



**Instytut Badań Systemowych  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**Przemysław Różewski  
Emma Kusztna  
Oleg Zaikin**

**Modele i metody zarządzania  
procesem  
Otwartego nauczania zdalnego**

**Warszawa - Szczecin 2008**



**Przemysław Różewski  
Emma Kuszina  
Oleg Zaikin**

**Modele i metody zarządzania  
procesem  
Otwartego nauczania zdalnego**

Autorzy poszczególnych rozdziałów.

Wprowadzenie: Emma Kuztina

Rozdział 1: Przemysław Różewski, Emma Kuztina

Rozdział 2: Emma Kuztina, Przemysław Różewski

Rozdział 3: Przemysław Różewski

Rozdział 4: Emma Kuztina

Rozdział 5: Przemysław Różewski

Rozdział 6: Przemysław Różewski, Emma Kuztina, Oleg Zaikin

Rozdział 7: Emma Kuztina, Przemysław Różewski

Rozdział 8: Emma Kuztina, Oleg Zaikin, Przemysław Różewski

Zakończenie: Przemysław Różewski



**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**Przemysław Różewski  
Emma Kusztnina  
Oleg Zaikin**

**Modele i metody zarządzania  
procesem  
Otwartego nauczania zdalnego**

**Warszawa - Szczecin 2008**

**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE, tom 61**

---

**Redaktor naukowy:**

**Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum**



**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**Przemysław Różewski  
Emma Kusztnina  
Oleg Zaikin**

**Modele i metody zarządzania  
procesem  
Otwartego nauczania zdalnego**

**Warszawa - Szczecin 2008**

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2008

© Politechnika Szczecińska, Wydział Informatyki  
Szczecin 2008

### Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Olgierd Hryniewicz

Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

Wydawca: Instytut Badań Systemowych PAN  
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa  
Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw  
Tel. 837-68-22

Druk: Pracownia Poligraficzna  
Wydział Informatyki  
Politechnika Szczecińska  
ul. Żołnierska 49, 71-210 Szczecin

Nakład 500. Ark. druk. 28,12  
Maj 2008 r.

---

**ISBN 9788389475169**  
**ISSN 0208-8029**





## Wprowadzenie

Otwarte i Zdalne Nauczanie (ang. *Open and Distance Learning – ODL*) jest zupełnie nowym sposobem działania organizacji edukacyjnych mającym na celu przyspieszenie i sprecyzowanie procesu aktualizacji wymaganych kompetencji na wspólnym europejskim rynku pracy (Kushtina, 2006). Podejście to ma na uwadze nie tylko zakres wiedzy i umiejętności wymaganych na określonym stanowisku roboczym, ale co jest najważniejsze, rozwój kadry inżynierskiej i badawczej. Troska o zwiększenie tempa aktualizacji wiedzy wynika z tego, że rozpoczynając od lat 80-tych XXI wieku Europa boryka się w coraz większym stopniu z problemami technologicznymi, ekologicznymi i ekonomicznymi o charakterze globalnym. Rozwiązanie tych problemów wychodzi poza granicę istniejących i najczęściej wykorzystywanych metod ich rozwiązania – w przemyśle potrzebne są nowe rozwiązania działające szybszej i bezpieczniej, istnieje konieczność skrócenia drogi od wynalazku do wdrożenia, co przekłada się na potrzebę zastosowania nowych sposobów organizacji funkcjonowania struktur przemysłowych, finansowych oraz socjalnych. W pracach A. Straszaka (Straszak, 2006), P. Sienkiewicza (Sienkiewicz, 2004), R. Tadeusiewicza (Tadeusiewicz, 2002) i wielu innych autorów zostały pokazane i przeanalizowane ilościowo przyczyny i tendencje tego zjawiska. Gospodarka oparta na wiedzy wymaga specjalistów przygotowanych do ciągłego przyswajania i generowania nowej wiedzy na podstawie analizy pojawiających się innowacji oraz zmieniających się warunków geopolitycznych, przyrodniczych, społecznych itp.

W tym kontekście konieczne staje się postawienie pytań: jaka jest rola w tej nowej sytuacji instytucji edukacyjnych, czy mają one możliwość przyspieszenia tempa procesu przygotowania nowej kadry o unowocześnionych kompetencjach, czy mogą one zapewnić dla każdego specjalisty korzystne warunki realizacji samodzielnego rozwoju w trybie „uczenia się przez całe życie”.

Generalnie rzecz biorąc, cały system i każda odrębna organizacja edukacyjna w miarę wchodzenia społeczeństwa w strefę globalizacji, potrzebują określenia nowego paradygmatu działania, misji i sposobów jej realizacji. Przyspieszony rozwój wiedzy może prowadzić do tego, że z biegiem czasu wiedza specjalisty ulega dezaktualizacji. Jest to zjawisko niepożądane i należy je wyeliminować tak, by wiedza specjalisty przyswajana po zakończeniu szkoły wyższej nie straciła swojej aktualności po kilku latach pracy zawodowej.

Powstaje pytanie, czy nabywanie aktualnej wiedzy jest przedmiotem tylko i wyłącznie zainteresowań indywidualnych czy całego społeczeństwa i jego instytucji?

Absolutna rola konkurencyjności jako głównego ogniwa rozwoju każdej jednostki gospodarczej oraz całości gospodarki nie odpowiada już celom rozwoju społeczeństwa. Bankructwo dużej firmy z powodu nie sprostanania wymaganiom konkurencji nie tylko wywołuje szereg problemów socjalnych, ale również prowadzi do straty bardzo poważnego kapitału – zgromadzonego i usystematyzowanego przez kadry i system zarządzania firmy – zasobu wiedzy. Wartość tego kapitału i korzyści z niego płynące stanowią znaczącą część wspólnego zasobu wiedzy należącego dla całego społeczeństwa. Wynika z tego, że przy obecnym stanie integracji i globalizacji wszystkich stron naszego życia, biorąc pod uwagę tylko i wyłącznie konkurencyjność, nie można mieć gwarancji dalszego postępu w organizacji współdziałania różnorodnych jednostek gospodarki kraju lub też Unii Europejskiej.

Zadanie zachowania nieulotności wspólnego kapitału wiedzy staje się ważnym problemem badawczym. Analiza podejść stosowanych w przypadku innych współdzielonych zasobów takich jak np. zbiorniki wodne, przestrzeń lotnicza pokazuje, że punktem wyjścia w każdej sytuacji jest tworzenie odpowiedniego systemu zarządzania obejmującego różne

aspekty wykorzystania zasobów (od podstaw prawnych do zasad technologicznych). Gwarancją przechowywania i możliwości wykorzystania wspólnego zasobu wiedzy powinna być również wspierana przez odpowiedni system zarządzania, dla którego zasób wiedzy występuje jako obiekt zarządzania. Głównym celem takiego systemu powinna stać się koordynacja współdziałania jednostek społecznych i gospodarczych, które tworzą i wykorzystują zasoby wiedzy. Konkurencja w takim przypadku nie straci swojej roli, tylko zmieni swoje uwarunkowania końcowe: nie tylko zysk, ale również dobra pozycja jednostki na skali objętości i aktualności tworzonej i wykorzystanej przez nią wiedzy.

Dyskutowanemu problemowi, do tej pory, została poświęcona duża uwaga zarówno ze strony organizacji rządowych różnej rangi jak i od strony instytucji badawczych. Nie zmienia to faktu, że główny ciężar przygotowania kwalifikowanej kadry inżynierskiej był i nadal będzie ponoszony przez uczelnie wyższe. Globalizacja pod każdym względem ustanawia nowe warunki koegzystencji dla szkół wyższych. Po usankcjonowaniu koncepcji Otwartego i Zdalnego Nauczania przez UNESCO (Patru i Khvilon, 2002) oraz po powstaniu Procesu Bolońskiego prawie każda jednostka edukacyjna ma przed sobą postawione wyzwanie sprostania wymaganiom operatywnego reagowania na zmiany w otoczeniu społecznym i kapitale wiedzy.

Otwarte i Zdalne Nauczanie jest zupełnie nową koncepcją organizacji nauczania w szkołach wyższych Unii Europejskiej. Podstawowa jej idea została przedstawiona w Deklaracji Bolońskiej. Wdrożenie każdej koncepcji dotyczącej nowego sposobu organizacji funkcjonowania systemu społecznego wymaga precyzyjnej analizy struktury przyszłego systemu jako obiektu zarządzania. Złożoność i skala działania ODL determinuje opracowanie odpowiedniego informacyjnego systemu nauczania, który łączy cechy tradycyjnie rozumianego pojęcia nauczania zdalnego (ang. *Distance Learning*) oraz jego nowego bardziej szerokiego ujęcia – nauczania otwartego (ang. *Open Learning*). W niniejszej pracy zostanie użyty termin Otwarty System Nauczania Zdalnego (OSNZ), mając na myśli odpowiedni system informacyjny.

OSNZ jest ideą stworzenia takiego systemu nauczania, który będzie umożliwiał poprzez sieć teleinformacyjną naukę na uniwersytetach Unii Europejskiej każdemu studentowi nie tylko niezależnie od aktualnego miejsca zamieszkania, ale również według własnej, personalizowanej drogi nauczania, co jest znacznym rozszerzeniem tradycyjnie rozumianego nauczania zdalnego.

Reasumując, możemy przyjąć, że OSNZ może być traktowany jako system informacyjny, który przeznaczony jest do zarządzania procesem otwartego nauczania zdalnego, prowadzonego przez dowolną organizację edukacyjną, spełniającą warunki Deklaracji Bolońskiej. Ze względu na wymagany stopień elastyczności takiego systemu nauczania oraz w związku z koniecznością bezpośredniej jego orientacji na wymagania rynku pracy i technologii, OSNZ jest nową klasą systemów informacyjnych nauczania. Powodzenie w opracowaniu koncepcji OSNZ pozwoli opracować metodykę wdrażania idei Deklaracji Bolońskiej w każdej organizacji edukacyjnej i jednocześnie posłuży za podstawę do określenia jakości organizacji procesu edukacyjnego.

Książka integruje swoim zasięgiem problemy nauczania ODL, które są rozpatrywane na tle zmieniającego się stanu społeczeństwa, obejmując cały zakres zagadnień, poczynając od informatycznych, a kończąc na społecznych. Wstępne rozważania, zawarte w *rozdziale pierwszym*, definiują pojęcie jakości na tle zagadnienia ODL. Zmiana organizacji edukacyjnej na przełomowym etapie przejścia od tradycyjnie rozumianego nauczania na odległość do ODL powoduje powstanie nowego paradygmatu działania instytucji edukacyjnej. Poszczególne aspekty wpływające na nowe oblicze organizacji edukacyjnej opisane są w *rozdziale drugim*. Nowa organizacja zmienia wymiarowość poszczególnych aspektów procesów składających się na działanie organizacji edukacyjnej. Dyskutowany problem

w swojej naturze jest skomplikowany, ponieważ organizacja edukacyjna zachowując własną misję nabiera cech przedsiębiorstwa działającego na tworzącym się globalnym rynku usług kształcenia.

Globalny system nauczania będzie opierał się na kooperacji, która potrzebuje standaryzacji w szerokim zakresie (produkty końcowe, procesy, struktury organizacyjne, środki komunikacji, itd.), co zostało opisane w *rozdziale trzecim*. Struktura organizacyjna oraz zasady funkcjonowania w największym stopniu odwzorują zmiany paradygmatu działania organizacji edukacyjnych, stąd też wynika konieczność ich standaryzacji. Przykładem takiego podejścia, stosownym w przemyśle, są standardy MRP. W *rozdziale czwartym* zostały przedstawione wyniki wykonanej analizy systemowej, która pozwoliła opisać hierarchiczną strukturę układów podsystemów, funkcji i modułów oraz model funkcyjny informacyjnego systemu zarządzania organizacją edukacyjną wspierający ODL.

W dalszej części książki zostały rozpatrzone problemy wykorzystania wiedzy eksperta. Tradycyjnie ekspert w kontekście systemów informacyjnych rozpatrywany był tylko i wyłącznie jako źródło wiedzy, która później przekształcana była do postaci modelu wiedzy przez inżyniera wiedzy. W *rozdziale piątym* jednak obiektem badań jest nie tylko wiedza eksperta, ale co ważniejsze struktura jego pamięci traktowana jako mechanizm gromadzenia i przetwarzania wiedzy. Celem jest zrozumienie jak zmieniają się struktury pamięci w czasie i jak można ten proces reprezentować systemowo w celu zastąpienia nauczyciela w nauczaniu asynchronicznym. Zastosowanie nowego podejścia informatycznego, które bada intelekt eksperta wykonującego podczas swojej pracy ciąg inteligentnych operacji, pozwala na opracowanie architektury systemu reprezentacji i przekazywania wiedzy opisanego w *rozdziale szóstym*.

Walidacja koncepcji przedstawionego w książce rozszerzonego ontologicznego modelu wiedzy wymaga opracowania efektywnego środowiska wymiany pomiędzy różnymi typami wiedzy. Przedstawiona w *rozdziale siódmym* koncepcja laboratorium wirtualnego pozwala na symulację i analizę procesów jakie zachodzą podczas nabywania przez studenta nowej wiedzy.

Wszystkie etapy tworzenia i przetwarzania wiedzy przez: ekspertów, nauczycieli, studentów i autorów materiałów dydaktycznych odbywają się w środowisku sieciowym. Dodatkowo, materiały dydaktyczne opracowane według modelu ontologicznego, repozytorium wiedzy traktowane jako baza materiałów dydaktycznych, programy nauczania uwzględniające personalizowaną ścieżkę nauczania, są nowymi produktami końcowymi, które są tworzone i dystrybuowane w wyniku kooperacji obywatelskiej się również w środowisku sieciowym. Sytuacja taka wymaga traktowania środowiska sieciowego jako produkcyjnej sieci produkcji niematerialnej, której organizacja potrzebuje optymalizacji ze względu na ograniczenia czasowe i kosztowe. W *rozdziale ósmym* zostało przedstawione podejście do opracowania odpowiedniego modelu optymalizacyjnego.

## Bibliografia

- Kushtina E. (2006). Koncepcja otwartego systemu informacyjnego nauczania zdalnego, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin.
- Patru M., Khvilon E. (Red.) (2002), Open and distance learning: trends, policy and strategy considerations, dokument UNESCO, kod: ED.2003/WS/50.
- Sienkiewicz P. (2004), Przewaga informacyjna w walce i biznesie, W: Straszak A., Owsiński J. (Red.), Badania operacyjne i systemowe 2004: Na drodze do społeczeństwa wiedzy, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 107-113.
- Straszak A. (2006), Badania operacyjne i systemowe w wysoce z informatyzowanej globalnej gospodarce, W: E. Urbańczyk, A. Straszak, J. Owsiński (Red.), Badania operacyjne i systemowe 2006: Analiza systemowa w globalnej gospodarce opartej na wiedzy: e-Wyzwania, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 31-55.
- Tadeusiewicz R. (2002). Społeczność Internetu, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.



## **8. Sieć produkcyjna w Otwartym Systemie Nauczania Zdalnego**

### **8.1. Wstęp**

Otwarty System Nauczania Zdalnego (OSNZ) (Kushtina, 2006) jest ideą stworzenia takiego systemu nauczania, który będzie umożliwiał poprzez sieć teleinformatyczną naukę na uniwersytetach Unii Europejskiej każdemu studentowi niezależnie od aktualnego miejsca zamieszkania według własnej, personalizowanej drogi nauczania. OSNZ jako obiekt zarządzania jest systemem złożonym. Jego składowe elementy oprócz tego, że mają różną naturę, często charakteryzują się przeciwstawnymi celami i różnymi prawami zachowania. Dodatkowo są wzajemnie od siebie zależne. Funkcjonowanie OSNZ obejmuje poszczególne osoby, grupy specjalistów, organizacje, komputerowe technologie, infrastrukturę regionu i danej organizacji, zasoby informacyjne i zasoby wiedzy. Realizacja idei OSNZ w znacznym stopniu zależy od tego, na ile uda się opracować odpowiedni system zarządzania w postaci systemu informacyjnego, który będzie opierał się na zintegrowanym modelu funkcjonowania obiektu jako spójnej całości.

Przedstawiony rozdział dedykowany jest zagadnieniom organizacji sieci produkcyjnej w otwartym systemie nauczania zdalnego. Pokazano, w jaki sposób spełnienie warunków otwartości, modułowości funkcyjnej i możliwości wykorzystania otwartego systemu nauczania w różnych konfiguracjach środowiska sieciowego wpływa na efektywność działania sieci produkcyjnej. Udowodniono, że zintegrowany model systemu produkcji niematerialnej w organizacji edukacyjnej zawiera trzy podstawowe podmodele: model infrastruktury przedsiębiorstwa, model procesu produkcyjnego i model sieci produkcyjnej. Następnie sformułowano zadanie optymalizacji struktury i parametrów sieci produkcyjnej i przeprowadzono jego hierarchiczną dekompozycję, tj. reprezentację zadania optymalizacji w postaci zbioru lokalnych zadań: rozmieszczenie węzłów sieci produkcyjnej w obszarze działalności organizacji edukacyjnej, minimalizacja kosztów połączeń przez wybór optymalnej konfiguracji sieci produkcyjnej i optymalizacja wydajności węzłów sieci produkcji przez przydzielenie zasobów. W dalszej części rozdziału zostaną rozpatrzone zadania optymalizacji parametrów otwartej sieci produkcyjnej materiałów dydaktycznych oraz zamkniętej sieci zdalnego nauczania.

