

Mirosław Hajder

Piotr Hajder

Mariusz Nycz



OGÓLNOPOLSKA SIEĆ KOMPUTEROWA EDUKACJI STUDIUM PRZYPADKU

Mirosław Hajder
Piotr Hajder, Mariusz Nycz

Ogólnopolska sieć komputerowa edukacji – studium przypadku

Rzeszów, 2017

Recenzja:

Prof. dr hab. Sergiy Kryvyy

Prof. dr hab. Alexandr Provotar

Autor:

Mirosław Hajder – Katedra Elektroniki i Telekomunikacji, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

Piotr Hajder – Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Mariusz Nycz – Zakład Systemów Złożonych, Politechnika Rzeszowska

Redakcja i korekta:

Agnieszka Hajder

Projekt okładki i stron tytułowych:

Lucyna Hajder

Skład, łamanie i przygotowanie do druku:

Mirosław Hajder, Mariusz Nycz, Piotr Hajder

ISBN 978-83-64286-51-3

© Copyright by Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2017

Wydawca:

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

35-225 Rzeszów, ul. Sucharskiego 2

e-mail: wsiz@wsiz.rzeszow.pl, tel. 17-866-11-11

www.wsiz.rzeszow.pl



**WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI I ZARZĄDZANIA**
z siedzibą w Rzeszowie

Spis treści

ROZDZIAŁ 1 ZAKRES ROZWIĄZANIA ZADANIA	5
ROZDZIAŁ 2 FORMALNO-PRAWNE PODSTAWY OPRACOWANIA	7
2.1. WSTĘP	7
2.2. DEFINICJE PROCESU PROJEKTOWANIA	7
2.3. BAZA OPRACOWANIA.....	10
ROZDZIAŁ 3 ANALIZA CELOWOŚCI REALIZACJI PROJEKTU.....	11
3.1. WSTĘP	11
3.2. SPOŁECZEŃSTWO INFORMACYJNE I WYKLUCZENIE CYFROWE.....	11
3.3. REGIONALNA INFRASTRUKTURA INFORMACYJNA	13
3.3.1. <i>Pojęcie regionalnej infrastruktury informacyjnej</i>	13
3.3.2. <i>Budowa i modernizacja regionalnej infrastruktury informacyjnej</i>	14
3.3.3. <i>Koszty eksploatacji regionalnej infrastruktury informacyjnej</i>	16
3.4. WYKLUCZENIE CYFROWE NA OBSZARZE PODKARPACIA.....	19
3.5. STATYSTYKA WYKLUCZENIA NA OBSZARZE PODKARPACIA	20
3.6. INTERNET W SZKOŁACH	24
3.7. PODSUMOWANIE.....	25
ROZDZIAŁ 4 PODSTAWY TEORETYCZNE ANALIZY ROZWIĄZAŃ ALTERNATYWNYCH	27
4.1. WSTĘP	27
4.2. ELEMENTY TEORII GRAFÓW	27
4.3. SIEĆ Z ORGANIZACJĄ HIERARCHICZNĄ.....	31
4.3.1. <i>Cechy systemów hierarchicznych</i>	31
4.3.2. <i>Detalizacja hierarchii stratyfikowanej</i>	36
4.4. FORMALNY OPIS STRUKTURY SYSTEMÓW HIERARCHICZNYCH.....	39
4.5. WNIOSKI.....	46
ROZDZIAŁ 5 ALTERNATYWNE ARCHITEKTURY SIECI.....	47
5.1. WSTĘP	47
5.2. SIECI PŁASKIE I HIERARCHICZNE	47
5.3. SIECI RDZENIOWE I JEDNORODNE.....	48
5.4. ARCHITEKTURY SIECI HIERARCHICZNYCH	48
ROZDZIAŁ 6 ALTERNATYWNE SPOSOBY REALIZACJI SIECI.....	57
6.1. WSTĘP	57
6.2. BUDOWA W OPARCIU O SIECI REGIONALNE	57
6.3. BUDOWA W OPARCIU O SIECI OPERATORÓW	58
6.4. ZLECENIE USŁUGI DOSTĘPU	58
6.5. PODSUMOWANIE.....	59
ROZDZIAŁ 7 ANALIZA TOPOLOGICZNA PEŁNEGO ROZWIĄZANIA.....	61
7.1. INFORMACJE PODSTAWOWE.....	61
7.2. SIEĆ PRZYŁĄCZENIOWA	61
7.3. PARAMETRY TOPOLOGICZNE NUTS-3	64
7.4. LOKALIZACJA WĘZŁÓW CENTRALNYCH NUTS.....	70

7.5.	LOKALIZACJA CPD	75
7.6.	ANALIZA RUCH W WĘZŁACH NUTS3	79
ROZDZIAŁ 8 ANALIZA ROZWIĄZANIA CZĄSTKOWEGO		83
8.1.	INFORMACJE PODSTAWOWE	83
8.2.	PREZENTACJA ROZWIĄZANIA	83
ROZDZIAŁ 9 ALTERNATYWY ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH.....		89
9.1.	TECHNOLOGIE Z GRUPY GPON	89
9.1.1.	<i>Scenariusz 1: Bit Stream Access (BSA)</i>	<i>89</i>
9.1.2.	<i>Scenariusz 2: Infrastruktura sieciowa w oparciu o rozwiązania xPON.....</i>	<i>89</i>
9.1.3.	<i>Scenariusz 3: Sieć oparta o rozwiązania Punkt-Punkt.....</i>	<i>92</i>
9.2.	ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII WIELOKANALOWYCH	92
ROZDZIAŁ 10 WYTYCZNE DLA SPRZĘTOWEJ ARCHITEKTURY PROJEKTU ..		99
10.1.	WPROWADZENIE.....	99
10.2.	ARCHITEKTURA ROZWIĄZANIA – STRUKTURA	99
10.3.	ROLA, ARCHITEKTURA I KOMPONENTY WĘZŁA CPA.....	102
10.4.	ROLA, ARCHITEKTURA I KOMPONENTY WĘZŁA LPA.....	103
10.5.	WYMAGANIA FUNKCJONALNE DLA LOKALIZACJI „SZKOŁA”	103
10.6.	OGÓLNE WYMAGANIA REALIZACYJNE	106
10.6.1.	<i>Polityka wsparcia</i>	<i>106</i>
10.6.2.	<i>Polityka bezpieczeństwa</i>	<i>106</i>
ROZDZIAŁ 11 ARCHITEKTURA CHMURY DLA EDUKACJI		107
11.1.	INFORMACJE PODSTAWOWE.....	107
11.2.	BEZPIECZEŃSTWO CHMURY OBLICZENIOWEJ	107
11.3.	MODELOWA INFRASTRUKTURA	108
11.4.	MODELE USŁUGOWE	109
11.4.1.	<i>Infrastruktura jako usługa</i>	<i>110</i>
11.4.2.	<i>Platforma jako usługa</i>	<i>112</i>
11.4.3.	<i>Oprogramowanie jako usługa</i>	<i>113</i>
11.4.4.	<i>Pomiary jako usługa.....</i>	<i>113</i>
11.5.	INNE ASPEKTY CHMURY	115
11.6.	BIG DATA W EDUKACJI.....	116
11.7.	CHMURA EDUKACYJNA NA ŚWIECIE.....	116
ROZDZIAŁ 12 SZACUNKOWE KOSZTORYSY REALIZACJI PROJEKTU.....		119
12.1.	UWAGI WSTĘPNE	119
12.2.	ELEMENTY KOSZTORYSU	119
12.2.1.	<i>CPE</i>	<i>119</i>
12.2.2.	<i>LPA.....</i>	<i>127</i>
12.2.3.	<i>CPA</i>	<i>127</i>
12.3.	KOSZTY SIECI CZĄSTKOWEJ	128
PODSUMOWANIE		131
BIBLIOGRAFIA.....		133

Rozdział 1

Zakres rozwiązania zadania

W ramach zleconych prac badawczych, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, nazywana dalej wykonawcą, podjęła się wykonać prace analityczne dotyczące realizacji inwestycji pt. *Internet dla szkół*. Inwestycja ta zakłada dostarczenie każdej jednostce edukacyjnej łącza internetowego o ustalonej przepustowości. W szczególności niniejszy dokument zawierać powinien:

1. Analizę zasadności podjęcia takiego projektu. W chwili obecnej, oprócz sieci regionalnych zbudowanych w 14 spośród 16 województw, istnieje gęsta sieci operatorów telekomunikacyjnych, którzy powinni zapewniać realizację usług będących celem recenzowanego projektu. Należy zatem odpowiedzieć na pytanie: czy realizacja inwestycji jest celowa i jakie będą jej skutki;
2. Jeżeli okaże się, że zdaniem autorów opracowania inwestycja taka jest celowa, to należy przeanalizować udział w niej sieci regionalnych oraz sieci operatorów telekomunikacyjnych, w szczególności tych lokalnych;
3. Zawierać analizę architektury sieci, w szczególności dać odpowiedź na pytanie: czy sieć ta powinna być płaska, czy też hierarchiczna. Dla konkretnego, wybranego typu architektury sieciowej należy określić jej parametry systemowe i przeanalizować ich wpływ na jego funkcjonowanie;
4. Przedstawiać architekturę techniczną przyjętych rozwiązań, w szczególności od strony węzłów sieci, wskazując jednocześnie koszty ich realizacji;
5. Omówić bezpieczeństwo sieci zagwarantowane przez przyjęte rozwiązania techniczne;
6. Zaprezentować możliwości wykorzystania budowanej infrastruktury w dydaktyce oraz zarządzaniu edukacją.

Zaprezentowane w opracowaniu rozwiązania powinny zostać uzasadnione od strony eksploatacyjnej i ekonomicznej. W miarę potrzeb, przy realizacji analizy szerokie zastosowanie powinny znaleźć metody formalne i techniki komputerowe, potwierdzające zasadność podejmowanych decyzji projektowych.

Rozdział 2

Formalno-prawne podstawy opracowania

2.1. Wstęp

W bezpośrednim otoczeniu współczesnego człowieka funkcjonuje ogromna liczba różnorodnych obiektów i systemów. Część z nich jest produktem długotrwałego procesu ewolucji środowiska ziemskiego, pozostałe zaś to wytwór człowieka, który stworzył je w celu realizacji własnych celów. Analiza całej biosfery znacznie wykracza poza zainteresowania autorów, które koncentrują się wyłącznie na technosferze, w szczególności na obiektach i systemach technicznych stworzonych ręką człowieka.

Obiekty oraz systemy nie pojawiają się znikąd, lecz są wynikiem świadomej działalności człowieka. W większości przypadków powyższa działalność ma uporządkowany charakter. Jednym z etapów jest ich projektowanie. Potocznie, *projektowaniem* nazywamy ukierunkowany proces twórczy, mający na celu stworzenie opisu obiektu lub systemu technicznego. Projektując staramy się ograniczać rolę intuicji w podejmowaniu decyzji projektowych. Podstawą współczesnego procesu projektowania jest jego *formalizacja*, którą nazywamy ściśle i bezwzględne przestrzeganie wymogów procedury działania określonej ustalonymi normami. To właśnie dzięki formalizacji, z procesu projektowania eliminujemy subiektywizm. Formalizacja jest podstawą zastosowania w projektowaniu technologii komputerowych, dzięki czemu możliwe jest zwiększenie liczby parametrów opisujących obiekty, analiza szerszego obszaru alternatywnych rozwiązań zadania, a także poprawa jakości projektu oraz jego przyspieszenie.

Niestety, w obszarze projektowania systemów i sieci komputerowych, tworzenie nowych obiektów opiera się niemal wyłącznie na metodach intuicyjnych, czego skutkiem jest ograniczona efektywność otrzymywanych rozwiązań. W niniejszym rozdziale, projektowanie zdefiniowano jako dyscyplinę naukową bazującą na metodach i środkach teorii systemów, której celem jest tworzenie nowych rozwiązań technicznych, efektywnie wpisujących się w potrzeby i możliwości zleceniodawcy. W dalszej części opracowania, konkretne rozwiązania techniczne, o ile będzie to możliwe, określane będą za pomocą opartych na matematyce metod formalnych.

2.2. Definicje procesu projektowania

Obecnie, trudno jest wskazać jedną, powszechnie obowiązującą definicję procesu projektowania. Każde z funkcjonujących określeń ściśle wiąże się z obszarem jego zastosowania. Jedne z definicji odzwierciedlają kolejność działań, inne zaś akcentują wymagania jakościowe i ilościowe stawiane się przed projektowanym systemem. Projektowanie może dotyczyć tworzenia nowego, jak i przebudowy lub rekonfiguracji istniejącego systemu, zgodnie z wymaganiami stawianymi przez użytkowników, technologie lub usługi świadczone z jego wykorzystaniem. Potocznie, *projektowanie* definiuje się jako skończony ciąg kroków (czynności) powiązanych

ze sobą relacjami, które mają doprowadzić do osiągnięcia zamierzonego celu, jakim jest opis obiektu, który ma spełniać określone wcześniej wymagania [1], [2], [3].

Pojęcie projektowania opisują również dokumenty normatywne. Zgodnie z normą ISO 24765, *projektowanie* to proces określenia architektury, komponentów, interfejsów i innych charakterystyk systemu lub jej części. Wynikiem wykonanych prac jest *projekt*, będący jednolitym zbiorem modeli, właściwości lub parametrów opisanych w formie nadającej się do praktycznej realizacji. Powyższe definicje, w równym stopniu, odnoszą się do każdego z możliwych wariantów projektowania, od tworzenia nowych obiektów, przez projektowanie rozbudowy istniejących, po ich modernizację.

W przytoczonych powyżej definicjach zakłada się, że celem projektowania jest opracowanie opisu systemu. Czym zatem jest system, jak można go zdefiniować? Zgodnie z encyklopedyczną definicją, *systemem* nazywamy zbiór elementów z określonymi powiązaniami i relacjami, posiadających całościowy charakter. Z punktu widzenia teorii projektowania trafniejszą może okazać się definicja pochodząca z obszaru analizy systemowej, zgodnie z którą, system to środek do osiągnięcia stawianych celów. Analiza określa podstawowe właściwości systemów, którymi są: integralność, względna izolacja od otoczenia, istnienie powiązań z otoczeniem, fragmentacja z wyraźnym i powiązaniami pomiędzy częściami oraz podporządkowanie organizacji systemu określonemu celowi.

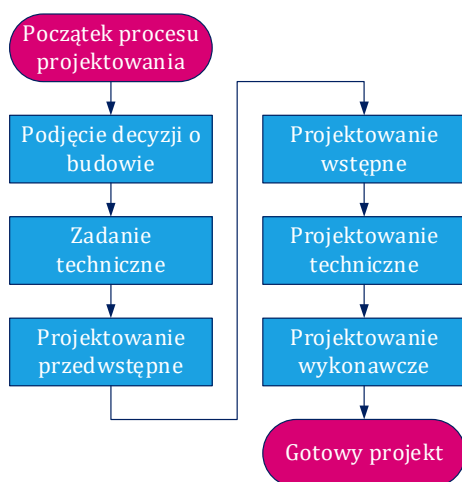
Projektowanie można rozpatrywać także z punktu widzenia systemów złożonych. *Systemem złożonym* (SZ) nazywamy obiekt składający się z wielu współdziałających podsystemów [4], [5]. Zbiór podsystemów uzyskuje nowe właściwości, których nie posiadają indywidualnie tworzące go podsystemy. SZ posiada następujące cechy: *Wysoką złożoność* – składa się on z dużej liczby połączonych między sobą i oddziałujących na siebie komponentów; *Hierarchiczną strukturę*, w której wiele niezależnych poziomów współdziała ze sobą w sposób uporządkowany, z podporządkowaniem od najwyższego do najniższego; *Złożony formalny opis* systemu; *Rozmyte określenie* systemowych funkcji celu jego działania; *Synergiczność* – system jako całość posiada właściwości, którymi nie dysponuje żaden z jego elementów; *Podatność* na oddziaływanie wielu czynników zewnętrznych, w szczególności losowych; *Udział człowieka* w realizacji fragmentu komunikacji między komponentami systemu oraz między systemem, a jego otoczeniem [5]. Nie ulega wątpliwości, że trudność projektowania systemów złożonych rośnie, na co szczególnie wpływ przejawia ich rozbudowana struktura. Jednak złożoność struktury nie zawsze musi wiązać ze zwiększeniem złożoności projektowania.

Wykorzystując specyficzne właściwości systemów hierarchicznych, można zapewnić niemal niezmienną złożoność projektowania systemów o różnych rozmiarach. Zauważmy jednak, że projektowanie systemów hierarchicznych budzi istotne wątpliwości. Teoretycznie, hierarchiczność SZ powoduje wzrost złożoności wzajemnych powiązań pomiędzy komponentami, jak również ilości opisujących go pa-

rametrów i charakterystyk. Konsekwencją tego są zazwyczaj nieakceptowalne złożoności: pamięciowa i czasowa procesu projektowania. Po drugie, wykorzystując metody teorii systemów hierarchicznych [6], [7], [8], proces projektowania można podzielić na względnie niezależne etapy, wydzielając w nim fragmenty z akceptowalnym poziomem powyższych złożoności. Przykładowo, projektując hierarchiczną sieć komputerową, etapy tworzenia rdzenia sieci i sieci dostępowych rozpatrywane są, jako dwa niezależne procesy projektowe. Niestety, podział zadania na etapy pogarsza jakość projektu – tworzone rozwiązania są nieoptymalne, wzrasta również prawdopodobieństwo wystąpienia błędu [9], [10]. Pomijając wysoką złożoność, projektowanie jednoetapowe zapewnia uzyskanie optymalnych rozwiązań, odpowiadających rosnącym oczekiwaniom użytkowników. Wymaga ono jednak wykorzystania nowych, często niedostępnych metod i środków modelowania matematycznego i technik przetwarzania komputerowego.

Najczęściej, projektowanie bazuje na metodach, będących zestawem zasad tworzenia zbioru elementów systemu i łączenia ich relacjami. Nie istnieje jedna uniwersalna metoda, stosowana do projektowania wszelkich obiektów, jak również projektowanie tych samych systemów może odbywać się na bazie szerokiego asortymentu metod, różniących się wykorzystywanymi technikami analizy i syntezy [11], [12], [13], [14].

Projektowanie jest procesem wieloetapowym. Na każdym z kolejnych etapów uzyskuje dokładniejszy opis projektowanego obiektu. Z ekonomicznego punktu widzenia, etapowanie projektowania jest działaniem korzystnym, bowiem już na początkowych etapach pozwala eliminować z przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań te spośród nich, które nie gwarantują uzyskania akceptowalnych rezultatów. Dzięki temu możliwe jest również zatrzymanie lub inne ukierunkowanie procesu projektowania, bezpośrednio po tym jak pojawią się wątpliwości dotyczące możliwości poprawnej realizacji projektu. W ogólnym przypadku, proces projektowania wieloetapowego ma postać przedstawioną na rys. 2.1.



Rys. 2.1. Etapy procesu projektowania

Prace podejmowane w ramach niniejszego opracowania odnoszą się do etapów definiowania zadania technicznego, projektowania przedwstępnego oraz projektowania wstępnego. Ich wynikiem ma być oszacowanie skutków techniczno-ekonomicznych realizacji projektu *Internet dla szkół*, obejmującego swym zasięgiem blisko 24 000 jednostek edukacyjnych, rozmieszczonych na obszarze całego kraju. Chociaż zastosowane w prowadzonej analizie matematyczne metody teorii projektowania systemów teleinformatycznych zapewniają uzyskanie dokładnych oszacowań rozwiązań projektowych, zaprezentowane tutaj wyniki należy traktować jako wartości szacunkowe, które mogą ulec zmianie po uwzględnieniu czynników, które w niniejszym opracowaniu nie były brane pod uwagę.

Jeżeli opiniowany Projekt zostałby zatwierdzony do realizacji, kolejnym krokiem powinna być realizacja projektu technicznego, precyzyjnie określającego sposób realizacji inwestycji oraz jej koszty i skutki społeczno-ekonomiczne.

2.3. Baza opracowania

Opiniowany Projekt powstał i będzie rozwijany jako element Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa 2014-2020. Dlatego, zakłada się że podstawą jego realizacji będą dokumenty ww. Programu Operacyjnego. Charakterystyki ilościowe i jakościowe Programu zostały określone w dokumentach przekazanych wykonawcy przez Zleceniodawcę. W szczególności były to:

1. Wykaz szkół i placówek edukacyjnych według Systemu Informacji Oświatowej SIO, na dzień 19 stycznia 2016;
2. Dane o lokalizacji węzłów światłowodowych Regionalnych Sieci Szerokopasmowych;
3. Wykaz węzłów sieci szkieletowych i dystrybucyjnych operatorów telekomunikacyjnych;
4. *Wymagania dla sieci NGA-POPC* – dokument opracowany przez Urząd Komunikacji Elektronicznej.

Ponadto, w opracowaniu wykorzystano dokumenty opublikowane przez organizacje standaryzujące ISO, IEEE, ITU, a także materiały firm produkujących sprzęt sieciowy.

Rozdział 3

Analiza celowości realizacji projektu

3.1. Wstęp

Jednym z najważniejszych zadań stojących przed Zleceniodawcą jest udowodnienie celowości realizacji projektu. We współczesnym świecie za świadczenie usług dostępu do sieci Internet odpowiadają najczęściej operatorzy telekomunikacyjni. W tym obszarze, rolą państwa jest wyłącznie stymulacja rynku, w szczególności poprzez poprawę konkurencyjności usług na obszarach jej pozbawionych. Polityka taka była przez wiele lat skutecznie realizowana przez Urząd Komunikacji Elektronicznej, a jej sztandarowym przykładem mogą być powstałe w tym czasie regionalne sieci szerokopasmowe. Zasadnym jest zatem pytanie, czy potrzebna jest dodatkowa interwencja państwa w tym obszarze, czy jej skutkiem nie będzie naruszenie zasad konkurencyjności podmiotów? Poniżej, na przykładzie woj. Podkarpackiego przedstawiamy argumenty przemawiające zarówno za realizacją inwestycji, jak również przeciwko niej. Wnioski końcowe przedstawione zostały w ostatnim paragrafie rozdziału.

3.2. Społeczeństwo informacyjne i wykluczenie cyfrowe

Pierwszym aspektem przemawiającym za realizacją inwestycji jest potrzeba budowy i ciągłego rozwoju społeczeństwa informacyjnego na obszarze całego kraju. W ostatnich dziesięcioleciach na świecie opublikowano ogromną liczbę prac naukowych rozwijających metody i środki budowy oraz oceny społeczeństwa informacyjnego (SI). W Polsce pierwsze znaczące prace poświęcone temu tematowi pojawiły się początkiem lat 90-tych i dotyczyły podstawowych koncepcji budowy społeczeństwa informacyjnego. Pomimo tego, że tworzenie SI trwa w Polsce już blisko 20 lat, poziom jego zaawansowania jest daleko niezadowalający. Jako jedną z podstawowych tego przyczyn postrzegane jest wciąż obecne wykluczenie cyfrowe, mające inne niż w krajach Europy zachodniej podłoże. Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że chociaż proces budowy SI jest i będzie w polskich warunkach stosunkowo trudny to obejmie swym zasięgiem praktycznie wszystkie obszary życia. Informatyzacja otaczającej rzeczywistości już doprowadziła do istotnej zmiany relacji międzyludzkich, przyczyniła się do rozwoju ekonomiki sieciowej i wirtualnych organizacji [15], [16], [17].

Powszechnie wiadomo, że znaczenia rozwiniętego społeczeństwa informacyjnego trudno jest przecenić. W przekonaniu wszystkich badaczy, jego poziom odgrywa pierwszoplanową rolę w podnoszeniu inwestycyjnej atrakcyjności regionu, poprawie jakości życia jego mieszkańców, tworzeniu kapitału ludzkiego. Chociaż dotychczasowe badania prowadzone w kraju i zagranicą wnoszą istotny teoretyczny i praktyczny wkład w tworzenie społeczeństwa informacyjnego, to były one skoncentrowane na obszarze całego kraju i zazwyczaj nie uwzględniały specyfiki społeczności lokalnych. Z doświadczeń Podkarpacia wynika, że niewystarczające

są badania obejmujące obszary wiejskie, oddalone od aglomeracji miejskich, z dominacją drobnych gospodarstw rodzinnych, prowadzących gospodarkę ekstenywną. Obszary te dotknięte są szczególnie niekorzystnymi zjawiskami społecznymi, takimi jak: niski poziom dochodów, szybkie starzenie się społeczeństwa, słaby poziom wykształcenia oraz masowa emigracja [18]. W szczególności, brakuje badań określających wpływ wykluczenia cyfrowego na ww. negatywne zjawiska pojawiające się w opisanych wcześniej warunkach. W znanych badaniach, niejednoznacznie została określona celowość budowy i modernizacji infrastruktury informacyjnej, będącej podstawą tworzenia społeczeństwa informacyjnego. Z punktu widzenia Zleceńodawcy odpowiedzi na powyższe pytania są szczególnie interesujące, bowiem określają celowość realizacji projektu.

Szczególną rolę infrastruktury informacyjnej w społeczno-gospodarczej rzeczywistości Podkarpacia dostrzeżono w krytycznym artykule pt.: *Quo Vadis Podkarpacie* [19]? Autorzy postrzegają produkcję informacyjną jako drugą inteligentną specjalność województwa i tym kontekście uważają nakłady na budowę tej infrastruktury informacyjnej jako istotne lecz nadal niewystarczające. W niedostatecznym poziomie rozwoju II dostrzegają oni podstawową przyczynę dysonansu pomiędzy znacznymi nakładami na innowacyjność gospodarki ponoszonymi na obszarze Podkarpacia, a wyjątkowo skromnym efektem przejawiającym się ilością zgłaszanych w województwie patentów i wzorów użytkowych. O ile w pierwszej wyszczególnionej kategorii Podkarpacie znajduje się w czołówce województw (stabilne 5-6 miejsce), to w obszarze działalności innowacyjnej zajmuje niezmiennie przedostatnią pozycję (bezpośrednio przed województwem lubuskim). W ostatnich latach, w obu ww. województwach kosztem kilkuset milionów wybudowano światłowodowe sieci regionalne dysponujące bardzo gęstą (szczególnie w województwie lubuskim) strukturą optycznych węzłów dostępowych.

W przekonaniu autorów *Quo Vadis Podkarpacie* dostęp do szybkich i niezawodnych sieci będących źródłem informacji multimedialnych stwarza doskonałe możliwości kreowania innowacyjności już od najmłodszych lat. Zgodnie z twierdzeniem autorów najlepszym czasem formowania podstaw innowacyjności jest okres gimnazjum, kiedy to umysł jest najbardziej kreatywny i twórczy. Autorzy krytycznie odnoszą się również do złożenia kształtowania innowacyjnych postaw u dzieci i młodzieży na nieprzygotowane do tego samorządy. W tym kontekście, program pt. *Internet dla szkół*, zapewniający dostarczanie całej gamy profesjonalnych usług edukacyjnych można traktować jako próbę zmiany obecnego, niekorzystnego stanu [19]. Oczywiście, wartość programu będzie znacznie mniejsza, jeżeli ograniczy się on wyłącznie do dostawy szkołom usług komunikacyjnych. Jak pokazano w dalszej części opracowania, akurat z tego zadania samorządy wywiązują się w miarę dobrze.

Realizację projektu należy rozpatrywać szerzej, w szczególności jako budowę i modernizację regionalnej infrastruktury informacyjnej. Sposób jej rozbudowy przez samorządy, w wielu przypadkach nie jest zgodny z obowiązującymi w tym obszarze zasadami, a działania w tym zakresie podejmowane przez operatorów komercyj-

nych w pierwszej kolejności ukierunkowane są na ich doraźne interesy. Dlatego poniżej opisujemy rolę projektu Internet dla szkół w budowie regionalnej infrastruktury informacyjnej.

