S.: Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji. Warszawa: WNT 1984.
- [146] Wróblewski K.J.: Podstawy sterowania przepływem produkcji. Warszawa: WNT 1993.
- [147] Yuki G.: Leadership in Organizations. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River,, USA, 2005.
- [148] Zawadzka L.: Metodologiczne aspekty projektowania elastycznych dyskretnych systemów sterowania przebiegiem produkcji wyrobów złożonych. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 1990.
- [149] Zawadzka L.: Podstawy projektowania elastycznych systemów sterowania produkcją. Problemy techniczno-ekonomiczne. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2000.
- [150] Zawadzka L., Badurek J.: Algorytmy szacowania informatycznej złożoności projektowej w inteligentnych systemach produkcji. W: Ilościowe metody wspomagania decyzji w systemach produkcji. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2005.
- [151] Zawadzka L.: Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2007.
- [152] Zawadzka L., Badurek J. : Perspektywy rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych nowej generacji. W: Logistyka i zarządzania produkcją – nowe wyzwania, odległe granice. Red.

-
- M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak. Poznań: Inst. Inżynierii Zarządzania Polit. Poznańskiej 2007, s. 210–216.
- [153] Zawadzka L., Badurek J.: Paradygmat informacyjny projektowania systemów wytwórczych nowej generacji. W: *Metody wspomaganie decyzji w systemach gospodarczych*. Red. L. Zawadzka. Gdańsk: Wyd. Polit. Gdańskiej 2008, s. 7–16.
- [154] Zawadzka L., Badurek J.: ERP migration strategies. W: *Modelling of modern enterprises logistics*. Red. M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak. Poznań: Publishing House University of Technology 2009, s. 179–188.
- [155] Zawadzka L., Badurek J.: Integracja logistycznych systemów IT w praktyce przemysłowej. *Logistyka* nr 2, marzec–kwiecień, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2009.
- [156] Zymonik Z.: *Koszty jakości w zarządzaniu przedsiębiorstwem*. Wrocław: Oficyna Wyd. Polit. Wrocławskiej 2003.

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 7,9, ark. druku 7,75, 91/593

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