### **8.2. Sieć produkcyjna a informacyjna w środowisku nauczania zdalnego**

Otwarty System Nauczania Zdalnego jest systemem informacyjnym, którego częścią jest odpowiedni system informatyczny. System informatyczny obejmuje sprzęt i dedykowany system oprogramowania. Na etapie konceptualizacji każdego systemu informatycznego niezbędne jest określenie poziomu technologicznego sprzętu oraz jego dostosowanie do struktury i funkcji dedykowanego systemu oprogramowania.

Główną konceptualną zasadą systemu informatycznego, przeznaczonego do realizacji funkcji OSNZ, jest spełnienie trzech warunków: otwartości, modułowości funkcyjnej i możliwość wykorzystania w różnych konfiguracjach środowiska sieciowego.

Otwartość, jako konsekwencję zasad działania OSNZ, można analizować m.in. w kontekście otwartości systemu nauczania w aspekcie społecznym, aspekcie informatycznym, aspekcie sieci korporacyjnej nauczania zdalnego oraz otwartości cyklu życia studenta (Kushtina, 2006).

Modułowość funkcyjna, która wynika ze struktury hierarchicznej OSNZ, wiąże się z następującymi właściwościami:

- a. każdy moduł należy do odpowiedniego podsystemu;
- b. moduł lub grupa modułów realizuje jeden z rzeczywistych procesów zachodzących w OSNZ (proces administracyjny, proces produkcyjny, czy też wspieranie procesów analitycznych);
- c. moduły są parametryzowane, co oznacza ich orientację na parametry odpowiednich procesów.

Modułowość, określona w powyższy sposób, pozwala na skonfigurowanie różnych wariantów wdrożeniowych systemu informatycznego – w zależności od zestawu wymaganych funkcji i możliwości sprzętowych.

Każdy system informatyczny, niezależnie od przeznaczenia, wymaga dostosowania jego struktury i parametrów do procesów, które wykonuje się w środowisku sieciowym. Dlatego konieczne jest, aby już na etapie konceptualizacji scharakteryzować funkcje i procesy przyszłego systemu posługujące się zasobami sieciowymi. OSNZ wykorzystuje środowisko sieciowe w postaci sieci informacyjnej i sieci produkcyjnej.

Sieć informacyjna w nauczaniu zdalnym definiowana jest jako kompleks środków technicznych, programowych i organizacyjnych, przeznaczonych do zarządzania wszystkimi typami procesów w OSNZ, a mianowicie procesami: administracyjnymi, edukacyjnymi i produkcyjnymi.

Jedną z podstawowych funkcji OSNZ jest udzielenie zdalnego dostępu do całej nomenklatury produktów edukacyjnych i usług kształcenia. Zapewnienie takiej funkcji możliwe jest tylko w oparciu o zaawansowaną infrastrukturę komunikacyjną organizacji edukacyjnej oraz o dobrze zorganizowaną sieć informacyjną, która łączy wszystkie jej działy. Z tego punktu widzenia, za instytucję edukacyjną będziemy uważali każdą organizację edukacyjną, która prowadzi nauczanie zdalne, świadczy produkty i usługi kształcenia zgodnie z koncepcją OSNZ. Oprócz zdalnego dostępu do produktów edukacyjnych i usług kształcenia, sieć informacyjna musi oferować następujące funkcje:

1. Zabezpieczenie i ochrona danych.

OSNZ jest systemem przeznaczonym dla wielu użytkowników, których liczba bardzo dynamicznie się zmienia. Powoduje to wysokie wymagania dotyczące operacji rejestracji i identyfikacji pracowników i uczących się. Zabezpieczenia i ochrony danych dokonuje się na trzech poziomach: indywidualnych danych użytkownika, danych wydziałowych oraz danych całej uczelni.

2. Autoryzacja dostępu do zasobów wiedzy i informacji.

Zasoby informacyjne przedstawione są w postaci bazy danych administracyjnych, bibliotek z informacją bibliograficzną, stron WWW, repozytoriów wiedzy. Dostęp do każdego z zasobów jest zabezpieczony mechanizmem autoryzacji. Każdy z zarejestrowanych studentów posiada własny klucz, za pomocą którego uzyskuje dostęp do zasobów. Zasoby wiedzy są tworzone w postaci repozytorium zawierającego materiały dydaktyczne. Studenci mają dostęp do repozytorium poprzez profil indywidualnego programu nauczania. Specjaliści zajmujący się opracowaniem oraz redagowaniem zasobów mają priorytet dostępu. Zabezpieczenie dostępu specjalistów do repozytorium zakłada zachowanie praw autorskich.

3. Wspólne wykorzystanie odległych zasobów technicznych i programowych.

Do zasobów technicznych i programowych zaliczamy serwer centralny, oprogramowanie specjalizowane do badań naukowych oraz laboratorium wirtualne do prowadzenia eksperymentów.

4. Organizacja wideokonferencji i wykłady on-line, a także zajęcia dyskusyjne i zajęcia z wykorzystaniem szybkiej infrastruktury sieciowej.

Sieć informacyjna organizacji edukacyjnej może być stworzona na bazie trzech typów obecne istniejących sieci komputerowych, a mianowicie:

- a) lokalnej sieci komputerowej na poziomie osobnego działu;
- b) regionalnej sieci miejskiej, która pozwala na wymianę zasobów produkcyjnych i informacyjnych pomiędzy działami instytucji edukacyjnej lub instytucjami jednego regionu;
- c) światowej sieci telekomunikacyjnej, łączącej kilka organizacji edukacyjnych w skali kraju lub świata.

Teorii i praktyce opracowania sieci informacyjnych poświęcono wiele miejsca w literaturze światowej, ale za każdym razem istnieje problem sformułowania zadania optymalizacji parametrów i struktury sieci w zależności od warunków jej wdrażania.

Środowisko sieciowe w OSNZ służy do realizacji procesów produkcyjnych, które w zależności od specyfiki produktu końcowego można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa zorientowana jest na wiedzę, która powinna być opanowana przez każdego studenta w trakcie nauczania. Druga – na przygotowanie różnego rodzaju materiałów dydaktycznych, przeznaczonych dla studentów, nauczycieli, inżynierów wiedzy, ekspertów dziedziny czy projektantów multimediiów. Wspólną cechą tych produktów jest niematerialna postać ich produkcji (Zaikin i Rózewski, 2005). W terminologii projektów europejskich, związanych z nauczaniem otwartym i zdalnym np. ProLearn (<http://www.prolearn-project.org/>) lub e-Quality (<http://e-quality.uta.fi/>) procesami produkcyjnymi w otwartym systemie nauczania zdalnego są:

- 1) wsparcie nauczania studentów (ang. *student support subprocess*), co oznacza pomoc organizacyjną, informacyjną, techniczną i programową procesu „uczenia się – nauczania”.
- 2) opracowanie materiałów dydaktycznych (ang. *learning material design subprocess*), co oznacza projektowanie, wytwarzanie i dostarczanie materiałów metodycznych takich jak: indywidualne programy nauczania, treści programowe, metodyki prowadzenia zajęć oraz materiałów dydaktycznych, do których zaliczyć można: skrypty, podręczniki, slajdy, instrukcje.

Sieć produkcyjna jest środowiskiem dla organizacji, koordynacji i realizacji procesów produkcyjnych, jakie zachodzą w otwartym systemie nauczania zdalnego. Obiektem zarządzania w sieci informacyjnej jest strumień informacyjny, natomiast w sieci produkcyjnej obiektem zarządzania jest przepływ prac. Cechami charakterystycznymi procesów produkcyjnych jest ich stochastyczność i wielokrotne powtórzenie podobnych, ale nie jednakowych zdarzeń. Stochastyczność procesu produkcyjnego powiązana jest z losowym czasem pojawienia się zleceń i losowym czasem ich wykonania. Natomiast każde zlecenie określonego typu wymaga takiej samej marszruty technologicznej, innymi słowy, takiej samej kolejności operacji wykonanych na specjalizowanych miejscach pracy.

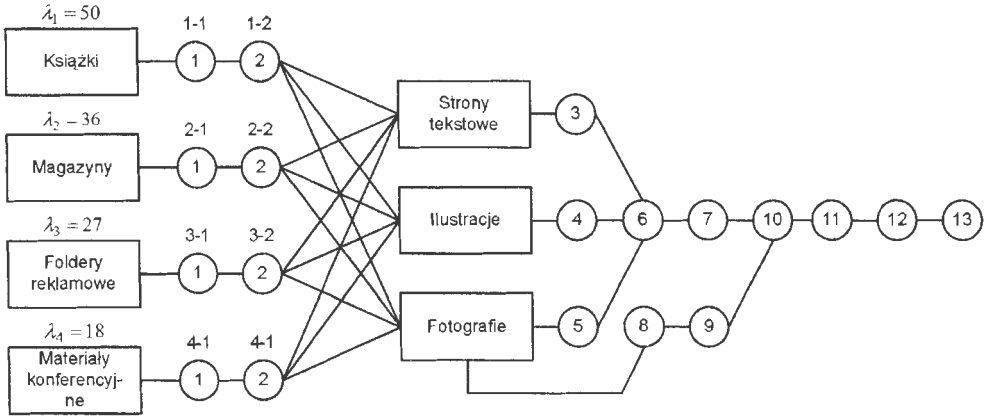
Struktura sieci produkcyjnej może być przedstawiona jako graf zorientowany (Zaikin, 2002). Elementami struktury sieci produkcyjnej są węzły produkcyjne (wierzchołki grafu) i przepływy prac (krawędzie grafu). Istnieją dwa podstawowe typy sieci produkcyjnej – ze strukturą otwartą i zamkniętą. Na rysunku 87 przedstawione zostały przykłady sieci produkcyjnej w OSNZ.

W pokazanym na rysunku 87a przykładzie, węzły produkcyjne (1-13) reprezentują stanowiska pracy specjalistów na różnych etapach przygotowania materiałów dydaktycznych, opracowania odrębnych Learning Objects czy napełniania repozytorium wiedzy. Na rysunku 87b pokazany przykład zamkniętej sieci dla wsparcia procesu nauczania studentów. Węzły produkcyjne (1-3) reprezentują pewną ilość specjalnych serwerów (administrator, nauczyciel, 'courseware'), a węzeł (4) reprezentuje uczestników procesu – studentów. W tym kontekście topologią sieci produkcyjnej jest sieć połączeniowa, co oznacza, iż marszruty technologiczne przepływów prac w sieci są z góry ustalone.

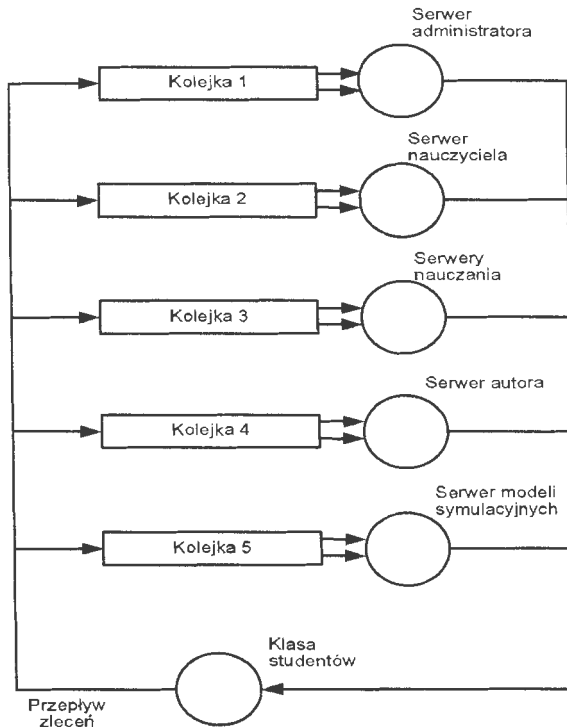
Sieć produkcyjna i informacyjna funkcjonują w tym samym środowisku sieciowym, jednak różnią się pomiędzy sobą. Zazwyczaj sieć informacyjna rozpatrywana jest na poziomie całego przedsiębiorstwa edukacyjnego, tj. na obszarze jego działalności, natomiast sieć



produkcyjna rozpatrywana jest na poziomie poszczególnych procesów produkcyjnych, np., przygotowania materiałów dydaktycznych, drukowania materiałów edukacyjnych, nauczania i ewaluacji studentów. Podstawowym parametrem sieci informacyjnej jest przepustowość kanałów komunikacyjnych, zaś podstawowym parametrem sieci produkcyjnej jest wydajność wchodzących w jej skład węzłów wytwórczych.



87a) Otwarta struktura sieci w systemie produkcji materiałów dydaktycznych



87b) Zamknięta sieci dla wsparcia procesu nauczania studentów

Rys. 87. Przykłady sieci produkcyjnych w OSNZ (źródło: (Zaikin i in., 2000))

### 8.3. Konceptualny model sieci informacyjnej w przedsiębiorstwie edukacyjnym

Rozwój technologii informatycznych i komunikacyjnych w dziedzinie nauczania zdalnego doprowadził do powstania *przedsiębiorstwa edukacyjnego* (centrum nauczania ustawicznego), opartego na otwartym systemie nauczania zdalnego. Można określić kilka cech organizacji edukacyjnej, które umożliwią uznanie danej organizacji za przedsiębiorstwo edukacyjne: zależność budżetu organizacji edukacyjnej od wielkości płatnych form nauczania i usług, bezpośrednia zależność konkurencyjności organizacji edukacyjnej od jakości oferowanych programów i efektów nauczania oraz tworzenie własnej sieci informacyjnej w celu organizacji procesów nauczania i przygotowania materiałów dydaktycznych.

Charakterystycznymi cechami sieci informacyjnej w przedsiębiorstwie edukacyjnym są: zaawansowana infrastruktura informacyjna (w skali regionu, kraju, świata), szeroki asortyment oferowanych produktów edukacyjnych i usług, przy czym materiały dydaktyczne z reguły mają postać cyfrową, a także wysoko wydajny i drogi sprzęt oraz oprogramowanie, wykorzystywane zarówno w procesie przygotowania materiałów dydaktycznych, jak i w procesie nauczania studentów. Powyższe cechy umożliwiają uznanie przedsiębiorstwa edukacyjnego za nowy rodzaj struktury produkcyjnej, dla którego charakterystyczne są:

- stochastyczny charakter wielokrotnie powtarzanych procesów takich jak: losowy czas przybycia klientów, specyfikacja zleceń na osobne prace, losowy czas obsługiwanego prac;
- połączenie w jedną strukturę produkcyjną węzłów wytwórczych posiadających różną wydajność;
- obsługiwane przepływy prac odnoszących się do różnych zamówień w jednym węźle wytwórczym.

Struktura systemu produkcyjnego ma charakter rozproszony ze względu na następujące czynniki:

- a. przedsiębiorstwo edukacyjne może oferować szeroki zakres usług dla studentów/klientów na obszarze regionu, kraju, a nawet wspólnoty krajów;
- b. przedsiębiorstwo ma własną rozproszoną strukturę, w której zostały połączone działy, ludzie, sprzęt i oprogramowanie.

Przedstawione rozważania umożliwiają modelowanie tego typu struktur produkcyjnych jako otwartą lub zamkniętą sieć kolejkową i zastosowania do analizy i optymalizacji parametrów sieci aparat teorii obsługi masowej (Kushtina, 2006), (Zaikin, 2002), (Zaikin i in, 2005).

Parametry sieci informacyjnej zależą od skali rozległości i od parametrów obsługiwanych procesów. Wyróżnione parametry charakteryzują się dosyć skomplikowaną wzajemną zależnością, a wysokie koszty podtrzymania sieci informacyjnej wymagają znalezienia ich optymalnej kombinacji. Podstawą optymalizacji jest opracowanie modelu konceptualnego sieci informacyjnej przedsiębiorstwa edukacyjnego.

Głównymi celami opracowania modelu konceptualnego sieci informacyjnej są:

- a. określenie wskaźników przedsiębiorstwa edukacyjnego w największym stopniu wpływających na strukturę i parametry sieci informacyjnej;
- b. określenie źródeł oraz struktury informacji wejściowych/wyjściowych, koniecznych do opracowania sieci informacyjnej;
- c. wybór kryterium oceny jakości działania sieci informacyjnej w przedsiębiorstwie edukacyjnym;
- d. nakreślenie możliwych podejść do modelowania przebiegu prac, składających się na procesy jednocześnie zachodzące w sieci informacyjnej.