3.3. Regionalna infrastruktura informacyjna

3.3.1. Pojęcie regionalnej infrastruktury informacyjnej

Program pt. *Internet dla szkół* należy traktować jako sposób na istotne rozszerzenie istniejącej infrastruktury informacyjnej. Pomimo znaczących środków przeznaczonych na jej rozbudowę jej stan obecny jest daleko niesatysfakcjonujący. Analiza stanu obecnego oraz perspektyw rozwoju Regionalnej Infrastruktury Informacyjnej (RII) na przykładzie woj. Podkarpackiego została interesująco przedstawiona w [20]. Rozważania te można w większości rozszerzyć na pozostałe województwa. Zdaniem autorów, kluczowym zadaniem stojącym przed administracją publiczną wszelkich szczebli jest zapewnienie stabilnego rozwoju kraju, w szczególności w obszarach: socjalnym i ekonomicznym. Istotnym czynnikiem wpływającym na taki rozwój jest dostępność, jakość oraz poziom wykorzystania infrastruktury informacyjnej. Co prawda teza taka znajduje uzasadnienie w dostępnej literaturze, jednak dotychczasowe badania w tym obszarze, skoncentrowano na problemach projektowania, budowy oraz eksploatacji infrastruktury o zasięgu ogólnokrajowym. Zgodnie z definicją, *Infrastruktura Informacyjna Państwa* (IIP) to zestaw norm, zasobów, procesów oraz systemów informacyjnych warunkujących sprawne funkcjonowanie społeczeństwa, gospodarki i kraju oraz innych zasobów, procesów i systemów informacyjnych [21]. Z punktu widzenia teorii systemów IIP to hierarchia wielowarstwowa [4], której najwyższym poziomem są dokumenty normatywne, najniższym zaś systemy obsługi zadań publicznych.

Chociaż zasoby IIP są szeroko wykorzystywane przez samorządy, w obszarze zainteresowań tych ostatnich leżą głównie RII, których zasięg działania jest ograniczony do gminy, powiatu lub województwa, a gromadzone i udostępniane informacje są adresowane specjalnie do odbiorców z tych obszarów. Przy budowie RII obowiązuje zasada pragmatyzmu informacyjnego, zgodnie z którą infrastruktura powinna uwzględniać: poziom rozwoju gospodarczego regionu; dostępne w nim technologie informacyjne; zasoby wiedzy społeczności lokalnej oraz poziom kultury informacyjnej i informatycznej mieszkańców. RII charakteryzują ścisłe powiązania z innymi składnikami infrastruktury regionalnej, również jej wpływ na funkcjonowanie regionu jest wielokrotnie większy niż infrastruktury krajowej.

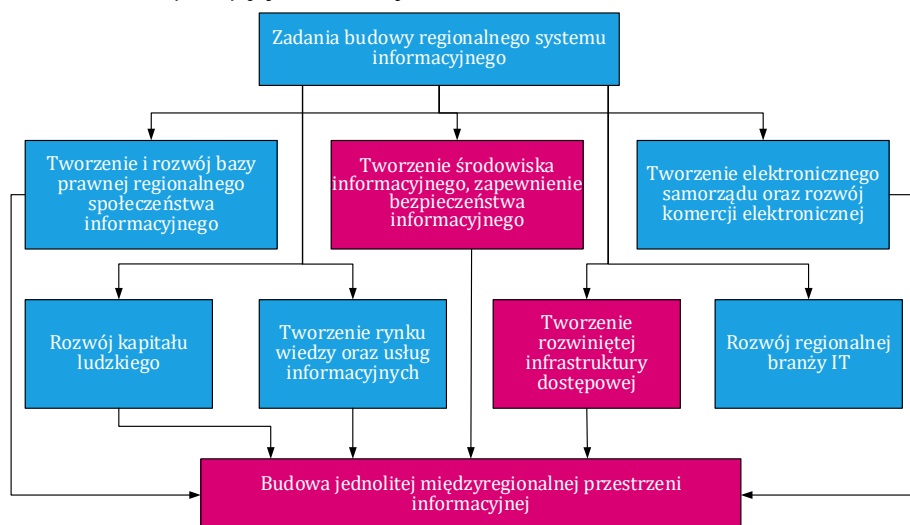
Pierwszoplanowym zadaniem wszelkich prac związanych z RII powinno być określenie społeczno-gospodarczej zawartości regionalnej infrastruktury informacyjnej, poprzez uszczegółowienie pojęcia kapitału infrastrukturalnego, będącego zbiorem relacji pomiędzy podmiotami w obszarze jego budowy i wykorzystania. Przemiany, które nastąpiły po 1989 roku, spowodowały rezygnację państwa z aktywnego udziału w rynku telekomunikacyjnym, który ograniczył się do funkcji regulatora. W rezultacie podmiotami kapitału infrastrukturalnego są: prywatne firmy informatyczne i telekomunikacyjne, mieszkańcy będący odbiorcami usług

oraz w ograniczonym stopniu, państwo. Budowa, a następnie eksploatacja RII powinna każdemu z podmiotów przynosić korzyści o charakterze społeczno-gospodarczym. W podejściu zaproponowanym przez Zleceniodawcę program *Internet dla szkół* nie wiąże się bezpośrednio z poszerzeniem RII, mimo tego przyczyni się on do istotnej poprawy dostępności do zasobów informacyjnych, nie tylko o charakterze regionalnym. W przekonaniu opiniujących, Projekt powinien być ważnym czynnikiem na drodze rozwoju RII, a jego rola w tym zakresie powinna być znacznie szersza niż postrzegana przez jego autorów.

3.3.2. Budowa i modernizacja regionalnej infrastruktury informacyjnej

Rozważmy miejsce projektu *Internet dla Szkół* w budowie i modernizacji regionalnej infrastruktury informacyjnej. Wszelkie działania związane z RII powinny być uporządkowanym procesem, złożonym z szeregu wzajemnie powiązanych etapów, opisanych za pomocą stosownej strategii. Strategia budowy RII powinna uwzględniać plany zawarte w narodowych i regionalnych strategiach rozwoju informatyki. Najważniejsze zadania budowy RII sklasyfikowano na rys. 3.1.

W większości przypadków, bazy prawne określające społeczeństwo informacyjne dla infrastruktury państwowej i regionalnej są tożsame. Zauważalne różnice pojawiają się w miejscach, gdzie wykorzystywane są akty prawa miejscowego, definiowane na poziomie województwa, powiatu, gminy lub ich związków. Bazę prawną będą tworzyć również porozumienia dotyczące realizacji zadań publicznych o charakterze ponadregionalnym, zawarte pomiędzy jednostkami samorządu terytorialnego lub między jednostkami samorządu terytorialnego a organami administracji rządowej, a także inne akty prawne, informacje, komunikaty, obwieszczenia i ogłoszenia, w szczególności dotyczące świadczenia usług komunalnych podmiotom funkcjonującym na danym obszarze.



Rys. 3.1. Podstawowe zadania regionalnej infrastruktury informacyjnej oraz ich wzajemne powiązania

Z punktu widzenia przedstawionych na rys. 3.1 zadań RII, program *Internet dla szkół* może zostać zaangażowany w realizację następujących kluczowych zadań:

1. Tworzenie rozwiniętej infrastruktury dostępowej wykorzystującej światłowody doprowadzone do jednostek edukacyjnych. Chociaż pokrycie siecią szybkiej łączności światłowodowej można uważać w Polsce za względnie gęste, jest ono nadal niesatysfakcjonujące. Ewentualne braki w pierwszej kolejności dotyczą obszarów wiejskich i niskiej gęstości zaludnienia. Doprowadzenie światłowodu do każdej ze szkół sprzyjałoby rozbudowie RII, przynajmniej w obszarze połączenia samorządów z podległymi im jednostkami. Z uwagi na ich wysoką przepustowość, światłowody będzie można zastosować również do budowy opartych na lokalnych inicjatywach społecznych sieci dostępu do Internetu, a także integracji z sieci podmiotów gospodarczych;
2. Współtworzenie bezpiecznego środowiska informacyjnego. Projekt *Internet dla szkół* może oferować zarówno łącza alternatywne względem podstawowych kanałów komunikacyjnych, jak również wspomagać bezpieczeństwo, gromadzonej, przetwarzanej i dystrybuowanej informacji. W chwili obecnej obawy użytkowników Internetu w pierwszej kolejności wiążą się z niskim poczuciem bezpieczeństwa pracy w sieci. Użytkownicy słusznie zauważają, że operatorzy komercyjni przyjmują, że to użytkownik końcowy samodzielnie zajmuje się bezpieczeństwem własnej informacji. Zgodnie z założeniami programu *Internet dla szkół*, jedną z oferowanych usług tworzonej sieci będzie troska o bezpieczeństwo, przynajmniej w obszarze transmisji;
3. Z punktu widzenia RII, istotnym skutkiem realizacji Projektu będzie również współtworzenie jednolitej międzyregionalnej przestrzeni informacyjnej.

Powyższe zadania wyróżniono na rys. 3.1.

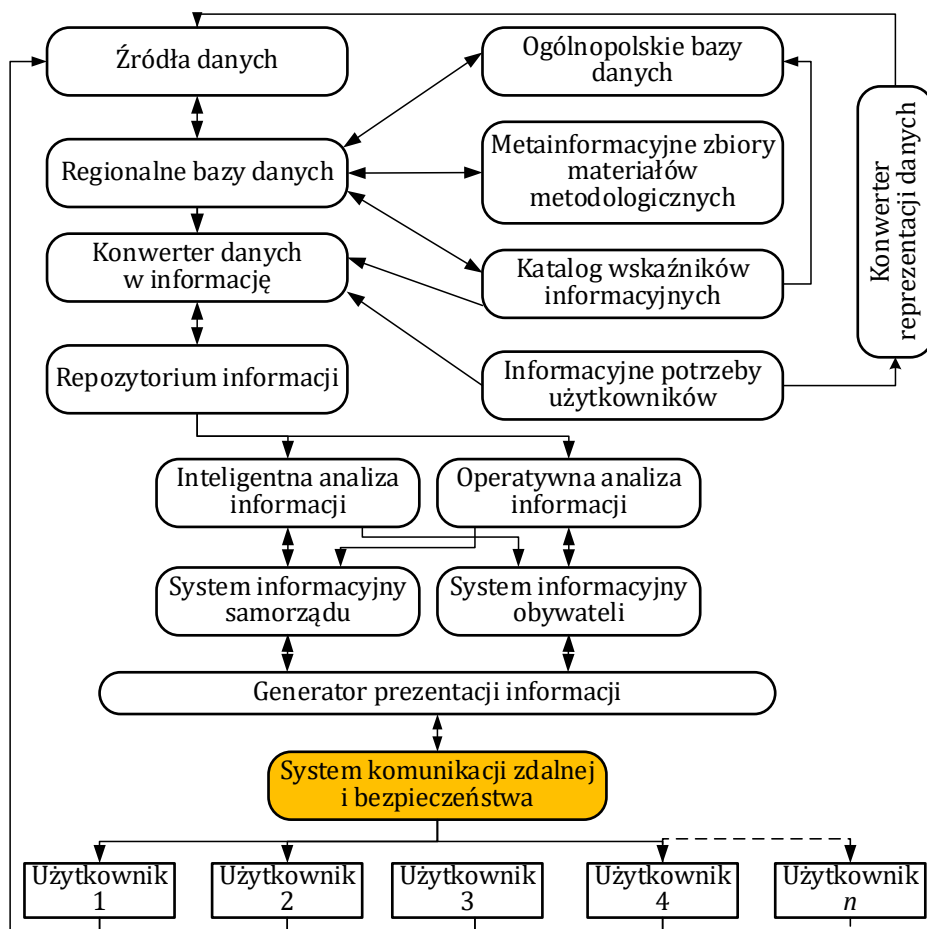
Z uwagi na swój ogólnokrajowy charakter, *Internet dla szkół* może stać się elementem łączącym RII z infrastrukturą informacyjną państwa. W dotychczasowych realiach, rozwiązanie powyższego problemu może być oparte na trzech alternatywnych scenariuszach. Pierwszy z nich, zakłada wysoką programową, informacyjną oraz sprzętową niezależność obu infrastruktur. W rezultacie, powiązania pomiędzy nimi są minimalne, co sprzyja efektywnemu wdrożeniu infrastruktury regionalnej, bez względu na funkcjonalność infrastruktury krajowej. Za wykorzystaniem takiego podejścia przemawiają istotne błędy popełnione w latach 90-tych w procesie budowy IIP. Były one konsekwencją prawnej, organizacyjnej, informacyjnej oraz informatycznej autonomizacji zasobów i systemów tworzących IIP. W efekcie, wzajemne współdziałanie komponentów IIP jest do dzisiaj utrudnione. W szczególności, w wyniku wysokiej nadmiarowości ma miejsce dezintegracja informacyjna, skutkująca niemożnością wymiany zasobów danych pomiędzy składnikami infrastruktury, a świadczenie usług informacyjnych na zewnątrz (przykładowo, na rzecz RII) jest utrudnione, czasami wręcz niemożliwe. Tak więc, autonomizacja RII względem IIP, z jednej strony, zapewnia możliwość nieskrępowanego tworzenia infrastruktury regionalnej w oderwaniu od niedoróbek IIP, z drugiej jednak, implikuje niepotrzebne dublowanie w niej szeregu zasobów informacyjnych oraz sprzętowych.

Drugi scenariusz zakłada budowę infrastruktury regionalnej, w postaci zbioru dodatkowych poziomów. Zaletą takiego rozwiązania jest minimalizacja wszelkiej nadmiarowości w informacyjnej infrastrukturze państwa. Z drugiej jednak strony, znane niedoskonałości IIP, mogą prowadzić do budowy nieefektywnego, a nawet niesprawnego eksploatacyjnie rozwiązania. W odróżnieniu od powyższych scenariuszy, proponuje się alternatywne podejście, uwzględniające regionalny charakter infrastruktury, które opiera się na maksymalnym wykorzystaniu sieci Internet dla szkół do maksymalizacji kontaktów z użytkownikami.

Funkcjonalna architektura regionalnej infrastruktury informacyjnej została przedstawiona na rys. 3.2. Zrealizowany program *Internet dla szkół* może odgrywać szczególną rolę w obszarze zapewniania komunikacji i bezpieczeństwa informacji, w szczególności w procesie zarządzania bezpieczeństwem. Kluczowe w tym obszarze elementy zostały na rysunku pokolorowane. W szczególności, elementy infrastruktury zrealizowane w ramach Programu mogłyby być wykorzystane do maksymalizacji zakresu udostępniania usług informacyjnych obywatelom. Jeżeli nawet zbudowana do tego celu infrastruktura wydaje się wystarczająca, to dodatkowe kanały komunikacyjne będą sprzyjać poprawie charakterystyk dostępności usług.

3.3.3. Koszty eksploatacji regionalnej infrastruktury informacyjnej

Obawy samorządów planujących budowę i wdrożenie infrastruktury informacyjnej najczęściej wiążą się z długoterminowymi kosztami jej utrzymania. Obawy te są pozbawione podstaw: infrastruktura informacyjna, podobnie jak każda inna infrastruktura wymaga ciągłych nakładów na swoje utrzymanie. W budżetach samorządów, nakłady na budowę i utrzymanie RII nie są zaliczane do wydatków priorytetowych. Dlatego samorządy chętnie dzierżawią wybrane elementy infrastruktury, zapewniając sobie w ten sposób możliwość nagłego i radykalnego ograniczenia ponoszonych kosztów. Z punktu widzenia długofalowych interesów samorządu rozwiązanie to jest niekorzystne. Finansowany centralnie program *Internet dla szkół* daje szansę zmiany niekorzystnych tendencji poprzez ograniczenia wydatków stałych na utrzymanie RII ponoszonych przez samorządy.

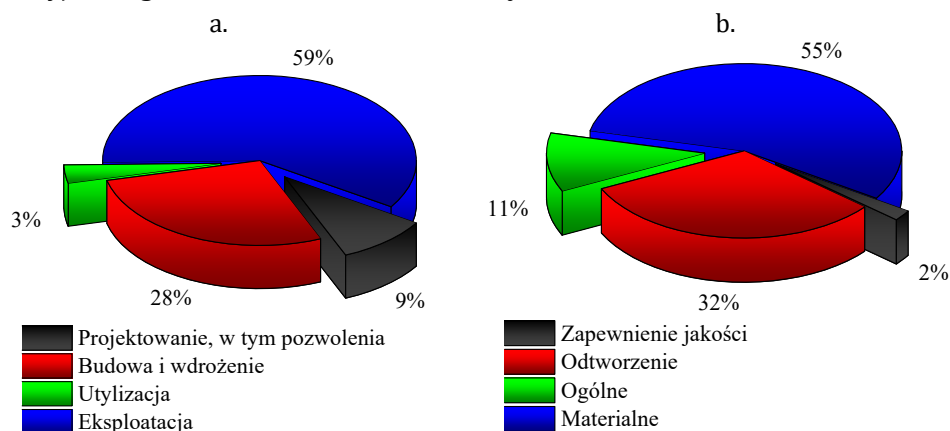


Rys. 3.2. Struktura funkcjonalna regionalnej infrastruktury informacyjnej

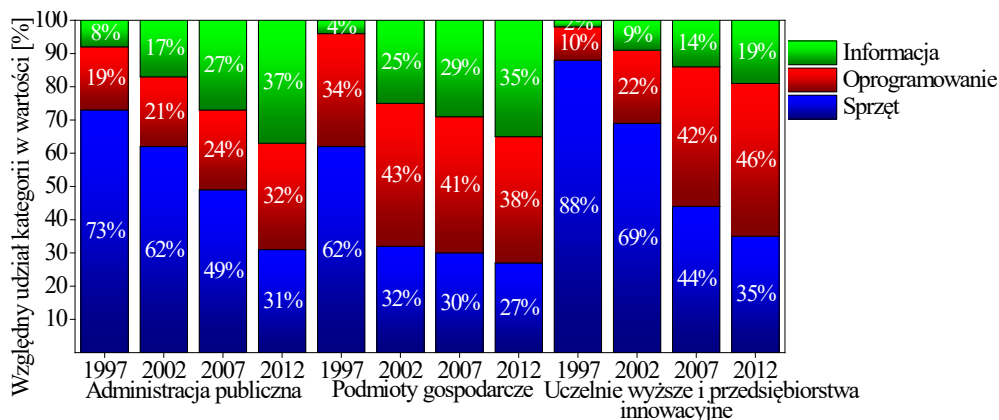
Aby zrozumieć obawy samorządów przeanalizujemy koszty związane z RII. Z teorii projektowania systemów informacyjnych wiadomo, że każdy etap cyklu życia dowolnego systemu generuje koszty, przy czym koszty te w istotny sposób zależą od rozmiaru systemu, jego funkcjonalności oraz zakresu wykorzystania. Najczęściej analizowanymi etapami cyklu życia są: projektowanie; budowa i wdrożenie, eksploatacja oraz jego utylizacja.

Na rys. 3.3 zaprezentowano rozkład kosztów pomiędzy poszczególnymi etapami cyklu życia RII i kategoriami wydatków. Z kolei na rys. 3.4 pokazano wartość poszczególnych komponentów RII, dla różnych typów podmiotów. Zawartość pierwszego z rysunków potwierdza obawy samorządów dotyczące kosztów eksploatacji – stanowią one bardzo istotny fragment kosztów sumarycznych. Dalsze badania autorów pokazały, że w kosztach charakterystycznych dla instalacji lokalnych dominującą pozycję stanowią wynagrodzenia pracowników. Jeżeli komponenty RII zrealizo-

wane w ramach Projektu byłyby zarządzane centralnie, co nie wiąże się z obciążeniem samorządów. Z uwagi na możliwość zwolnienia RII z podatków od nieruchomości za liniową część infrastruktury, koszty te również mogą nie obciążać budżetów samorządów. Podsumowując zauważmy, że łączy światłowodowe oraz towarzysząca im infrastruktura sprzętowa mogą stanowić interesującą alternatywę rozwoju infrastruktury informacyjnej regionu, nie związanego z istotnym wzrostem obciążeń stałych samorządów. Dzięki rozbudowie RII, atrakcyjność szczególnie zaniedbanych informacyjnie regionów może istotnie wzrosnąć.



Rys. 3.3. Struktura sumarycznych kosztów funkcjonowania RII: a. Struktura kosztów sumarycznych; b. Rozkład kosztów pomiędzy kategoriami. Źródło: *Badania własne*



Rys. 3.4. Udział poszczególnych komponentów w wartości infrastruktury informacyjnej. Źródło: *Badania własne*

Zdaniem autorów opracowania, wdrożenie i wykorzystanie projektu *Internet dla szkół*, dzięki centralizacji wykonania szeregu prac może spowodować obniżenie, przedstawionych na rys. 3.3a kosztów eksploatacji RII nawet o kilkanaście procent.

3.4. Wykluczenie cyfrowe na obszarze Podkarpacia

Istotnym powodem przemawiającym za realizacją Programu jest na Podkarpaciu wykluczenie cyfrowe, przejawiające się w istotnie zmodyfikowanej postaci. Badania dotyczące istnienia wykluczenia cyfrowego na obszarze woj. Podkarpackiego oraz jego skutków Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania prowadzi od kilkunastu lat. Wyniki badań są regularnie publikowane. Najczęściej badania dotyczą gmin, rzadziej powiatów, w większości przypadków są publikowane. Przykładami takich prac są badania przedstawione w [22], [23], [24], [25]. Podstawowe wnioski płynące z powyższych analiz można zawrzeć w następującej sekwencji stwierdzeń:

1. Wykluczenie cyfrowe w klasycznej postaci na terenie Podkarpacia nie występuje pojawiając się w trudnej do likwidacji zmodyfikowanej formie;
2. Na obszarze Podkarpacia, podobnie jak na terenie całej Polski istnieją grupy społeczne, w sposób szczególny narażone na wykluczenie cyfrowe. Można do nich zaliczyć:
 - a. *Osoby starsze, w tym emeryci i renciści.* Rzadko korzystają z Internetu, co najprawdopodobniej jest związane z brakiem niezbędnej wiedzy, skutkującym problemami z obsługą komputera. Jeżeli osoby z tej grupy wykorzystują Internet to, jak dowodzą badania, mają one dużo większe problemy z użyciem nawet standardowych usług niż młodszy użytkownicy;
 - b. *Osoby posiadające niskie wykształcenie (podstawowe lub zawodowe).* Znacznie rzadziej wykorzystują sieć Internet niż statystyczny przedstawiciel populacji. W grupie tej korzysta z sieci zaledwie 10% osób, podczas gdy w grupie osób z wyższym wykształceniem korzysta z niej 89% ankietowanych;
 - c. *Osoby bierne zawodowo oraz bezrobotne.* Teoretycznie posiadają mniejsze szanse na dostęp do Internetu. Dostępne statystyki potwierdzają tę tezę tylko częściowo. Osoby bezrobotne są przeciętnymi użytkownikami Internetu w Polsce, zarówno pod względem intensywności wykorzystania, jak i posiadanych kompetencji. Wykorzystują go jednak mniej efektywnie, praktycznie wyłącznie do rozrywki, a bardzo rzadko w sposób, który mógłby zmienić ich sytuację zawodową i życiową. Osoby bierne zawodowo wypadają znacznie gorzej niż osoby bezrobotne – ich umiejętności pracy z siecią są znacznie mniejsze. Obie wspomniane grupy (bezrobotni oraz osoby bierne zawodowo) trudno *a priori* uznać za wykluczone cyfrowo. W znakomitej większości posiadają one kontakt z Internetem, dysponują określonymi kompetencjami cyfrowymi i sprzętem, pozwalającymi wykorzystać sieć do poruszania się na rynku pracy;
 - d. *Rolnicy i osoby zamieszkujące tereny wiejskie.* Wszystkie znane badania potwierdzają, że powszechność dostępu do Internetu uzależniona jest od liczby osób zamieszkujących dany obszar – większa gęstość zaludnie-

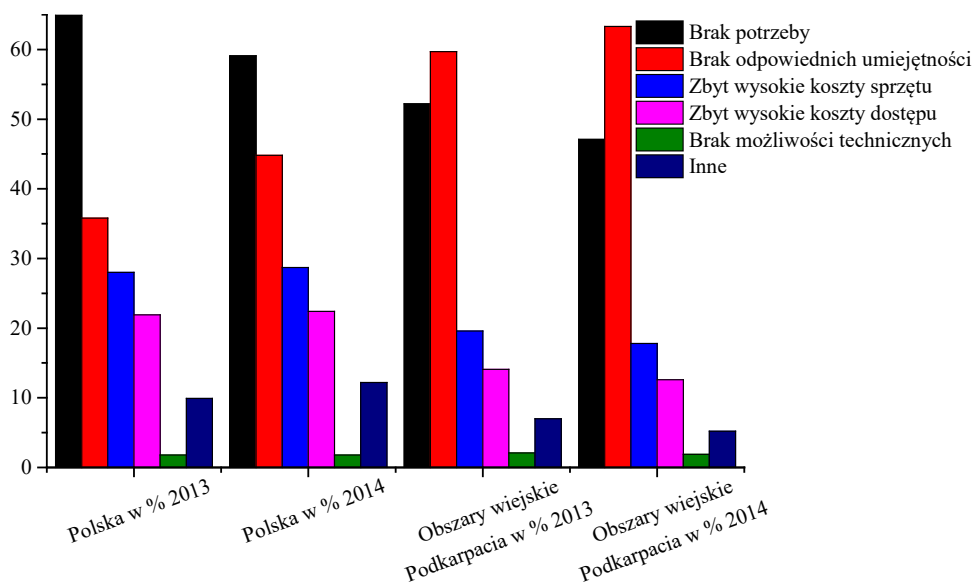
nia sprzyja asortymentowi oferowanych usług dostępowych. W większości przypadków, gęstość zaludnienia na terenach wiejskich jest wielokrotnie mniejsza niż w miastach. Pomimo tego, liczba użytkowników sieci Internet na wsi w latach 2007-2014 znacznie wzrosła. Sprzyja temu, obserwowany w ostatnim czasie, przepływ ludności aktywnej zawodowo z miast na tereny wiejskie. Zaniepokojenie budzi bardzo małe wykorzystanie Internetu jest przez rolników – używa go zaledwie, co trzecia osoba pracująca w tym zawodzie. Warto też podkreślić, że wbrew panującemu przekonaniu, na terenach wiejskich aktywni zawodowo rolnicy są niewielką częścią mieszkańców.

Na analizowanych obszarach wykluczenie cyfrowe motywowane jest wyłącznie przynależnością do jednej z ww. grup. W zasadzie nie jest ono konsekwencją braku możliwości przyłączenia abonenta do sieci. Nie oznacza to jednak, że nie jest możliwa poprawa sytuacji osób wykluczonych. W szczególności zalecane jest zwiększenie konkurencji międzyoperatorskiej, której konsekwencją będzie dalsze obniżenie ceny usług. Zdaniem autorów badań rozwiązaniem problemu wykluczenia nie jest rozbudowa sieci Internetu socjalnego. Do wspomnianego zwiększenia konkurencji może przyczynić się realizacja programu *Internet dla szkół*, w szczególności w przypadku wykorzystania wolnych zasobów transmisyjnych do stworzenia nowej, konkurencyjnej oferty dostępu do sieci Internet, opartej o inicjatywy społeczne. Cytowane badania przeprowadzone były jeszcze przed uruchomieniem Szerokopasmowej Sieci Województwa Podkarpackiego.

3.5. Statystyka wykluczenia na obszarze Podkarpacia

Z badań przedstawionych w [23] wynika, że na Podkarpaciu, podobnie jak na obszarze reszty kraju różnym formom wykluczenia cyfrowego podlegają przede wszystkim mieszkańcy wsi. Wyniki badań różnią się od publikowanych w raportach GUS [26], [27] oraz pracach Batorskiego i Czaplińskiego [28]. Uwagę zwracają następujące różnice:

1. Na Podkarpaciu, pomimo znacznie niższego poziomu płac oraz większej liczby niezamożnej ludności wiejskiej, czynniki ekonomiczne są o blisko 10% rzadszym powodem wykluczenia niż dla średniej krajowej;
2. Dominującą przyczyną wykluczenia dla woj. Podkarpackiego jest, w ocenie respondentów, brak umiejętności obsługi komputera i sieci Internet;
3. Mieszkańcy Podkarpacia, w większym stopniu niż statystyczny Polak, odczuwają potrzebę korzystania z komputera i Internetu.



Rys. 3.5. Przyczyny wykluczenia cyfrowego w Polsce i na Podkarpaciu.