Opracowanie sieci informacyjnej może być dokonane w oparciu o różne kryteria (Buzacott i Shanthikumar, 1993). Najczęściej wykorzystywane są następujące kryteria optymalizacji:

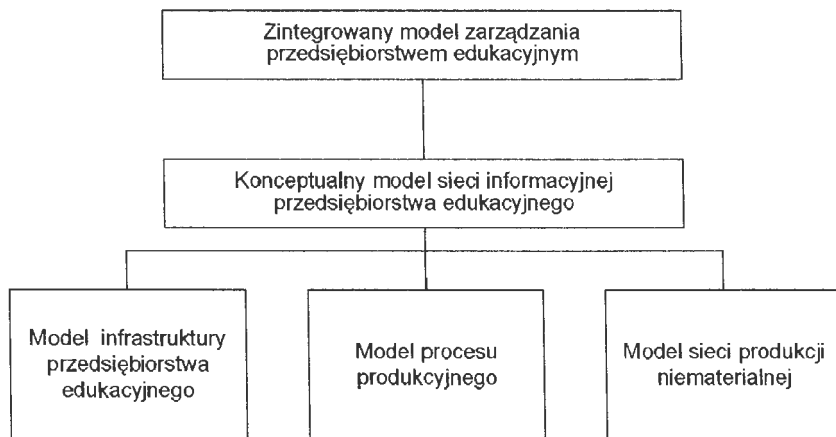
- a) Minimalizacja sumarycznego czasu obsługi zleceń studentów/klientów liczonego od czasu ich akceptacji do czasu zakończenia wykonania produktu edukacyjnego lub usługi kształcącej. Za sumaryczny czas obsługi zlecenia przyjmuje się sumę czasów operacyjnych wszystkich operacji technologicznych i czasu oczekiwania we wszystkich kolejkach powstających w procesie technologicznym.
- b) Minimalizacja wydatków sumarycznych na pracownicze, techniczne i programowe środki systemu produkcyjnego przedsiębiorstwa edukacyjnego. Wydatki te zawierają w sobie koszty ich pozyskania, instalacji i eksploatacji.
- c) Minimalizacja liczby odmów uwarunkowanych ograniczeniem na długość bufora lub czas oczekiwania przy obsługiwaniu zleceń klientów.

Z reguły wymienione kryteria są ze sobą sprzeczne i projektant sieci informacyjnej kształtuje je w zależności od konkretnej sytuacji.

Konceptualny model sieci informacyjnej jest częścią zintegrowanego modelu zarządzania przedsiębiorstwem edukacyjnym (Kusztina, 2006). W skład konceptualnego modelu sieci informacyjnej wchodzi trzy podstawowe modele:

1. model infrastruktury przedsiębiorstwa edukacyjnego;
2. model procesu produkcyjnego;
3. model sieci produkcji niematerialnej.

Analiza tych trzech modeli w obrębie jednego konceptualnego modelu sieci informacyjnej jest możliwe, ponieważ mają one wspólne zmienne, wśród których wyróżnić można na przykład intensywność strumienia zleceń wejściowych. Omawiane modele tworzą konceptualny model sieci informacyjnej, który umożliwia formalne założenie zadania optymalizacji struktury i parametrów sieci informacyjnej przedsiębiorstwa edukacyjnego (rys. 88). Rozpatrzmy każdy z wyżej wymienionych komponentów konceptualnego modelu sieci informacyjnej.



**Rys. 88. Struktura konceptualnego modelu sieci informacyjnej przedsiębiorstwa edukacyjnego (źródło: (Zaikin i in., 2006))**

### 8.3.1 Model infrastruktury przedsiębiorstwa edukacyjnego

Problemy zarządzania przedsiębiorstwem, które realizuje produkty i usługi edukacyjne, mają następujące cechy:

1. Szeroka nomenklatura oferowanych produktów i usług edukacyjnych.
2. Rozgałęziona struktura procesów produkcyjnych, występujących w losowym otoczeniu. Czynnikiem losowym mogą być: szybko zmieniający się popyt klientów na produkty

i usługi edukacyjne, losowy charakter objętości dostępnych zasobów edukacyjnych oraz losowe momenty przybycia żądań klientów i czasów wykonania operacji.

Analiza losowych czynników pokazuje, że formalizacja infrastruktury przedsiębiorstwa edukacyjnego stanowi zagadnienie dużej wymiarowości, które można interpretować w terminach obsługi masowej. Rozwiązanie tego problemu za pomocą tylko metod analitycznych doprowadza z reguły do poważnych błędów i uproszczeń. Stąd powstaje problem łącznego modelowania analitycznego i metod symulacyjnych (Cohen i Lee, 1998).

Celem modelowania symulacyjnego jest tworzenie losowego procesu przybycia i obsługi zleceń klientów. W modelu symulacyjnym, elementarne komponenty infrastruktury przedsiębiorstwa są zamodelowane z zachowaniem ich struktury logicznej i kolejności powstania w czasie rzeczywistym (Sovetov i Jakovlev, 1998), (Shannon, 1978).

Najważniejszymi elementami infrastruktury rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego (RPe) w kontekście obsługi klientów są:

1) *Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa edukacyjnego*

Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa może być przedstawiona jako graf hierarchiczny. Korzeniem grafu jest centralny opis przedsiębiorstwa, wierzchołki pośrednie stanowią działy lokalne, obsługujące określone obszary, a liście grafu reprezentują terminale końcowe użytkowników. Liczba poziomów w grafie zależy od skali przedsiębiorstwa.

2) *Nomenklatura produktów i usług oferowanych przez przedsiębiorstwo edukacyjne*

Niech  $\{u_j\} = U$ , gdzie  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  – indeks produktu (usługi),  $U$  – pełna nomenklatura produktów i usług przedsiębiorstwa.

3) *Potencjalny obszar działalności przedsiębiorstwa edukacyjnego i jego podział na jednostki terytorialne*

Niech  $\{t_k\} = T$ , gdzie  $k = 1, 2, 3, \dots, K$  – indeks terytorium, objętym oddziałem  $O_k$ ,  $T$  – pełna nomenklatura terytoriów w obszarze działalności RPe.

4) *Intensywność napływu żądań klientów*

Niech  $\lambda_{kj}$  jest intensywnością napływu żądań klientów w terytorium  $t_k$  na produkty (usługi)  $u_j$ , wtedy  $\bar{\tau}_{kj}$  jest średnim interwałem pomiędzy dwoma sąsiednimi zleceniami klientów na usługi  $U_j$ . Oczywiście jest, że  $\lambda_{kj} = \frac{1}{\bar{\tau}_{kj}}$ .

5) *Kanały obsługi*

Każdy dział ma określoną liczbę kanałów zabezpieczających obsługę i dostarczanie usług do odpowiednich obszarów (terytoriów).

6) *Populacja klientów*

Populacja klientów oznacza liczbę klientów obsługiwanych przez przedsiębiorstwo na pewnym obszarze. Ze względu na czynnik populacji, wszystkie przedsiębiorstwa można podzielić na dwa typy: ograniczona populacja (ang. *finite population*) i nieograniczona populacja (ang. *infinite population*). W pierwszym przypadku liczba klientów porównywalna jest z liczbą serwerów obsługi, natomiast w drugim – liczba klientów jest znacznie większa niż liczba serwerów obsługi. W przypadku populacji nieograniczonej można przyjąć intensywność przybycia żądań klientów jako wielkość stałą  $\lambda_{kj} = const$ .

7) *Rozkład procesu przybycia żądań klientów (typ strumienia wejściowego)*

Proces przybycia zadań klientów na terytorium  $i$  dla usługi  $j$  może być opisany za pomocą funkcji rozkładu procesu przybycia klientów  $X_j^i(n, t)$  i intensywności przybycia  $\lambda_j^i$ . Procesy przybycia żądań klientów można podzielić na następujące klasy:

deterministyczny i stochastyczny, stacjonarny i niestacjonarny oraz sekwencyjny i pakietowy.

8) *Rozkład czasu obsługiwnia żądań klientów*

Proces obsługiwnia klientów podczas wykonywnia usługi  $j$  może być opisany za pomocą funkcji rozkładu  $Y_j$  i średniego czasu obsługi  $\tilde{\tau}_j$ .

9) *Segmenty rynku i przedsiębiorstwa konkurencyjne*

Istnienie przedsiębiorstw konkurencyjnych wpływna na zachowanie się klientów wówczas, gdy wymiar kolejki wejściowej oczekiwania jest ograniczony lub jakoś ich obsługiwnia niewłaściwna.

### 8.3.2 Model procesu produkcyjnego

Model procesu produkcyjnego operuje następującymi podstawowymi pojęciami:

1. *Produkt edukacyjny* – jest to opis struktury i treści programów nauczania oraz materiałów dydaktycznych, uwzględniający specyfikę nauczania na odległość.
2. *Usługa edukacyjna* – jest to operacja technologiczna występująca w procesie nauczania studentów określennemu przedmiotowi.
3. *Zasoby produkcyjne* – wykorzystuje się je do wykonania produktu edukacyjnego. Występuje kilka typów zasobów zapewniających proces produkcyjny:
  - a. zasoby metodyczne – metodyki nauczania;
  - b. zasoby dydaktyczne – materiały dydaktyczne;
  - c. zasoby techniczne – sprzęt i oprogramowanie aplikacyjne;
  - d. zasoby informacyjne – hurtownie danych i dedykowane bazy danych;
  - e. zasoby ludzkie – podstawowi i pomocniczy pracownicy (nauczyciele, tutorzy, operatorzy, administratorzy).

Każdy z wymienionych powyżej zasobów charakteryzuje się funduszem, który reprezentuje objętość dostępnego zasobu produkcyjnego, wyrażonego w naturalnych lub czasowych jednostkach.

4. *Operacja technologiczna* – jest to elementarny ze względu na zarządzanie proces, który wykorzystuje pewne zasoby produkcyjne. Przykładowe operacje technologiczne w procesie nauczania studentów to: rejestracja i identyfikacja studentów, wybór przedmiotu i programu nauczania, formowanie grup i testowanie, nauczanie określennego przedmiotu zgodnie z typem zajęć i programem nauczania oraz ewaluacja (zaliczenie, egzamin, certyfikacja). Przykładami operacji technologicznych w procesie projektowania i produkcji materiałów dydaktycznych mogą być: projekt publikacji, edycja tekstu, skanowanie ilustracji czarno-białych i kolorowych, skład komputerowy i weryfikacja.
5. *Proces produkcyjny* – jest to łańcuch operacji nabycia wiedzy i umiejętności przez osoby uczące się w obrębie określennego programu edukacyjnego z wykorzystaniem specjalizowanych zasobów informacyjnych (repozytorium materiałów dydaktycznych) oraz zasobów produkcyjnych (sprzęt i oprogramowanie, kanały łączności) i kadry (personel techniczny, administracyjny, merytoryczny). Wyróżnia się następujące procesy produkcyjne: przygotowanie, produkcja i dostarczanie materiałów dydaktycznych, organizacja i zarządzanie procesem nauczania, procesy marketingu i rozwoju, ochrona autorskich praw i własności intelektualnej oraz proces akredytacji i ewaluacji.
6. *Technologiczny proces nauczania przedmiotu* – można przedstawić jako kolejność operacji potrzebnych do nauczania danego przedmiotu. Do takich operacji należą: wejściwna kontrola wiedzy, prowadzenie zajęć (wykłady, ćwiczenia, prace laboratoryjne i projekty).
7. *Stan procesu produkcyjnego* – stochastyczny wektor  $\bar{X}(t) = \{x_n(t)\}$  jest średnim parametrem charakteryzującym proces produkcyjny w czasie rzeczywistym  $t$ . Składnik

wektora  $x_u(t)$  jest aktualnym stanem zasobów produkcyjnych na  $u$  etapie procesu produkcyjnego.

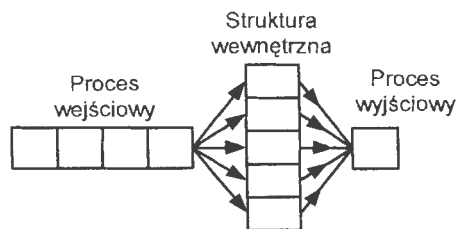
8. *Interwał czasowy* – jest to interwał optymalizacji (funkcjonowania)  $T_0$ . W czasie  $T_0$  wszystkie procesy produkcyjne są zakończone (np. semestr, rok).

### 8.3.3 Model sieci produkcji niematerialnej

Sieć produkcji niematerialnej w rozproszonym przedsiębiorstwie edukacyjnym przeznaczona jest do wytwarzania, przekazywania, dostarczania oraz dystrybucji produktów i usług edukacyjnych. W produkcji niematerialnej uważa się przekazanie informacji kanałami dostarczania za operację technologiczną (Korytkowski i Zaikin, 2004). Z tego powodu dla przedsiębiorstwa edukacyjnego sieć produkcji niematerialnej łączy procesy produkcyjne z procesami logistycznymi. Ten sam zbiór parametrów charakteryzuje zarówno operacje technologiczne, jak i operacje logistyczne. Połączenie tych operacji daje możliwość rozpatrywania razem struktury i konfiguracji sieci produkcji niematerialnej przedsiębiorstwa edukacyjnego.

Sieć produkcji niematerialnej charakteryzuje się następującymi komponentami:

1. *Struktura sieci produkcji niematerialnej* – formalnie może być przedstawiona jako graf niezorientowany. Wierzchołkami grafu są węzły obsługi, a krawędziami – kanały komunikacyjne. Relacje pomiędzy zbiorami węzłów obsługi i kanałów komunikacyjnych określają konfiguracje sieci produkcyjnej. Typowymi konfiguracjami sieci produkcyjnej są konfiguracje: sekwencyjna (liniowa), hierarchiczna (centralizowana), sieciowa (decentralizowana) i zamknięta (pierścieniowa).
2. *Przepływ prac w sieci produkcji niematerialnej (workflow)* – jest przejściem sekwencji operacji procesu produkcyjnego. Zarządzanie przepływem prac zawiera: określenie marszruty technologicznej, planowanie, koordynację i synchronizację wykonania prac w sieci produkcyjnej. Rozwiązanie tych zadań musi gwarantować optymalną wartość kryterium zarządzania procesem przepływu prac w sieci produkcyjnej przedsiębiorstwa edukacyjnego. Charakterystyki przepływu prac w sieci produkcyjnej to: rozkład procesu przybycia prac w każdym węźle obsługi oraz intensywność przybycia prac.
3. *Węzeł obsługi sieci produkcji niematerialnej* może być przedstawiony jako system obsługi masowej, który charakteryzuje się występowaniem: procesów wejściowych, struktury wewnętrznej i procesów wyjściowych. Rysunek 89 pokazuje typową strukturę węzła obsługi sieci produkcji niematerialnej.



Rys. 89. Struktura węzła obsługi sieci produkcji niematerialnej  
(źródło: (Zaikin, 2002))

Węzeł obsługi charakteryzuje się następującymi parametrami: liczba serwerów równoległych, wydajność serwera wyrażona w liczbie prac lub operacji wykonanych w jednostce czasu i rozmiar bufora wejściowego, który łącznie z liczbą serwerów definiuje pojemność węzła obsługi.

4. *Wymiarowość sieci produkcji niematerialnej* – oznacza sumaryczną liczbę prac, które jednocześnie mogą zmieścić się we wszystkich węzłach sieci produkcyjnej. W zależności od typu buforów, wymiarowość sieci produkcyjnej może być nieskończona lub ograniczona.
5. *Wskaźniki jakości obsługiwanego prac w sieci produkcji niematerialnej* – wśród najważniejszych wskaźników, które wpływają na kryterium funkcjonowania sieci produkcyjnej, wyróżnia się: średni czas obsługiwanego prac w całej sieci, wykorzystanie sprzętu i prawdopodobieństwo odmowy wykonania prac spowodowane przepełnieniem buforów w węzłach sieci.

## 8.4. Problem optymalizacji struktury i parametrów sieci informacyjnej w organizacji edukacyjnej

### 8.4.1 Analiza przepływu prac w sieci informacyjnej

W przedsiębiorstwie edukacyjnym, ze względu na jego specyfikę, istnieje duża różnica pomiędzy usługą kształcącą a produktem edukacyjnym. *Usługa kształcąca* jest zleceniem klienta, które dotyczy zapotrzebowania na naukę pewnego przedmiotu w celu opanowania określonej wiedzy, umiejętności i nawyków. Usługa kształcąca nie dotyczy końcowego produktu, lecz tylko jednej lub kilku specyficznych prac, a więc nie wymaga ona wstępnej specyfikacji. Zwykle ten typ zamówień jest bardziej losowy i jednocześnie ma konkretniejsze wymagania dotyczące specyfikacji i jakości. *Produkt edukacyjny* jest to materiał dydaktyczny lub program nauczania wykorzystywany na wejściu procesu nauczania. Produkt edukacyjny jest wynikiem procesu projektowania, wytwarzania i dostarczania materiału metodycznego lub dydaktycznego.

Głównymi cechami procesu produkcyjnego w OSNZ są:

- a. losowy czas przybycia zlecenia;
- b. losowy wynik dekompozycji zlecenia na zestaw elementarnych prac;
- c. stochastyczny charakter prac wchodzących w zlecenie;
- d. stochastyczny charakter czasu i jakości wykonania operacji;
- e. możliwość równoległego wykonywania kilku prac pochodzących z jednego zlecenia.