Źródło: Główny Urząd Statystyczny oraz badania własne

Zauważmy, wśród wymienianych przyczyn *brak możliwości technicznych* znajduje się na poziomie błędu statystycznego. Z drugiej strony, w kolejnych latach obserwujemy systematyczny wzrost przyczyn związanych brakiem odpowiednich umiejętności, niezbędnych do pracy z siecią Internet. Wśród innych wymienianych, lecz niewyszczególnionych jawnie na rys. 3.5 przyczyn wykluczenia (zawartych w grupie Inne), należy zaznaczyć obawy o swoje bezpieczeństwo oraz o stan zdrowia, który może ulec pogorszeniu w wyniku kontaktu z komputerem lub siecią. Powyższe wyniki potwierdzają badania przeprowadzone w 2015 roku w środowisku wiejskim, wśród osób w wieku 45+, opublikowane w [25]. Dodatkowo badania te pokazują, że wraz z wiekiem mniej istotną rolę odgrywają koszty zakupu sprzętu niezbędnego do realizacji dostępu, w wpływ kosztów samego dostępu rośnie. Paradoksalnie, badania te pokazują praktycznie niezależny od wieku poziom zainteresowania (istnienie potrzeby) dostępem do Internetu.

O potrzebie inwestowania w infrastrukturę dostępową świadczą również zaprezentowane w [23] oryginalne wyniki badań wiążące poziom czytelnictwa w poszczególnych gminach z poziomem pokrycia ich obszaru usługami szerokopasmowymi. Badania zostały przeprowadzone jeszcze przed oddaniem do użytku Szerokopasmowej Sieci Województwa Podkarpackiego i zgodnie z zapewnieniami autorów zostaną powtórzone w 2016 roku. Cytowane badania szacują wpływ wykluczenia na poziom życia społeczno-gospodarczego, a w szczególności korelację pomiędzy wykluczeniem i jego charakterystykami.

W tabeli 3.1, zaprezentowano klasyfikację gmin Podkarpacia względem pokrycia usługami szerokopasmowymi. Posłuży ona za podstawę dalszych porównań. Tabela pokazuje dominację obszarów, w których poziom nasycenia usługami jest sto-

sunkowo niski. Zauważmy, że jej zawartość dotyczy nasycenia usługami dla mieszkańców, dla szkół poziom ten przedstawia się inaczej. Większość samorządów, za pomocą umów z lokalnymi operatorami, zapewnia ich dostęp Internetu na akceptowalnym poziomie. Dla użytkowników nieinstytucjonalnych wysoki poziom nasycenia usługami oznacza zazwyczaj świadczenie usług przez jednego lokalnego operatora z zupełnym brakiem konkurencyjności usług.

Tabela 3.1. Kwalifikacja gmin woj. Podkarpackiego pod względem pokrycia szerokopasmowymi usługami dostępowymi. Źródło: *Urząd Komunikacji Elektronicznej*

Gminy ze wskazanym procentowym poziomem nasycenia usługami dostępowymi	
0-10%	Adamówka, Baligród, Bircza, Cieszanów, Cisna, Czarna, Dubiecko, Dydnia, Fredropol, Horyniec-Zdrój, Kańczuga, Krempna, Lubaczów (wiejska), Narol, Oleszyce, Osiek Jasielski, Radymno (wiejska), Stary Dzików, Stubno, Tryńcza, Tyrawa Wołoska, Zarszyn
11-20%	Bukowsko, Chłopice, Harasiuki, Iwierzycy, Kolbuszowa, Komańcza, Krasiczyn, Krzeszów, Laszki, Lutowiska, Medyka, Olszanica, Pysznica, Raniżów, Rudnik nad Sanem, Sędziszów Małopolski, Solina, Ulanów, Ustrzyki, Wiązownica, Wielkie Oczy, Wojaszówka, Zaklików, Żurawica
21-30%	Brzostek, Dukla, Frysztak, Grębów, Jaśliska, Kuryłówka, Lesko, Leżajsk (wiejska), Nowa Sarzyna, Pilzno, Radomyśl nad Sanem, Rymanów, Sanok (wiejska), Sieniawa, Zagórz
31-50%	Bojanów, Cmolas, Czudec, Dzikowiec, Jeżowe, Niwiska, Nowa Dęba, Nowy Żmigród, Ropczyce, Strzyżów, Tuszów Narodowy, Wielopole Skrzyńskie, Wiśniowa, Zaleszany
51-70%	Białobrzegi, Chmielnik, Czarna Łącucka, Hyżne, Markowa, Niebylec, Rakszawa, Sokołów Małopolski, Tyczyn
71-100%	Błażowa, Krasne, Łańcut (wiejska), Lubenia, Trzebownisko

W tabeli 3.2 pokazano zależność pomiędzy pokryciem, a średnią liczbą osób zatrudnionych, a także średnią ilością czytelników bibliotek w gminie na 1000 mieszkańców. Wyniki badań pokazują, że wbrew panującemu przekonaniu o ścisłym powiązaniu wykluczenia cyfrowego i aktywności zawodowej, w przypadku Podkarpacia zależność taka jest umiarkowana. Największa liczba osób aktywnych zawodowo pojawia się na obszarach z bardzo niskim poziomem pokrycia usługami dostępu. Z kolei, poziom czytelnictwa jest najwyższy w gminach o najmniejszym i największym

W tabeli 3.3 zaprezentowano wpływ poziomu nasycenia usługami na liczbę zarejestrowanych bezrobotnych oraz dostępność komputerów w szkołach podstawowych i gimnazjalnych. W badaniach z 2006 roku, prezentowanych m. in. w [29] można zauważyć wyraźne korelacje w obu powyższych kategoriach. Obecnie, opisywane powiązanie nie ma praktycznego znaczenia.

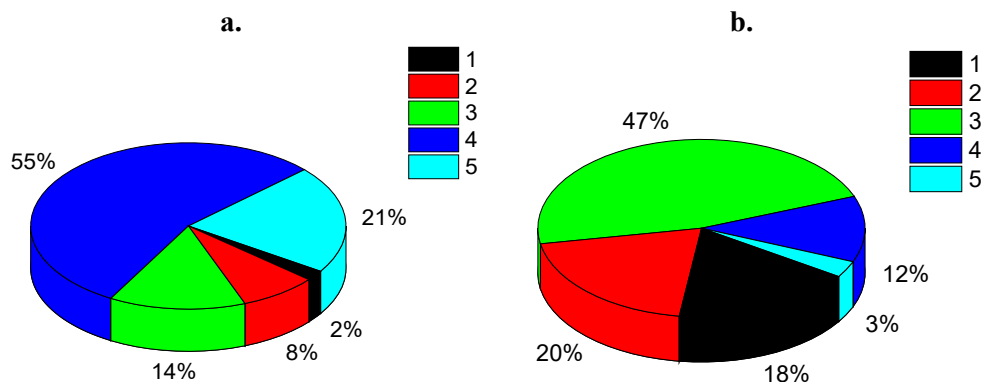
a. średnią liczbę pracujących na 1000 mieszkańców; **b.** średnią liczbę czytelników bibliotek na 1000 mieszkańców. Źródło: Główny Urząd Statystyczny.

Poziom pokrycia gminy usługami szerokopasmowymi w %											
0-10		11-20		21-30		31-50		51-70		71-100	
Pracujący	Czytel-nicy	Pracujący	Czytel-nicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy
82,3 6	103, 1	106, 9	97,6 7	98,0 0	70,1 3	93,7 8	60,1 4	106, 2	55,8 9	106, 1	77, 6
Odpowiednio, liczba osób pracujących i czytelników bibliotek na 1000 mieszkań-ców											

Poziom pokrycia gminy usługami szerokopasmowymi w %											
0-10		11-20		21-30		31-50		51-70		71-100	
Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G
13,74	8,9/ 8,4	12,8 9	7,3 / 10	11,5 9	7,9 / 7,7	12,6 1	7,3 10, 6	11,7 1	7,1 11, 6	9,58	8,8/ 12,8
Udział zarejestrowanych bezrobotnych w ogóle ludności w wieku produkcyjnym oraz liczba uczniów przypadających na komputer w szkołach podstawowych i gimnazjalnych											

3.6. Internet w szkołach

Interesujące wyniki badań dotyczących postrzegania roli jednostek edukacyjnych w infrastrukturze informacyjnej przedstawiono na rys. 3.6 [25].



Rys. 3.6. Ocena jakości łącza internetowego (a); Ocena poziomu bezpieczeństwa systemu informacyjnego (b)

W latach 2014-15 grupa badaczy Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie w ramach badań finansowanych z budżetu Uczelni ankietowała nauczycieli informatyki podkarpackich jednostek edukacyjnych, w obszarze dotyczącym jakości dostępu do sieci Internet w miejscu ich pracy. Ponadto, byli oni pytani o poziom bezpieczeństwa systemu informacyjnego. Do oceny powyższych właściwości, mogli oni wykorzystać pięciostopniową skalę ocen od 1-5 (1 - niezadowalająca, 2 - dostateczna, 3 - dobra, 4 - bardzo dobra, 5 - doskonała). Wyniki ankietowania przedstawiono na rys. 3.6a. Z kolei na rys. 3.6b zaprezentowano ocenę bezpieczeństwa systemu informacyjnego.

Cytowane badania, precyzyjnie określają problemy dotyczące dostępu do sieci Internet w jednostkach edukacyjnych województwa Podkarpackiego. Realizując projekt *Internet dla szkół* należy:

1. Zwrócić szczególną uwagę na bezpieczeństwo sieci, zarządzanie którym powinno odbywać się z poziomu całej sieci. Elementy będące wyposażeniem jednostek edukacyjnych, powinny być wyłącznie dodatkowymi elementami bezpieczeństwa, w żadnym przypadku zaś podstawowymi;
2. Ponieważ odpowiedzialne za edukację samorządy już obecnie zadbały o dobrą jakość usługi dostępu do Internetu, oferowane parametry dostępu powinny wykraczać poza obowiązujące obecnie standardy. Należy rozważyć możliwość zróżnicowania szybkości oferowanej dla różnych typów szkół. Z cytowanych badań wynika, że w przypadku szkół podstawowych i gimnazjalnych planowana prędkość łącza na poziomie 100Mb/s jest wystarczająca. Z kolei dla szkół średnich, w szczególności technicznych o profilu informatycznym jako zalecaną szybkość komunikacji należy przyjąć wielkość 1Gb/s.

W cytowanej pracy publikowane są również nadzwyczaj interesujące wyniki ankiety określającej, skąd najchętniej mieszkańcy niewielkich miejscowości wykorzystywaliby dostęp do Internetu. Zdaniem blisko 70% ankietowanych najlepszym dostawcą tych usług byłyby organizacje społeczne *non profit* funkcjonujące na bazie szkół, Kół Gospodyń Wiejskich, Stowarzyszeń Sportowych, Ochotniczych Straży Pożarnych oraz parafii. Dopiero na kolejnych miejscach, z ponad trzykrotnie gorszym wynikiem są kolejno samorządy i lokalni operatorzy telekomunikacyjny. W świetle powyższych danych, budowa sieci *Internet dla szkół* może posłużyć jako baza dla niewielkich sieci lokalnych budowanych przez organizacje społeczne, przeznaczonych dla mieszkańców małych wiosek o osiedli. Zauważmy, że lokalni operatorzy, z wiadomych powodów nie są zainteresowani oferowaniem usług dostępowych do takich inicjatyw.

3.7. Podsumowanie

Cytowane badania pokazują specyficzny obraz przyczyn i skutków wykluczenia cyfrowego na obszarze woj. Podkarpackiego. W szczególności:

1. Pomijając tereny niezamieszkałe (pola uprawne, nieużytki, wody śródlądowe, kompleksy leśne) na Podkarpaciu nie występują obszary, na których uzyskanie dostępu do sieci Internet jest całkowicie niemożliwe. Poziom świadczenia usług na terenach wiejskich, zasadniczo nie odbiega od poziomu w miastach, a w niektórych przypadkach go przewyższa. Różnice pomiędzy obszarami wiejskimi i miejskimi wyrażają się, przede wszystkim, w obszerności i konkurencyjności oferty;
2. Koszty usług dostępowych oraz niezbędnego do tego sprzętu, znajdują się na poziomie akceptowalnym i dostępnym dla znacznej części mieszkańców Podkarpacia. Mieszkańcy wsi, w pierwszej kolejności, sygnalizują brak wiedzy niezbędnej do obsługi komputera i sieci oraz zbyt wysokie koszty dostępu;
3. Podstawową przyczyną wykluczenia jest strona mentalna, w szczególności, brak zainteresowania usługami oferowanymi przez sieć Internet, brak umiejętności posługiwania się urządzeniami komputerowymi oraz nieakceptowalne koszty dostępu.

Powyższe konkluzje wskazują ewentualne działania mające na celu dalszy rozwój społeczeństwa informacyjnego na Podkarpaciu. Do najpotrzebniejszych możemy odnieść:

1. Zwiększenie asortymentu usług e-administracji publicznej, zapewniających załatwianie spraw urzędowych za pośrednictwem sieci;
2. Organizację nieodpłatnych szkoleń adresowanych do osób w średnim wieku, z zakresu obsługi komputera i wykorzystania Internetu. Szkoleniom powinien towarzyszyć agresywny marketing i mechanizm zachęt skłaniający osoby wykluczone do udziału w nich;
3. Poprawę konkurencyjności usług dostępowych na wybranych obszarach.

Szczególna rola w powyższych działaniach powinna przypaść samorządom, organizacjom społecznym oraz lokalnemu biznesowi.

Konkluzja końcowa. Z przedstawionych powyżej analiz dotyczących woj. podkarpackiego, a opartych na zakrojonych na szeroką skalę badaniach wynika, że budowa sieci *Internet dla szkół* jest celowa i zapewni ona lukę w tym obszarze, szczególnie w przypadku mniejszych gmin wiejskich. Choć na obszarach aglomeracji miejskich korzyści płynące z realizacji programu będą znacznie mniejsze, nie można wykluczyć że jego wdrożenie poprawi konkurencyjność usług oferowanych przez operatorów. Pokazane wyniki można uogólnić również na inne województwa.

Rozdział 4

Podstawy teoretyczne analizy rozwiązań alternatywnych

4.1. Wstęp

Tendencją, coraz częściej spotykaną w procesie projektowania sieci teleinformatycznych, jest szerokie wykorzystanie praktycznych doświadczeń projektantów. Wraz z rosnącą liczbą zrealizowanych projektów tendencja taka wydaje się zrozumiała, w szczególności w obszarze definiowania wymagań stawianych przed rozważanym projektem. Jednak oparcie całego procesu projektowania na podejściu intuicyjnym nie wydaje się poprawne. Przykładowo, analiza rozwiązań alternatywnych, szczególnie dużych projektów, powinna jednak opierać się za podejściu sformalizowanym, wykorzystującym matematyczne metody teorii projektowania. Podejście takie pozwala: wyeliminować subiektywizm z procesu projektowania; uwzględnić większą ilość parametrów niż w przypadku metod intuicyjnych; wykonać analizę znacznie większego obszaru dopuszczalnych rozwiązań oraz radykalnie przyspieszyć proces analizy rozwiązań pozwalając tym samym skrócić czas badania alternatyw.

Z punktu widzenia teorii projektowania systemów teleinformatycznych, klasyczny proces projektowania wstępnego składa się z sekwencji następujących kroków:

1. Wybór organizacji struktury hierarchicznej systemu lub sieci;
2. Określenie lokalizacji węzłów sieci rdzenia;
3. Projektowanie połączeń rdzenia;
4. Wybór węzłów sieci dostępu;
5. Projektowanie połączeń sieci dostępu;
6. Projektowanie pokrycia siecią bezprzewodową (o ile takowa jest wykorzystywana);
7. Symulacje parametrów zaprojektowanej sieci.

Efektem powyższej sekwencji działań jest przygotowania projektu wstępnego systemu bądź sieci, na bazie którego realizowane są projekty: techniczny, a następnie wykonawczy. Chociaż zlecone wykonawcy prace analityczne nie odzwierciedlają dokładnie klasycznej procedury projektowania wstępnego, to matematyczne podstawy projektowania pozostają niezmiennie. Również i w tym przypadku, podstawą prac analitycznych są: teoria grafów, teoria systemów hierarchicznych, podstawy geoinformatyki, a także metody obliczeniowe informatyki. Poniżej opiszemy najważniejsze terminy powyższych dyscyplin pozwalające zrozumieć zastosowane dalej metody analizy.

4.2. Elementy teorii grafów

Projektowane sieci są najczęściej przedstawiane za pomocą grafu ilustrującego przepływy strumieni informacyjnych. Ponieważ sieci komputerowe są z definicji

dupleksowe, w pierwszej kolejności wykorzystywane są grafy nieskierowane, które można zdefiniować w poniższy sposób.

Definicja 4.1

Grafem nieskierowanym nazywamy parę $G = (V_G, E_G)$ dwóch niepustych skończonych zbiorów, w której $V_G = \{v_{G_1}, \dots, v_{G_n}\}$ jest zbiorem elementów nazywanych wierzchołkami, a zbiór $E_G = \{(v_{G_i}, v_{G_j}) : v_{G_i} \neq v_{G_j}; v_{G_i}, v_{G_j} \in V_G\}$ zbiorem nieuporządkowanych par wierzchołków zwanych krawędziami. Jeżeli krawędź $(u_G, v_G) \in E_G$, to mówimy, że wierzchołki u_G oraz v_G są końcami tej krawędzi, bądź krawędź (u_G, v_G) oraz wierzchołki u_G i v_G są incydentne. Jeżeli graf posiada krawędzie postaci (u_G, u_G) to nazywamy go pseudografem.

Powyższa definicja nie jest jedyną, w literaturze można znaleźć alternatywne określenia grafu. Pomiedzy elementami grafu, a komponentami modelowanego obiektu istnieje pewne przyporządkowanie. Dla przykładu, rozważmy połączenia sieci teleinformatycznej. Najczęściej, zbiór wierzchołków grafu reprezentuje sobą zbiór jej węzłów, a zbiór krawędzi – zbiór kanałów komunikacyjnych modelowanej sieci. Do przedstawienia sieci teleinformatycznych szeroko wykorzystuje się grafy nieskierowane opisane definicją 4.1. Dla większości zadań rozwiązywanych w ramach niniejszego opracowania, zastosowanie grafów nieskierowanych jest wystarczające. Jednak wykorzystane grafy będą różnić się od opisu przedstawionego za pomocą powyższej w następujących aspektach szczegółowych:

1. W zależności od rozwiązywanego zagadnienia, stosować będziemy węzłowo-wierzchołkową lub węzłowo-krawędziową relację pomiędzy grafem a rzeczywistym obiektem. W formie węzłowo-wierzchołkowej, węzłom rzeczywistej sieci odpowiadać będą wierzchołki grafu, kablom komunikacyjnym jego krawędzie. Z kolei w formie węzłowo-krawędziowej: węzły sieci to krawędzie grafu, a kanały komunikacyjne to jego wierzchołki;
2. Poza wybranymi, szczególnym przypadkami wykorzystywać będziemy grafu ważone, w których krawędziom (i/lub) wierzchołkom przypisane zostaną odpowiednie wagi, odzwierciedlające ich charakterystyki, np. długość połączenia, jego przepustowość, liczbę uczniów w szkole itp.

W analizie rzeczywistych systemów model może odzwierciedlać również kierunek przepływu informacji, do czego lepiej jest wykorzystywać grafy skierowane. Przedstawione poniżej określenie grafu skierowanego jest rozwinięciem definicji grafu nieskierowanego. W dalszej części analizy (poza nielicznymi przypadkami) wykorzystywać będziemy grafy nieskierowane.

Definicja 4.2

Grafem skierowanym nazywamy parę $D = (V_G, E_G)$, w której $V_G = \{v_{G_1}, \dots, v_{G_n}\}$ jest zbiorem elementów nazywanych wierzchołkami, a zbiór $E_G \subseteq V_G \times V_G$ zbiorem, elementy którego nazywamy łukami lub strzałkami. Jeżeli łuk $(u_G, v_G) \in E_G$, to wierzchołek u_G nazywamy początkiem łuku, a v_G jego końcem.

W systemach wielokanałowych (opartych np. na technologii WDM), węzły sieci łączone są za pomocą zbioru niezależnych kanałów. Do ich reprezentacji można wykorzystać multigrafy, zarówno nieskierowane jak również skierowane. Definicję multigrafu nieskierowanego przedstawiamy poniżej. W podobny sposób możemy zdefiniować multigraf skierowany.

W niniejszym opracowaniu multigrafy będą wykorzystywane do opisu połączeń pomiędzy centralnymi węzłami przetwarzającymi.

Definicja 4.3

Graf nieskierowany $G = (V_G, E_G)$ nazywamy multigrafem, jeżeli E_G jest multizbiorem, tzn. zawiera kilka kopii krawędzi. Takie krawędzie nazywamy krotnymi, a liczbę kopii takiej krawędzi nazywamy jej krotnością. Jeżeli multigraf posiada krawędzie postaci (u_G, u_G) , to nazywamy go pseudomultigrafem.

Dwie krawędzie nazywamy przyległymi, jeżeli są one incydentne ze wspólnym wierzchołkiem. Liczbę krawędzi incydentnych do wierzchołka, z pętlami liczącymi podwójnie, nazywamy stopniem danego wierzchołka i oznaczamy symbolem $\deg(v_i)$. O stopniu wierzchołka mówi się czasami jako o jego wartościowości. W teorii projektowania systemów i sieci, szczególnie przy tworzeniu topologii logicznych, wykorzystuje się różne rodzaje stopni, które zostaną przedstawione w dalszej części opracowania, w odniesieniu do wykorzystania technologii falowego zwielokrotniania kanałów komunikacyjnych. W niniejszym opracowaniu pojęcie stopnia będzie wykorzystywane szeroko. Znajdzie ono zastosowanie m.in. do opisu liczby kanałów dołączanych węzłów każdego poziomu.

Jednymi z najszerzej wykorzystywanych w projektowaniu pojęć teorii grafów są trasa, droga oraz cykl. W procesie projektowania opisują one przebiegi strumieni informacyjnych, a także pozwalają definiować algorytmy funkcjonowania węzłów sieciowych. Niestety, w tym obszarze teorii grafów brakuje jednorodności terminologicznej. Powyższe terminy (trasa, droga, cykl), zdaniem autorów najtrafniejsze dla teorii projektowania, definiujemy zgodnie z klasycznym poradnikiem Bronszejna [30].

Definicja 4.4

Trasą w nieskierowanym grafie $G = (V_G, E_G)$, łączącą wierzchołek v_{G_0} z v_{G_n} nazywamy skończony ciąg następujących na przemian po sobie wierzchołków i krawędzi postaci $v_{G_0}, e_{G_1}, v_{G_1}, e_{G_2}, \dots, v_{G_{n-1}}, e_{G_n}, v_{G_n}$, gdzie: $v_{G_i} \in V_G$, $e_{G_j} = (v_{G_{j-1}}, v_{G_j}) \in E_G$; $i = 0, 1, \dots, n$, $j = 0, 1, \dots, n$.

Wierzchołki, którymi trasa się rozpoczyna i kończy nazywamy jej wierzchołkami końcowymi. Trasa może się rozpoczynać i kończyć w tym samym wierzchołku i nazywana jest wtedy trasą zamkniętą. Trasę, która nie jest zamknięta (tzn. jej wierzchołki końcowe są różne), nazywamy otwartą. Liczbę krawędzi w ścieżce nazywamy jej długością. Drogą nazywamy trasę, której wierzchołki $v_{G_0}, \dots, v_{G_n}$ są parami różne. Krawędź postaci (u_G, u_G) nazywamy pętlą własną i jest ona trasą o dłu-

gości 1. Pętlę własną można włączyć do trasy, ale nie do drogi. Wierzchołki końcowe drogi są stopnia pierwszego, a reszta wierzchołków (zwanymi wierzchołkami pośrednimi) jest stopnia drugiego. Stopnie liczy się w odniesieniu do krawędzi należących do drogi, a nie do grafu źródłowego, w którym droga została utworzona. Trasę zamkniętą, w której żaden z wierzchołków (z wyjątkiem wierzchołka początkowego i końcowego) nie pojawia się więcej niż jeden raz, nazywamy obwodem lub cyklem. Oznacza to, że obwód jest drogą zamkniętą. Graf jest spójny, jeśli dowolne dwa jego wierzchołki są połączone drogą. Z matematycznego punktu widzenia, graf $G = (V_G, E_G)$ nazywamy spójnym, jeśli istnieje co najmniej jedna droga pomiędzy dowolną parą jego wierzchołków. W przeciwnym przypadku, G jest niespójny.

Rozważmy relację R na zbiorze $V_G = \{a_G, \dots, u_G, v_G, \dots, z_G\}$ wierzchołków, zdefiniowaną jako $u_G R v_G$, która ma miejsce wtedy i tylko wtedy, kiedy pomiędzy u_G i v_G istnieje droga. Wynika stąd, że zbiór wierzchołków grafu $G = (V_G, E_G)$ można podzielić na klasy równoważności $V_{G_1}, V_{G_2}, \dots, V_{G_k}$, z których każda tworzy spójny graf, odpowiednio $G_1 = (V_{G_1}, E_{G_1})$, $G_2 = (V_{G_2}, E_{G_2})$, ..., $G_k = (V_{G_k}, E_{G_k})$, gdzie: $E_{G_i} \subseteq E_G$, $i = 1, \dots, k$. Każdy z podgrafów G_i nazywamy *składową grafu G* i jeżeli $k > 1$, to G jest grafem niespójnym. Składową tworzą: wierzchołek v_{G_i} oraz wszystkie wierzchołki G , posiadające ścieżki prowadzące do v_{G_i} , wraz ze wszystkimi krawędziami incydentnymi do nich.

W procesie projektowania wszelkich sieci szczególną rolę odgrywają dwa specyficzne typy grafów: *drzewa* oraz grafy *wielodzielne*, w szczególności *dwudzielne*. W rozpatrywanym przypadku, sieć realizowana w ramach projektu opisana zostanie za pomocą drzewa, odzwierciedlającego jej hierarchiczną strukturę. Większość prowadzonych badań dotyczyć będzie właśnie struktur tego typu.

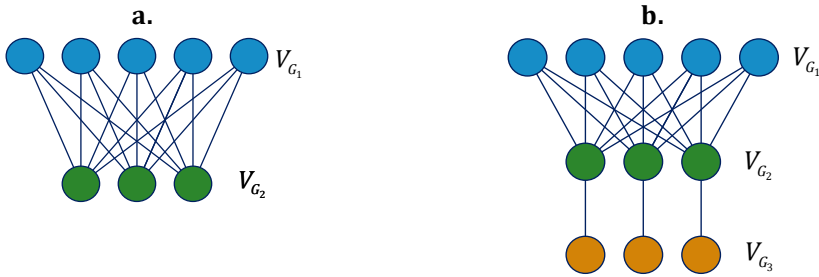
Definicja 4.5.

Drzewem nieskierowanym nazywamy spójny graf acykliczny. Drzewo jest drzewem właściwym, jeżeli można wydzielić w nim korzeń. Drzewem rozpinającym grafu $G = (V_G, E_G)$ nazywamy będący drzewem podgraf rozpinający grafu G .

Definicja 4.6.

Graf $G = (V_G, E_G)$ nazywamy dwudzielnym jeżeli istnieje podział $V_G = V_{G_1} \cup V_{G_2}$ wierzchołków tego grafu na dwie klasy, w którym końce dowolnej jego krawędzi należą do różnych klas.

Graf dwudzielny oznaczamy jako $K_{m,n}$, gdzie: m i n są odpowiednio mocami zbiorów V_{G_1} i V_{G_2} . Dwudzielny graf jest zupełny, jeśli każdy wierzchołek V_{G_1} jest sąsiedni do wszystkich węzłów z V_{G_2} . Jeżeli wierzchołki grafu możemy podzielić na $k > 2$ rozłącznych klas, wówczas taki graf nazywamy grafem k -dzielnym. Graf k -dzielnny jest zupełnym jeżeli istnieje krawędź pomiędzy dowolną parą wierzchołków należącą do różnych klas. Przykłady grafów wielodzielnych przedstawiono na rys.4.1.



Rys.4.1. Przykłady grafów wielodzielnych: a. Dwudzielny graf zupełny ; b. Graf trójdzielny

W niniejszej pracy, grafy wielodzielne zostaną wykorzystane do podziału obszarów NUTS-3 na cztery podstawowe regiony, za pomocą zmodyfikowanego algorytmu poszukiwania obszarów specjalizacji.

Pojęciem szczególnie szeroko wykorzystywany podczas prac analitycznych jest *centrum grafu*. Pojęcie to jest ściśle powiązane z innymi ważnymi terminami: średnicy i promienia grafu. Wszystkie te charakterystyki znajdują zastosowanie w rozwiązywaniu zadań rozmieszczania zasobów sieci, dlatego przedstawimy je nieco dokładniej.

Rozważmy graf $G = (V, E)$, gdzie: V – zbiór wierzchołków grafu, a E – zbiór jego krawędzi. Symbolem $d_{i,j}$ oznaczmy najkrótszą odległość pomiędzy parą wierzchołków $i, j \in V$. Wtedy średnicą $diam(G)$ grafu określać będziemy maksymalną ścieżkę spośród najkrótszych ścieżek łączących dowolną parę wierzchołków:

$$diam(G) = \max_{u,v \in V} d_{u,v} \quad (1)$$

Dodatkowo, wprowadzimy pojęcie ekscentryczności $\varepsilon(v)$ wierzchołka v , jako maksymalną odległość dzielącą wierzchołek od dowolnego innego wierzchołka, tj.:

$$\varepsilon(v) = \max_{u \in V} d_{u,v}.$$

Znając wartość ekscentryczności wszystkich wierzchołków, promień $rad(G)$ grafu można określić jako jego minimalną jego ekscentryczność, tj.:

$$rad(G) = \min_{v \in V} \varepsilon(v).$$

Zauważmy jednocześnie, że średnica $diam(G)$ grafu to jednocześnie jego maksymalna ekscentryczność, tj.:

$$diam(G) = \max_{v \in V} \varepsilon(v).$$

Pojęciem centrum grafu określać będziemy wszystkie wierzchołki z ekscentrycznością równą promieniowi $rad(G)$ grafu, tj.:

$$C(G) = \{v \in V : \varepsilon(v) = rad(G)\}.$$

4.3. Sieć z organizacją hierarchiczną

4.3.1. Cechy systemów hierarchicznych

Bazując na teorii projektowania systemów teleinformatycznych systemu te można podzielić na płaskie i hierarchiczne. W systemach płaskich wierzchołków

grafu, odzwierciedlających węzły rzeczywistego systemu, nie da się pogrupować w jakiejkolwiek warstwy a połączenia pomiędzy nimi są nieuporządkowane, tj. możliwe są połączenia pomiędzy dowolną wskazaną parą węzłów. W systemach hierarchicznych, węzły sieci (wierzchołki grafu) są dzielone pomiędzy warstwami, a połączenia mogą być realizowane wyłącznie pomiędzy wierzchołkami znajdującymi się w różnych, najczęściej sąsiednich warstwach.

Budowa sieci złożonej z blisko 24 000 węzłów jako struktury płaskiej jest zadaniem niewykonalnym. Chociaż sieć taka w najlepszy sposób spełniałaby wymagania Inwestora, złożoność zadania projektowego jest w jej przypadku tak ogromna, że jego wykonanie jest praktycznie niemożliwe, w szczególności w związku z potrzebą wprowadzenia ogromnej ilości danych wejściowych. Dlatego, nie ulega wątpliwości, że powinna ona podlegać pewnym uproszczeniom, sprowadzającym się do jej klasteryzacji i hierarchizacji.

Hierarchiczność sieci wpisuje je w główny kierunek rozwoju systemów informatycznych. Większość autorów, jako przyczyny szerokiego wykorzystania systemów hierarchicznych wskazuje:

1. Analiza i synteza systemów wielkorozmiarowych jest znacznie łatwiejsza, jeżeli zostaną one podzielone na prostsze podsystemy o mniejszej złożoności, będące, na przykład, warstwami hierarchii;
2. Wydzielenie zbioru podsystemów, których zakres funkcjonalny jest ograniczony, pozwala na ich daleko idącą specjalizację. Podsystem nie musi już znać celów funkcjonowania całego systemu;
3. Dzięki modularności, hierarchizacja może (aczkolwiek nie musi) poprawić odporność systemu na uszkodzenia, polepszyć ich wykrywanie i usuwanie. Zauważmy, że w przypadku uszkodzenia wymienia się tylko część systemu, dysponującą ściśle zdefiniowanymi połączeniami;
4. Hierarchiczność upraszcza eksploatację, w szczególności zarządzanie całym systemem.

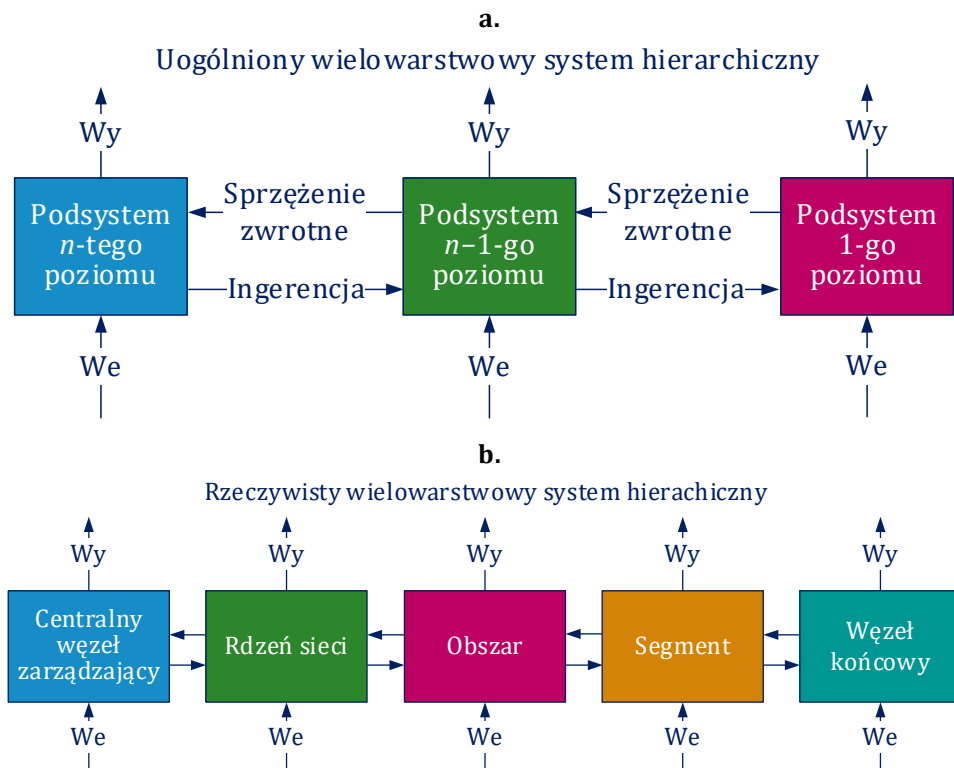
Chociaż teoria systemów hierarchicznych została zdefiniowana z początkiem lat siedemdziesiątych, w chwili obecnej nie istnieje żadna, ogólnie przyjęta ich definicja. Najczęściej, systemy te opisuje się poprzez wyszczególnienie ich typowych cech, którymi są:

1. *Pionowa dekompozycja*. Polega na sekwencyjnym rozmieszczeniu podsystemów funkcjonalnych, z zachowaniem ich podległości pionowej. Wspomniana zależność dotyczy wyłącznie przetwarzania informacji wejściowej *We* w wyjściową *Wy*. Z punktu widzenia innych celów współdziałania, dopuszczalne są również dodatkowe formy powiązania elementów;
2. *Priorytet działań*. Oznacza bezpośredni i jawny wpływ poziomów wyższych na funkcjonowanie niższych warstw hierarchii. Wspomniana zależność ma charakter obligatoryjny, innymi słowy, w systemach hierarchicznych ma miejsce nadrzędność wyższych poziomów nad niższymi. W systemach z deterministycznym algorytmem funkcjonowania, ingerencja wiąże się ze

zmianą wybranego parametru niższego poziomu. Z kolei w systemach niedeterministycznych przestrzegana jest sekwencyjna kolejność działań na poszczególnych poziomach hierarchii. Najczęściej, zadanie podlegające rozwiązaniu w niższej warstwie, nie jest całkowicie zdefiniowane dopóty, dopóki nie zostanie ono określone na poziomach wyższych. Opisany powyżej wzajemny wpływ nazywany jest ingerencją;

3. *Wzajemne relacje funkcjonalne.* Chociaż ingerencja w działanie dowolnego z poziomów odbywa się schodząco (tj. z góry do dołu), poprawne funkcjonowanie całości zależy od rezultatów działania wszystkich warstw systemu. Oznacza to, że efekt pracy wyższego poziomu to skutek nie tylko rezultatów funkcjonowania jego samego, ale również wyników (sumarycznych) rezultatów wszystkich niższych warstw. W przypadku sieci teleinformatycznych, należy dodatkowo przyjąć, że na pracę całego systemu wpływa także sprzężenie zwrotne przenoszące informacje z jego niższych poziomów na wyższe.

Uogólnioną architekturę systemów hierarchicznych przedstawiono na rys. 4.2a, a uszczegółowienie, uwzględniające cechy charakterystyczne RST na rys. 4.2b.



Rys. 4.2. Architektury stratyfikowanych systemów hierarchicznych

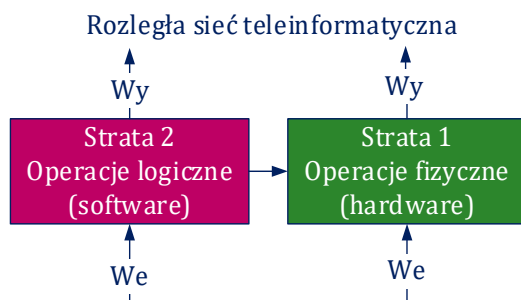
Hierarchia składa się z pięciu poziomów, z których najniższy grupuje węzły końcowe, najwyższy zaś zawiera centralny węzeł zarządzający. Elementami poszczególnych poziomów hierarchii są: węzły końcowe, segmenty, obszary, rdzeń sieci

oraz węzeł centralny. Węzeł końcowy to miejsce lokalizacji użytkownika bądź ich grupy. O grupie mówić będziemy, jeżeli tworzące ją jednostki pomiędzy sobą połączone są za pomocą innych środków komunikacji, niż te wykorzystywane w segmencie. Obszar to grupa segmentów obsługiwanych przez jeden wspólny przełącznik. Rdzeń sieci obejmuje wszystkie połączone przełączniki zintegrowane za pomocą centralnego węzła zarządzającego.

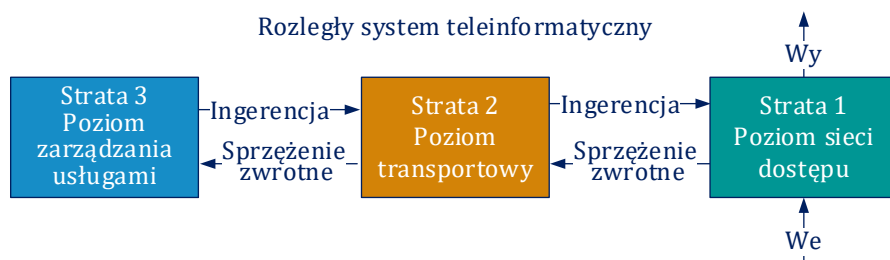
Zgodnie z teorią systemów hierarchicznych, każdy z poziomów może mieć postać straty, warstwy lub eszelonu. Rozróżnienie trzech różnych organizacji warstw wynika z poszukiwania kompromisu pomiędzy prostotą opisu, a złożonością wzajemnych powiązań. Systemy spotykane w praktyce są najczęściej skomplikowaną kombinacją powyższych typów podstawowych, a sposób przedstawienia hierarchii systemu zależy od jego architektury.

Strata jest poziomem, dysponującym własnym opisem funkcjonowania, dzięki czemu badając fragment systemu możemy ograniczyć się do analizy interesującej nas warstwy. Model, którego poziom mają postać strat, nazywany jest modelem stratyfikowanym, a sam system – systemem stratyfikowanym. Charakteryzuje je wysoka niezależność strat, dzięki temu możliwe jest precyzyjne określenie ich właściwości, które są sumą funkcji poszczególnych strat. W pierwszym przybliżeniu, RST uważa się za systemy stratyfikowane. Jednak w rzeczywistych RST, absolutna niezależność strat nie występuje, a opis ich funkcjonowania musi uwzględniać wszystkie wykorzystywane poziomy, jak również powiązania pomiędzy nimi. Dwie stratyfikowane hierarchie odzwierciedlające RST, różniące się poziomem abstrakcji prezentacji zaprezentowano na rys. 4.3.

a.



b.

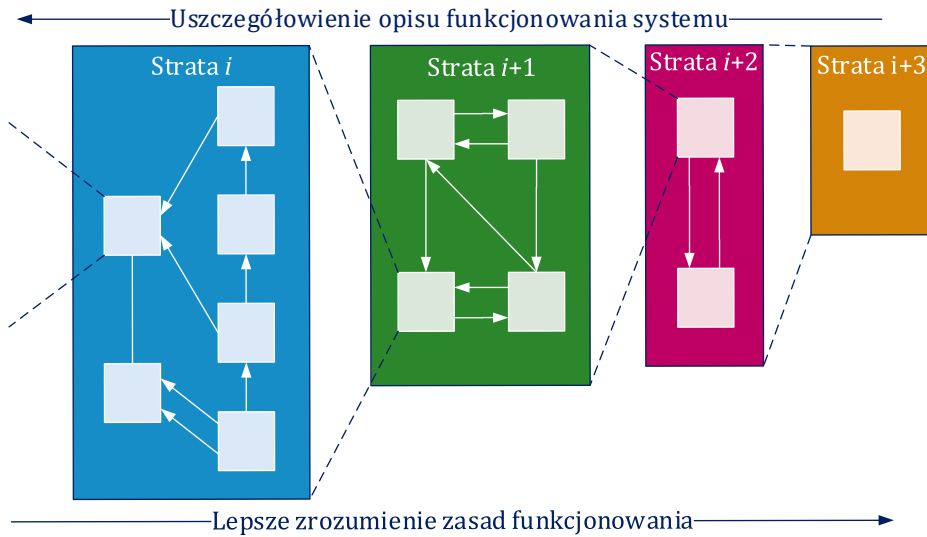


Rys. 4.3. Hierarchiczne systemy stratyfikowane

Na pierwszym z rysunków widnieje hierarchia złożona z dwóch strat: operacji fizycznych i operacji logicznych. Struktura taka jest charakterystyczna nie tylko dla typowych systemów informatycznych, ale również dla wszelkich produktów ewolucji. Dolny poziom (strata 1) z rys. 4.3a reprezentuje operacje fizyczne wykonywane w oparciu o współdziałanie sprzętowych elementów sieci. Z kolei górny (strata 2) opisuje programy i aplikacje wykorzystywane przy funkcjonowaniu sieci. Na poziomie tym, zjawiska fizyczne wszechobecne w stracie 1, nie pojawiają się w ogóle. Na rys. 4.3b zaproponowano stratyfikowany model sieci, uwzględniający poszczególne komponenty sieci. W modelu tym, elementy nie są dzielone z pozycji środowiska realizacji usług, a wyłącznie z punktu widzenia ich charakteru.

Rozważmy argumenty przemawiające za wykorzystaniem modeli stratyfikowanych do opisu sieci. W szczególności, należy zauważyć, że:

1. Asortyment strat sieci zależy głównie od obserwatora, w szczególności od jego wiedzy i zainteresowania funkcjonowaniem konkretnych komponentów sieci. Pozwala to dostosować model do rzeczywistych potrzeb projektanta;
2. W ogólnym przypadku, opisy funkcjonalne różnych strat systemu są ze sobą luźno powiązane. Dzięki temu, reguły i prawa używane do opisu, nie muszą być wydzielone z zasad wykorzystywanych dla innych strat;
3. Zależności funkcjonalne pomiędzy różnymi stratami mają charakter asymetryczny, wymagania stawiane przed stratami wyższego poziomu pojawiają się jednocześnie, jako warunki lub ograniczenia działania strat niższych poziomów;
4. Każda ze strat operuje własnym zbiorem terminów, koncepcji i zasad. Ponadto, charakterystyczne dla niej obiekty są dokładniej analizowane w stratach niższych poziomów. Zgodnie z rys. 4.4, każda niższa strata detalizuje stratę wyższą;
5. Zasady działania systemu są uszczegółowiane przy sekwencyjnym przechodzeniu od jednej straty do drugiej. W szczególności, przechodząc od straty wyższej do niższej zwiększamy poziom detalizacji opisu. Z kolei, przemieszczając się w przeciwnym kierunku, poprawiamy zrozumienie sensu i znaczenia całego systemu (patrz rys. 4.4).

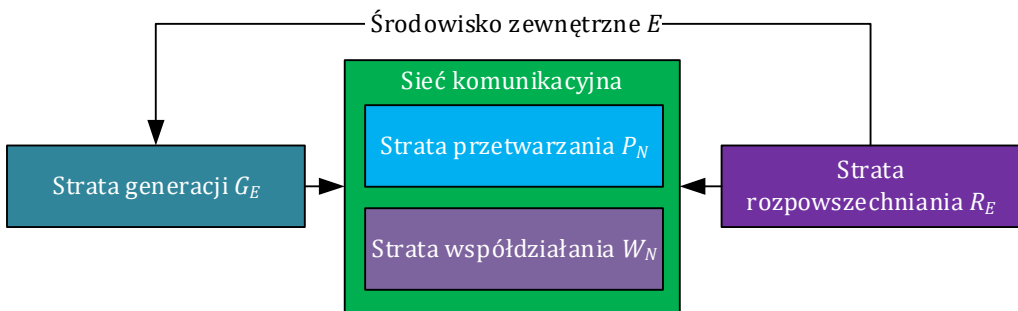


Rys. 4.4. Relacje informacyjne w systemie stratyfikowanym

Uwzględniając powyższe rozważania, budując RST będziemy dążyć do takiego doboru strat, aby osiągnąć kompromis pomiędzy szczegółowością opisu, a zrozumieniem zasad ich działania.

4.3.2. Detalizacja hierarchii stratyfikowanej

Dotychczasowe rozważania wykorzystamy do opracowania stratyfikowanego modelu RST, opisującego współdziałanie pomiędzy otoczeniem zewnętrznym E a komponentami sieci N . Dodatkowo, opracowany model powinien zagwarantować przetwarzanie informacji przez komponenty sieci zgodnie z zasadami obowiązującymi w systemach otwartych, co poprawi uniwersalność jego zastosowań. Model spełniający powyższe wymagania został schematycznie przedstawiony na rys. 4.5.



Rys. 4.5. Model systemu stratyfikowanego

Środowisko zewnętrzne oraz jego komponenty zaprezentowano w postaci czterech strat: generacji G_E , rozpowszechniania R_E , współdziałania W_N oraz przetwarzania P_N . Wydzielenie straty G_E , pozwala uwzględnić wpływ użytkowników końcowych na programowo-sprzętowe zasoby RST, w szczególności odzwierciedla ona generowany strumień żądań. Strata R_E zapewnia uwzględnienie wpływu zakłóceń

zewnątrznych na przesyłane sygnały informacyjne (elektryczne, optyczne i radiowe), a strata W_N pozwala rozpatrywać RST, jako jednolitą całość, współdziałającą ze środowiskiem zewnętrznym na poziomie systemowym. Strata P_N reprezentuje najważniejsze strukturalne elementy sieci, przeznaczone do przesyłania informacji. Dodatkowo, w stracie tej zawarte są powiązania wyszczególnionych elementów z ich programowo-sprzętowym otoczeniem.

Nie ulega wątpliwości, że na wewnętrzne parametry RST wpływają nie tylko zjawiska zachodzące w komórkach, ale również komunikacja w rdzeniu sieci. Przyjmujemy, że rdzeń RST został zbudowany na bazie przełączników elektrycznych oraz optycznych kanałów komunikacyjnych (założono, że budowa sieci transparentnej jest obecnie zbyt kosztowna). Wykorzystując opisany wcześniej model, stratę W_N traktuje się jako środowisko informacyjno-obliczeniowe złożone z przełączników, przedstawionych w postaci wielowrotników oznaczonych symbolem η_i^n , gdzie: i – numer poziomu lokalizacji wielowrotnika, $I = 1, \dots, I_N$, I_N – liczba warstw wykorzystywanej hierarchii; n – numer wielowrotnika w ramach danej warstwy. Wielowrotniki wyposażone są w trzy rodzaje wejść i wyjść, które oznaczamy odpowiednio jako: m_{ki}^n , m_{ii}^n , m_{ji}^n . Wejścia i wyjścia, oznaczone jako m_{ki}^n wiążą n -ty wielowrotnik i -tej warstwy z k -tym wyższym poziomem. Oznaczenie m_{ii}^n opisuje interfejsy w ramach tej samej, i -tej warstwy hierarchii. Z kolei, symbol m_{ji}^n dotyczy powiązań n -tego wielowrotnika i -tego poziomu hierarchii z j -tą wyższą warstwą. Z uwagi na obustronną komunikację, w każdym z wykorzystywanych wielowrotników, liczba wejść odpowiada liczbie wyjść. Uogólniając, zbiór η_i^n wejść i wyjść wielowrotnika możemy zapisać jako:

$$\eta_i^n = \{m_{1i}^n, m_{2i}^n, \dots, m_{(i-1)i}^n, m_{ii}^n, m_{(i+1)i}^n, \dots, m_{I_n i}^n\}, \quad (2)$$

rozdzielając przy tym współdziałanie pomiędzy urządzeniami danego poziomu oraz między sąsiednimi warstwami hierarchii.

Chociaż nie można wykluczyć istnienia wielowrotnika ze schematem połączeń opisanym wyrażeniem (2), w praktyce spotykamy się z sytuacją, kiedy połączenia realizowane są wyłącznie w ramach danego oraz bezpośrednio z sąsiednimi poziomami. Wtedy, zbiór połączeń zapisujemy jako: $\eta_i^n = \{m_{(i-1)i}^n, m_{ii}^n, m_{(i+1)i}^n\}$. Ponieważ ogólność rozważań wymaga zachowania formy zapisu zgodnej z wyrażeniem (2), w miejsce połączeń niewykorzystywanych poziomów, wpisujemy cyfrę zero. W rezultacie, wyrażenie (2) przyjmuje postać:

$$\eta_i^n = \{0, 0, \dots, m_{(i-1)i}^n, m_{ii}^n, m_{(i+1)i}^n, \dots, 0\}. \quad (3)$$

Zgodnie z wcześniejszymi oznaczeniami poprzez η_i^n rozumie się zbiór wszystkich wejść i wyjść n -tego węzła i -tego poziomu straty. Tak więc, $\eta_{ki}^n \in \eta_i^n$ jest podzbiorem wejść i wyjść n -tego węzła i -tego poziomu, połączonych z węzłami najbliższej niższej k -tej warstwy, a $\eta_{ji}^n \in \eta_i^n$ jest podzbiorem wejść i wyjść tego węzła, połączonych z węzłami kolejnej, wyższej j -ej warstwy.

Przełączniki tworzące rdzeń sieci mogą zapewniać zmienność jej struktury. Przyjmijmy, że zbiór η_i^n wszystkich wejść i wyjść n -tego węzła i -tego poziomu jest

niezmienny. Nie oznacza to jednak, że tworzące go podzbiory połączeń z poprzedzającą go warstwą $\eta_{(i-1)i}^n$, w ramach tego samego poziomu η_{ii}^n oraz podzbiór połączeń z kolejną warstwą $\eta_{(i+1)i}^n$ są niezmiennie. W praktyce, podzbiory te zmieniają się zapewniając elastyczność architektury rdzenia sieci. Jeżeli dodatkowo przyjmujemy, że zbiór η_i^n jest sumą wyszczególnionych podzbiorów, tj. $\eta_i^n = \eta_{(i-1)i}^n \cup \eta_{ii}^n \cup \eta_{(i+1)i}^n$ to możemy zaakceptować również zmienność samego zbioru. Zauważmy, że w ogólnym przypadku dla wszystkich I_N warstw systemu, przy założeniu istnienia połączeń innych niż z sąsiednią warstwą, zbiór ich wszystkich określony jest wyrażeniem:

$$\eta_i^n = \bigcup_{k=1}^{i-1} \eta_{ki} \bigcup_{j=i+1}^{I_n} \eta_{ji}.$$

Wykorzystując terminologię systemów hierarchicznych, możemy założyć, że węzły straty I_N są zbiorami systemów hierarchicznych, spełniającymi następujące warunki:

1. Połączenie obiektów jednego i tego samego poziomu, dwóch lub więcej systemów w ramach węzła straty I_N , może być zrealizowane na bazie obiektów sąsiednich poziomów, za wyłączeniem fizycznego;
2. Obiekty systemów hierarchicznych, rozmieszczone w różnych węzłach straty I_N łączą się pomiędzy sobą za pośrednictwem poziomów fizycznych tychże systemów.

Powyższe rozważania mają, przede wszystkim, charakter teoretyczny. Oczywiście, nie oznacza to, że nie można ich wykorzystać do projektowania rzeczywistych systemów, jednak są one adresowane do syntezy samej hierarchii, a nie systemu jako całości. Do rozwiązania realnego zadania poszukiwania optymalnej hierarchii możemy wykorzystać metody programowania całkowitoliczbowego. W tym celu, rozważmy zbiór grafów dopuszczalnych hierarchii $\{G_i = (V_i, E_i)\}$, gdzie: $i = 1, \dots, n$. Załóżmy, że poszukujemy hierarchii opisanej grafem $G^* \in \{G_i\}$, charakteryzującej się maksymalną wartością oceny wybranej właściwości lub ich zestawu. W tym celu, analizować będziemy wektor ψ cząstkowych wskaźników efektywności grafu $G_{i_1} \in \{G_i\}$ określony jako:

$$\Psi(G_{i_1}) = (\psi_1(G_{i_1}), \dots, \psi_k(G_{i_k}), \dots, \psi_m(G_{i_m})).$$

Wtedy, funkcja celu będzie miała postać:

$$\max_{G^* \in \{G_i\}} \psi_k(G^*), \quad \forall k = 1, \dots, m.$$

Można także poszukiwać hierarchii najbardziej zbliżonej do określonej wcześniej struktury wzorcowej lub ich zbioru. Jako $G_c = (V_c, E_c)$ oznaczmy graf docelowej (wzorcowej) hierarchii, gdzie $G_c \in \{G_i\}$. W celu określenia odległości wybranego grafu od grafu docelowej hierarchii, wprowadzimy funkcję bliskości. Dla dwóch dowolnych grafów G_{i_1} i G_{i_2} należących do zbioru dopuszczalnych hierarchii (tj. $G_{i_1}, G_{i_2} \in \{G_i\}$), funkcja $\rho(G_{i_1}, G_{i_2})$ określa bliskość pomiędzy nimi. Tak więc, funkcja celu przyjmuje postać:

$$\min_{G^* \in \{G_i\}} \rho(G^*, G_c).$$

Wykorzystując zintegrowaną definicję obu zadań, możemy zapisać nową funkcję celu:

$$\min_{G^* \in \{G_i\}} \rho(G^*, G_c), \text{ dla } \psi_k(G^*) \geq r_k, \forall k = 1, \dots, m,$$

gdzie: r_k – ograniczenia wartości ocenianych właściwości.

Przedstawione zadania poszukiwania optymalnej hierarchii zostało szczegółowo opisane w literaturze [31], gdzie podano również przykłady jego zastosowania, w tym również do projektowania architektury systemów teleinformatycznych. Powyższe zadania optymalizacyjne odpowiadają złożonym modelom programowania całkowitoliczbowego lub mieszanego całkowitoliczbowego, dla których można wykorzystać różnorodne metody rozwiązania: od prostego przeszukiwania począwszy, na metodach sztucznej inteligencji skończywszy [31].

Zadanie określenia liczby i typów poziomów sieci może być przedstawione również jako zadanie rozmieszczania wielopoziomowego, a do uzyskania przybliżonego wyniku można zastosować metodę bazującą na liniowej relaksacji i rozwiązaniu zadania dualnego z lokalną poprawą wyniku. Jeżeli niezbędne jest dokładne rozwiązanie, można zastosować metodę gałęzi i granic. Kiedy na strukturę projektowanej sieci nakładane są dodatkowe ograniczenia, należy zastosować metody: poszukiwania drzewa rozpinającego z ograniczonym promieniem; budowy optymalnego drzewa Steinera z limitowanymi długościami ścieżek i ograniczoną ilością punktów Steinera oraz poszukiwania prostokątnego drzewa Steinera z ścieżkami jednakowej długości. Niestety, wszystkie powyższe metody należą do grupy algorytmów NP-zupełnych i są mało atrakcyjne dla szybkiego rozwiązania zadania. Jeszcze inną grupą metod, przydatnych do określenia efektywnej hierarchii jest klasteryzacja hierarchiczna, w szczególności wywodzące się z niej: metoda aglomeracyjna oraz metoda hierarchiczna z przecinaniem klastrow.