*Stochastyczny charakter przepływu prac* w sieci informacyjnej wynika z losowego charakteru: czasu przybycia zleceń na usługi kształcące i produkty edukacyjne, specyfikacji zamówionego produktu (lub usługi) oraz objętości i jakości wykonania elementarnych prac i operacji.

Efektywna metoda badania tego typu procesów polega na modelowaniu analitycznym i symulacyjnym procesów zachodzących w sieci informacyjnej z uwzględnieniem stochastycznego charakteru tych procesów.

Skuteczna organizacja procesu edukacyjnego, bazującego na nowoczesnych technologiach informatycznych, wymaga nowego podejścia. Tradycyjna taksonomia produktów edukacyjnych (lub usług) okazuje się niewystarczająca. W tradycyjnym podejściu, opartym na takich typach produktu edukacyjnego jak: metodyki, skrypty, podręczniki oraz usługach kształcących jak: wykłady, ćwiczenia, laboratorium, zaliczenie, egzamin, zestaw potrzebnych pracowników, sprzętu, oprogramowania oraz koszty zleceń są jasno określone. W warunkach wdrażania nowych technologii informatycznych, bazujących na wykorzystaniu odległych zasobów ludzkich, sprzętu i oprogramowania, wyżej wymienione typy dalej odgrywają dużą rolę. Jednak cena i czas wykonania zleceń silnie zależy od wielu innych czynników procesu produkcyjnego w OSNZ, a mianowicie: indywidualnego charakteru programów nauczania, indywidualnego zestawu i kolejności obiektów nauczania w wybranym przedmiocie, indywidualnego testowania i kontroli wiedzy, jak również indywidualnych konsultacji, wykładów i laboratoriów *on-line*.

Powyższe produkty i usługi edukacyjne charakteryzują się wysoką indywidualnością, a także różną intensywnością zamówień. Ponadto każdy rodzaj produktu lub usługi cechuje się losowym czasem wykonania i losową liczbą wykonywanych usług na dowolny przedmiot na określonym interwale czasu. Przejście od tradycyjnych produktów i usług edukacyjnych do wysoko-technologicznych produktów i usług edukacyjnych realizowanych w OSNZ, podobne jest do przejścia od produkcji zorientowanej przedmiotowo do produkcji zorientowanej procesowo.

#### 8.4.2 Założenie i analiza zadania optymalizacyjnego

W dziedzinie edukacji mamy do czynienia zazwyczaj ze złożonymi procesami produkcyjnymi i szerokim asortymentem oferowanych usług i produktów. Problem optymalizacji sieci informacyjnej dla rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego jest złożonym zadaniem dyskretnej optymalizacji wielokryterialnej. Obszar przeznaczony do dystrybucji usług i produktów edukacyjnych może być rozległy (np. województwo, region, kraj). Obszar dystrybucji określa z kolei nomenklaturę i rozmieszczenie konsumentów, dostawców, sprzętu oraz oprogramowania. Rozproszone przedsiębiorstwo edukacyjne może być zorganizowane tylko w przypadku istnienia dobrze rozwiniętej infrastruktury komunikacyjnej (Graves i in., 1998).

W zadaniu optymalizacji parametrów sieci informacyjnej OSNZ terytorialne rozmieszczenie konsumentów usług (produktów) edukacyjnych traktuje się jako zadane. Jako terytorium rozumiana jest jednostka podziału administracyjnego, którą opisuje się zbiorem parametrów, np.: położenie geograficzne, gęstość zaludnienia, potencjalny popyt na produkty (usługi) edukacyjne. Dla formalizacji problemu istotne jest, że gęstość populacji i wielkość popytu na usługi i produkty edukacyjne pomiędzy terytoriami są nierównomierne.

Zlecenia klientów na usługi i produkty edukacyjne można rozpatrywać jako proces przebiegający w czasie rzeczywistym. Dla formalizacji zadania optymalizacji parametrów sieci informacyjnej ważne jest, iż proces przybycia zleceń jest stochastyczny, stacjonarny i sekwencyjny. Oznacza to, że może on się charakteryzować własnym rozkładem i intensywnością. Zadanie optymalizacji może także zawierać inne czynniki losowe takie jak: czas obsłużenia zadań klientów, stan sprzętu i oprogramowania, przeciążenie kanałów łączności.

Wynika stąd, że dla zadanej intensywności zleceń klientów na każdy typ produktu lub usługi na obszarze każdego terytorium niezbędne jest rozmieszczenie centrów informacyjnych (CI) rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego (RPe), określenie konfiguracji każdego CI i optymalizacja wydajności CI poprzez przydzielenie zasobów. Istnieją dwa warianty założenia zadania optymalizacji:

- 1) *Założenie otwarte*, w którym cały zbiór parametrów kontrolnych musi być określony (znaleziony). Dotyczy to liczby centrów informacyjnych oraz rozmieszczenia, konfiguracji i wydajności każdego z nich. Założenie otwarte jest trudniejsze do rozwiązania, z reguły tego typu zadanie może być rozwiązane tylko dzięki metodom empirycznym i zdroworozsądkowym.
- 2) *Założenie zamknięte*, w którym część parametrów kontrolnych (np. liczba centrów informacyjnych) jest z góry określona. Należy obliczyć tylko pozostałe parametry np. rozmieszczenie, konfigurację i wydajność każdego z centrów.

W założeniu zamkniętym problem optymalizacji sieci informacyjnej rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego (RPe) można zdefiniować w następującej postaci:

*Zadane:*

- zbiór typów usług i produktów edukacyjnych oferowanych w RPe;
- rozkład i intensywność przybywania zleceń klientów na każdy typ usług i produktów na obszarze każdego terytorium;
- procesy produkcyjne, tj. sekwencje operacji potrzebnych do wykonania usług i produktów;
- rozkład i średni czas wykonania operacji.



*Określić:*

- rozmieszczenie centrów informacyjnych w ramach obszaru działalności RPe;
- konfigurację i wydajność każdego węzła sieci informacyjnej.

*Kryterium:*

Minimalizacja wartości sumarycznych wydatków na tworzenie i eksploatację sieci informacyjnej RPe na interwale optymalizacji  $T_0$  (cykl życia systemu edukacyjnego).

### 8.4.3 Dekompozycja zadania optymalizacji

Zasadniczy problem optymalizacji sieci informacyjnej z powodu swej złożoności nie może być rozwiązany metodami bezpośrednimi. Należy zwrócić uwagę na dwa czynniki, które nie pozwalają na jego bezpośrednie rozwiązanie. Pierwszy czynnik związany jest ze stochastycznym charakterem procesów zachodzących w sieci i obecnością innych warunków nieokreślonych. Drugi czynnik związany jest z dużą wymiarowością zadania, czyli licznymi parametrami, które należy uwzględnić w optymalizacji. Wymiarowość ogólnego zadania zależy od zbioru dopuszczalnych wartości parametrów kontrolnych i ich kombinacji. Zadanie optymalizacji sieci informacyjnej (SI) jest zadaniem NP-zupełnym, ponieważ liczba wariantów decyzyjnych wykładniczo zależy od wymiarowości grafu SI.

Z tego powodu jedynym sposobem rozwiązania integralnego problemu optymalizacji jest jego *hierarchiczna dekompozycja*, tj. reprezentacja zadania w postaci zbioru lokalnych zadań, rozwiązanych bezpośrednimi metodami. Hierarchiczna dekompozycja kryterium integralnego problemu optymalizacji umożliwia określenie celów optymalizacji w każdym lokalnym zadaniu, a agregacja parametrów kontrolnych pozwala na określenie środków do osiągnięcia tych celów.

Analiza systemowa parametrów kontrolnych umożliwia rozwiązanie integralnego zadania optymalizacji sieci informacyjnej w trzech etapach:

- 1) *etap 1* – rozmieszczenie centrów informacyjnych w obszarze działalności RPe;
- 2) *etap 2* – minimalizacja kosztów połączeń dzięki wyborowi optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej;
- 3) *etap 3* – optymalizacja wydajności węzłów sieci informacyjnej poprzez przydzielenie zasobów.

Każde z wyżej wymienionych zadań może być rozwiązane na bazie własnych kryteriów i parametrów kontrolnych (tab. 29).

Rozpatrzmy założenie każdego z wyżej wymienionych lokalnych zadań.

*Etap 1. Zadanie rozmieszczenia centrów informacyjnych w rozproszonym przedsiębiorstwie edukacyjnym*

W pierwszym etapie rozwiązujemy zadanie optymalizacyjnego rozmieszczenia centrów informacyjnych. W trakcie analizy konieczne należy uwzględnić sumaryczną intensywność zleceń klientów w ramach obszaru obsługiwanego przez każde centrum.

Struktura sieci informacyjnej rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego formalnie może być przedstawiona jako graf niezorientowany. Wierzchołki grafu reprezentują centra informacyjne, niezorientowane łuki grafu są kanałami komunikacyjnymi pomiędzy centrami. Każdy węzeł obsługiwanego charakteryzuje się następującymi właściwościami: współrzędnymi geograficznymi centrum, rozmiarem obszaru obsługiwanego i sumarycznym popytem klientów na każdy rodzaj usług i produktów edukacyjnych.

Przy ograniczonych zasobach produkcyjnych RPe (np. fundusz czasowy personelu, koszt oraz wydajność sprzętu i oprogramowania) powstaje kwestia optymalnego rozmieszczenia centrów informacyjnych w regionie objętym działalnością przedsiębiorstwa edukacyjnego.

**Tab. 29. Hierarchiczna dekompozycja integralnego zadania optymalizacji sieci informacyjnej**  
(źródło: (Zaikin i in., 2006))

N	Cel zadania	Kryterium optymalizacji	Parametry kontrolne	Zakres optymalizacji	Rodzaj modelu	Metoda rozwiązania
1	Rozmieszczenie centrów informacyjnych w obszarze działalności RPe	Maksymalizacja sumarycznego popytu na usługi (produkty) edukacyjne	Rozmieszczenie centrów informatycznych pomiędzy terytoriami RPe	Cykl życia rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego	Model programowania całkowitoliczbowego	Algorytm segmentacji macierzy wzajemnych relacji
2	Wybór optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej	Minimalizacja kosztów połączeń pomiędzy CI w RPe	Konfiguracja i przepustowość kanałów sieci informacyjnej	Zakres planowania strategicznego zasobami RPe	Model minimalnego pokrycia grafu struktury sieci produkcyjnej	Algorytm przydziałów gałęzi w zadaniu komiwojżera
3	Optymalizacja wydajności węzłów sieci informacyjnej w każdym CI	Minimalizacja sumarycznych wydatków produkcyjnych	Fundusz zasobów przydzielonych każdemu węzłowi sieci informacyjnej	Zakres planowania taktycznego RPe	Model otwartej wielopotokowej sieci kolejkowej	Analityczne i symulacyjne modelowanie systemów obsługi masowej

Znalezione rozmieszczenie musi być wydajne ze względu na sumaryczny popyt klientów na usługi i produkty edukacyjne na obszarze wszystkich terytoriów pokrytych działalnością centrów informacyjnych. Kryterium zadania można określić następująco: maksymalizacja sumarycznej intensywności zleceń klientów na produkty i usługi edukacyjne przy ustalonej z góry liczbie centrów informacyjnych.

Zadanie rozmieszczenia optymalizacyjnego centrów informacyjnych może być zdefiniowane następująco:

*Zadane:*

1. typy i rodzaje usług i produktów edukacyjnych oferowanych przez RPe;
2. rodzaje i parametry zasobów produkcyjnych RPe;
3. zbiór terytoriów jako jednostek podziału administracyjnego obszaru działalności RPe;
4. intensywność zadań klientów na każdy z rodzajów produktów lub usług w ramach każdego z terytoriów;
5. obszar dostępu jednego centrum informacyjnego.

*Określić:*

Rozmieszczenie centrów sieci informacyjnej RPe w ramach zadanych terytoriów.

*Kryterium:*

Maksymalizacja sumarycznej intensywności zleceń klientów na obszarze wszystkich terytoriów pokrytych centrami informacyjnymi przy ustalonej z góry liczbie centrów.

*Etap 2. Zadanie minimalizacji kosztów połączeń pomiędzy centrami informacyjnymi przez wybór optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej.*

W drugim etapie rozwiązuje się zadanie wyboru optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego. Zadanie to sformułowane jest jako znalezienie minimalnego pokrycia grafu odzwierciedlającego strukturę sieci informacyjnej. Kryterium zadania można określić następująco: minimalizacja wymiany informacyjnej (kosztów połączeń) pomiędzy centrami informacyjnymi RPe.

Konieczność wyboru optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej wynika z faktu, że różne kanały komunikacyjne mogą łączyć centra informacyjne RPe. Najbardziej rozpowszechnionymi konfiguracjami sieci informacyjnej są: gwiazda, pierścień, sieć (punkt punkt) i ich kombinacje. Można interpretować zadanie wyboru optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej jako zadanie pokrycia krawędziami zbioru wierzchołków grafu struktury SI. Jeśli istnieje tylko jedna droga łącząca dwa dowolne wierzchołki grafu, to mówimy o minimalnym pokryciu grafu. Wśród wszystkich możliwych pokryć grafu należy znaleźć takie, które minimalizuje koszty wymiany informacyjnej pomiędzy węzłami sieci informacyjnej RPe.

*Etap 3. Zadanie optymalizacji wydajności węzłów sieci informacyjnej każdego centrum informacyjnego*

Przydzielenie zasobów jest najbardziej rozpowszechnionym zadaniem zaopatrzenia technicznego w sieciach informacyjnych. Badanie takich systemów opiera się na modelach obsługi masowej i metodach optymalizacji dyskretnej (Zaikin, 2002).

Obecnie istnieje bogaty wybór literatury na temat badań rozproszonych systemów informacyjnych. Różne aspekty analizy takich systemów omówione są w pracach (Buzacott i Shanthikumar, 1993), (Hall, 1991). Metody optymalizacji dyskretnej z wykorzystaniem techniki modelowania symulacyjnego opisane są w książkach (Azadivar i Lee, 1988), (Biethan i Nissen, 1994), (Guariso i in., 1996).

Jednak w literaturze światowej brakuje badań poświęconych optymalizacji parametrów sieci informacyjnych w otwartych systemach nauczania zdalnego. Zaproponowane w niniejszej pracy modele i metody optymalizacji parametrów sieci informacyjnych dają możliwość wypełnienia luki badawczej, która spowodowana jest szybkim rozwojem otwartych systemów zdalnego nauczania.

Zadanie ma na celu optymalne przydzielenie zasobów w węzłach sieci informacyjnej każdego centrum informacyjnego RPe. Każde centrum informacyjne RPe może być przedstawione jako sieć stacji roboczych, obsługujących wejściowy strumień zadań lub prac. Każde wchodzące zadanie charakteryzuje się odpowiednią technologią wykonania. Technologia wykonania każdego zlecenia określa sekwencje operacji w sieci informacyjnej.

W odróżnieniu od zadania rozmieszczenia centrów informacyjnych w rozproszonym przedsiębiorstwie edukacyjnym, przydzielenie zasobów w węzłach sieci informacyjnej należy rozwiązać uwzględniając jakość obsługi klientów oraz techniczne i ekonomiczne charakterystyki zasobów produkcyjnych.

Kryterium zadania można określić następująco: minimalizacja wydatków produkcyjnych, który zawiera trzy elementy: wydatki na zakup oraz instalację sprzętu i oprogramowania, wydatki związane z jakością obsługi klientów (opóźnienia i odmowy obsługi) oraz wydatki związane z wykorzystaniem zasobów produkcyjnych.