4.4. Formalny opis struktury systemów hierarchicznych

Rozważmy następującą hierarchię, opisaną grafem skierowanym $D = (V, E)$, gdzie $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ – zbiór wierzchołków odpowiadających elementom hierarchii; $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ – zbiór krawędzi skierowanych (strzałek) grafu, natomiast $e_i = (v_k, v_l)$ to strzałka łącząca k -ty i l -ty wierzchołek. Dowolną strukturę będziemy nazywać hierarchiczną, jeżeli jej elementy powiązane są relacją hierarchii, którą opisuje poniższa definicja.

Definicja 4.7

W grafie skierowanym $D = (V, E)$ dwa wierzchołki $v_k \in V$ oraz $v_l \in V$ powiązane są relacją hierarchii ($v_k \leq v_l$), jeżeli istnieje ścieżka z początkiem w wierzchołku v_k i końcem w wierzchołku v_l o długości $d \geq 0$.

Zauważmy, że ścieżka o długości równej 0 opisuje szczególny przypadek hierarchii, w którym węzły są ze sobą zintegrowane. Ponieważ hierarchia porządkuje zbiór wierzchołków, rozważmy ją obecnie w terminach algebry relacji.

Definicja 4.8

Binarną relację R w zbiorze $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ nazywać będziemy relacją porządkującą, jeżeli R jest zwrotna, antysymetryczna i przechodnia, co można zapisać:

1. $\forall a(aRa)$ (zwrotność);
2. $\forall a, \forall b(aRb \wedge bRa \Rightarrow a = b)$ (antysymetryczność);
3. $\forall a, \forall b, \forall c(aRb \wedge bRc \Rightarrow aRc)$ (przechodniość).

Przyjmijmy, że wierzchołki zbioru V będą częściowo uporządkowane. Dalej, terminem *obwodu* będziemy określać zamkniętą ścieżkę w grafie, a *pętla* – strzałkę, której początek znajduje się w tym samym wierzchołku. Zdefiniujemy następujące twierdzenie.

Twierdzenie 4.1

Binarna relacja hierarchii określona w zbiorze $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ grafu skierowanego D będzie relacją porządku częściowego, wtedy i tylko wtedy, kiedy graf D nie zawiera obwodów.

Dowód: Załóżmy, że relacja hierarchii jest rzeczywiście częściowym porządkiem. Jeżeli zatem, w analizowanym grafie występowałby obwód, nie zostanie spełniony warunek antysymetryczności wymagany przez definicję 4.8 i wspomniana relacja nie jest relacją częściowego porządku. Obecnie rozważmy niezawierający obwodów graf skierowany D , dla którego wierzchołków sprawdzimy wypełnienie warunków z definicji 4.8. Tak więc:

1. *Zwrotność:* $\forall v_i \leq v_i$, tj. dla dowolnego wierzchołka istnieje ścieżka do jej samej, posiadająca zerową długość;
2. *Antysymetryczność:* $\forall i, j \ v_i \leq v_j, v_j \leq v_i \Rightarrow v_i = v_k$ tj. jeżeli istnieją ścieżki łączące v_i z v_j oraz v_j z v_i , to $v_i = v_j$, czyli połączenie tych dwóch ścieżek tworzy obwód;
3. *Przechodniość:* $\forall i, j, k \ v_i \leq v_j, v_j \leq v_k \Rightarrow v_i \leq v_k$ tj. jeżeli istnieją ścieżki łączące wierzchołek v_i z v_j oraz v_j z v_k , to ich połączeniem jest ścieżka łącząca v_i z v_k .

Uwzględniając powyższe rozważania oraz definicję 4.8 stwierdzamy, że relacja hierarchii to relacja porządku częściowego. ♠

Relację binarną R , spełniającą wymagania zwrotności, przechodniości i antysymetryczności będziemy nazywać względnym lub zwrotnym porządkiem częściowym, oznaczanym symbolem $\leq$. Jeżeli warunek zwrotności w definicji hierarchii zamienimy warunkiem antyzwrotności, tj.: $\forall v \neg(vRv)$ to otrzymamy definicję bezwzględnego lub antyzwrotnego porządku częściowego, który oznaczamy jako $<$. Powyższe pojęcia możemy uogólnić na przypadek hierarchii, wyróżniając hierarchie *względne* i *bezwzględne*.

Definicja 4.9

Jeżeli wierzchołki $\forall v \neg(vRv)$ są połączone ścieżką niezerowej długości to wierzchołki te powiązane są relacją bezwzględnego porządku częściowego, tj. $v_i < v_j$.

Zdefiniujemy i udowodnimy następujące twierdzenie.

Twierdzenie 4.2

Binarna relacja bezwzględnej hierarchii na zbiorze V wierzchołków grafu skierowanego D jest relacją porządku bezwzględnego wtedy i tylko wtedy, kiedy graf D nie zawiera obwodów i pętli.

Dowód. Jeżeli relacja bezwzględnej hierarchii jest jednocześnie bezwzględnym porządkiem, wtedy istnienie w grafie obwodu lub pętli przeczy jego antyzwrotności. Przykładowo, właściwości antyzwrotności przeczy istnienie obwodu postaci $(v_i < v_j < \dots < v_k < v_l < v_i)$. Następnie, sprawdzamy wypełnienie właściwości porządku bezwzględnego w relacji hierarchii bezwzględnej dla skierowanego grafu niezawierającego obwodów i pętli. Zauważmy, że:

1. *Antyzwrotność:* dla żadnego i relacja $v_i < v_i$ nie występuje. Oznacza to, że nie istnieje ścieżka długości różnej od zera, łącząca wierzchołek z nim samym;
2. *Przechodność:* jeżeli dla dowolnego i, j, k istnieją ścieżki o niezerowej długości, łączące wierzchołek v_i z v_j oraz v_j z v_k , to ich połączenie będzie ścieżką o niezerowej długości pomiędzy wierzchołkami v_i oraz v_k .

W ten sposób, relacja hierarchii bezwzględnej jest jednocześnie relacją porządku bezwzględnego.♠

Wykorzystując dotychczasowe rozważania zdefiniujemy i udowodnimy poniższe twierdzenie.

Twierdzenie 4.3

Dowolna struktura hierarchiczna może być przedstawiona w postaci skierowanego grafu acyklicznego.

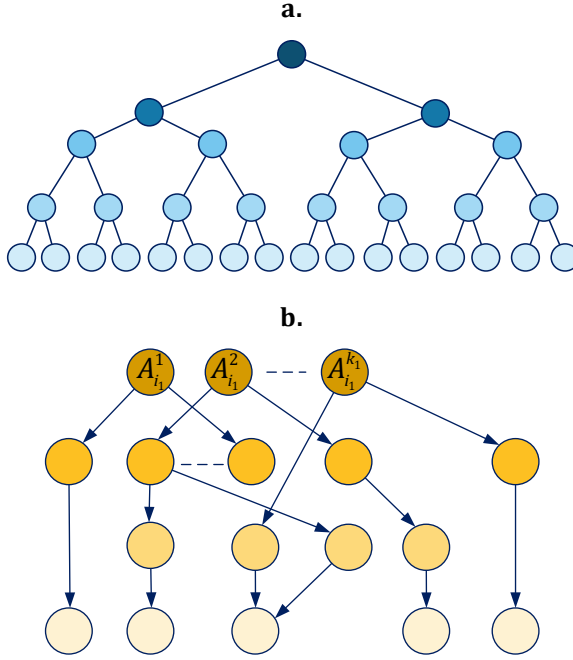
Dowód. Niech $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ oznacza zbiór elementów. Każdy element $a \in A$ posiada typ $\tau(a)$. Liczba typów elementów jest skończona $\tau_1, \dots, \tau_m, m \leq n$ i typy te są uporządkowane relacją porządku częściowego, oznaczoną symbolem $\leq$, tzn. $\tau_1 \leq \dots \leq \tau_m$. Typy elementów pozwalają wprowadzić relację równoważności R na zbiorze A ($R \subseteq A^2$): $aRa \Leftrightarrow \tau(a) = \tau(b), a, b \in A$. Z kolei relacja porządku częściowego na typach pozwala uporządkować zbiór ilorazowy:

$$A/R = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} : A_i < A_j \Leftrightarrow \forall a \in A_i, b \in A_j, \tau(a) < \tau(b).$$

Założmy, że jeżeli $\tau(a) < \tau(b)$, wtedy element a podlega w hierarchii elementowi b . W celu zapewnienia możliwości wielokrotnego osadzenia obiektu niższego poziomu na zasobach poziomu wyższego, wprowadzimy opartą na relacji podlegania funkcję gęstości $f: A \rightarrow N$, gdzie $f(a) = k$ oznacza, że elementowi a podlega k elementów niższych typów. Funkcja gęstości określa relację równoważności R na zbiorze A : $a\tilde{R}b \Leftrightarrow a\tilde{R}b \vee f(a) = f(b), a, b \in A$. W rezultacie, otrzymujemy zbiór ilorazowy posiadający następującą postać:

$$A / \tilde{R} = \{A_{i_1}^1, \dots, A_{i_{k_1}}^{k_1}, A_{i_2}^1, \dots, A_{i_{k_2}}^{k_2}, \dots, A_{i_m}^1, \dots, A_{i_m}^{k_m}\},$$

gdzie: $A_{ij} = \bigcup_{l=1}^{k_j} A_{ij}^l$, $j = 1, \dots, m$, $k_j = k_1, \dots, k_m$. W ten sposób, uzyskujemy graf acykliczny reprezentujący zbiory A oraz $A/\tilde{R}$, co zaprezentowano na rys. 4.6a.



Rys. 4.6. Grafy acykliczne

W przypadku, kiedy typy są liniowo uporządkowane, powyższe zależności są identyczne i zbiór ilorazowy będzie dokładnie taki sam jak wyżej. W tym względzie, czynnikiem decydującym jest funkcja gęstości f . Jeżeli f jest jednorodna, tj. $\forall a \in A, f(a) = \text{const}$ to funkcję f definiujemy na zbiorze $A' \in A$, gdzie: A' zawiera elementy ze zbioru A , posiadające typy uporządkowane relacją: $\tau_2 < \tau_3 < \dots < \tau_m$. Funkcja gęstości dla elementów najniższego typu jest równa 0. Wynika stąd, że struktura zbioru ilorazowego posiada postać drzewa, co pokazano na rys. 4.6b. Tak więc, dowolna struktura hierarchiczna może zostać przedstawiona w postaci skierowanego grafu acyklicznego.♠

W procesie syntezy i analizy RST wykorzystywać będziemy głównie bezwzględne hierarchiczne grafy skierowane. Wśród węzłów hierarchii wyróżnia się przodków oraz potomków, węzły te są następnie grupowane w warstwach. Rozważmy bezwzględną hierarchię, w której $v_i < v_j$. W takim przypadku, wierzchołek v_i będziemy nazywać przodkiem wierzchołka v_j , a wierzchołek v_j potomkiem v_i . Pojęcie warstwy określa poniższa definicja.

Definicja 4.10

Warstwę L nazywać będziemy strukturę spełniającą poniższe warunki:

1. Żaden z elementów danej warstwy nie posiada przodków w warstwie kolejnej;
2. Elementy pierwszej warstwy nie posiadają przodków, zaś ostatnie potomków;
3. Strzałki nigdy nie łączą wierzchołków tej samej warstwy.

Jeżeli z asortymentu strzałek opisujących hierarchię grafu skierowanego wyłączyć pętle to powyższa definicja może być również wykorzystywana do określania warstw hierarchii tej klasy. Zauważmy, że istnienie pętli powoduje, że wierzchołek może być jednocześnie swoim przodkiem i potomkiem, co dla hierarchii bezwzględnych jest niedopuszczalne. Zgodnie z definicją 4.10, wszystkie wierzchołki nieposiadające strzałek wejściowych wchodzą w skład pierwszej warstwy L_1 .

Do podziału wierzchołków hierarchii pomiędzy warstwami można wykorzystać pojęcie odległości pomiędzy dwoma wierzchołkami oraz wierzchołkiem i ich zbiorem. W najprostszym przypadku, odległością $d_{i,j}$ pomiędzy wierzchołkami i oraz j grafu skierowanego D jest długość najkrótszej ścieżki łączącej oba wierzchołki. W podobny sposób możemy określić odległość danego wierzchołka od ich zbioru. Tak więc, odległością $d_{i,M}$ pomiędzy wierzchołkiem i a zbiorem $M \subset V$ nazywać będziemy minimalną odległość $d_{i,j}$ pomiędzy wierzchołkami i oraz j dla $j \in M$. Jeżeli wierzchołki hierarchii mogą być przypisane wyłącznie do jednej warstwy to ich podział pomiędzy nimi jest oczywisty. Jeżeli jednak wierzchołek może zostać rozmieszczony w różnych warstwach, w trakcie ich tworzenia należy dla niego wybrać tę, której odległość od warstwy L_1 jest minimalna.

Uwzględniając powyższe rozważania zdefiniujemy podział na warstwy grafu skierowanego bezwzględnej hierarchii. Rozważmy graf D złożony z x warstw, którego i -ta warstwa składa się z y_i wierzchołków. Zbiór wierzchołków dowolnej i -tej warstwy oznaczmy jako V_{L_i} . Zbiór V wierzchołków grafu D możemy zapisać jako: $V = V_{L_1} \cup V_{L_2} \cup \dots \cup V_{L_x}$, przy czym, dla każdego $k, l = 1, \dots, x$, $V_{L_l} \cap V_{L_k} = \emptyset$. Suma wierzchołków grafu hierarchii jest równa sumie liczby wierzchołków rozmieszczonych na poszczególnych warstwach, tj.:

$$|V| = |V_{L_1}| + |V_{L_2}| + \dots + |V_{L_x}| = y_1 + y_2 + \dots + y_x = y.$$

Topologie sieci sklasyfikujemy z punktu widzenia teorii systemów hierarchicznych. Z uwagi na uwarunkowania topologiczne rzeczywistych obiektów, rozważać będziemy wyłącznie systemy bezwzględnie hierarchiczne. Wprowadźmy kilka definicji podstawowych systemów tej klasy.

Definicja 4.11

Bezwzględnie hierarchiczny graf skierowany będziemy nazywać *jednobiegunowym lewym*, jeżeli $y_1 = 1$. Jeżeli $y_x = 1$ nazywany jest on *jednobiegunowym prawym*, zaś dla $y_1 = y_x = 1$ *dwubiegunowym*.

Ponieważ w analizowanych sieciach, na poziomie L_1 zlokalizowany jest wyłącznie centralny węzeł zarządzający, dalsze rozważania ograniczmy do grafów skierowanych bezwzględnie hierarchii jednobiegunowych lewych.

Definicja 4.12

Drzewiastym, nazywać będziemy lewy jednobiegunowy graf skierowany, w którym $y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_x$. Jeżeli $y_1 < y_2 < \dots < y_x$ mówimy o grafie bezwzględnie drzewiastym.

W analizowanych sieciach połączenia komunikacyjne realizowane są wyłącznie pomiędzy sąsiednimi warstwami. Taką architekturę połączeń nazywamy sekwencyjną, a opisuje ją poniższa definicja.

Definicja 4.13

Bezwzględnie hierarchiczny graf skierowany nazywamy sekwencyjnym jeżeli strzałki łączą wyłącznie sąsiednie warstwy.

W teorii systemów hierarchicznych spotykamy grafy jednoznaczne i niejednoznaczne.

Definicja 4.14

Jeżeli każdy wierzchołek bezwzględnie hierarchicznego grafu skierowanego posiada nie więcej niż jedną strzałkę wejściową to graf taki nazywamy lewym jednoznacznym. W przeciwnym przypadku graf jest lewy niejednoznaczny.

Sformułujemy i udowodnimy twierdzenie, dzięki któremu w procesie projektowania hierarchii będzie można wykorzystywać narzędzia stosowane dla grafów drzewiastych.

Twierdzenie 4.4

Lewy jednoznaczny graf skierowany będzie jednocześnie grafem sekwencyjnym lewym drzewiastym.

Dowód. Rozważmy dowolny wierzchołek l lewego jednoznacznego grafu skierowanego należący do i -tej warstwy, tj. $l \in L_i$. Zgodnie z definicją 4.14, dla wskazanego wierzchołka istnieje jedna i tylko jedna strzałka wejściowa, którą oznaczmy jako (k, l) . Przyjmijmy, że początek k strzałki należy do warstwy L_p , warstwy L_p oraz L_i nie sąsiadują ze sobą i $p < i$. Oznacza to, że jeżeli pomiędzy obiema warstwami istnieje warstwa pośrednia, którą oznaczmy jako L_q i $p < q < i$, to wierzchołek l powinien należeć właśnie do tej warstwy. Ma miejsce zależność $p = i - 1$ i analizowany bezwzględnie hierarchiczny graf skierowany jest sekwencyjny.

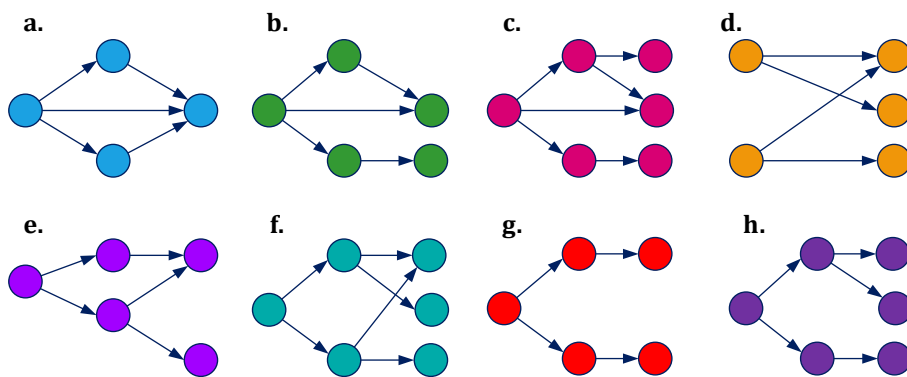
Obecnie udowodnimy, że lewy jednoznaczny graf skierowany jest jednocześnie lewym grafem jednobiegunowym. Na początek przyjmijmy, że liczba wierzchołków należących do pierwszej warstwy jest większa niż jeden. W takim przypadku, z uwagi na sekwencyjność bezwzględnie hierarchicznego grafu skierowanego może mieć miejsce jeden z wariantów:

- Na poziomie L_2 istnieje wierzchołek posiadający więcej niż jeden wierzchołek wejściowy z poziomu ;

- Występuje miejsce rozbitcie poziomów L_2 oraz L_1 na podpoziomy postaci: $L_1 = L_{11} \cup L_{12}$, $L_2 = L_{21} \cup L_{22}$, przy czym: $L_{11} \cap L_{12} = \emptyset$, $L_{21} \cap L_{22} = \emptyset$. Z uwagi na powyższy podział, strzałki łączą wyłącznie wierzchołki podwarstwy L_{11} z wierzchołkami podwarstwy, L_{21} a L_{12} z L_{22} . W ten sposób, bez względu na ilość warstw naruszana jest spójność grafu.

Na koniec rozważmy przypadek bezwzględnie hierarchicznego lewego jednobiegunowego jednoznacznego grafu skierowanego. Ponieważ analizowany graf jest sekwencyjny, to w celu udowodnienia jego drzewiastości, wystarczy porównać moce zbiorów wierzchołków poszczególnych warstw. Jeżeli liczba wierzchołków warstwy wyższej jest mniejsza od niższej, to w pewnej warstwie możemy znaleźć wierzchołek posiadający więcej niż jeden wierzchołek wejściowy w bezpośrednio niższej warstwie. W rezultacie, analizowany graf jest lewym drzewiastym.♣

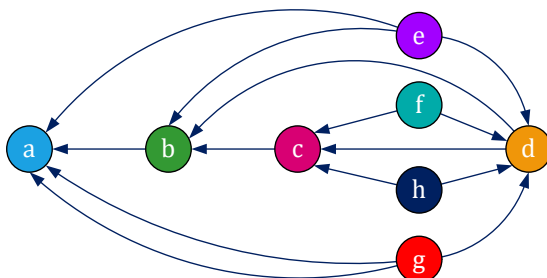
Przykłady różnych typów bezwzględnie hierarchicznych grafów skierowanych przedstawiono na rys. 4.7.



Rys. 4.7. Przykłady grafów skierowanych bezwzględnie hierarchicznych

Przedstawiono odpowiednio następujące hierarchiczne grafy skierowane: **a.** lewy jednobiegunowy; **b.** lewy drzewiasty; **c.** lewy bezwzględnie drzewiasty; **d.** sekwencyjny; **e.** sekwencyjny drzewiasty lewy; **f.** sekwencyjny lewy bezwzględnie drzewiasty; **g.** sekwencyjny jednoznaczny lewy; **h.** jednoznaczny lewy bezwzględnie drzewiasty sekwencyjny.

Na rys. 4.8 pokazano wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi typami bezwzględnie hierarchicznych grafów skierowanych.



Rys. 4.8. Relacje pomiędzy różnymi typami grafów

4.5. Wnioski

Z dotychczasowych rozważań wynika, że rozwiązania zadania projektowego poszukiwać będziemy wśród grafów lewych niejednoznacznych. Wszystkie grafy tego typu zapewniają spełnienie wymagań stawianych sieci analizowanego typu. Najlepsze parametry funkcjonalne sieci mogą być osiągnięte, jeżeli do realizacji sieci zostaną wykorzystane grafy sekwencyjne, jednoznaczne lewe bezwzględnie drzewiaste. Budowa analizowanej sieci w oparciu o grafy sekwencyjne jest nieakceptowalna, zaś dla grafów lewych drzewiastych i lewych bezwzględnie drzewiastych zarządzanie siecią może być utrudnione, przez jej niejednorodną strukturę.

W procesie projektowania architektury sieci zadaniem kluczowym będzie określenie liczby poziomów hierarchii oraz sposobu realizacji węzła głównego (korzenia) sieci. W zasadzie, niejednorodność architektury systemu hierarchicznego nie wpływa negatywnie na jego możliwości techniczno-eksploatacyjne, poza wprowadzeniem niejednorodności w zarządzanie jego architekturą.

Rozdział 5

Alternatywne architektury sieci

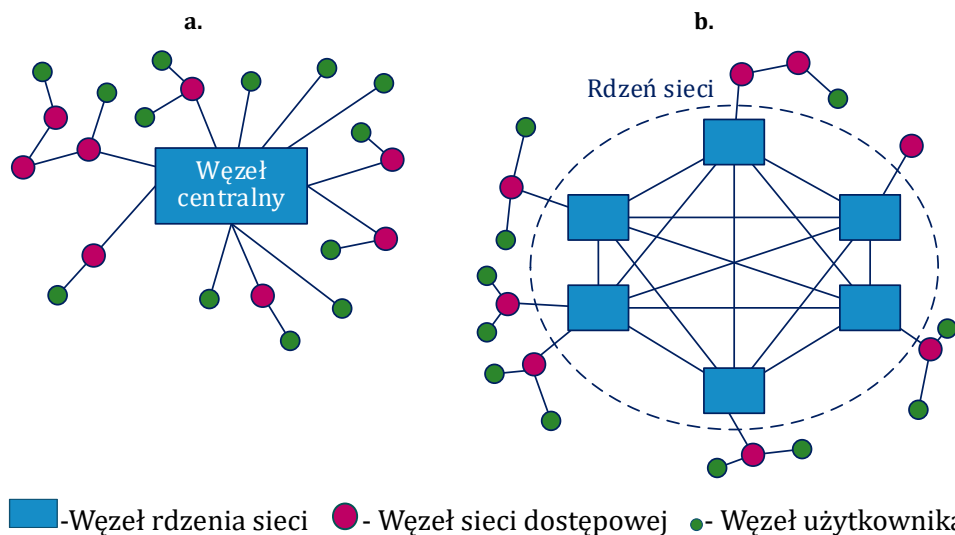
5.1. Wstęp

Chociaż celowość budowy analizowanej sieci w postaci struktury hierarchicznej nie podlega dyskusji, to niezbędne jest określenie jej architektury. W rozdziale zaprezentowano kilka alternatywnych architektur, które można zastosować do budowy sieci. Różnią się ilością warstw, a także technologiami wykorzystywanymi do ich realizacji.

5.2. Sieci płaskie i hierarchiczne

Sieć fizyczna jest jedynym elementem analizowanych struktur, w którym spotykamy bezpośrednio zjawiska fizyczne towarzyszące przesyłaniu informacji. Ma ona strukturę hierarchiczną i odzwierciedla rzeczywistą architekturę systemu złożoną z takich fizycznych elementów jak: węzły komunikacyjne, obliczeniowe i abonenckie oraz kanały połączeniowe. Węzły każdego z typów przypisane są do konkretnych poziomów hierarchii. Węzłami najniższego poziomu są węzły przeznaczone do bezpośredniej komunikacji użytkowników końcowych z siecią. Z kolei węzłami najwyższego poziomu są najczęściej węzły rdzenia lub centralne węzły przełączające. Większość węzłów wykorzystywanych w sieciach hierarchicznych (za wyłączeniem węzłów najniższego poziomu) jednocześnie pełni rolę sprzęgów międzypoziomowych, tj. będąc fragmentem jednego poziomu, komunikują się one z węzłami innego, wyższego i/lub niższego poziomu. Na każdym z poziomów hierarchii powinna być wykorzystywana jedna technologia komunikacyjna, najlepiej spełniająca wymagania użytkowników danego poziomu. Zastosowanie na jednym poziomie hierarchii sieci fizycznej kilku różnych technologii komunikacyjnych jest dopuszczalne, prowadzi jednak do zwiększenia heterogeniczności sieci i tym samym pogorszenia jej charakterystyk eksploatacyjnych. W chwili obecnej, projektowanie, budowa i eksploatacja jednopoziomowych sieci fizycznych, przeznaczonych do obsługi sieci jest wątpliwa. Przy znacznych rozmiarach, architektury płaskie są trudne w zarządzaniu, kosztowne w budowie i eksploatacji oraz trudno skalowalne. Zarówno praktyka, jak i badania teoretyczne, potwierdzają celowość wykorzystania do tego celu sieci bazujących na 3-4 poziomach hierarchii.

Na etapie wstępnego projektowania sieci zazwyczaj rozpatruje się wszystkie perspektywiczne struktury sieci tej klasy. Zgodnie z obowiązującymi tendencjami zakłada się, że środowiskiem komunikacji będą wyłącznie światłowody i radiowe lub optyczne sieci bezprzewodowe oraz, że wysoką efektywność mogą zapewnić jedynie sieci o 3 lub 4 poziomach hierarchii. Zaproponowane strukturalne organizacje sieci regionalnej, z punktu widzenia realizacji najwyższego poziomu hierarchii, można podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich tworzą sieci oparte na centralnym węźle przełączającym, których architektura przedstawiona została na rys. 5.1a.