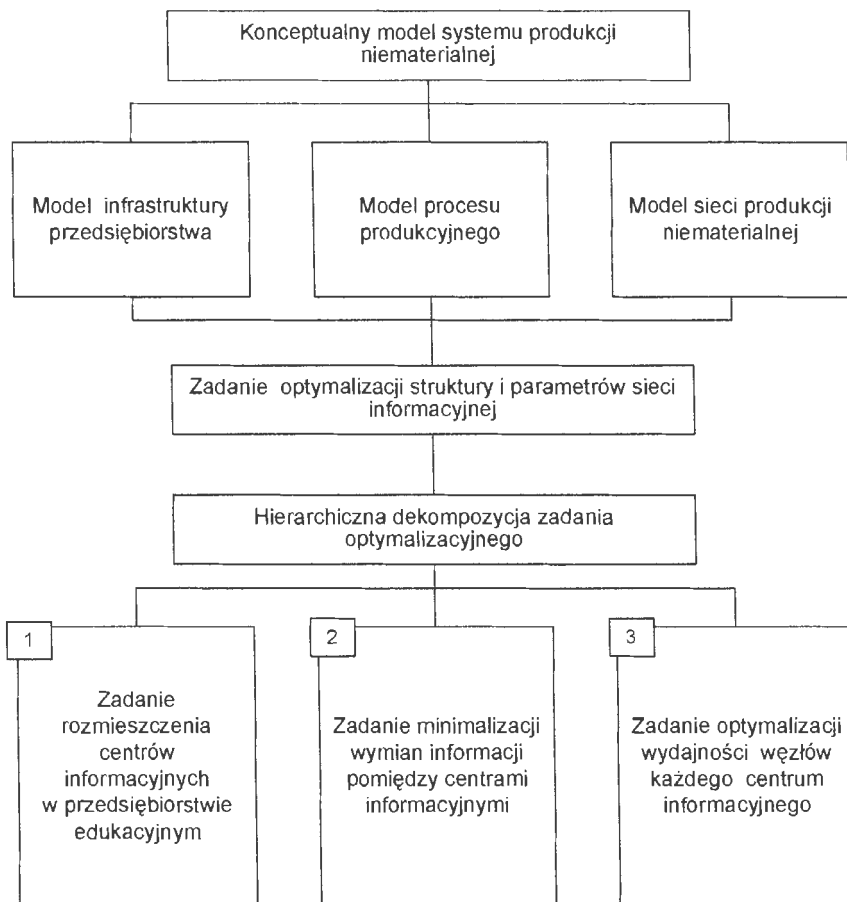
Najlepszą metodą badania takich systemów jest modelowanie analityczne i symulacyjne procesów obsługi masowej (Zaikin, 2002). Kryterialna funkcja zadania jest funkcjonalem zależnym od parametrów systemu obsługi masowej. Przykładowym kryterium tego typu może być minimum wydatków produkcyjnych odniesionych do pewnego zakresu czasowego.

Wszystkie wyżej wymienione zadania przynależą do różnych podsystemów i rozwiązuje się je na różnych poziomach zarządzania. Zadanie rozmieszczenia centrów informacyjnych w rozproszonym przedsiębiorstwie edukacyjnym może być rozpatrywane na dwóch poziomach: sieci rozległej (WAN), łączącej sieci akademickie różnych krajów (tutaj nie rozpatrywane) i sieci miejskiej (MAN), łączącej lokalne sieci różnych działów (instytucji) w jednolitą sieć akademicką osobnej organizacji edukacyjnej.

W interesującej nas skali jednej instytucji, zadanie rozmieszczenia centrów informacyjnych jest związane z podsystemem zarządzania strategicznego przedsiębiorstwem edukacyjnym (ang. *Strategic Management System*) i rozwiązywane raz w całym cyklu życia

przedsiębiorstwa. Zadanie wyboru optymalnej konfiguracji sieci informacyjnej rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego wiąże się z podsystemem objętościowego planowania zasobami sieciowymi i rozwiązywane jest nie częściej niż raz w roku. Zadanie optymalizacji wydajności węzłów sieci informacyjnej jednego centrum informacyjnego połączone jest z podsystemem planowania zasobów produkcyjnych. Zadanie należy do taktycznego poziomu zarządzania (ang. *Tactical Management System*) i rozwiązywane jest wielokrotnie w ciągu jednego roku w zależności od intensywności przepływu prac i stanu zasobów produkcyjnych.

Rysunek 90 jest detalizacją rysunku 88 i przedstawia wzajemne powiązanie wszystkich komponentów modelu konceptualnego i zadania optymalizacji parametrów sieci informacyjnej rozproszonego przedsiębiorstwa edukacyjnego.



**Rys. 90. Relacje pomiędzy komponentami konceptualnego modelu sieci informacyjnej i lokalnymi zadaniami optymalizacji parametrów sieci (źródło: (Zaikin i in., 2006))**

## 8.5. Optymalizacja parametrów otwartej sieci informacyjnej dla przygotowania materiałów dydaktycznych w wydawniczej sieci produkcji niematerialnej

### 8.5.1 Przepływ prac w procesie przygotowania materiałów dydaktycznych

Dynamicznie rozwijający się przemysł wydawniczy, nowoczesne i wysokowydajne centra informacyjne, zajmujące się przygotowaniem drukowanych materiałów dydaktycznych zapewniają podwyższenie jakości edukacyjnego produktu końcowego i redukcję kosztów materiałów (papier, film, itp.). Reprezentatywnymi przykładami efektywnego i wysokowydajnego sprzętu w przemyśle wydawniczym są nowoczesne maszyny do druku cyfrowego, których cena wynosi ponad 1 milion EUR, co ogranicza ich dostępność na szerokim rynku produktów i usług edukacyjnych. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku produkcji programów telewizji edukacyjnej.

Jak pokazano w (Zaikin i in. 2005), taka sytuacja prowadzi do konieczności zorganizowania rozproszonych przedsiębiorstw edukacyjnych, w których uniwersalne centra informacyjne są głównymi czynnikami dla tworzenia infrastruktury i architektury sieci produktów i usług edukacyjnych. Taka sieć centrów informacyjnych jest zdolna wykonywać rozmaite prace zlecone przez klientów, a dotyczące różnego typu, nakładu i jakości produktu edukacyjnego.

Efektywna organizacja procesu wydawniczego oraz personalizacji produktów edukacyjnych, bazujących na nowoczesnych technologiach informatycznych, wymaga nowego podejścia do produkcji, ponieważ tradycyjna specyfikacja produktu edukacyjnego, wykorzystująca takie charakterystyki jak: objętość, ilość kolorów, liniatura rastra, okazuje się niewystarczająca. Wymienione cechy są decydujące w organizacji tradycyjnego procesu wydawniczego, który jest zorientowany na obsługę zleceń jednego typu produktów z określoną ceną i jakością. W tradycyjnym podejściu, bazującym na wymienionych cechach produktu edukacyjnego, zestaw potrzebnego sprzętu i koszty wydania są jasno określone. W warunkach wdrożenia nowych technologii informatycznych, charakteryzujących się wysokim stopniem elastyczności, wyżej wymienione cechy w dalszym ciągu odgrywają znaczną rolę. Jednak cena i czas wykonania silnie zależy od innej grupy cech takich jak: personalizacja wydania, intensywność zamówień nowego rodzaju produktów, liczba zleceń na specyficzny produkt na określonym interwale czasu.

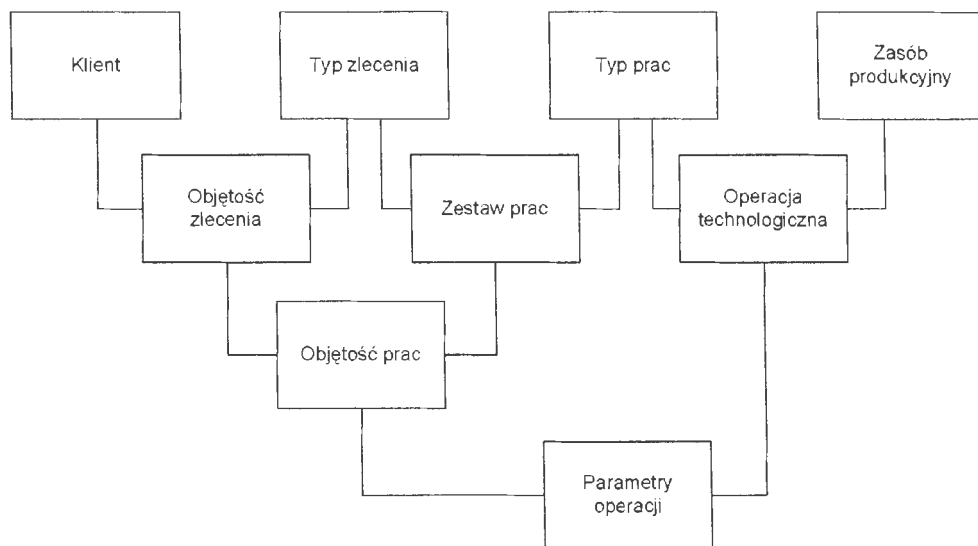
Z punktu widzenia specyfikacji istnieje duża różnica pomiędzy produktem i usługą. Usługa jest zleceniem, które nie dotyczy końcowego produktu, tylko jednej specyficznej operacji, a więc nie potrzebuje ona wstępnej specyfikacji. Zwykle ten typ zamówień jest bardziej losowy i jednocześnie ma dokładniejsze wymagania dotyczące jakości. Głównymi cechami procesu technologicznego w wydawnictwie edukacyjnym są:

- dekompozycja zamówień klientów na zestaw prac;
- możliwość równoczesnego wykonywania różnych prac, pochodzących z różnych zamówień w jednym węźle wytwórczym;
- przekazanie plików dużego rozmiaru od jednej operacji do drugiej za pomocą globalnej lub lokalnej sieci;
- stochastyczny charakter prac wchodzących w proces technologiczny;
- stochastyczny charakter czasu i jakości wykonania operacji technologicznych.

Stochastyczny charakter przepływu zleceń wynika z losowego charakteru: czasu przybycia zleceń, objętości prac, specyfikacji zamówionego produktu. Efektywna metoda badania tego typu procesów polega na modelowaniu analitycznym i symulacyjnym.

### 8.5.2 Przekształcenie przepływu zleceń do przepływu elementarnych prac

W każdym momencie trwania procesu produkcyjnego istnieje zbiór zamówień, które potrzebują tego samego typu prac do ich wykonania. Zbiór prac jest rezultatem wstępnej specyfikacji zlecenia. Każda praca może być przedstawiona jako zbiór kolejnych operacji technologicznych. Porządek wykonania operacji technologicznych nazywa się marszrutą technologiczną. Różne prace mogą jednocześnie potrzebować tego samego sprzętu lub drogiego oprogramowania. Proces przetwarzania zleceń na zbiór prac i wyznaczenie odpowiedniej kolejności operacji został rozpatrzony w (Kushtina i Wołoszyn, 2000). Ogólny schemat relacji pomiędzy różnymi danymi, które odpowiadają specyfikacji każdego zlecenia przedstawiony jest na rysunku 91.



**Rys. 91. Uogólniony schemat specyfikacji zlecenia**  
(źródło: opracowanie własne)

Na rysunku 91 relacja „klient – objętość zlecenia – typ zlecenia” wskazuje na informacje o wyjściowym przepływie zleceń. Relacja „typ zlecenia – zestaw prac – typ pracy” daje informacje o typowych operacjach, które należy wykonać w ramach każdego ze zleceń. Relacja „typ pracy – operacja technologiczna – zasób produkcyjny” opisuje przydzielenie typowych prac zasobom produkcyjnym. Relacja „objętość zlecenia – objętość prac – zestaw prac” reprezentuje objętość tylko tych prac, które są włączone w specyfikację zlecenia. Na koniec relacja „objętość zamówionej pracy – parametry operacji – operacja technologiczna” daje parametry wszystkich operacji, które muszą być wykonane, aby zrealizować zlecenie.

Omawiany schemat przedstawia wszystkie statyczne parametry przepływu prac, które zależą od przepływu zleceń klientów. Dynamiczne parametry przepływu prac (intensywność przybycia, rozkład) wchodzi do modelu matematycznego przepływu prac. Używając statycznych i dynamicznych parametrów dostajemy możliwość ilościowego obliczenia funkcji kryterialnej.

### 8.5.3 Założenie diskutowanego zadania

Rezultatem opisanego w punkcie 8.5.2 procesu jest superpozycja kilku stochastycznych przepływów wejściowych orientowanych na wykorzystanie zbioru zasobów produkcyjnych w informacyjnej sieci usług wydawniczych. W tych warunkach mogą powstać dwie charakterystyczne sytuacje:

1. brak mocy produkcyjnej do terminowej obsługi wszystkich prac;
2. zasoby produkcyjne są niewykorzystane w wystarczającym stopniu (za duża niewykorzystana moc produkcyjna).

Ponieważ zaawansowany sprzęt produkcyjny jest bardzo drogi, jego niewystarczające wykorzystanie prowadzi do znacznych strat w wydawnictwie edukacyjnym. Z drugiej strony, brak mocy produkcyjnej powoduje poważne opóźnienia w procesie produkcyjnym, które również prowadzą do strat finansowych. Głównym problemem w sieci informacyjnej produkcji niematerialnej jest zatem znalezienie optymalnego wykorzystania każdego zasobu produkcyjnego, który gwarantuje minimalne wydatki produkcyjne.

Łańcuch dostaw w produkcji niematerialnej może być przedstawiony jako zbiór węzłów obsługujących jeden albo więcej przepływów prac, zleceń klientów. Każdy węzeł obsługi wykonuje określony rodzaj operacji technologicznych, a każdy wchodzący przepływ charakteryzuje się łańcuchem deterministycznym, który przedstawia sekwencję przechodzenia operacji technologicznych.

Na podstawie wyżej postawionego założenia problem optymalizacji węzłów produkcyjnych w informacyjnej sieci produkcji niematerialnej może być sformułowany następująco:

*Dane:*

1. Parametry zamówień klientów na produkt wydawniczy i ich specyfikacja.

$L$  – liczba typów zleceń klientów;

$l = 1, \dots, L$  – typ zlecenia klienta;

$K$  – liczba możliwych prac wchodzących w zlecenie,

$k = 1, \dots, K$  – typ pracy;

$$q_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli typ pracy 'k' wchodzi w specyfikację zlecenia typu 'l'} \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

$\bar{H} = (\eta_l)$  – wektor intensywności zleceń klientów;

$A = [a_{lk}]$  – macierz specyfikacji zleceń, gdzie  $a_{lk}$  – średnia objętość pracy typu  $k$  w zleceniu typu  $l$ .

Wykorzystując wektor intensywności  $\bar{H}$  i macierz specyfikacji  $A$  można policzyć następujące charakterystyki wejściowych przepływów prac:

$$\lambda_k = \sum_{l=1}^L \eta_l q_{kl} \text{ - średnia intensywność przybycia prac;}$$

$$v_k = \sum_{l=1}^L \eta_l a_{lk} \text{ - średnia objętość pakietu prac typu } k \text{.}$$

2. Proces przybycia prac i jego parametry

Założmy, że każda praca w strumieniu jest pakietem zadań (zbiór stron jednego typu z jednego zlecenia). Ponadto każdy przepływ prac jest stacjonarny i charakteryzuje się określonym typem rozkładu przybycia i objętości. Wprowadzić należy następujące oznaczenia:

$F = \{f_k\}$  – zbiór procesów przepływów prac;

$\lambda_k$  – średnia intensywność przybycia dla przepływu  $f_k$ ;

$X_k$  – rozkład procesu przybycia przepływu  $f_k$ ;

$v_k$  – średnia wielkość pakietu w przepływie  $f_k$  (średnia ilość zadań);

$Y_k$  – rozkład wymiaru pakietu dla przepływu  $f_k$ .

### 3. Struktura sieci informacyjnej

Struktura *sieci informacyjnej* może być przedstawiona jako digraf  $G = \{N, L\}$ , gdzie

$N = \{n_i\}$  – wierzchołki digrafu  $G$  są węzłami obsługi;

$L = \{l_j\}$  – krawędzie digrafu są kanałami łączącymi węzły.

### 4. Parametry węzłów obsługi

Każdy węzeł obsługi  $n_i$  składa się ze zbioru jednego typu serwerów  $s_i$ , wykonujących pewny typ operacji technologicznych. Parametry serwera  $s_i$  są następujące:

$\tilde{\tau}_i$  – średni czas obsługiwanego jednego zadania;

$\mu_i$  – wydajność obsługi (liczba zadań obsługiwanych przez jeden serwer w ciągu jednej jednostki czasu),  $\mu_i = 1/\tilde{\tau}_i$ .

W założeniu zadania przyjęto, że bufony wejściowe każdego węzła *sieci informacyjnej* są nieograniczone.

### 5. Marszruta technologiczna

Każdy przepływ prac  $k = 1, \dots, K$  przechodzi przez określoną marszrutę technologiczną, która jest sekwencją operacji technologicznych.

$W_k = (n_{k1}, n_{k2}, \dots, n_{kj}, \dots)$  – wektor technologii przepływu  $f_k$ , gdzie  $n_{kj}$  – indeks węzła obsługi sieci informacyjnej,  $j = 1, \dots, J_k$ , gdzie  $J_k$  – indeks operacji technologicznej.

W zadaniu założono, że wszystkie marszruty technologiczne są sekwencyjne i nie zawierają pętli. W ogólnym przypadku, każdy węzeł obsługi może wchodzić do kilku marszrut technologicznych, adekwatnych różnym przepływom prac. Dla modelowania relacji pomiędzy zbiorem węzłów obsługi  $n_i \in N$  i zbiorem przepływów prac  $f_k \in F$  zostaje wykorzystany binarny parametr:

$$r_{ki} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{if } n_i \in W_k \\ 0, \text{w przeciwnym przypadku} \end{array} \right\},$$

gdzie:

$k = 1, 2, \dots, K, i = 1, 2, \dots, I$ ;

$I$  - sumaryczna liczba węzłów.

#### Parametry kontrolne

Każdy węzeł obsługi może być przedstawiony jako wielokanałowy system obsługi masowej. Taka struktura daje możliwość realizacji równoległej obsługi dla wielu procesów jednocześnie. Należy zatem określić:

$m_i, i = \overline{1, I}$  – liczbę serwerów pracujących równoległe w węzle obsługi  $n_i$ ;

$\overline{M} = (m_1, m_2, \dots, m_I)$  – wektor parametrów decyzyjnych.