Rys. 5.1. Architektura górnego poziomu hierarchii sieci: a. Sieć z węzłem centralnym; b. Sieć z rdzeniem

5.3. Sieci rdzeniowe i jednorodne

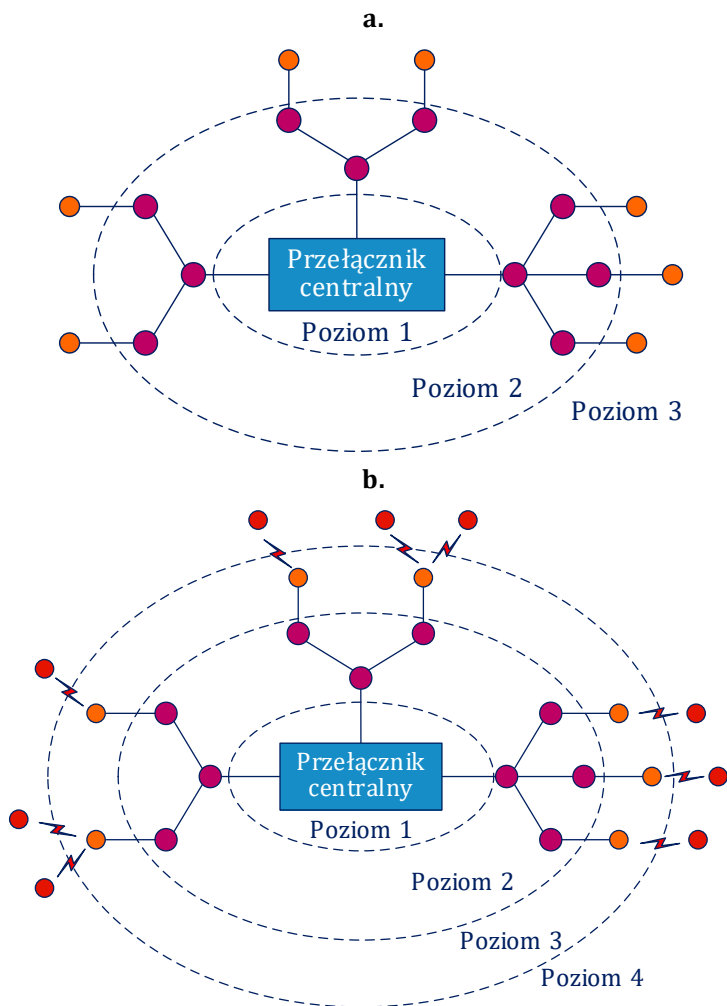
Dzięki centralizacji architektura taka zapewnia wysoką efektywność zarządzania zasobami: całość komunikacji pomiędzy węzłami przechodzi przez węzeł centralny, który dzięki temu ma możliwość ingerowania w organizację komunikacji. Z drugiej jednak strony koszty realizacji oraz efektywność jej eksploatacji są gorsze niż w przypadku sieci rdzeniowych, których architektura została przedstawiona na rys. 5.1b. Do podstawowych zalet sieci rdzeniowych możemy zaliczyć:

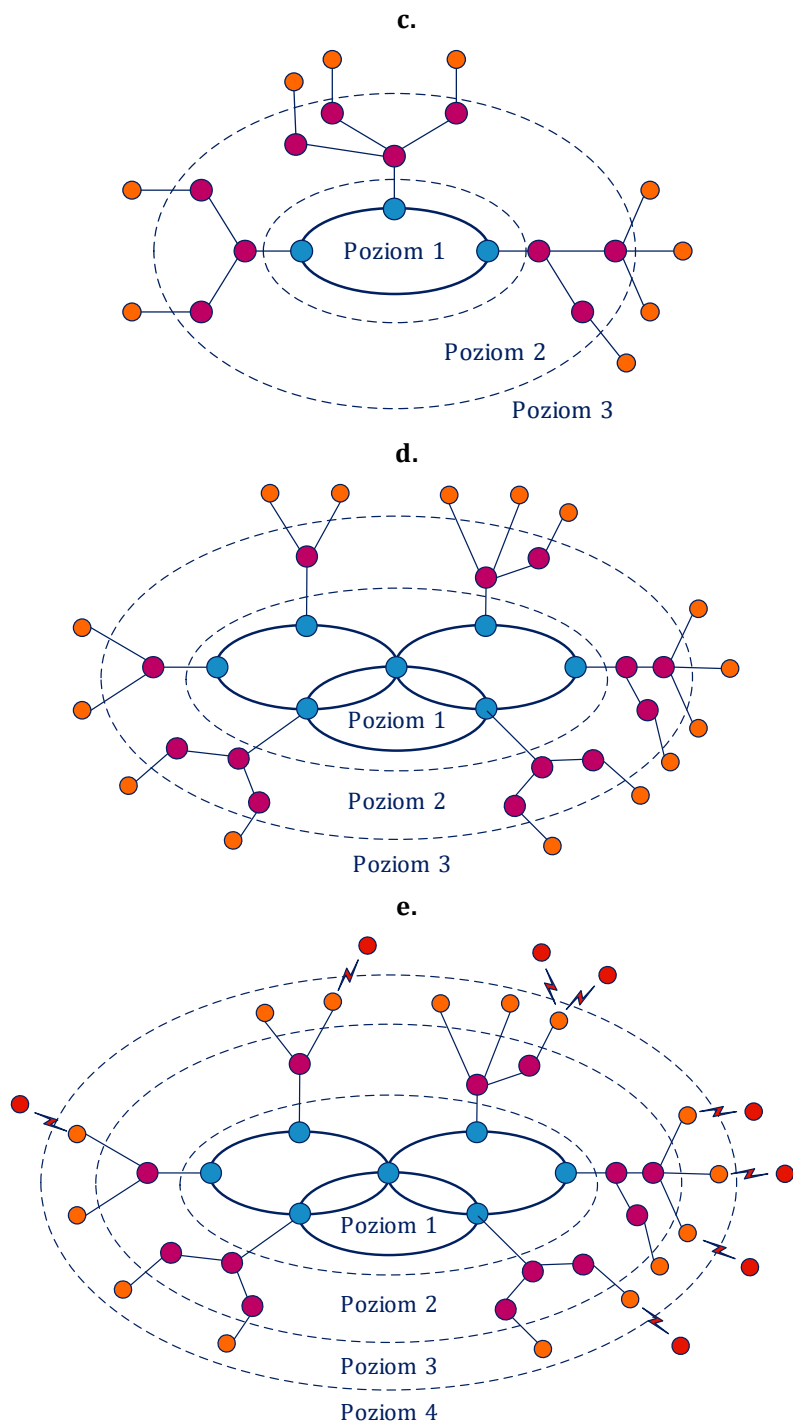
1. Eliminację wielokrotnych ścieżek przesyłania informacji;
2. Możliwość budowy wysokoprzepustowej platformy przełączalnej, efektywnie obsługującej całą sieć;
3. Skalowalność architektury połączeń, co zapewnia możliwość efektywnego wykorzystania nadmiarowości funkcjonalnej i sprzętowej;
4. Możliwość inteligentnej marszrutyzacji oraz efektywnego rozmieszczania zasobów;
5. Wysoką elastyczność projektowania oraz późniejszego wykorzystania zasobów sieci.

5.4. Architektury sieci hierarchicznych

Analizowane dalej 5 wariantów strukturalnej organizacji sieci przedstawiono graficznie na rys. 5.2 i dodatkowo opisano w tabeli 5.1. Warianty scentralizowane (A oraz B) oparto na zastosowaniu centralnego przełącznika integrującego sieci poziomu II (sieci dostępowe). Jeżeli na poziomach III oraz IV wykorzystywane są

technologie bezprzewodowe, to połączenie pomiędzy poziomem III oraz IV realizowane jest za pomocą mostów radiowych. Wariant C zakłada wykorzystanie w rdzeniu pojedynczego pierścienia światłowodowego, do którego dołączone zostały optyczne sieci dostępne. Warianty D oraz E bezpośrednio odzwierciedlają wymagania stawiane przez większość inwestorów i bazują na kilku wzajemnie powiązanych pierścieniach.





Rys. 5.2. Najczęściej wykorzystywane struktury regionalnych i korporacyjnych sieci hierarchicznych

Tabela 5.1. Zestawienie stosowanych technologii na wybranych poziomach sieci hierarchicznej dla poszczególnych topologii

Wariant	A	B	C	D	E
Typ rdzenia	Scentralizowany	Scentralizowany	Pierścień	Powiązane pierścienie	Powiązane pierścienie
Poziom I	Centralny przełącznik	Centralny przełącznik	Światłowód	Światłowód	Światłowód
Poziom II	Światłowód	Światłowód	Światłowód	Światłowód	Światłowód
Poziom III	Bezprzewodowy	Bezprzewodowy	Bezprzewodowy	Światłowodowy/ Bezprzewodowy	Światłowodowy/ Bezprzewodowy
Poziom IV		Bezprzewodowy			Bezprzewodowy

Spośród rozwiązań przedstawionych na rys. 5.2, za pomocą metodyki opisanej w określono rozwiązanie najbardziej efektywne z punktu widzenia realizacji hipotetycznej sieci o zasięgu województwa. Przy ocenie dostępnych rozwiązań uwzględniano m. in. następujące charakterystyki projektowanej sieci, w istotny sposób oddziałujące na wykorzystywany funkcjonal kosztów.

Sumaryczne koszty etapów projektowania, budowy i eksploatacji inwestycji. Koszty wyszczególnionych powyżej etapów cyklu życia inwestycji są jednym z najważniejszych kryteriów projektowania. Zazwyczaj dąży się do spełnienia po minimalnych kosztach wymagań jakościowych użytkowników dotyczących charakterystyk projektowanej sieci. Uwzględnienie w funkcjonale wyłącznie kosztów budowy jest niepoprawne. Może to skutkować, na przykład, zaprojektowaniem sieci o znacznym zapotrzebowaniu na energię, wymagającej częstej obsługi serwisowej lub charakteryzującej się niedostatecznym współczynnikiem dostępności.

Sumaryczna liczba węzłów obsługiwanych na wszystkich poziomach hierarchii sieci. Funkcjonal kosztów powinien być obowiązkowo określany dla zadanej liczby węzłów końcowych. Do tego celu wykorzystano informacje uzyskane od użytkowników w procesie ich ankietyzacji.

Szacunkowa liczba węzłów tworzących poszczególne poziomy hierarchii sieci. Efektywność konkretnego rozwiązania w istotny sposób zależy od rozkładu węzłów pomiędzy poziomami hierarchii. Jednak na danym etapie projektowania określenie dokładnego rozkładu jest niemożliwe, dlatego posłużono się danymi szacunkowymi. Opis metody szacowania rozkładu zawarty jest w. U podstaw metody leży dostosowanie architektury sieci do realnych możliwości i potrzeb użytkowników. Na przykład, zwiększenie liczby węzłów optycznego rdzenia sieci ogranicza możliwości podwyższenia jego spójności, co z uwagi na koszty jest realne wyłącznie w przypadku, kiedy liczba jego węzłów jest ograniczona. W pewnym

uproszczeniu można przyjąć, że w procesie projektowania należy dążyć do minimalizacji ilości węzłów rdzenia i sieci dostępowych wszystkich poziomów, zapewniając przy tym wymagany poziom obsługi użytkowników.

Ograniczenia rozmieszczenia węzłów rdzenia i sieci dostępowych. W rzeczywistości sieci rozmieszczenie węzłów nie jest dowolne, lecz ograniczone jest: względami komercyjnymi, prawami własności, możliwościami technicznymi itp. W pierwszym przybliżeniu założono, że węzły rdzenia zlokalizowane będą w miejscach tworzenia podstawowych strumieni informacyjnych, tj. w centrach powiatowych. Z kolei węzły sieci dostępowej zostaną rozmieszczone w centrach gminnych.

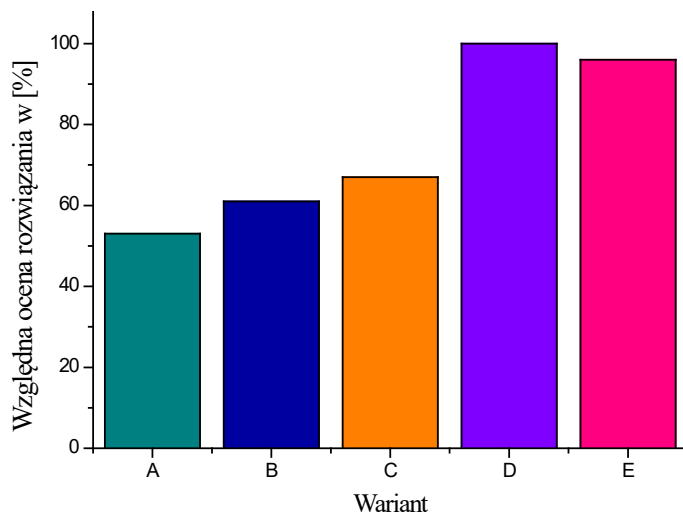
Wymagane przepustowości na każdym z poziomów sieci. Przepustowość kanałów komunikacyjnych w istotny sposób wpływa na koszty realizacji sieci. Zależność pomiędzy przepustowością, a kosztem kanału ma postać przedziałami stałą. Jest ona pochodną ilości użytkowników oraz typu usług przez nich wykorzystywanych. Dlatego, na podstawie liczby klientów danego poziomu oraz wymagań zdefiniowanych dla nich, do celów niniejszej analizy, należy określić szacunkowe wartości przepustowości kanałów komunikacyjnych dla każdego z poziomów hierarchii.

Akceptowane przez użytkowników metody dołączenia do zasobów sieci. Do podstawowych wymagań eksploatacyjnych stawianych przez użytkowników przed kanałem komunikacyjnym wykorzystywanym przez nich do integracji z siecią możemy zaliczyć: przepustowość kanału komunikacyjnego, poziom dostępności, stopę błędów, opóźnienia komunikacyjne. Wymagana jakość świadczonych usług zależy od potrzeb użytkownika i może się znacznie różnić. Dlatego, użytkownikom jako całości należy zaoferować kilka różnych sposobów integracji z siecią, w szczególności możliwość dołączenia do różnych poziomów sieci dostępu. Najczęściej użytkownicy końcowi będą dołączani do zasobów za pośrednictwem sieci dostępowej III poziomu za pomocą sieci bezprzewodowej. Dla wybranych użytkowników dostępna będzie integracja technikami przewodowymi, a także możliwość bezpośredniego dołączenia do węzłów sieci dostępowej II poziomu lub bezpośrednio do rdzenia sieci.

Przeprowadzone badania analityczne pokazały zasadność wykorzystania architektur trój- lub czteropoziomowych, w których pierwsze dwa poziomy powinny być zrealizowane na bazie światłowodów, a trzeci (i ewentualnie czwarty) z wykorzystaniem transmisji bezprzewodowej (wariant D). Porównanie oceny różnych organizacji hierarchii otrzymanej metodami analizy funkcjonu kosztów przedstawiono na rys. 5.3. Na rysunku tym pokazano względną ocenę rozwiązania, dla której punktacja rozwiązania optymalnego jest równa 100%. Wysoką efektywnością charakteryzuje się również czteropoziomowa sieć powiązanych pierścieni (wariant E), w której zastosowano dwa poziomy dostępu bezprzewodowego. Znacznie szerszy zakres badań zaprezentowano w pracy.

Dalej zostaną dokładniej zaprezentowane poziomy wybranej, trójpoziomowej sieci szerokopasmowej województwa podkarpackiego. Poziom pierwszy to światłowodowy rdzeń sieci realizowany w skali województwa, drugi – światłowodowe regionalne sieci dostępowe, budowane na poziomie powiatów, zaś trzeci to

światłowodowe i bezprzewodowe dostępne sieci gminne. Na rys. 5.2 na poziomie trzecim zilustrowano punkt sieci gminnej jako bezprzewodowe stacje bazowe. W miejsce bezprzewodowej stacji bazowej wrysować można dostęp światłowodowy do wybranych obiektów końcowych, które mogą wystąpić na trasie planowanych linii światłowodowych sieci szerokopasmowej. Ponadto w uzasadnionych przypadkach do bazowych stacji bezprzewodowych zamiast użytkowników końcowych podłączone mogą być inne bazowe stacje bezprzewodowe (również w innych technologiach) pośredniczące w łączności z użytkownikiem końcowych. Sytuację taką pokazano schematycznie na rys. 5.2e. Taka organizacja jest nie tylko zgodna z tendencjami światowymi obowiązującymi przy budowie tego typu infrastruktury, ale również w najlepszy sposób spełnia wymagania eksploatacyjne i techniczno-ekonomiczne użytkowników. W szczególności zapewnia ona dostateczny poziom spójności, a tym samym dostępności i żywotności projektowanej sieci.



Rys. 5.3. Porównanie względnej oceny wariantów hierarchizacji sieci fizycznej

Rdzeń sieci opiera się na jednomodowej transmisji optycznej. Łączy on węzły wybrane na podstawie opisanych poniżej zasad. Założono, że w rdzeniu funkcjonować będzie przynajmniej jeden węzeł dla każdego z powiatów. Z uwagi na wysoki koszt budowy i wyposażenia, włączenie w rdzeń więcej niż jednego węzła w powiecie jest uzasadnione tylko w przypadku, kiedy generuje on dostatecznie duży strumień informacyjny. W większości przypadków, w powiatach województwa podkarpackiego istnieje zaledwie jeden większy ośrodek, który w związku z tym, powinien zostać kandydatem na węzeł rdzenia. W niektórych przypadkach (powiat ropczycko-sędziszowski), w powiecie istnieją dwa równoprawne ośrodki i celową jest analiza zasadności włączenia w strukturę rdzenia obu miejscowości. Wybierając lokalizację węzłów rdzenia należy kierować się również kryterium geograficznym. W szczególności, należy zadbać, aby dzięki odpowiedniej ich lokalizacji minimalizować koszty budowy sieci dostępowych. Tak więc, do rozmieszczenia węzłów

rdzenia, z uwzględnieniem kryterium ruchu lub kryterium geograficznego można zastosować jedną z przedstawionych w literaturze metodyk:

1. Bez względu na lokalizację węzła rdzenia w stosunku do węzłów sieci dostępowej, do rdzenia włączane są węzły generujące największy ruch. Dzięki temu, po sieci dostępowej, a także po rdzeniu, przesyłane będą mniejsze strumienie informacyjne, co obniża wymagania komunikacyjne stawiane przed projektowaną siecią;
2. Węzły rdzenia sieci będą dobierane na podstawie określenia centrów (głównych, absolutnych lub głównych absolutnych) bądź median (głównych, absolutnych lub głównych absolutnych) grafu odzwierciedlającego strukturę projektowanej sieci. W tym przypadku minimalizacji podlegać będą koszty budowy i późniejszej eksploatacji kanałów komunikacyjnych tworzonej sieci. Przepływy informacyjne w procesie rozmieszczania są pomijane.
3. Węzły wybierane są na podstawie kryterium mieszanego. W ocenie celowości wyboru konkretnego węzła rdzenia, w ustalonych wcześniej proporcjach występują ruch oraz przesłanki geograficzne.

Analiza teoretyczna oraz badania symulacyjne pokazały, że przy doborze lokalizacji węzłów rdzenia sieci należy kierować się, przede wszystkim, rozmiarem generowanego przez węzeł strumienia informacyjnego. Odległości pomiędzy węzłami I i II poziomu, z punktu widzenia efektywności systemu połączeń, są mało istotne. Z tego powodu, wykorzystanie przy wyborze węzłów rdzenia centrum bądź mediany grafu-modelu, nie powoduje istotnej poprawy jakości projektu.

Zgodnie z wymaganiami stawianymi przed współczesnymi sieciami ich rdzeń powinien posiadać określoną spójność, co w rezultacie przekłada się również na inne parametry charakteryzujące projektowaną sieć, takie jak żywotność czy dostępność. Ponieważ ważnym jest spełnienie powyższych wymagań w akceptowalnych kosztach, celowym jest zastosowanie do budowy rdzenia topologii wzajemnie powiązanych pierścieni, charakteryzującej się dobrymi parametrami przy umiarkowanych kosztach. Z punktu widzenia rozmiaru województwa podkarpackiego oraz lokalizacji centrów powiatowych zaleca się budowę 3-5 pierścieni. Pierścienie powinny być zrealizowane w oparciu o włókna optyczne. Uzasadnienie wyboru światłowodów do realizacji danego poziomu hierarchii przedstawiono w dalszej części opracowania.

Drugi poziom hierarchii, to dostępne sieci powiatowe, wykonane w postaci drzew rozpinających, łączących ośrodki gminne z centrami powiatowymi. Wybór takiego rozwiązania jest uzasadniony następującymi czynnikami:

1. Główny ruch generowany przez ośrodki gminne adresowany jest, poprzez rdzeń sieci, do sieci zewnętrznych oraz bezpośrednio do zasobów węzła powiatowego. Naturalnym jest więc połączenie ośrodków gminnych i powiatowych za pomocą bezpośrednich fizycznych kanałów komunikacyjnych.
2. Wymagania dotyczące dostępności sieci tego poziomu są z zasady niższe niż dla rdzenia sieci. Wynika to głównie z ograniczonego rozmiaru strat ponoszo-

nych w przypadku uszkodzenia sieci dostępowych. Dlatego mogą być one wykonywane na bazie tańszych w budowie i eksploatacji struktur drzewiastych, w szczególności drzew rozpinających o minimalnym koszcie.

3. Nowoczesne technologie komunikacyjne, dzięki rekonfigurowalności, zapewniają wysoką elastyczność wykorzystania kanałów transmisyjnych. Ostateczna forma połączeń (tj. faktyczna konfiguracja kanałów komunikacyjnych) jest określona na poziomie wirtualnym, dzięki czemu nie musi ona odzwierciedlać fizycznej sieci połączeniowej.

Podobnie jak sieć rdzeniowa, budowane w ramach drugiego poziomu hierarchii drzewa rozpinające powinny zostać oparte na jednomodowych włóknach optycznych. Uzasadnienie takiego wyboru przedstawiono w dalszej części opracowania.

Ostatnim elementem hierarchii sieci połączeniowej są dostępowe sieci gminne, bazujące na sieciach bezprzewodowych. Ich zadaniem jest zapewnienie dostępu do sołectw i mogą być one realizowane w oparciu o różne technologie sieci bezprzewodowych. Uzasadnienie wyboru technologii bezprzewodowych do realizacji danego poziomu hierarchii przedstawiono w dalszej części opracowania.

Rozdział 6

Alternatywne sposoby realizacji sieci

6.1. Wstęp

W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną alternatywne scenariusze budowy sieci z punkty widzenia wykorzystania istniejącej infrastruktury technicznej. W szczególności rozważone zostaną trzy scenariusze: pierwszy, zakładający oparcie się w realizacji sieci na regionalnych sieciach szerokopasmowych, drugi na sieciach operatorów telekomunikacyjnych. Oba te scenariusze zakładają budowę wydzielonej sieci opartej o nowe i istniejące zasoby. W obu przypadkach, dzierżawcą (ewentualnie właścicielem) oraz zarządcą sieci byłaby Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa (NASK). Wariant trzeci zakłada wyłącznie zlecenia operatorom świadczenia usług dostępu do sieci o zadanych parametrach.

6.2. Budowa w oparciu o sieci regionalne

Regionalne sieci szerokopasmowe są elementami infrastruktury teleinformatycznej, powstałymi najczęściej przy współudziale środków finansowych Unii Europejskiej z perspektywy finansowania 2007-2013. Budowa części z nich była zakończona w 2015 roku. W większości przypadków sieci te zrealizowane zostały w oparciu o dobre jakościowo materiały i urządzenia, w oparciu o nowoczesne technologie. Sieci takie zostały zrealizowane w większości województw. Wyjątkiem są województwa: Zachodniopomorskie oraz Opolskie.

Sieci regionalne oferują względnie gęste pokrycie węzłami dostępowymi, dzięki czemu fragmenty instalacji wymagające dobudowy, będą względnie krótkie. Wyjątek stanowi województwo Łódzkie, w którym mamy do czynienia z bardzo niską gęstością lokalizacji węzłów. Sumarycznie, sieci regionalne oferują blisko 4800 węzłów dostępowych, co z punktu widzenia ilości jednostek edukacyjnych przewidzianych do włączenia do Projektu (blisko 23600) jest wielkością akceptowalną. Do głównych zalet wykorzystania regionalnych sieci szerokopasmowych do budowy *Internetu dla szkół* należy zaliczyć:

1. W większości przypadków wykorzystanie względnie nowych sieci, bazujących na nowoczesnych rozwiązaniach technicznych z możliwością wykorzystania dowolnych rozwiązań technicznych;
2. Niższe koszty wykorzystania infrastruktury, będącej po części własnością publiczną (uwzględnienie zysku operatora nie jest konieczne);
3. Poziom wykorzystania istniejącej infrastruktury jest niższy niż w obecnych przypadkach, co uprości procedury projektowania i eksploatacji sieci.

Z kolei głównymi wadami takiego rozwiązania są:

1. Brak zauważalnej korelacji pomiędzy gęstością rozmieszczenia węzłów sieci regionalnych, a gęstością lokalizacji jednostek edukacyjnych. Będzie to skutkować wysoką niejednorodnością stopni wierzchołków reprezentujących

wierzchołki dostępowe sieci regionalnych (tj. wierzchołki wiszące grafu-modelu). Stopnie te mogą różnić się kilkusetrotnie. Choć z punktu widzenia teorii projektowania różnice takie są nieakceptowalne, nie należy rozpatrywać tego w kategoriach błędnego projektowania sieci regionalnych, a wyłącznie jako konsekwencję ich celów;

2. Z uwagi na mniejszą niż w przypadku sieci operatorów gęstość rozmieszczenia węzłów, sumaryczna długość tras łączących jednostki edukacyjne ze światłowodem rdzenia będzie większa niż w przypadku wykorzystania sieci operatorów;
3. Mniejsze zainteresowanie operatorów lokalnych rozbudową infrastruktury, często niespójnej z ich siecią, na trasach charakteryzujących się względnie niewielkim ruchem.

Zdaniem opiniujących, bilans cech pozytywnych i negatywnych, pomimo wyszczególnionych wyżej wątpliwości jest korzystny. Rozwiązanie to jest godne polecenia.

6.3. Budowa w oparciu o sieci operatorów

Sieci operatorów w większości przypadków powstawały końcem XX wieku, a tylko w nielicznych przypadkach początkiem bieżącego wieku. Z tego powodu, oparte są one na umiarkowanie nowoczesnych rozwiązaniach technicznych. Część spośród nich jest obecnie intensywnie modernizowana. Punkty dostępu gęsto pokrywają obszar Polski, zgodnie z danymi UKE, operatory oferują dostęp do swoich sieci za pośrednictwem ponad 20 000 węzłów. Jednak zdaniem zespołu opiniującego, w celu zapewnienia konkurencyjności oferty, budowana sieć powinna zostać wykonana opierając się o własne okablowanie, ewentualnie realizowane przez samorządy.

6.4. Zlecenie usługi dostępu

Podstawą tego rozwiązania jest założenie, że świadczenie usług transmisyjnych, w tym dostępu do sieci Internet, jest domeną operatorów telekomunikacyjnych. Założenie takie sprawdziło się w aglomeracjach miejskich i wszędzie tam, gdzie zagęszczenie potencjalnych klientów jest wysokie. Na obszarach wiejskich wymagało ono stymulacji ze strony regulatora, dlatego również w przypadku opiniowanego Projektu konieczne mogą być takie zachęty.

Rozwiązanie takie zakłada, że rolą dostawcy będzie zestawienie kanału komunikacyjnego wskazanymi przez Zleceniodawcę lokalizacjami obiektów edukacyjnych. O ile, w czystej postaci dwa poprzednie rozwiązania zakładały budowę infrastruktury światłowodowej, dany wariant nie powinien narzucać dostawcy technicznych sposobów świadczenia usługi. Z ekonomicznego punktu widzenia rozwiązaniem korzystnym dla dostawcy jest rezygnacja z budowy połączeń kablowych na odcinkach przekraczających pojedyncze kilometry i zastosowanie do tego celu wielokrotnie tańszych rozwiązań bezprzewodowych, w tym satelitarnych. Dlatego można się spodziewać, że w swojej ofercie operatorzy zaproponują taki

właśnie sposób realizacji nowych połączeń. Dlatego, chcąc uczynić oferty realizowane za pomocą różnych scenariuszy porównywalnymi, należy na parametry transmisji należy narzucić określone wymagania. Dotyczy to w pierwszej kolejności takich parametrów jak: opóźnienie, zmienność opóźnienia oraz poziom utraty pakietów.

Za wykorzystaniem zlecenie usługi dostępu jako formy realizacji *Projektu* może przemawiać wysoka elastyczność zmian w świadczeniu usługi. Zarówno rozpoczęcie jak i zakończenie jej świadczenia może następować bardzo szybko i nie wymaga wykonania szczególnie złożonych prac instalacyjnych. Jest to korzystne z racji nieuniknionych zmian na rynku edukacyjnym (np. likwidacja niewielkich szkół, ich łączenie, zmiana budynków itp.).

6.5. Podsumowanie

Analiza przedstawionych powyżej sposobów realizacji projektu pozwala sformułować następujące zalecenia:

1. Z technicznego punktu widzenia korzystniejszym jest rozwiązanie bazujące na szerokopasmowych sieciach regionalnych. Jego wykorzystanie z ekonomicznego punktu widzenia jest jednak wątpliwe;
2. Z punktu widzenia potencjalnych korzyści, w tym wyzwalania lokalnych inicjatyw obywateli, korzystna jest budowa własnego rdzenia światłowodowego sieci, który mógłby posłużyć do budowy sieci dostępu, konkurencyjnych względem istniejących.

Rozdział 7

Analiza topologiczna pełnego rozwiązania

7.1. Informacje podstawowe

W niniejszym rozdziale opracowania zaprezentowano analizę topologiczną planowanego do realizacji projektu. Z wykorzystaniem metod matematycznych o różnej złożoności, określono w szczególności:

1. Na podstawie dostarczonych przez Zleceniodawcę danych teleadresowych współrzędne geograficzne w standardzie WGS84, wszystkich wskazanych jednostek edukacyjnych;
2. Węzły regionalnej sieci szerokopasmowej (w przypadku województw Zachodniopomorskiego oraz Opolskiego – sieci światłowodowej operatorów), do których dołączona zostanie każde z jednostek edukacyjnych;
3. Dla woj. Zachodniopomorskiego i Opolskiego dokonano konwersji współrzędnych węzłów sieci z systemu X92Y92 na system WGS84;
4. Długość każdego połączenia, o którym mowa w pkt. 2, a także sumaryczne długości połączeń dla każdego obszaru NUTS-3, województwa oraz całego kraju;
5. Przypisanie węzłów do obszarów NUTS-3, a także parametry ilościowe każdego z obszarów;
6. Lokalizację centrów każdego z obszarów NUTS-3, zapewniającą minimalizację długości połączeń w ramach NUTS-3;
7. Podział węzłów NUTS-3 pomiędzy cztery obszary, zapewniający efektywne funkcjonowanie Projektu;

7.2. Sieć przyłączeniowa

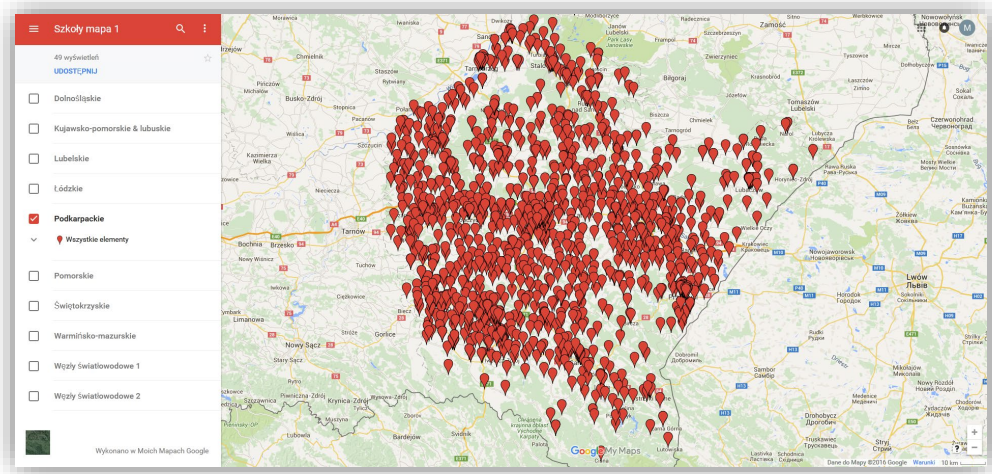
Pojęciem sieci przyłączeniowej będziemy dalej określać przewodową sieć światłowodową łączącą wskazane przez Zleceniodawcę obiekty edukacyjne z węzłami regionalnych sieci szerokopasmowych, a w przypadku woj. Zachodniopomorskiego i Opolskiego z węzłami sieci operatorów. W pewnym uproszczeniu, rozwiązywane zadanie polegało na określeniu dla każdej jednostki edukacyjnej najbliższego węzła sieci wraz z oszacowaniem odległości dzielącej oba węzły.

Przedstawione poniżej rozwiązanie zadania projektowego składało się z sekwencji kroków. Kolejno, wykonywane były następujące podzadania:

1. Weryfikacja, poprawa i uporządkowanie przekazanych przez Zleceniodawcę danych teleadresowych szkół, zapewnienie ich zgodności z danymi udostępnianymi przez Google. W celu minimalizacji kosztów realizacji usługi, z jednoczesnym zachowaniem wysokiej jakości, wykonawca zdecydował się wykorzystać bezpłatne narzędzia Google Maps. Alternatywne rozwiązanie, bazujące na Geoportalu zostało odrzucone z uwagi na wysoki koszt dostępu do zawartych w nim danych. Dlatego, przedstawione przez Zleceniodawcę dane należało ujednolicić z danymi zawartymi w Google Maps. Szacuje się, że ponad

7% danych przekazanych zawierało inne dane niż te udostępniane przez portal. Blisko 2% rekordów zawierało błędne lub niekompletne dane teleadresowe. Poprawa danych była prowadzona wieloetapowo. W pierwszej kolejności z zastosowaniem metod automatycznych, nie wymagających udziału człowieka. Grupa blisko 100 rekordów została zweryfikowana i poprawiona manualnie. W chwili obecnej, dołożono wszelkich starań, aby wszystkie wykorzystane dane teleadresowe były poprawne. Wykonawca nie wyklucza pojedynczych błędów w opisach węzłów, które jednak w żaden sposób na rzutują na wyniki wykonanych prac. Taką opinię potwierdzają przeprowadzone automatyczne i manualne testy;

2. Dla każdej ze wskazanych jednostek edukacyjnych, określenie współrzędnych geograficznych w zapisie dziesiętnym (DD), w systemie odniesienia WGS-84. Zadanie zostało rozwiązane w oparciu o własną aplikację oraz narzędzia Google Maps. Współrzędne geograficzne zostały zapisane w postaci dodatkowych kolumn (Szerokość geograficzna oraz Długość geograficzna) arkusza zawierającego dane z systemu informacji oświatowej.
3. Weryfikacja i korekta, uzyskanych współrzędnych geograficznych jednostek edukacyjnych. Weryfikacja opierała się na własnych algorytmach, a sytuacjach wątpliwych (około 240 przypadków) wykonywana była manualnie;
4. Z wykorzystaniem własnych metod zawężania przestrzeni akceptowalnych rozwiązań oraz metod geodezji sferycznej, dla każdej z jednostek edukacyjnych określono:
 - a. Numer najbliższego geograficznie węzła sieci światłowodowej. Wskazany w kolumnie Numer węzła sieci światłowodowej jest dla większości województw numerem wiersza w tablicy węzłów sieci regionalnej;
 - b. Dla województw: Opolskiego i Zachodniopomorskiego oszacowano odległości do najbliższego węzła dystrybutora. W tym celu, wykorzystując przekształcenie Gaussa-Krugera i autorską aplikację charakteryzującą się wysoką szybkością przeliczania, wykonano konwersję zapisu współrzędnych X92Y92 na współrzędne w systemie odniesienia WGS-82. Nowe współrzędne umieszczono w wykazie dystrybutorów jako dodatkowe kolumny;
5. Uzyskane wyniki zostały naniesione na trzech mapach Google, na których zaprezentowano szkoły (kolor czerwony) oraz węzły światłowodowe (kolor niebieski). Potrzeba zastosowania aż trzech map wynika z faktu ograniczeń, nałożonych na narzędzie MyMaps. Pozwala ono na umieszczenie do 2000 punktów na warstwę, a maksymalna ilość warstw w ramach jednej mapy to 10. Z tego powodu część województw została połączona ze sobą (np. mapa 1 - województwa kujawsko-pomorskie i lubuskie), a pozostałe przedstawiono na drugiej mapie. Na mapie 2 warstwa Pozostałe województwa oznacza węzły, które nie pomieściły się w innych warstwach (np. województwo mazowieckie posiadało ponad 3000 szkół, stąd konieczność podzielenia, jako że maksimum na jednej warstwie – 2000). Widok ogólny mapy został przedstawiony na rys. 7.1.



Rys. 7.1. Ogólny wygląd udostępnionych map, uruchomiony podgląd jednostek edukacyjnych woj. Podkarpackiego

Wyniki prac analitycznych dla poszczególnych województw (parametry topologiczne i statystyczne) zaprezentowano w tabeli 7.1. Dane z zestawienia węzłów utwierdzają w przekonaniu, że budowa sieci Internet dla szkół w postaci struktury warstwami jednorodnej, może napotkać na istotne problemy realizacyjne.

Tabela 7.1. Zestawienie parametrów sieci połączeniowej według województw

Województwo	Liczba szkół	Minimalna/maksymalna odległość do węzła [km]	Średnia odległość do węzła [km]	Mediana odległość do węzła [km]	Sumaryczna długość kabli [km]
DOLNOŚLĄSKIE	1527	0,03391/27,55309	3,00257	1,91542	4584,92221
KUJAWSKO-PO-MORSKIE	1256	0,07032/29,24286	8,55703	6,30347	10747,62925
LUBELSKIE	1564	0,00241/12,48824	2,99256	2,70923	4680,35741
LUBUSKIE	582	0,00515/10,94284	1,45499	0,83427	846,80500
ŁÓDZKIE	1554	0,15984/38,01585	12,56563	10,86536	19526,98319
MAŁOPOLSKIE	2263	0,00087/11,95614	3,39745	3,13962	7688,43074
MAZOWIECKIE	3159	0,02163/33,17640	9,98669	8,15531	31547,95470
OPOLSKIE	662	0,00000/11,11234	1,34358	0,45858	889,44708
PODKARPACKIE	1601	0,00086/14,69904	2,98683	2,84666	4781,91678

PODLASKIE	740	0,00469/ 13,61729	3,12409	1,98550	2311,82518
POMORSKIE	1245	0,00813/ 19,49146	1,68931	0,88828	2103,18500
ŚLĄSKIE	2413	0,00139/ 30,72848	8,68011	7,60011	20945,11190
ŚWIĘTOKRZY- SKIE	908	0,00808/ 13,78541	2,46219	2,18004	2235,66898
WARMIŃSKO- MAZURSKIE	940	0,01132/ 14,41831	2,73172	1,62755	2567,81956
WIELKOPOL- SKIE	2167	0,00556/ 10,15532	1,86652	1,44311	4044,74187
ZACHODNIOPO- MORSKIE	981	0,00000/ 11,20482	1,72878	0,43953	1695,93365
SUMARYCZNIE	23562				121198,73251

7.3. Parametry topologiczne NUTS-3

W tabeli 7.2 zaprezentowano podstawowe charakterystyki topologiczne sieci poszczególnych obszarów NUTS-3. Zawartość poniższej tabeli została przygotowana automatycznie za pomocą programu komputerowego, na podstawie ogólnodostępnych danych GUS oraz metod matematycznych geodezji sferycznej. Wszelkie odległości są wartościami minimalnymi i mogą niewiele różnić się od odległości rzeczywistych.

Tabela 7.2. Charakterystyki topologiczne poszczególnych sieci NUTS-3

Kod NUTS 3	Liczba szkół przyporządkowanych	Minimalna/maksymalna odległość do węzła [km]	Średnia odległość do węzła [km]	Mediana odległość do węzła [km]	Sumaryczna długość kabli [km]
PL113	333	0,28466/ 27,17881	4,89596	4,91899	1630,35421
PL114	191	0,23813/ 22,20534	8,63405	8,09474	1649,10400
PL115	409	0,29447/ 33,26242	15,45102	16,14310	6319,46637
PL116	335	0,15984/ 38,01585	17,27954	16,90975	5788,64595
PL117	285	0,21321/ 27,18792	14,47214	15,46961	4124,55879
PL127	761	0,38120/ 12,33406	5,44257	5,39052	4141,79394
PL128	438	0,02163/ 13,68126	13,68126	13,76906	5992,39100

		24,55939			
PL129	494	0,04044/ 23,63126	7,48793	6,33806	3699,03884
PL12A	408	0,04672/ 28,65419	13,44045	13,13797	5483,70510
PL12B	272	0,03321/ 25,72512	10,75761	9,94798	2926,06863
PL12C	231	2,49169/ 33,17640	14,93368	12,59202	3449,67893
PL12D	330	0,08960/ 29,74958	13,39166	12,77349	4419,24928
PL12E	225	0,05772/ 19,72317	6,42318	6,89254	1445,21565
PL213	392	1,10778/ 9,05853	5,74802	5,80535	2253,22537
PL214	503	0,01369/ 9,58547	2,57568	2,47846	1295,56504
PL217	339	0,00921/ 9,80975	2,95949	2,68761	1003,26648
PL218	415	0,00250/ 10,27709	2,85794	2,70689	1186,04556
PL219	300	0,00087/ 10,80309	3,67214	3,43376	1101,64320
PL21A	311	0,00375/ 10,18821	2,59626	2,37335	807,43697
PL224	358	0,04456/ 18,30395	5,73094	4,30648	2051,67497
PL225	435	0,00139/ 29,03588	6,30302	3,95220	2741,81243
PL227	319	0,11382/ 13,97812	3,66621	2,60101	1169,52097
PL228	641	0,00909/ 22,78680	11,70554	12,02995	7503,24887

PL229	138	5,38247/ 30,72848	21,32688	22,16538	2943,10895
PL22A	160	6,75005/ 18,39521	14,56401	15,33205	2330,24216
PL22B	183	0,07225/ 15,99168	7,06531	7,44184	1292,95117
PL22C	177	0,10454/ 17,75275	4,93483	3,80034	873,46532
PL311	244	0,01215/ 12,48824	3,18906	2,74989	778,13076
PL312	498	0,01649/ 10,33589	2,30594	1,55712	1148,35632
PL314	430	0,02275/ 11,00817	4,00050	4,16330	1720,21641
PL315	393	0,00241/ 10,66761	2,64630	2,43414	1039,99508
PL323	404	0,01093/ 14,69904	3,35024	3,04716	1353,49732
PL324	334	0,00086/ 12,79667	2,87768	2,88648	961,14644
PL325	448	0,00218/ 7,68184	2,82240	2,74015	1264,43404
PL326	421	0,00263/ 21,80242	3,02615	2,98760	1274,00797
PL331	525	0,00808/ 9,00737	2,34663	2,05125	1231,97979
PL332	383	0,01001/ 13,78541	2,62429	2,44611	1005,10143
PL343	265	0,01622/ 13,61729	2,44834	1,97914	648,80928
PL344	292	0,00469/ 12,78706	3,82340	2,91061	1116,43222
PL345	184	0,01043/ 	3,00136	1,00950	552,25090

		13,03154			
PL411	244	0,01225/ 10,15532	1,65595	0,84096	404,05090
PL414	453	0,00556/ 9,25115	2,08900	1,44296	946,31506
PL415	333	0,26367/ 5,99661	2,43691	2,26809	811,49024
PL416	472	0,02274/ 7,26966	1,70743	1,28779	805,90665
PL417	365	0,01259/ 5,43939	1,36706	0,84410	498,97772
PL418	298	0,04424/ 6,91611	1,92245	1,51096	572,88977
PL424	179	0,00000/ 1,22267	0,27107	0,22535	48,52128
PL426	229	0,00000/ 8,68323	1,65386	0,49075	378,73316
PL427	240	0,00000/ 11,20482	2,27131	0,60958	545,11449
PL428	333	0,00000/ 9,85726	2,17287	0,59351	723,56473
PL431	205	0,00515/ 7,91627	1,32720	0,81356	272,07643
PL432	377	0,03411/ 10,94284	1,52448	0,86259	574,72857
PL514	284	0,44060/ 8,81629	3,18354	2,98973	904,12410
PL515	339	0,08101/ 27,55309	3,39743	1,37256	1151,72953
PL516	230	0,03391/ 16,34745	2,54020	1,39220	584,24532
PL517	355	0,09775/ 10,14354	2,46776	1,83006	876,05459

PL518	320	0,08907/ 17,03834	3,34601	2,08851	1070,72470
PL523	271	0,00000/ 8,56245	1,51414	0,55454	410,33224
PL524	391	0,00000/ 11,11234	1,24957	0,41863	488,58170
PL613	351	0,07032/ 22,63266	6,39475	3,14633	2244,55736
PL616	260	0,41475/ 25,31135	7,51085	5,83349	1952,82214
PL617	240	0,13713/ 21,38888	8,38398	7,38689	2012,15613
PL618	147	0,30271/ 21,06722	6,09896	4,44921	896,54772
PL619	258	0,28179/ 29,24286	14,11452	16,78051	3641,54592
PL621	328	0,01331/ 9,66646	1,98108	1,60056	649,79522
PL622	406	0,01132/ 12,12131	2,68946	1,56962	1091,92148
PL623	204	0,01779/ 14,41831	4,02958	1,97050	822,03421
PL633	337	0,07570/ 6,50030	1,47080	1,11319	495,65837
PL634	365	0,01252/ 19,49146	1,47532	0,65698	538,49217
PL636	224	0,02285/ 9,80262	1,63253	1,05818	365,68765
PL637	154	0,00813/ 18,61161	2,16583	0,65644	333,53782
PL638	166	0,03362/ 14,23721	2,22277	0,77192	368,97903

Analizując zawartość tabeli 7.2 należy pamiętać, że:

1. Jeżeli minimalna odległość dzieląca jednostkę oświatową i węzeł sieci jest mniejsza od 10 metrów, może to w praktyce oznaczać, że mamy do czynienia z jedną i tą samą lokalizacją. Ewentualne różnice mogą wynikać z: błędu określenia współrzędnych sferycznych lub niedokładności konwersji współrzędnych płaskich na sferyczne;
2. Jeżeli wartości mediany i średniej odległości do węzła są zbliżone, oznacza to równomierny rozkład odległości w ramach danego NUTS-3. Zazwyczaj wynika z równomiernego rozłożenia okablowania na całym obszarze NUTS-3, co najczęściej jest konsekwencją równomiernej zabudowy obszaru. Duże różnice pomiędzy medianą i średnią odległością mogą (aczkolwiek nie muszą) świadczyć o pominięciu w procesie budowy dotychczasowej infrastruktury wybranych obszarów i program Internet dla szkół może być doskonałym sposobem zmiany takiego stanu;

3. Wszelkie odległości obliczone metodami geometrycznymi dotyczą nowopowstających tras okablowania, poziom wykorzystania tras istniejących na bazie otrzymanych danych nie był możliwy;
4. Lokalizację węzła głównego NUTS-3 należy wykonać metodami formalnymi (patrz podrozdział 7.4)

Wstępna analiza zawartości tabeli 7.2, wykonana za pomocą metod intuicyjnych i formalnych wskazuje następujące ścieżki optymalizacji sieci NUTS-3:

1. Zmiana sposobu przyłączenia do sieci jednostek oświatowych, które są jedynymi przyłączami dla danego węzła sieci szerokopasmowej lub sieci operatorów. Jeżeli sytuacja taka pojawia się w sieci z niewielką średnią odległością od węzła, należy rozważyć możliwość integracji jednostki oświatowej z innym węzłem sieci. Jeżeli mamy do czynienia ze znaczną odległością pomiędzy jednostką i węzłem sieci, istotnie przekraczającą wartość średnią, wskazane jest rozważenie innych możliwości integracji (węzeł innego operatora lub sieć bezprzewodowa). Sytuacja taka nie jest zbyt częsta i w zależności od województwa może stanowić kilka procent spośród ogółu przyłączeń;
2. Równomierny rozkład przyłączy jednostek oświatowych do węzłów sieci regionalnych lub operatorskich. Przykładowo, jeżeli liczba jednostek dołączonych do jednego węzła przekracza 64, rozważyć integrację części z nich z innym węzłem sieci;
3. Dla wszystkich węzłów, dla których odległość od najbliższego węzła 2-3 krotnie przekracza średnią odległość dla danego NUTS-3 można rozważyć dołączenie do węzła należącego do innego NUTS-3.

7.4. Lokalizacja węzłów centralnych NUTS

Poniżej opisujemy matematyczną metodę lokalizacji centralnych węzłów obsługujących każdy z obszarów NUTS-3. W terminologii wykorzystywanej przez Zleceńodawcę rozmieszczane będą węzły LPA.

Określając z zastosowaniem metod matematycznych lokalizację węzłów LPA wykorzystano następujące podstawowe założenia:

1. W celu rozwiązania danego podzadania projektowego określone zostaną centra grafów opisujących fragmenty sieci Internet dla szkół obejmujące obszar NUTS-3. Pojęcie centrum grafu zdefiniowano poniżej;
2. Z uwagi na potrzebę uzyskania optymalnego rozwiązania, do procedury optymalizacyjnej nie wprowadzono ograniczenia zgodnie z którym węzłem centralnym NUTS-3 może być wyłącznie stolica powiatu. Przemieszczenie takie będzie mogło być zrealizowane metodami intuicyjnymi z uwzględnieniem dostępnego okablowania światłowodowego;
3. Do oceny minimalnej odległości wierzchołek-wierzchołek (MWW) w ramach NUTS-3 zastosowano dwa kryteria:

- a. Kryterium proste – minimalizacja sumarycznej długości kanałów komunikacyjnych, wykorzystywanych do połączenia węzłów końcowych CPE z węzłem CPA, wyrażono za pomocą ortodromy;
 - b. Kryterium złożone, uwzględniające długości kanałów komunikacyjnych oraz liczbę obsługiwanych przez nie uczniów (iloraz wyrażonej w kilometrach długości ortodromy i ilości uczniów jednostki edukacyjnej obsługiwanych przez dany kanał komunikacyjny);
4. Do określenia lokalizacji centrum grafu, zastosowano algorytm przedstawiony w [44].

Dane opisujące centralne węzły NUTS z wykorzystaniem kryterium prostego zostały zapisane w tabeli 7.3. Kolumna *Numer węzła* zawiera odnośnik do konkretnego wiersza skoroszytu SIO2 bazowego arkusza kalkulacyjnego. To właśnie w tym węźle znajduje się centrum grafu reprezentującego dany NUTS-3. Oprócz nazwy miasta tabeli zawiera jeszcze współrzędne geograficzne punktu.

Tabela 7.3. Lokalizacja węzłów centralnych NUTS-3 na bazie kryterium prostego – długości ortodromy

NUTS-3	Liczba szkół	Numer węzła	Miasto	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
PL113	333	6324	Łódź-Śródmieście	51,763749	19,462677
PL114	191	5992	Zgierz	51,842882	19,416303
PL115	409	6400	Piotrków Trybunalski	51,402853	19,697625
PL116	335	5649	Barczew	51,486061	18,688880
PL117	285	5188	Dąbkowice Dolne	52,077601	19,865716
PL127	761	11577	Warszawa	52,229676	21,012229
PL128	438	10968	Radom	51,396770	21,153186
PL129	494	9692	Zakręt	52,218661	21,284838
PL12A	408	9974	Żółwin	52,099961	20,724158
PL12B	272	8817	Gorysze	52,895013	20,536510
PL12C	231	10890	Płock	52,545773	19,704973
PL12D	330	9260	Młynarze	52,953172	21,410880
PL12E	225	10260	Suchożebry	52,255574	22,246073
PL213	392	8251	Kraków-Śródmieście	50,058134	19,949929
PL214	503	8212	Wieliczka	49,993554	20,074592
PL217	339	8737	Tarnów	49,999444	20,928268
PL218	415	8620	Nowy Sącz	49,620787	20,716471
PL219	300	7539	Lasek	49,503731	19,976586
PL21A	311	6656	Jankowice	50,045008	19,447986
PL224	358	17593	Częstochowa	50,805825	19,123809
PL225	435	17285	Bielsko-Biała	49,802376	19,034328
PL227	318	17014	Radlin	50,047051	18,484587
PL228	641	17445	Bytom	50,325161	18,933563
PL229	138	17775	Gliwice	50,295058	18,668147
PL22A	160	17928	Katowice	50,259565	19,018719
PL22B	183	17722	Dąbrowa Górnicza	50,389795	19,313617
PL22C	177	18390	Tychy	50,108039	18,972701

PL311	244	3747	Kolembrody	51,859930	23,022541
PL312	498	4299	Zamość	50,726401	23,279221
PL314	430	4140	Lublin	51,249850	22,567748
PL315	393	3679	Skowieszyn	51,395171	22,034836
PL323	404	13062	Targowiska	49,639727	21,823058
PL324	334	12792	Morawsko	49,969612	22,705391
PL325	448	14037	Rzeszów	50,038841	21,988560
PL326	421	13929	Tarnowska Wola	50,411353	21,749559
PL331	525	18799	Brzezinki	50,923731	20,768177
PL332	383	18593	Kostera	50,546210	20,793859
PL343	265	14783	Białystok	53,137640	23,155124
PL344	292	14671	Wiśniewo	53,012264	22,300980
PL345	184	14190	Janówka	53,904117	22,860245
PL411	244	21424	Kaczory	53,101630	16,881684
PL414	453	22162	Konin	52,236758	18,209276
PL415	333	22318	Poznań	52,405698	16,920958
PL416	472	21297	Lewków	51,692019	17,863475
PL417	365	21032	Czacz	52,035761	16,544862
PL418	298	21527	Koziegłowy	52,440799	16,996782
PL424	179	23484	Szczecin	53,432744	14,540917
PL426	229	23315	Koszalin	54,185673	16,174126
PL427	240	22667	Pomierzyn	53,337637	15,887073
PL428	333	22699	Goleniów	53,560699	14,844213
PL431	205	4845	Gorzów Wielkopolski	52,722509	15,232209
PL432	377	4926	Zielona Góra	51,917586	15,499577
PL514	284	1279	Wrocław-Stare Miasto	51,108172	17,027163
PL515	339	496	Pławna Górna	51,049836	15,587475
PL516	230	468	Lubin	51,407853	16,174192
PL517	355	885	Walim	50,703265	16,447936
PL518	320	936	Mirków	51,166408	17,156532
PL523	271	12198	Lasocice	50,537208	17,463630
PL524	392	12326	Dębie	50,636887	18,089588
PL613	351	2542	Bydgoszcz	53,127475	18,102465
PL616	260	2318	Myśliwiec	53,283981	18,995429
PL617	240	1870	Pakość	52,808119	18,087582
PL618	147	2135	Siemkowo	53,483218	18,224516
PL619	258	2780	Włocławek	52,667975	19,037058
PL621	328	20108	Bynowo	53,766429	19,784487
PL622	406	19984	Łęgajny	53,820346	20,631155
PL623	204	19672	Stare Juchy	53,920400	22,170509
PL633	337	15775	Gdańsk	54,408496	18,583299
PL634	365	15153	Przodkowo	54,381060	18,290724
PL636	224	16111	Słupsk	54,455713	17,062734
PL637	154	14994	Męcikał	53,818656	17,663457
PL638	166	15757	Uśnice	53,956334	18,917058

Dodatkowo, lokalizacja węzłów pokazana została na rys. 7.3.



Rys. 7.3. Lokalizacja węzłów centralnych NUTS-3 dla kryterium prostego

Lokalizacja węzłów centralnych dla każdego NUTS-3 zgodnie z kryterium złożonym została przedstawiona w tabeli 7.4 oraz na rys. 7.4.