#### Funkcja kryterialna

Rozważmy dwa jej składniki:

1. Koszt produkcji w toku, który wynika z sumarycznego czasu wykonania zlecenia:

$$C_1 = \alpha \sum_{n_i \in N} T_i = \alpha \sum_{n_i \in N} \sum_{f_k \in F} r_{ki} (\tilde{\tau}_i^w + \tau_i^s) \lambda_k v_k,$$

gdzie:

$T_i$  – sumaryczny czas wykonania wszystkich zleceń przybywających do węzła obsługi  $n_i$  w ciągu jednej jednostki czasu;

$\alpha$  – koszt produkcji w toku sprowadzonej do jednostki czasu;



$\bar{\tau}_i^w$  i  $\tau_i^s$  – średni czas oczekiwania i obsługi, odpowiednio dla jednego zadania (strony) w węźle obsługiwania  $n_i$ .

2. Koszt wykorzystania zasobów *jest to sumaryczny koszt wykorzystania wszystkich serwerów we wszystkich węzłach w ciągu jednostki czasu,*

$$C_2 = \sum_{n_i \in N} P_i (\beta_i \rho_i + \gamma_i (1 - \rho_i)) ,$$

gdzie

$\beta_i$  – koszt pracy maszyny (serwera) w ciągu jednostki pracy;

$\gamma_i$  – koszt przestoju w węźle obsługi  $n_i$ ;

$\rho_i = \sum_{f_k \in F} r_{ki} \frac{\lambda_k}{P_i \mu_i}$  – wykorzystanie serwerów w węźle obsługi  $n_i$ .

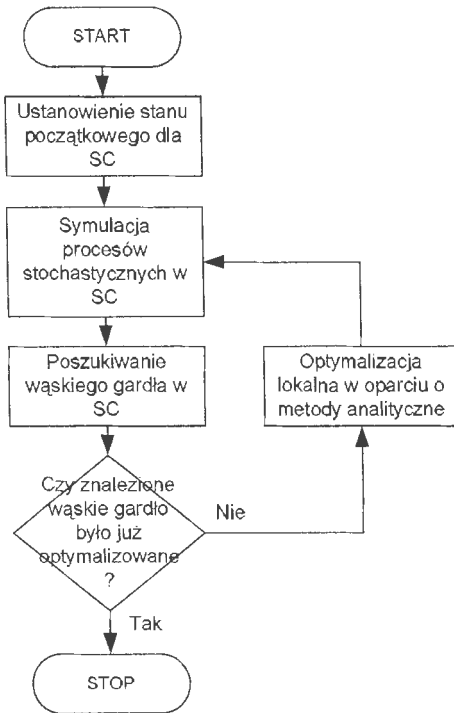
Jeśli liczba równoległych serwerów  $P_i$  powiększa się wtedy koszt  $C_1^i$  (koszt składnika  $C_1$  dla węzła  $n_i$ ) związany z produkcją w toku zmniejsza się, a koszt  $C_2^i$  (koszt składnika  $C_2$  dla węzła  $n_i$ ) powiązany z kosztem sprzętu rośnie. Możliwe jest określenie takich wartości parametrów kontrolnych, które gwarantują minimum kryterialnej funkcji:

$$CR = C_1 + C_2 = \min \quad (1)$$

Pierwszy składnik funkcji kryterialnej  $C_1$  określa czas wykonania zleceń, który musi być minimalizowany ze względu na klienta. Drugi składnik  $C_2$  określa inwestycje, które muszą być minimalizowane z punktu widzenia zarządzającego siecią informacyjną. Te składniki funkcji kryterialnej zależą od parametrów kontrolnych  $\bar{P} = (P_1, P_2, \dots, P_I)$ . Przedstawiony problem może być po formalizacji klasyfikowany jako zagadnienie dyskretnej optymalizacji z nieliniową funkcją celu, która zależy od stochastycznych i deterministycznych zmiennych.

#### 8.5.4 Algorytm optymalizacji

Sformułowany problem dyskretnej optymalizacji może być rozwiązany na bazie algorytmu numerycznego. Algorytm dla konfiguracji gwiazdy przedstawiony jest w (Korytkowski, Zaikin, 2004). Jednak dla sieci o dużej wymiarowości i dowolnej strukturze metoda ta nie może być wykorzystana. Pewną propozycją rozwiązania jest wykorzystanie algorytmu heurystycznego, zaproponowanego w (Dolgui i in., 2003), który opiera się na poszukiwaniu najbardziej obciążonego węzła obsługi, tak zwanego wąskiego gardła. W modelu (Dolgui i in., 2003), wąskim gardłem jest węzeł obsługi, który charakteryzuje się największą wartością kryterialnej funkcji (1). Dla sieci informacyjnej o dowolnej strukturze i dla dowolnego rodzaju rozkładów procesów przybycia i obsługi mogą być wykorzystane metody analityczne modeli obsługi masowej. W dowolnym przypadku możliwe jest wykorzystanie modeli symulacyjnych. Następnym krokiem algorytmu (Dolgui i in., 2003) jest poszerzenie wąskiego gardła, które może być rozwiązane metodą analityczną. Minimalizowana jest wartość funkcji kryterialnej dla węzła obsługi, będącego wąskim gardłem, przy wykorzystaniu metody analitycznej i aproksymacji Kleinrock'a (Kleinrock, 1975). Struktura algorytmu jest przedstawiona na rysunku 92. Poniżej opisane są kroki algorytmu.



**Rys. 92. Algorytm optymalizacji**  
(źródło: (Zaikin i in., 2005))

1) *Ustalenie początkowej wydajności węzłów sieci informacyjnej*

Procesy przybywające do każdego węzła obsługi mogą być traktowane jako niezależne. Istnieje zatem możliwość niezależnego ustalenia początkowej wartości parametrów kontrolnych dla każdego węzła obsługi. Twierdzenie takie jest możliwe przy następujących założeniach: liczbę serwerów dla każdego węzła obsługi ustala się na podstawie warunków balansu pomiędzy intensywnością procesu przybycia i wydajnością węzła

$$P_{i0} = \frac{1}{\mu_i} \sum_k r_{ki} \lambda_k \nu_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad i = 1, \dots, I$$

2) *Symulacja procesów stochastycznych w sieci informacyjnej*

Duże możliwości analizy łańcucha dostaw i wspomaganie decyzji daje symulacja (Kelton, 1997), która praktycznie nie ma ograniczeń na wymiarowość, rozkład procesu przybycia, dyscyplinę i czas obsługi. Rozważana sieć informacyjna przedstawia otwartą sieć kolejkową i może być modelowana jako zbiór łańcuchów systemów kolejkowych (Korytkowski, 2005).

Model symulacyjny skonstruowany jest z uwzględnieniem następujących warunków:

- Sieć informacyjna zawiera zbiór węzłów obsługujących kilka procesów przepływu prac.
- Każdy węzeł obsługi przedstawia wielokanałowy system kolejkowy z identycznymi, równoległymi serwerami. Wszystkie serwery mają tę samą wydajność oraz koszty pracy i przestoju.
- Przybywające przepływy prac mają różne parametry przybycia i obsługi (rozkład, intensywność przybycia i obsługi).
- Rozmiar bufora wejściowego w każdym węzle obsługi jest nieograniczony. Dyscyplina obsługi FIFO (pierwszy przyszedł, pierwszy obsłużony).

### 3) *Poszukiwanie wąskiego gardła w sieci informacyjnej*

Model symulacyjny daje możliwość określenia następujących charakterystyk dla każdego węzła obsługi:

- średni czas pobytu w systemie obsługi masowej;
- wykorzystanie i średni czas przestoju serwerów.

Wartość kryterialnej funkcji może być określona dla każdego węzła  $n_i$  na podstawie wyżej wymienionych charakterystyk. Węzeł z maksymalną wartością pierwszego składnika  $C_1^i$  funkcji kryterialnej może być wybrany jako wąskie gardło.

### 4) *Lokalna optymalizacja na podstawie modelu analitycznego*

Celem tego etapu jest optymalizacja kontrolnego parametru  $P_i$  dla wąskiego gardła, dająca minimalizację kryterialnej funkcji  $CR_i$ . Taka optymalizacja może być szybko wykonana przy użyciu modelu analitycznego w postaci:

#### a) *Aproksymacji Kleinrock'a*

Modelowanie analityczne systemu kolejkowego jest bardzo szybkim i sprawnym rozwiązaniem problemów optymalizacyjnych. Niestety analizowany system charakteryzuje się wieloma przepływami wejściowymi i dowolnym rozkładem procesów przybycia i obsługi. Dla takich systemów optymalizacja analityczna jest bardzo trudna, często wręcz niemożliwa. Zgodnie z aproksymacją Kleinrock'a (Kleinrock, 1975), suma wszystkich procesów przybycia do węzła obsługi może być modelowana jako proces markowski, jeśli nie ma korelacji pomiędzy różnymi procesami przybycia. Korzystając z aproksymacji Kleinrock'a dopuszcza się, by sumaryczny proces przybycia był procesem Poissona:

$$\Lambda_i = \sum_{k=1}^K \lambda_k r_{ki}, \quad M_i = \frac{\Lambda_i}{\tau_i \sum_k \lambda_k r_{ki} \nu_k},$$

gdzie

$\Lambda_i$  – całkowita intensywność przybycia;

$M_i$  – średnia intensywność obsługi w węzle  $n_i$ .

#### b) *Markowskiego systemu M/M/m*

Używając aproksymacji Kleinrock'a, system kolejowy G/G/m może być modelowany jako M/M/m. Dla tego typu systemu wszystkie niezbędne parametry mogą być otrzymane z literatury, w której przedstawiono pełen zbiór równań opisujących ten system (Hall, 1991), (Buzacott i Shanthikumar, 1993).

#### c) *Lokalnej optymalizacji*

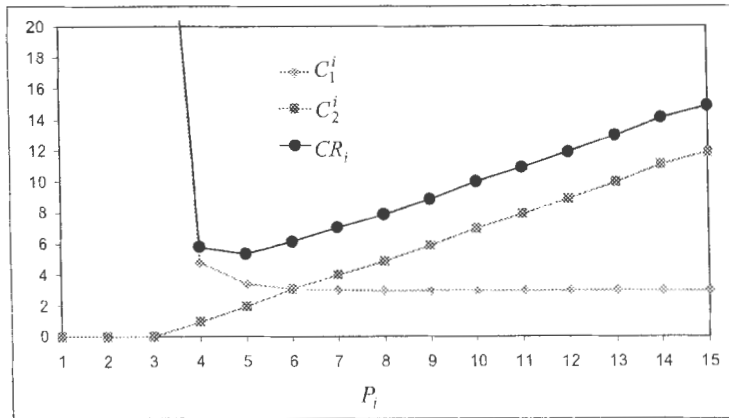
Minimalizacja lokalnej kryterialnej funkcji dla wybranego węzła obsługi jest zagadnieniem optymalizacji dyskretnej. Bazując na fakcie, że funkcja kryterialna  $CR_i$  jest unimodalna (rys. 93) i ma tylko jedną zmienną  $P_i$  można opracować prosty algorytm optymalizacji. Zaczynając od początkowej wartości  $P_i$  można ją powiększyć kontrolując warunek:

$$CR_i(P_i) < CR_i(P_i+1).$$

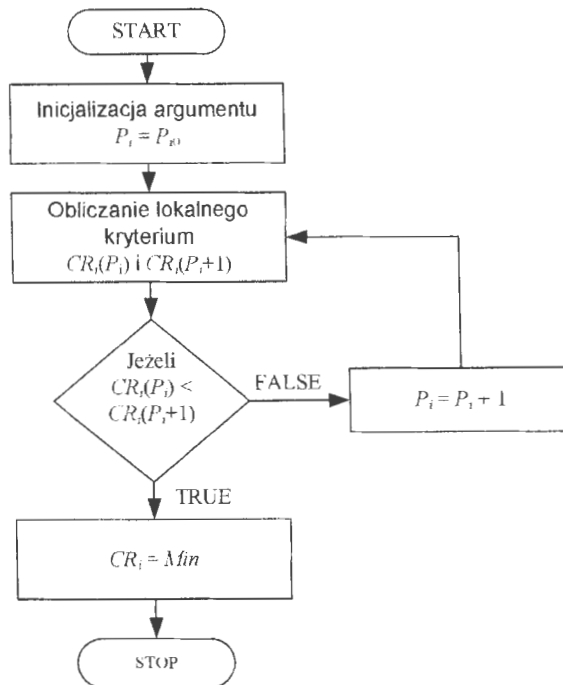
Gdy warunek ten jest spełniony oznacza to, że minimalna wartość  $CR_i$  została osiągnięta. Optymalna liczba równoległych serwerów równa jest  $P_i$ . Algorytm ten jest przedstawiony na rysunku 94.

#### 5) *Warunek stopu*

Decyzja o przedłużeniu procesu optymalizacji może być rozpatrzona na każdym kroku algorytmu optymalizacyjnego. Żeby zakończyć pracę algorytmu niezbędne jest określenie, czy jego przedłużenie polepszy rozmieszczenie zasobów łańcucha dostaw i jako wynik zmniejszy wartość funkcji kryterialnej  $CR$  (1). Może to być zrobione poprzez prostą kontrolę warunku, czy bieżący węzeł obsługi, będący wąskim gardłem, był optymalizowany na poprzednich krokach.



Rys. 93. Przykład funkcji kryterialnej  
(źródło: (Zaikin i in., 2005))

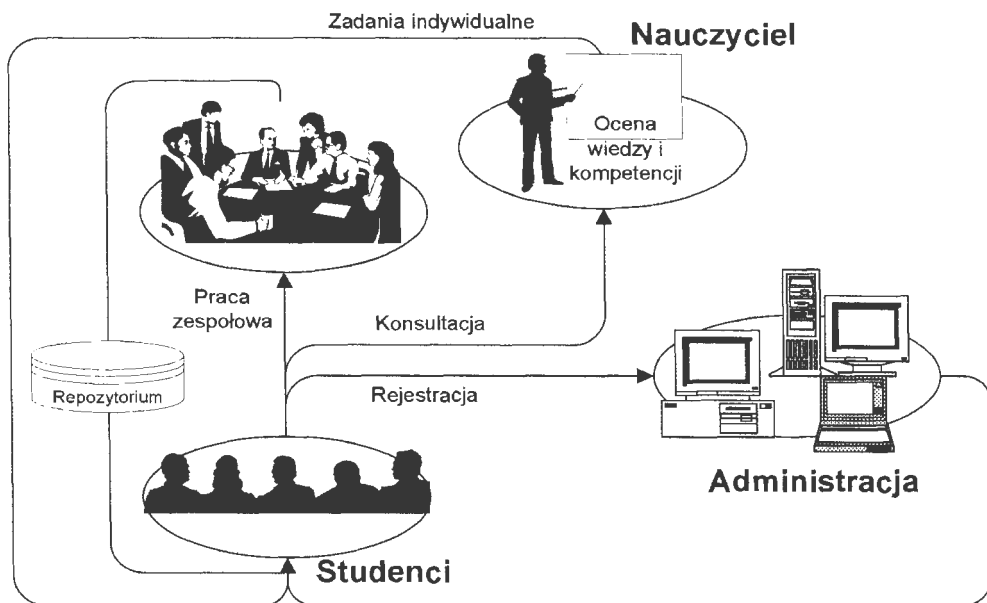


Rys. 94. Algorytm lokalnej optymalizacji  
(źródło: (Zaikin i in., 2005))

## 8.6. Optymalizacja parametrów zamkniętej sieci zdalnego nauczania

### 8.6.1 Struktura pierścieniowej sieci zdalnego nauczania

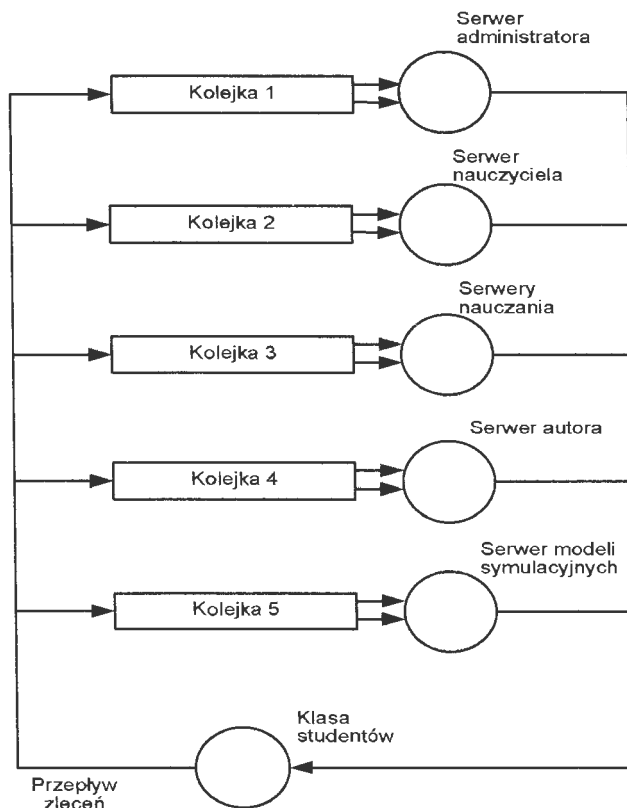
Rozpatrzmy proces nauczania zdalnego jako typową zamkniętą sieć kolejkową (rys. 95), zawierającą kilka specjalnych typów serwerów i jedną klasę uczących się, zwanych dalej studentami (Zaikin i in., 2000). Nauczanie zdalne jako zamknięta sieć kolejkowa może być opisana przy wykorzystaniu istniejących modeli analitycznych. Na przykład do rozwiązania zadania optymalizacji parametrów sieci nauczania zdalnego ważne jest uzyskanie z systemu nauczania niektórych charakterystyk typowych dla systemów kolejkowych takich jak: średnia liczba studentów w klasie, średni czas oczekiwania w kolejce, średni czas obsługi, średni czas namysłu dla każdego rodzaju zlecenia, czy też wykorzystanie serwerów.



Rys. 95. Referencyjny model pierścieniowej sieci nauczania zdalnego  
(źródło: (Zaikin i in., 2000))

Rozpatrzmy sytuację typową dla organizacji edukacyjnej – skończona populacja użytkowników, lokalna sieć (np. Intranet) i brak ograniczeń na długość kolejki oczekiwania. W swoich rozważaniach skupić się należy na zamkniętych sieciach kolejkowych. Struktura takiej sieci w kontekście nauczania zdalnego przedstawiona została na rysunku 96. W przypadku sieci zamkniętej proces nauczania zdalnego podzielimy na sześć głównych komponentów:

1. serwer studentów (Klasa);
2. serwer nauczania – repozytorium materiałów dydaktycznych;
3. serwer nauczyciela;
4. serwer symulacji – repozytorium modeli symulacyjnych;
5. serwer autora;
6. serwer administratora – SQL-owa baza danych rejestracji i identyfikacji.

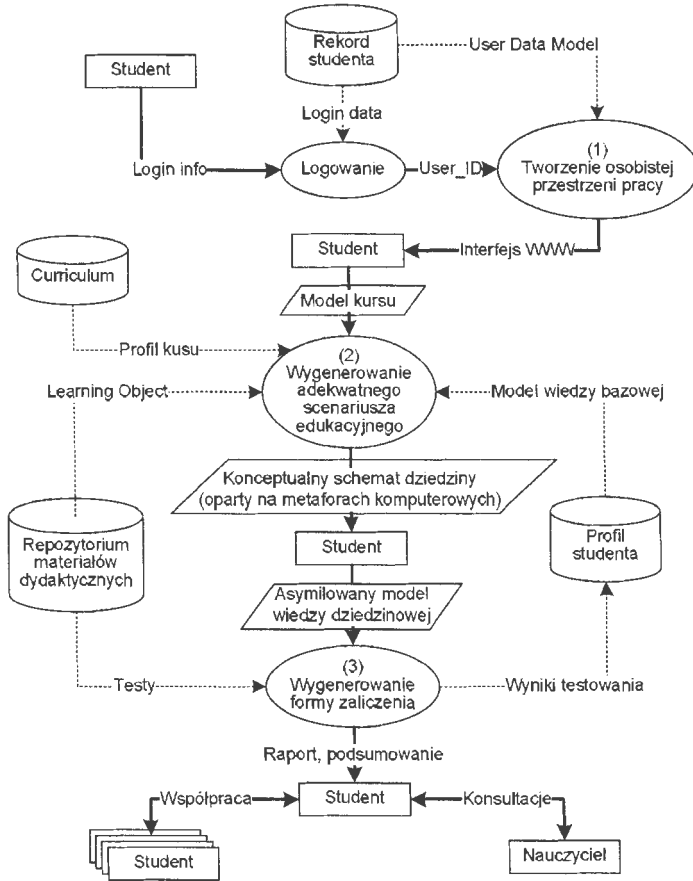


**Rys. 96. Struktura pierścieniowej sieci nauczania zdalnego**  
(źródło: (Zaikin i in., 2000))

Klasa studentów generuje zlecenia z losowymi interwałami czasu. Proces obsługi zleceń odbywa się według następującej kolejności:

- 1) Pierwsze zlecenie studenta przesyłane jest do serwera administratora w celu rejestracji i identyfikacji. Każdy student ma jednakowe charakterystyki przybycia i obsługi.
- 2) Student generuje zlecenia do serwera nauczyciela, by rozwiązać test wejściowy i otrzymać zadanie teoretyczne. Zlecenie do serwera nauczyciela może być wysłane kilka razy.
- 3) Student w celu wykonania zadania teoretycznego generuje zlecenia do:
  - a. serwera nauczania z dostępem do repozytorium materiałów dydaktycznych;
  - b. serwera nauczyciela (w celu konsultacji);
  - c. serwera administratora (w przypadku niepowodzenia).
- 4) Po teście wejściowym i przesłaniu odpowiedzi na pytania teoretyczne student zwraca się do serwera tutora z prośbą o otrzymanie zadania praktycznego, w danym przypadku zadania z modelem symulacyjnym.
- 5) Student generuje zlecenia do:
  - a. repozytorium modeli do przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego;
  - b. serwera tutora (do konsultacji);
  - c. serwera administracji.
- 6) Student wychodzi z systemu.

Algorytm procedury przechodzenia zleceń w procesie nauczania i kontroli pokazany jest na rysunku 97 i 98.



Rys. 97. Procedura opanowania wiedzy teoretycznej  
(źródło: (Kusztina, 2006))

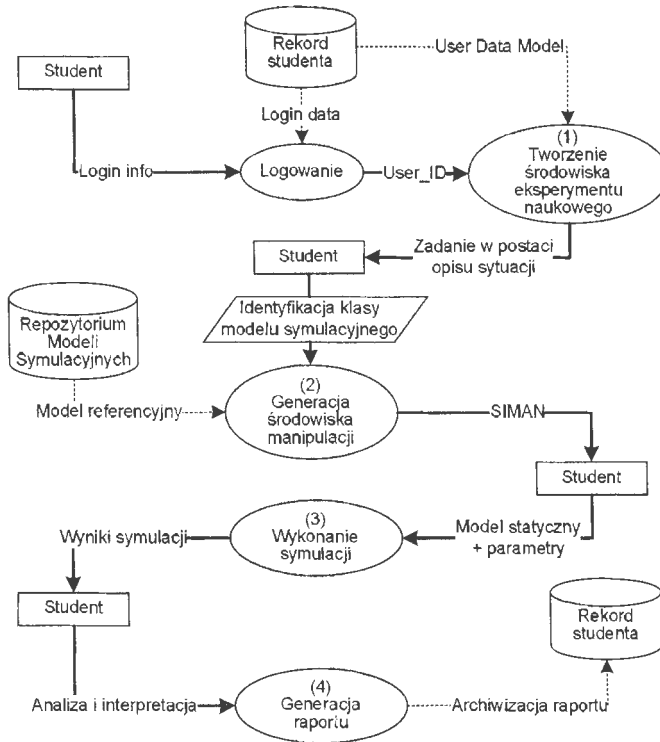
### 8.6.2 Założenie zadania

Przy dużej liczbie studentów i ich niezależności przepływ zleceń generowany w klasie studentów i przepływ zleceń przychodzących do każdego typu serwera można uważać za stacjonarny. Jeśli  $N$  jest liczbą studentów w klasie, to dla serwera nauczyciela pojemność bufora wejściowego musi być nie mniejsza niż  $N-1$ . Wiąże się to z tym, że z jednej strony w systemie nauczania nie może pojawić się równocześnie więcej niż  $N$  zleceń, z drugiej zaś – nie mogą się pojawić odmowy obsługi studentów. Proces generacji zleceń klasy studentów może być opisany rozkładem Poissona. Czas obsługi w serwerze nauczyciela przyjmowany jest jako wykładniczy.

W analizie rozpatrywana będzie sytuacja, gdy studenci muszą znaleźć materiały dydaktyczne na serwerze nauczania albo odpowiedni termin egzaminu na serwerze administracji. Ponieważ w modelu nauczyciel jest osobą podobną do konsultanta, zlecenia studentów na serwerze nauczania obsługiwane są w trybie konsultacji.

W sieci nauczania zdalnego występuje kilka typów serwerów i odpowiednich systemów kolejkowych. Każdy z serwerów ma różną wydajność i wykorzystanie. Do ich opisu stosujemy notację Kendalla. W sieci kolejkowej zlecenia studentów traktowane są jak zamówienia użytkowników. Rozpatrzmy skończoną populację klientów. W ogólnym

przypadku, różni studenci potrzebują różnego czasu do namysłu. Wiąże się to z kognitywnymi cechami studenta. Oprócz tego istotne jest zapewnienie możliwości wyboru materiału i dostarczanie go na czas. W rozważaniach sytuacja została uproszczona i przyjęto założenie, że każdy student ma ten sam model kognitywny.



**Rys. 98. Procedura przechodzenia zadania laboratoryjnego (eksperyment symulacyjny)**  
(źródło: (Kushtina, 2006))

W przypadku systemu nauczania zdalnego wyróżniają się następujące systemy kolejkowe (rys. 96):

- 1 *Serwer administratora M/D/1/N* – zlecenia od studentów przybywają zgodnie z procesem Poissona. Rozkład czasu obsługi jest deterministyczny (stały). Liczba serwerów jest równa 1. Pojemność systemu równa jest liczbie studentów (N). Dyscyplina obsługi FIFO.
- 2 *Serwer nauczyciela M/M/1/N* – zlecenia od studentów przybywają zgodnie z procesem Poissona. Rozkład czasu obsługi jest wykładniczy. System zawiera tylko jednego nauczyciela. Pojemność systemu równa jest liczbie studentów (N). Dyscyplina obsługi FIFO.
- 3 *Serwer nauczania (materiałów dydaktycznych) M/M/X/N/time sharing* – zlecenia od studentów przybywają zgodnie z procesem Poissona. Rozkład czasu obsługi jest wykładniczy. Liczba serwerów równa się X, gdzie wielkość X uwarunkowana jest czynnikami ekonomicznymi. Pojemność systemu jest równa liczbie studentów (N). Czas pracy serwera jest równo dzielony pomiędzy wszystkimi zleceniami znajdującymi się w systemie (ang. *time sharing*).



- 4 Serwer tutora  $M/M/1/N$  – zlecenia od studentów przybywają zgodnie z procesem Poissona. Rozkład czasu obsługi jest wykładniczy. Liczba serwerów jest równa 1. Pojemność systemu jest równa liczbie studentów ( $N$ ). Dyscyplina obsługi  $FIFO$  – pierwszy przyszedł, pierwszy obsłużony.
- 5 Serwer modeli symulacyjnych  $M/E/N/N$  – zlecenia od studentów przybywają zgodnie z procesem Poissona. Rozkład czasu obsługi jest erlangowski. Liczba serwerów jest równa 1. Pojemność systemu jest równa liczbie studentów ( $N$ ). Dyscyplina obsługi  $FIFO$  – pierwszy przyszedł, pierwszy obsłużony. Erlangowski czas obsługi  $E^k$  spowodowany jest faktem, że proces obsługi każdego zadania jest wielofazowy, gdzie  $k$  jest liczbą faz eksperymentu symulacyjnego. Czas obsługi każdej fazy eksperymentu może być opisany rozkładem wykładniczym.
- 6 Klasa studentów  $M/MN/N$  – generuje zlecenia całkowicie losowo. Interwał czasowy pomiędzy zleceniami jest losowy. Zarówno liczba studentów, jak i pojemność systemu ograniczona jest liczbą  $N$ .

Do zbudowania modelu systemu nauczania zdalnego potrzebne jest określenie średniego czasu przebywania żądań w kolejkach, średniego wykorzystania serwerów i średniego czasu spędzonego w całej sieci. W ogólnym przypadku system kolejkowy  $q_s$  może być zdefiniowany za pomocą następujących parametrów: intensywność przybycia zleceń  $\lambda_s$ , intensywność obsługi  $\mu_s$  i średni czas obsługi zlecenia  $\tilde{\tau}_s = 1/\mu_s$ , liczba równoległych serwerów  $N_s$ , rozmiar bufora wejściowego  $b_s$  oraz wykorzystanie serwera  $\rho_s$ .

Należy określić liczbę serwerów w każdym systemie kolejkowym, mając na uwadze to, iż każdy typ serwerów ma inną wydajność i koszty przestojów. Poniżej przedstawiony jest formalny model przydzielenia zasobów w zamkniętej sieci kolejkowej.

*Dane wejściowe*

$N$  – liczba studentów w klasie;

$\nu_i, i = 1, 2, \dots, I$  – intensywność przybycia zleceń studentów do serwera  $s_i$  (od jednego ucznia);

$\tilde{\tau}_i^s, i = 1, 2, \dots, I$  – średni czas obsługi dla serwera  $s_i$ ;

$\mu_i = 1/\tilde{\tau}_i^s$  – średnia intensywność obsługi dla serwera  $s_i$ .

*Parametry kontrolne*

$X_i, i = 1, 2, \dots, I$  – liczba maszyn pracujących równoległe dla każdego z serwerów  $s_i$ .

*Funkcja kryterialna*

Funkcja kryterialna zawiera trzy składniki:

1. Sumaryczny czas przetwarzania wszystkich zleceń klientów, przybywających na jednostkę czasu:

$$T_{\Sigma} = \sum_i N \nu_i \tau_i^s = \sum_i \lambda_i \tilde{\tau}_i^s (X_i),$$

gdzie:

$\lambda_i = \nu_i N$  – sumaryczna intensywność przybycia zleceń klientów do serwera  $s_i$ ;

$\tilde{\tau}_i = \tilde{\tau}_i^w + \tilde{\tau}_i^s$  – średni czas pobytu zlecenia w serwerze  $s_i$ ;

$\tilde{\tau}_i^w$  – średni czas oczekiwania zlecenia w kolejce serwera  $s_i$ ,  $\tilde{\tau}_i^w = F(X_i)$ ;

$\tilde{\tau}_i^s$  – średni czas obsługi zlecenia w serwerze  $s_i$ .

2. Sumaryczny koszt serwerów (sprzęt i oprogramowanie)

$$C_{\Sigma} = \sum_i X_i c_i,$$

gdzie:

$c_i$  -- koszty jednego serwera typu  $s_i$ ,

3. Sumaryczne koszty pracy i przestoju serwerów (personelu, sprzętu i oprogramowania):

$$U_{\Sigma} = \sum_i [(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i X_i})\delta_i + \frac{\lambda_i}{\mu_i X_i})\gamma_i],$$

gdzie

$\delta_i, \gamma_i$  – wydatki spowodowane pracą lub przestojem jednego serwera typu  $s_i$  w ciągu jednostki czasu odpowiedzi.

Istnieje kilka metod, które pozwalają znaleźć kompromis pomiędzy wyżej wymienionymi składnikami. Należy do nich m.in.: wybór jednego parametru jako kryterialnej funkcji i przyjęciu pozostałych parametrów jako ograniczeń, wprowadzenie współczynników ważonych oraz optymalizacja Pareto.

Przy rozwiązaniu tego zadania wykorzystane będzie pierwsze podejście, czyli wybrany zostanie pierwszy komponent  $T_{\Sigma}$  (czas przetwarzania wszystkich zleceń klientów) jako kryterium, a dwa następne –  $C_{\Sigma}$  (sumaryczny koszt serwerów) i  $U_{\Sigma}$  (przebieg serwerów) stanowią ograniczenia. Zadanie modelowania przepływu prac może być wówczas sformułowane następująco:

*Dla zadanego zbioru typów serwerów  $s_i, i = 1, \dots, J$ , włączonych w zamkniętą sieć nauczania zdalnego oraz parametrów serwerów każdego typu  $(N, v_i, \tilde{\tau}_i^s, \mu_i)$ , należy określić liczbę równoległych serwerów każdego typu  $X_i, i = 1, \dots, J$ , gwarantujących minimum czasu sumarycznego potrzebnego do realizacji wszystkich otrzymanych zleceń:*

$$T_{\Sigma} = \sum_i N v_i (\tilde{\tau}_i^w + \tilde{\tau}_i^s) = \min(X_i, i = 1, \dots, J).$$

*przy ograniczeniu na koszty sumaryczne zasobów edukacyjnych (personel, sprzęt i oprogramowanie):*

$$\alpha C_{\Sigma} + U_{\Sigma} = \alpha \sum_i \{X_i c_i + (1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i X_i})\delta_i + \frac{\lambda_i}{\mu_i X_i})\gamma_i\} \leq C_0.$$

### 8.6.3 Metoda rozwiązania

Sformułowane w punkcie 8.6.2 zadanie jest zadaniem programowania całkowitoliczbowego przy nieliniowej funkcji celu z nieliniowymi ograniczeniami. W przypadku ogólnym, przy dowolnym rozkładzie przepływu zleceń w sieci i dowolnym czasie ich obsługi, zadanie to nie nadaje się do rozwiązania tylko w oparciu o metody analityczne. Konieczne jest wykonanie eksperymentu na modelu symulacyjnym.

Przypuśćmy, że egzamin w opisanej wyżej sieci nauczania zdalnego składa się ze stałej liczby pytań dla każdego ze studentów w klasie. Sumaryczny czasu egzaminu może być wyrażony następująco wzorem:

$$T_{exam} = qN(\tilde{T}_c + \tilde{T}_R) + q \sum_{k=0}^{N_0} \tilde{T}_A(N),$$

gdzie:

$q$  – liczba pytań dla każdego studenta;

$(\tilde{\tau}_i + \tilde{\tau}_k)$  – średni czas namysłu i odpowiedzi;

$\tilde{T}_A$  – średni sumaryczny czas spędzony przez studenta w sieci;

$N_0$  – początkowa liczba studentów w klasie.

Średni sumaryczny czas  $\tilde{T}_A$  może być wyrażony jako suma ważona czasu spędzonego przez studenta w każdym z typów serwerów:

$$\tilde{T}_A = \sum_i v_i \tilde{\tau}_i = \sum_i v_i (\tilde{\tau}_i^u + \tilde{\tau}_i^s).$$

Zdefiniujmy  $p_i$  jako prawdopodobieństwo skierowania się do serwera  $s_i$ . Z warunku normalizacji  $\sum_i p_i = 1$  wynika, że

$$p_i = \frac{v_i}{\sum_i v_i}.$$

W ogólnym przypadku intensywność przybycia zleceń w zamkniętej sieci kolejkowej może być określona za pomocą układu równań liniowych (ang. *traffic equation*)

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^M \lambda_j p_{ji} = \lambda_c p_i, i=1, \dots, I, \lambda_c = \sum_{i=1}^M \lambda_i,$$

gdzie:

$M$  – liczba serwerów;

$P = \|p_{ij}\|$  – macierz przejść.

Średnia liczba zleceń oczekujących w kolejce serwera  $s_i$  może być określona za pomocą:

$$E[k_i] = \sum_{k=0}^{k_0} k P[k_i = k],$$

$$P[k_i = k] = \sum_{\tilde{k} \in S, k_i = k} P(\tilde{k}).$$

W literaturze (Gordon i Newell, 1967) pokazano, że dla takiego typu zamkniętej sieci kolejkowej prawdziwa jest następująca forma iloczynu, przedstawiona poniżej:

$$P(\tilde{k}) = P(\tilde{0}) \prod_i \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{k_i}, \text{ gdzie:}$$

$$P(\tilde{0}) = \left\{ \sum_{\tilde{k} \in S} \prod_i \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{k_i} \right\}^{-1};$$

$P(k_i=k)$  – prawdopodobieństwo oczekiwania  $k_i$  zleceń w kolejce;

$P(\tilde{k})$  – prawdopodobieństwo stanu  $\tilde{k}$ ;

$P(\tilde{0})$  – prawdopodobieństwo stanu “zero”.

## 8.7. Podsumowanie

Sieć produkcyjną organizacji edukacyjnej należy rozpatrywać jako środowisko produkcji niematerialnej, które przeznaczone jest do realizacji usług kształcenia oraz projektowania i wdrożenia materiałów dydaktycznych w postaci Learning Object przechowywanych w repozytorium wiedzy. Podstawowym zagadnieniem projektowania sieci

produkcyjnej jest dopasowanie jej parametrów do wymagań procesów, jakie zachodzą w organizacji edukacyjnej. Główną metodą badania jest połączenie teorii obsługi masowej z metodami programowania dyskretnego.

Otwarty System Nauczania Zdalnego to jeden z rodzajów produkcji niematerialnej, która realizowana jest głównie na poziomie informacyjnym i zorientowana na indywidualne zamówienia użytkowników produktu końcowego. W tym kontekście użytkownikiem zostaje student, który zgłasza się na uczelnię w celu zdobywania określonych kompetencji. Środowiskiem realizacji produkcji niematerialnej jest sieć produkcyjna. Przy określonej strukturze organizacyjnej przedsiębiorstwa edukacyjnego powstaje problem optymalnego przydzielenia zasobów w sieci produkcyjnej. W systemie zarządzania procesem nauczania studentów problem przydzielenia zasobów można formalizować jako zamkniętą sieć kolejkową, zawierającą kilka specjalizowanych typów serwerów. Algorytm optymalizacji parametrów sieci produkcyjnej opiera się na kombinacji modeli funkcjonowania systemów kolejkowych i modeli symulacyjnych procesów dyskretnych.

Podstawowym środkiem realizacji produkcji niematerialnej jest sieć produkcyjna. W warunkach rynkowych instytucja edukacyjna staje się rozproszonym przedsiębiorstwem edukacyjnym (RPe), w którym sieć produkcyjną traktuje się jako środowisko przebiegu procesu edukacyjnego. Przy określonej strukturze i stanie przedsiębiorstwa edukacyjnego powstaje problem optymalnego wykorzystania zasobów produkcyjnych, tworzących sieć produkcyjną. Zadanie optymalizacji sieci produkcyjnej jest zadaniem złożonym i wielowymiarowym. Z tego powodu jedynym sposobem rozwiązania integralnego zadania optymalizacji sieci produkcyjnej staje się jego hierarchiczna (po-etapowa) dekompozycja.

## 8.8. Bibliografia

- e-Quality: Quality implementation in open and distance learning in a multicultural European environment, the Socrates/Minerva European Union Project, 2003–2006, <http://www.e-quality-eu.org/>.
- Azadivar, F. and Lee, Y. (1988), Optimization of discrete variable stochastic systems by computer simulation, *Mathematics and Computers in Simulation*, 2331-345.
- Biethan, J. and Nissen, V. (1994), Combinations of simulation and evolutionary algorithms in management science and economics, *Annals of Operations Research*, 32, 183-208.
- Buzacott, J. and Shanthikumar, J. (1993), *Modelling and analysis of manufacturing systems*: Wiley & Sons, New York.
- Cohen M.A., Lee H.L. (1989), Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks, *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, 81-104.
- Dolgui A., Zaïkin O., Kushtina E., Korytkowski P., 2003. Modelling and optimization of the processing nodes performance in Computer aided Control Systems of distributed Production of Printer Matter, *Automation and Remote Control*, 64(9), 1501 – 1506.
- Gordon W., Newell G. (1967), Closed Queuing Systems with Exponential Servers, *Operation Research*, 15, 254-265.
- Graves S.C., Kletter D.B., Hetzel W.B. (1998), A dynamic model for requirements planning with application to supply chain optimization, *Operations Research*, 46(3), 35-49.
- Guariso G., Hitz, M. and Werthner, H. (1996), An integrated simulation and optimization modeling environment for decision support, *Decision Support Systems*, 1, 103-117.
- Hall R.W. (1991), *Queuing methods for service and manufacturing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New York.
- Kelton W.D., Sadowski, R.P. and Sadowski, D.A. (1997), *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, New York.
- Kleinrock, L. (1975) *Queuing Systems*, John Wiley, New York.
- Korytkowski P. (2005), Modelowanie i optymalizacja zdolności produkcyjnej w systemach potokowej produkcji niematerialnej, Rozprawa doktorska, Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej.
- Korytkowski P., Zaïkin O. (2004), Zarządzanie zdolnością produkcyjną w produkcji niematerialnej, W: R. Kulikowaki et al. (Red.), *Badania operacyjne i systemowe 2004: Podejmowanie Decyzji, Podstawy Metodologiczne i Zastosowania*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 207-218.
- Kushtina E. (2006), *Koncepcja otwartego systemu informacyjnego nauczania zdalnego*, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin.
- Kushtina E., Woloszyn M. (2000), Method of workflow optimization in publishing SME. In: 7th St. Petersburg International Conference Regional Informatics 2000 RI-2000, St. Petersburg.

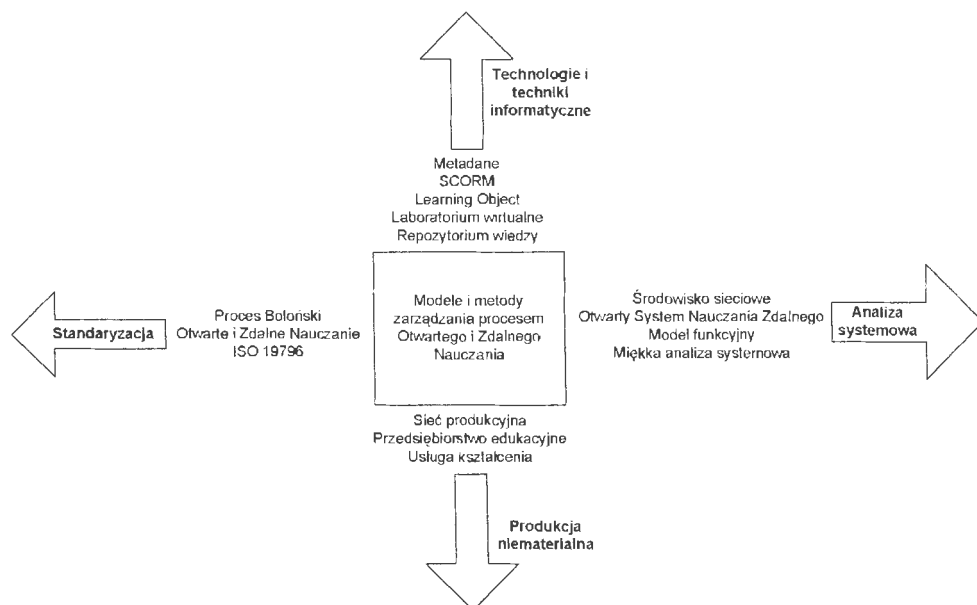
- Shannon D. (1978), *Simulation modeling of systems - Art and science*. - M.: The World.
- Sovetov B., Jakovlev S. (1998), *Modelling of the systems*, High School, Moscow.
- Zaikin O., Kushtina E., Różewski P. (2006), Problem optymalizacji struktury i parametrów sieci produkcyjnej organizacji edukacyjnej, W: E. Urbańczyk, A. Straszak, J. Owsinski (Red.), *Badania operacyjne i systemowe 2006: Analiza systemowa w globalnej gospodarce opartej na wiedzy: e-Wyzwania*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2006, 337-347.
- Zaikin O., Różewski P. (2005), Wirtualne laboratorium symulacji procesów produkcyjnych: program e-Quality, I Konferencja Nowe technologie w kształceniu na odległość, Koszalin - Osieki, 9-11 czerwiec, 287-296.
- Zaikin O., P. Korytkowski E. Kushtina, Malachowski B. (2005), *Modelling of the Supply Chain for a Distributed Publishing Enterprise*, In: A. Dolgui et al. (eds.), *Supply Chain Optimisation*, Wydawnictwo Springer, Berlin, 101-116.
- Zaikin O., Kushtina E., Korytkowski P. (2003), Modelowanie i optymalizacja węzłów wytwórczych w rozproszonej produkcji niematerialnej. *Automatyka i Telemekhanika*, 9, 155- 161.
- Zaikin O. (2002). *Queuing Modelling Of Supply Chain In Intelligent Production*, Wydawnictwo Informa, Szczecin.
- Zaikin O., Dolgui A., Korytkowski P. (2002), *Optimisation of Resource Allocation in Distributed Production Networks*, In: Dunin-Klepicz B., Nawarecki E. (Eds.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 2296, Wydawnictwo Springer-Verlag, Berlin, 322-332.
- Zaikin O. (2002). *Resource Distribution in Automatic Production Control for Nonmaterial Products: A Mathematical Model*, *Automation and Remote Control*, 63(8), 1351-1356.
- Zaikin O., Kushtina E., Woloszyn M., Korytkowski P. (2001), *Stochastic simulation modeling in manufacturing resources planning for publishing enterprise*, In: Soldek J., Pejas J. (Eds.), *Advanced Computer Systems*, Wydawnictwo Informa, Szczecin. 167-175.
- Zaikin O., Dolgui A. (2000), *Simulation model for optimization of resources allocation in the queuing networks* –In: *Proceed. of IMACS Symposium on Mathematical Modelling 3rd MATHMOD*, Argesim Report #15, Vienna.
- Zaikin O., Kushtina E., Różewski P. (2000), *Analiza wykorzystania sieci telekomunikacyjnych w zastosowaniach nauczania na odległość*, W: *Materiały z V Poznańskich Warsztatów Telekomunikacyjnych*, Politechnika Poznańska. 1.6-1 - 1.6-4.

## 9. Zakończenie

Edukacja jako instytucja społeczna istniała od zawsze i przez długi czas opierała się na prawie niezmiennych zasadach. Tempo rozwoju związanego z globalizacją spowodowało jednak, że te zasady się zmieniły (np. uczenie się przez całe życie, personalizacja). Sformułowany został nowy paradygmat działania systemu edukacyjnego oraz zmieniona (rozszerzona) została docelowa grupa jego odbiorców. Można również zauważyć nowe miejsce systemu nauczania w rozwoju gospodarki światowej, pokazane m.in. w korelacji państw bogatych z wysokim poziomem wykształcenia ich obywateli. Wszystkie te czynniki powodują, że w dyskusji na temat systemów edukacyjnych należy zmierzyć się ze zmianą paradygmatu, co oznacza, że ciągle istnieje konieczność zachowania pierwotnej misji przy zamianie metod i technik nauczania.

Systemy edukacyjne na poszczególnych kontynentach, ze względu na wolny, globalny przepływ pracowników, ulegają standaryzacji. Autorzy pokazali co najmniej dwa poziomy standaryzacji systemów edukacyjnych. Pierwszy poziom jest reprezentowany przez koncepcję Otwartego i Zdalnego Nauczania (ang. Open and Distance Learning). W ramach tej koncepcji powstaje standaryzowane środowisko nabywania kompetencji na poziomie podstawowym, które zapewnia także możliwość ich późniejszego rozwoju. Drugi poziom to Proces Boloński integrujący we wspólny system edukacyjny, organizacyjny i treściowo, kraje Europy. Przedstawione kierunki standaryzacji są nieuniknione. Jako przykład tego działania można podać obecnie stosowany system punktowy ECTS.

W książce świadomie poruszony został szeroki zakres materiału, ponieważ zmiana paradygmatu działania systemu edukacyjnego nie może obejść się bez badań naukowych. Przedstawiony zakres badań naukowych tworzy nową dziedzinę, której wymiar przedstawiony został na rysunku 99.



Rys. 99. Kierunki dalszej analizy zagadnień przedstawionych w książce (źródło: opracowanie własne)

Kierunki dalszych badań, bazujące na rysunku 99, mogą być następujące:

- Standaryzacja  
Opracowanie standardów które opisują nie tylko aspekt informatyczny systemów nauczania zdalnego ale również informacyjny.
- technologie i techniki informatyczne  
Opracowanie systemów pozwalających na personalizację oraz zarządzanie na poziomie semantycznym.
- Analiza systemowa  
Wykorzystanie modeli kompetencji i metod teorii gier oraz modelowania ontologicznego i metod reprezentacji wiedzy do analizy systemowej słabo formalizowanych procesów opartych na przetwarzaniu wiedzy.
- Produkcja niematerialna  
Opracowanie algorytmów i standardów sieci informacyjnej, pracującej na poziomie wiedzy i kompetencji.

Głównym celem autorów było pokazanie metodologii budowy systemu informacyjnego nauczania zdalnego posiadającego następujące właściwości:

- otwartość: dostosowanie systemu informacyjnego do wymagań rynkowych;
- inteligencja: wielopoziomowe zarządzanie wiedzą;
- adaptacyjność: personalizowany cykl życia studenta;
- wydajność: optymalizacja sieci produkcyjnej.

Przedstawiony w książce materiał składa się na nowy kierunek badań naukowych, który w swej naturze jest wielodyscyplinarny. Autorzy zakładają, że już niedługo zostanie on ujęty w ogólnie przyjętej taksonomii naukowych kierunków.





Książka poświęcona jest następującym zagadnieniom: koncepcja europejskiego systemu edukacyjnego, koncepcja otwartego i zdalnego nauczania, jakość w systemie edukacyjnym, sieciowe środowisko nauczania zdalnego, uwarunkowania kognitywne nauczania zdalnego, organizacja i struktura systemów informacyjnych w nauczaniu zdalnym, standardy i organizacje zajmujące się zagadnieniem nauczania zdalnego, modele zarządzania otwartym systemem nauczania zdalnego, modele systemu informatycznego klasy LMS/LCMS, modelowanie wiedzy w nauczaniu zdalnym, laboratorium wirtualne jako przykład inteligentnego systemu informacyjnego, modele sieci informacyjnej w przedsiębiorstwie edukacyjnym.

**ISSN 0208-8029**

**ISBN 9788389475169**

---

---

**Instytut Badań Systemowych PAN**  
tel. (4822) 3810241 / 3810273 e-mail: [biblioteka@ibspan.waw.pl](mailto:biblioteka@ibspan.waw.pl)