Tabela 7.4. Lokalizacja węzłów centralnych NUTS-3 na bazie kryterium złożonego

NUTS-3	Liczba szkół	Numer węzła	Miasto	Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
PL113	333	6324	Łódź-Śródmieście	51,763749	19,462677
PL114	191	6029	Dobieszków	51,846901	19,583235
PL115	409	5448	Sulejów	51,369258	19,876724
PL116	335	5655	Waszkowskie	51,422093	18,776980
PL117	285	5188	Dąbkowice Dolne	52,077601	19,865716
PL127	761	11871	Warszawa	52,212812	21,023011
PL128	438	10971	Radom	51,394798	21,152688
PL129	494	9357	Sulejówek	52,239363	21,269925
PL12A	408	9729	Łazy	52,083313	20,897493
PL12B	272	8814	Gumowo	52,838487	20,496876
PL12C	231	10899	Płock	52,543742	19,707653
PL12D	330	9270	Różan	52,887702	21,391922
PL12E	225	10250	Chodów	52,211695	22,234585
PL213	392	8305	Kraków-Śródmieście	50,064152	19,942218

PL214	503	8225	Węgrzce Wielkie	50,021475	20,114011
PL217	339	7952	Ostrów	50,015559	20,885421
PL218	415	7317	Jamnica	49,585786	20,746695
PL219	300	7542	Rogoźnik	49,462952	19,953961
PL21A	311	6648	Regulice	50,084883	19,531926
PL224	358	17626	Częstochowa	50,787574	19,142043
PL225	435	17400	Bielsko-Biała	49,810589	19,036902
PL227	318	17015	Radlin	50,039972	18,498947
PL228	641	17496	Chorzów	50,308584	18,947819
PL229	138	17752	Gliwice	50,297119	18,673735
PL22A	160	17948	Katowice	50,258808	19,020706
PL22B	183	17722	Dąbrowa Górnicza	50,389795	19,313617
PL22C	177	18390	Tychy	50,108039	18,972701
PL311	244	2848	Romaszki	51,826788	23,054167
PL312	498	4008	Jarosławiec	50,717796	23,361762
PL314	430	4195	Lublin	51,247694	22,567790
PL315	393	3550	Chodel	51,114063	22,136811
PL323	404	13088	Milcza	49,607949	21,903427
PL324	334	12780	Chłopice	49,943729	22,674539
PL325	448	14054	Rzeszów	50,041485	22,005082
PL326	421	13262	Mielec	50,242892	21,491304
PL331	525	19211	Zalezianka	50,985060	20,793071
PL332	383	18595	Jarząbki	50,590431	20,908404
PL343	265	14694	Białystok	53,134231	23,148399
PL344	292	14655	Szczodrzy	52,983942	22,354957
PL345	184	14177	Augustów	53,848150	22,991962
PL411	244	21424	Kaczory	53,101630	16,881684
PL414	453	22177	Konin	52,229284	18,246745
PL415	333	22327	Poznań	52,402378	16,929344
PL416	472	21297	Lewków	51,692019	17,863475
PL417	365	20657	Kamieniec	52,164921	16,456115
PL418	298	21534	Kicin	52,462806	17,020108
PL424	179	23435	Szczecin	53,436683	14,540698
PL426	229	23308	Koszalin	54,188657	16,157617
PL427	240	22649	Czaplinek	53,562396	16,232092
PL428	333	22698	Białuń	53,607307	14,848849
PL431	205	4854	Gorzów Wielkopolski	52,739286	15,225918
PL432	377	4921	Zielona Góra	51,938773	15,536995
PL514	284	1417	Wrocław	51,105667	17,020092
PL515	339	506	Lwówek Śląski	51,109231	15,586055
PL516	230	461	Lubin	51,410813	16,193725
PL517	355	76	Bielawa	50,664096	16,602233
PL518	320	976	Radwanice	51,046294	17,114291
PL523	271	12203	Jasienica Dolna	50,518181	17,444973
PL524	392	12494	Opole	50,674544	17,987220
PL613	351	2470	Bydgoszcz	53,110068	18,046093

PL616	260	2318	Myśliwiec	53,283981	18,995429
PL617	240	1793	Inowrocław	52,796260	18,247543
PL618	147	2160	Świecie	53,412771	18,433702
PL619	258	2766	Włocławek	52,656864	18,988897
PL621	328	19743	Rudzienice	53,674245	19,672885
PL622	406	19984	Łęgajny	53,820346	20,631155
PL623	204	19711	Talki	53,955172	22,064569
PL633	337	15937	Gdańsk	54,404161	18,564716
PL634	365	15188	Żukowo	54,343178	18,362589
PL636	224	16102	Słupsk	54,462157	17,008662
PL637	154	15022	Czersk	53,798731	17,968794
PL638	166	15757	Uśnice	53,956334	18,917058



Rys. 7.4. Lokalizacja węzłów centralnych NUTS-3 dla kryterium złożonego

7.5. Lokalizacja CPD

Zgodnie z wynikami badań przedstawionymi wcześniej, projektowana sieć powinna w swoim najniższych poziomie (rdzeniu) posiadać 4 równoważne węzły. Wynik symulacji komputerowych jest zgodny ze wstępną propozycją Zleceniodawcy. Kolejnym rozwiązywanym zadaniem jest zatem optymalna lokalizacja wspomnianej ilości węzłów przetwarzania. Do tego celu zastosowano znaną z teo-

rii projektowania wielokryterialnego zmodyfikowaną metodę poszukiwania obszarów specjalizacji i punktów charakterystycznych. W klasycznej metodzie poszukuje się podziału przestrzeni elementów na wskazaną liczbę zbiorów o zbliżonej mocy. W naszym przypadku, cała przestrzeń rozwiązań tworzona będzie przez wszystkie 72 NUTS-3, przy czym każdy z nich opisany będzie za pomocą liczby jednostek edukacyjnych, funkcjonujących na jego obszarze. Poszukiwać będziemy, takiego spójnego podziału, w którym liczba jednostek w każdym z czterech obszarów będzie zbliżona. Algorytm składa się z dwóch etapów. W pierwszym z nich, poszukiwany jest wstępny spójny podział tworzony na bazie obszarów o największej liczbie podmiotów edukacyjnych. Drugie etap, w oparciu o metody wzorowane na algorytmach biologicznych dokonuje ulepszenia rozwiązania podstawowego. Wyniki działania algorytmu przedstawiono graficznie na rys. 7.5.

Źródłem interesujących wniosków mogłaby być dalsza analiza wpływu liczby węzłów CPD (ilości grup) na techniczno-eksploatacyjne parametry sieci, w szczególności jej parametry żywotnościowe i niezawodnościowe. Analiza taka wychodzi poza zakres niniejszego opracowania.



Rys. 7.5. Podział obszarów NUTS-3 pomiędzy cztery centra przetwarzania danych

Wyniki, zbliżone do przedstawionych na rys. 7.5 uzyskano również za pomocą metod analizy skupień opartych na podziale. Zauważmy, że rozwiązywane zadania podziału ma w istocie charakter dyskretny, stąd liczebność poszczególnych grup przypisanych do konkretnego CPD nie jest identyczna. Różna liczebność wynika również z wykorzystanego kryterium podziału na grupy. Było nim zachowanie podobnej liczby jednostek oświatowych w każdej z grup.

Przydział węzłów NUTS-3 do poszczególnych grup, opracowany za pomocą powyższego algorytmu został pokazany w tabeli 7.5.

Tabela 7.5. Przydział węzłów NUTS-3 do grup

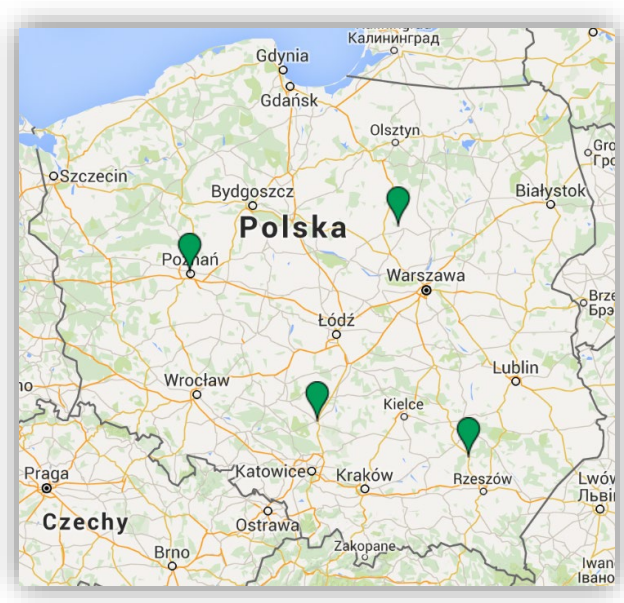
Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4
PL411	PL613	PL523	PL213
PL414	PL616	PL524	PL214
PL415	PL618	PL224	PL217
PL416	PL619	PL225	PL218
PL417	PL621	PL227	PL219
PL418	PL622	PL228	PL21A
PL617	PL623	PL229	PL311
PL424	PL633	PL22A	PL312
PL426	PL634	PL22B	PL314
PL427	PL638	PL22C	PL315
PL428	PL127	PL113	PL12E
PL636	PL129	PL114	PL323
PL637	PL12A	PL115	PL324
PL431	PL12B	PL116	PL325
PL432	PL12C	PL117	PL326
PL514	PL12D	PL331	
PL515	PL343	PL332	
PL516	PL344	PL128	
PL517	PL345		

Ostatnim krokiem procedury lokalizacji CPD jest określenie ich rozmieszczenia geograficznego. Do tego celu wykorzystano również algorytm określania środka ciężkości grafu. Podobnie jak poprzednio, rozważać będziemy dwa różne rozwiązania tego zadania. Do uzyskania rozwiązania 1, jako wagi odległości wierzchołków grafu wykorzystywano wyłącznie kryterium proste – długości ortodromy łączącej węzły. Uzyskane w ten sposób rozwiązanie, zaprezentowano w tabeli 7.6.

Tabela 7.6. Lokalizacje węzłów CPD dla kryterium prostego – długość ortodromy łączącej węzły

Grupa	Liczba jednostek	Nr węzła	Miasto	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
1	5874	22318	Poznań	52.4056984	16.9209583
2	6059	8817	Gorysze	52.895013	20.53651
3	5972	17593	Częstochowa	50.8058251	19.1238094
4	5657	13929	Tarnowska Wola	50.411353	21.7495585

Lokalizacja węzłów dla pierwszego rozważanego przypadku została dodatkowo pokazana na mapie z rys. 7.6.



Rys. 7.6. Lokalizacje węzłów CPD dla kryterium prostego

Lokalizacja węzłów CPD dla kryterium złożonego, którym jest iloraz długości ortodromy i liczby uczniów jednostek edukacyjnych została przedstawiona w tabeli 7.7 oraz na mapie z rys. 7.7.

Tabela 7.7. Lokalizacje węzłów CPD dla kryterium złożonego– iloraz długości ortodromy i liczby uczniów

Grupa	Liczba jednostek	Nr węzła	Miasto	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
1	5874	21534	Kicin	52,462806	17,020108
2	6059	8814	Gumowo	52,838487	20,496876
3	5972	17626	Częstochowa	50,787574	19,142043
4	5657	13262	Mielec	50,242892	21,491304



Rys. 7.7. Lokalizacja węzłów CPD dla kryterium złożonego

Realizując rzeczywistą sieć połączeń, należy uwzględnić dostępność okablowania światłowodowego. Dlatego lokalizacja CPD może ulec zmianie, jednak koncepcję wyniesienia CPD poza duże aglomeracje miejskie należy uznać za zasadne, w szczególności z punktu widzenia bezpieczeństwa państwa. Dzięki temu, w przyszłości, projekt *Internet dla szkół* może być traktowany jako alternatywny system szybkiej łączności służb bezpieczeństwa.

7.6. Analiza ruch w węzłach NUTS3

W tabeli 7.8 pokazano szacunki obciążenia ruchem wszystkich węzłów NUTS3. Do tego celu wykorzystano metodyki zaproponowane w pracy [32]. Pierwsza z przytoczonych wartości została określona na podstawie własnego rozkładu prawdopodobieństwa opracowanego na podstawie ruchu generowanego przez szkoły z województw: Podkarpackiego, Małopolskiego i Wielkopolskiego. Druga wartość została określona na podstawie dostosowanego do przypadku jednostek edukacyjnych rozkładu Erlanga. Różnice w obu wartościach są konsekwencją innego obszaru dominującego ruchu. Badania różnych autorów pokazują, że bliższym rzeczywistych wartości jest oszacowanie dokonane za pomocą rozkładu Erlanga. W obu przypadkach zakładano, że podmiotem generującym ruch był uczeń lub nauczyciel. Dodatkowo przyjęto, że ruch generowany przez nauczyciela jest średnio trzykrotnie większy od ruchu ucznia.

Tabela 7.8. Obciążenie ruchem węzłów obszarów NUTS określone na bazie różnych kryteriów

Jednostka NUTS 3	Liczba przyporządkowanych szkół	Sumaryczne obciążenie na podstawie własnego rozkładu prawdopodobieństwa [Mb/s]	Sumaryczne obciążenie na podstawie rozkładu Erlanga [Mb/s]
PL113	333	13227,40	9278,78
PL114	191	6752,66	4727,55
PL115	409	12603,74	8851,92
PL116	335	9952,07	6998,77
PL117	285	8470,05	5961,13
PL127	761	33435,31	23504,66
PL128	438	14456,72	10127,41
PL129	494	19177,94	13476,11
PL12A	408	15884,04	11170,21
PL12B	272	8140,87	5700,18
PL12C	231	7186,70	5040,55
PL12D	330	9080,89	6369,61
PL12E	225	7024,71	4912,28
PL213	392	15889,57	11193,25
PL214	503	15457,85	10858,65
PL217	339	10733,97	7542,78
PL218	415	14134,39	9930,94
PL219	300	8749,28	6140,43
PL21A	311	11687,03	8207,36
PL224	358	10940,94	7693,70
PL225	435	14576,39	10255,73
PL227	318	12998,56	9104,88
PL228	641	26657,57	18713,10
PL229	138	5695,72	3987,30
PL22A	160	5536,71	3886,55
PL22B	183	6302,15	4410,69
PL22C	177	7958,43	5594,21
PL311	244	6768,01	4755,22
PL312	498	13776,48	9683,97
PL314	430	16092,78	11293,28

PL315	393	10799,83	7572,77
PL323	404	11214,31	7865,88
PL324	334	8830,17	6189,72
PL325	448	14963,36	10526,85
PL326	421	13698,46	9614,81
PL331	525	17156,23	12070,91
PL332	383	10700,38	7477,28
PL343	265	10690,10	7493,25
PL344	292	8402,86	5896,46
PL345	184	5964,24	4182,16
PL411	244	9384,32	6584,44
PL414	453	14788,66	10365,37
PL415	333	11156,74	7839,33
PL416	472	15465,25	10845,73
PL417	365	13413,48	9400,95
PL418	298	11369,68	7985,04
PL424	179	8758,23	6143,18
PL426	229	7374,44	5171,12
PL427	240	8182,53	5739,01
PL428	333	10655,74	7484,86
PL431	205	7532,45	5276,62
PL432	377	12159,97	8544,25
PL514	284	12252,57	8596,95
PL515	339	11395,42	8011,26
PL516	230	9687,20	6786,13
PL517	355	13230,83	9277,16
PL518	320	12106,60	8494,74
PL523	271	7677,87	5382,49
PL524	392	11594,10	8146,81
PL613	351	16754,23	11778,58
PL616	260	8736,35	6147,37
PL617	240	7953,68	5569,50
PL618	147	3987,50	2796,32
PL619	258	7570,58	5310,27
PL621	328	12642,75	8881,89
PL622	406	12928,39	9093,48

PL623	204	6848,79	4816,72
PL633	337	16022,39	11254,42
PL634	365	16366,60	11493,72
PL636	224	7664,17	5386,65
PL637	154	5267,65	3699,01
PL638	166	7087,25	4980,28

Rozdział 8

Analiza rozwiązania cząstkowego

8.1. Informacje podstawowe

Chociaż budowa kompleksowej komputerowej sieci dla edukacji wydaje się przedsięwzięciem korzystnym, trudności w jej realizacji mogą wynikać z kosztów realizacji inwestycji. Dlatego, jako alternatywne, przedstawiamy rozwiązanie cząstkowe obejmujące wyłącznie obszary objęte wykluczeniem. W celu ich wyznaczenia zastosowano trzy alternatywne metody:

1. Wykorzystano dane z Urzędu Komunikacji Elektronicznej (UKE) dotyczące obszarów objętych wykluczeniem cyfrowym;
2. Zastosowano informacje udostępniane przez UKE o liczbie zgłoszeń o nie-
możności uzyskania usługi. Wskaźnikiem decydującym o wykluczeniu była
w tym przypadku liczba zgłoszeń na 10 000 mieszkańców;
3. Wykorzystano dane dotyczące lokalizacji punktów dostępu do sieci dostar-
czone przez Zleceniodawcę. W tym przypadku o wykluczeniu decydował zło-
żony współczynnik uwzględniający liczbę punktów dostępu, liczbę miesz-
kańców oraz powierzchnię obszaru, którego dotyczy wykluczenie.

Przeprowadzone badania analityczne pokazały, że powyższe metody oferują zbliżone wyniki. W wykorzystanym dalej rozwiązaniu, bazowe wyniki uzyskano za pomocą metody z pkt. 1, które zweryfikowano metodą z pkt 3.

Dalej zastosowano następującą terminologię: *czarne strefy* – obszary, w których z uwagi na wykluczenie będzie budowana sieć; *białe strefy* – obszary, na których sieć nie będzie budowana.

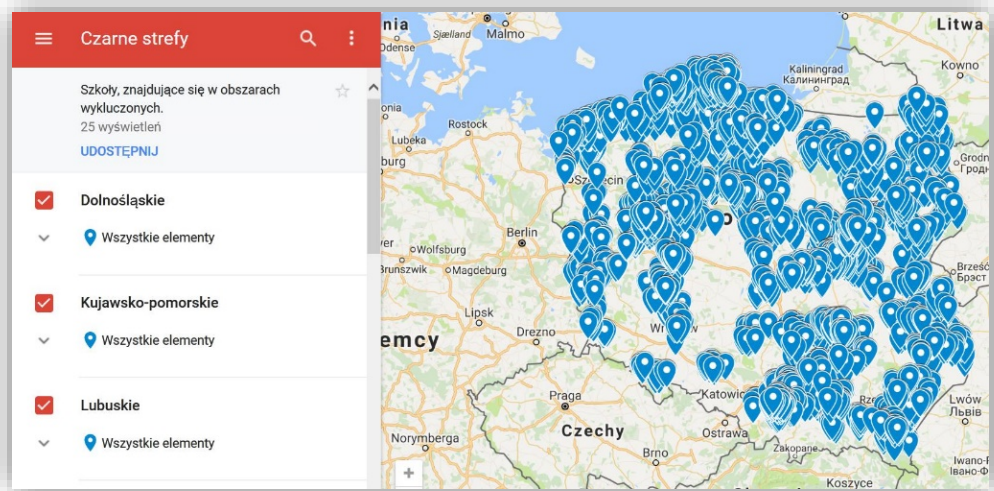
8.2. Prezentacja rozwiązania

W tabeli 8.1 zaprezentowano zestawienie parametrów sieci połączeniowej czar-
nych stref według województw. Z kolei na rys. 8.1 pokazano geograficzne rozmiesz-
czenie jednostek edukacyjnych zlokalizowanych w czarnych strefach.

Tabela 8.1. Zestawienie parametrów sieci połączeniowej czarnych stref według województw

Województwo	Liczba szkół	Minimalna/ maksymalna odległość do węzła [km]	Średnia odle- głość do węzła [km]	Mediana odległość do węzła [km]	Sumaryczna długość kabli [km]
DOLNOŚLĄSKIE	139	0,08907/ 11,54471	2,44532	1,26126	339,89951
KUJAWSKO-PO- MORSKIE	252	0,41840/ 29,24286	8,81911	11,31589	3108,37161
LUBELSKIE	208	0,02275/ 11,00817	6,94063	3,14778	709,16794
LUBUSKIE	112	0,04823/ 7,49740	6,09297	0,58789	174,65944

ŁÓDZKIE	107	1,74420/ 27,39716	7,05940	11,83885	1442,48999
MAŁOPOLSKIE	429	0,01369/ 10,18821	5,58094	2,55881	1184,84954
MAZOWIECKIE	625	0,04044/ 29,74958	6,86786	7,56969	5897,20053
OPOLSKIE	23	0,12132/ 11,11234	6,82065	1,14847	68,48736
PODKARPACKIE	265	0,01093/ 8,92038	6,34948	2,93530	789,75723
PODLASKIE	169	0,00469/ 11,81741	6,11580	2,51519	528,82534
POMORSKIE	365	0,01252/ 13,16788	5,53921	0,82220	678,91243
ŚLĄSKIE	44	0,29202/ 17,75855	5,55271	4,72939	280,70493
ŚWIĘTOKRZY- SKIE	366	0,00808/ 13,78541	5,20831	2,41210	963,26304
WARMIŃSKO- MAZURSKIE	96	0,01132/ 9,85540	5,11908	0,64854	214,47417
WIELKOPOLSKIE	362	0,01458/ 10,15532	4,76212	0,97583	581,59596
ZACHODNIOP- MORSKIE	236	0,00000/ 11,20482	4,57168	0,57219	400,57449
SUMARYCZNIE	3798				17363,23349



Rys. 8.1 Lokalizacja jednostek edukacyjnych w czarnych strefach

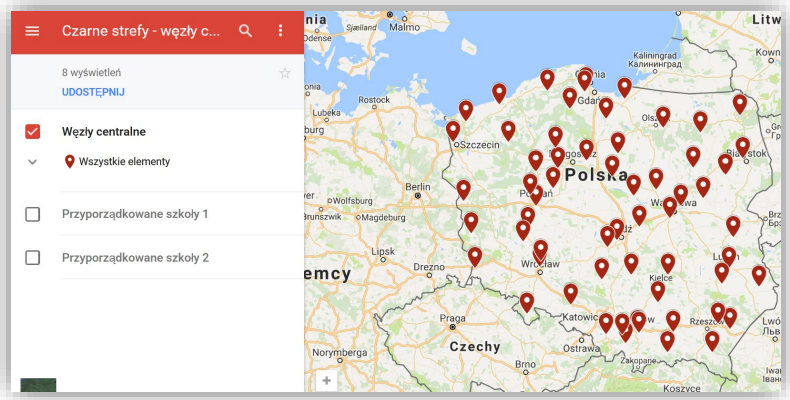
W analizie wykorzystano informacje statystyczne dla poszczególnych obszarów NUTS, oddzielnie dla pełnej i cząstkowej sieci, m.in.: liczbę przyporządkowanych szkół, liczbę uczniów, minimalną, maksymalną i średnią odległość od węzła, a także

jej medianę oraz sumaryczną długość okablowania w ramach obszaru NUTS. Wyszukiwanie wykonano dla dwóch kryteriów:

- 1. Kryterium prostego - odległość mierzona w kilometrach;
- 2. Kryterium mieszanego – odległość mierzona w kilometro-uczniach.

Graficzna ilustracja rozmieszczenia węzłów centralnych obszarów NUTS dla kryterium prostego zaprezentowana została na rys. 8.2.

W tabeli 8.2 zaprezentowano wyniki działania algorytmu podziału obszarów NUTS na cztery grupy, obsługiwane przez węzeł najwyższego poziomu.



Rys. 8.2 Lokalizacja centrów agregacyjnych NUTS w czarnych strefach

Tabela 8.2. Przydział obszarów NUTS do węzłów obsługi

Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4
PL411	PL613	PL523	PL213
PL414	PL616	PL524	PL214
PL415	PL618	PL224	PL217
PL416	PL619	PL225	PL218
PL417	PL621	PL227	PL219
PL418	PL622	PL228	PL21A
PL617	PL623	PL229	PL311
PL424	PL633	PL22A	PL312
PL426	PL634	PL22B	PL314
PL427	PL638	PL22C	PL315
PL428	PL127	PL113	PL12E
PL636	PL129	PL114	PL323
PL637	PL12A	PL115	PL324
PL431	PL12B	PL116	PL325
PL432	PL12C	PL117	PL326
PL514	PL12D	PL331	
PL515	PL343	PL332	
PL516	PL344	PL128	
PL517	PL345		

W tabeli 8.3 zaprezentowano lokalizację węzłów CPD dla kryterium prostego, zaś w tabeli 8.4 dla mieszanego.

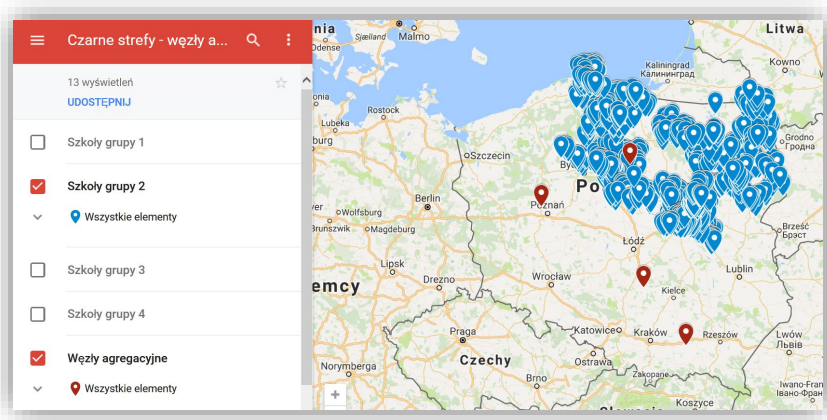
Tabela 8.3. Lokalizacje węzłów CPD dla kryterium prostego – długość ortodromy łączącej węzły

Grupa	Liczba jednostek	Nr węzła	Miasto	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
1	995	21606	2434,9510	Rokietnica	52,512323
2	1326	1591	2360,7444	Szabda	53,251758
3	539	5558	750,0248	Zagórze	51,042015
4	938	7922	1765,1713	Poręba Radlna	49,955913

Tabela 8.4. Lokalizacje węzłów CPD dla kryterium złożonego– iloraz długości ortodromy i liczby uczniów

Grupa	Liczba jednostek	Nr węzła	Miasto	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
1	21580	1,2090	Czapury	52,314282	16,911377
2	1591	0,4013	Szabda	53,251758	19,346696
3	5099	0,1348	Marzenin	51,553437	19,037302
4	3073	0,4911	Aleksandrówka	50,872170	22,443182

Ilustracja graficzna podziału została pokazana na rys. 8.3.



Rys. 8.3 Lokalizacja centrów CPD dla czarnych stref

W przekonaniu autorów opracowania lokalizacja CPD w powyższych węzłach nie powinna mieć miejsca. Celowość budowy sieci cząstkowej jest uwarunkowana dołączeniem do CPD istniejącymi kanałami wszystkich jednostek edukacyjnych przewidzianych w pełnej wersji projektu. W takim przypadku lokalizacja CPD powinna pozostać niezmienna.

W tabeli 8.5 zaprezentowano szacunkowe obciążenia węzłów NUTS uzyskane z wykorzystaniem określonego empirycznie rozkładu prawdopodobieństwa oraz na podstawie rozkładu Erlaga.

Tabela 8.5. Obciążenie ruchem węzłów obszarów NUTS określone na bazie różnych kryteriów

Jednostka NUTS 3	Liczba przyporządkowanych szkół	Sumaryczne obciążenie na podstawie własnego rozkładu prawdopodobieństwa [Mb/s]	Sumaryczne obciążenie na podstawie rozkładu Erlanga [Mb/s]
PL114	28	724,44	507,88
PL115	17	374,37	264,34
PL116	5	162,77	112,01
PL117	57	1330,31	934,93
PL129	269	9925,77	6978,45
PL12A	174	7133,00	5018,45
PL12B	17	336,36	235,05
PL12C	32	757,81	533,88
PL12D	98	1802,48	1266,27
PL12E	35	576,81	402,26
PL213	4	132,38	95,04
PL214	224	6120,48	4295,67
PL217	56	1454,95	1024,64
PL218	13	334,26	233,07
PL219	30	799,36	562,43
PL21A	102	3810,70	2689,43
PL224	19	549,07	384,40
PL225	25	1009,09	698,97
PL311	32	617,14	428,71
PL312	76	1402,91	985,57
PL314	97	2458,51	1718,93
PL315	4	77,68	53,22
PL323	139	3186,93	2236,63
PL324	111	3334,34	2340,62
PL325	15	379,68	263,43
PL326	0		
PL331	215	5232,18	3672,59
PL332	150	3547,05	2489,21

PL343	41	947,32	661,44
PL344	79	1683,58	1170,42
PL345	49	848,75	589,55
PL411	89	3308,70	2319,60
PL414	21	546,31	387,36
PL415	2	68,18	45,42
PL416	0		
PL417	78	2985,05	2107,55
PL418	172	6535,74	4599,67
PL424	1	52,05	37,21
PL426	105	2867,25	2015,83
PL427	33	1015,72	713,51
PL428	97	2568,24	1815,04
PL431	38	1275,17	891,76
PL432	74	1917,06	1344,90
PL514	2	53,92	37,76
PL515	17	466,86	325,42
PL516	24	776,15	535,67
PL517	28	664,77	468,23
PL518	68	2685,81	1888,22
PL524	23	635,93	447,75
PL613	57	2334,53	1642,13
PL616	74	2424,59	1706,97
PL617	36	1034,28	735,50
PL618	18	478,58	333,35
PL619	67	1883,58	1321,86
PL621	13	290,39	204,79
PL622	58	1260,58	884,61
PL623	25	820,68	579,84
PL633	13	319,46	225,62
PL634	184	6590,99	4628,96
PL636	85	2619,29	1833,81
PL637	25	615,82	435,88
PL638	58	1961,38	1383,48

Rozdział 9

Alternatywy rozwiązań technicznych

9.1. Technologie z grupy GPON

9.1.1. Scenariusz 1: Bit Stream Access (BSA)

Model BSA zakłada, że operator infrastruktury (OI) dostarczy usługę o wymaganych parametrach dla wskazanej lokalizacji - szkoły. OI będzie musiał zapewnić dostęp do Wirtualnej Sieci Prywatnej (VPN) OSS oraz dostęp do Internetu Szerokopasmowego. W celu zapewnienia dostępu do sieci VPN OSS, OI będzie musiał być spięty z RSS (Regionalną Siecią Szerokopasmową) minimum łączem 10 gigabitowym. Model ten nie zakłada ograniczenia technologicznego, o ile wybrana technologia spełnia wymagania, co do przepustowości oraz jakości usługi. Preferowane jednak będą technologie FTTx.

Parametry niezbędne do realizacji scenariusza:

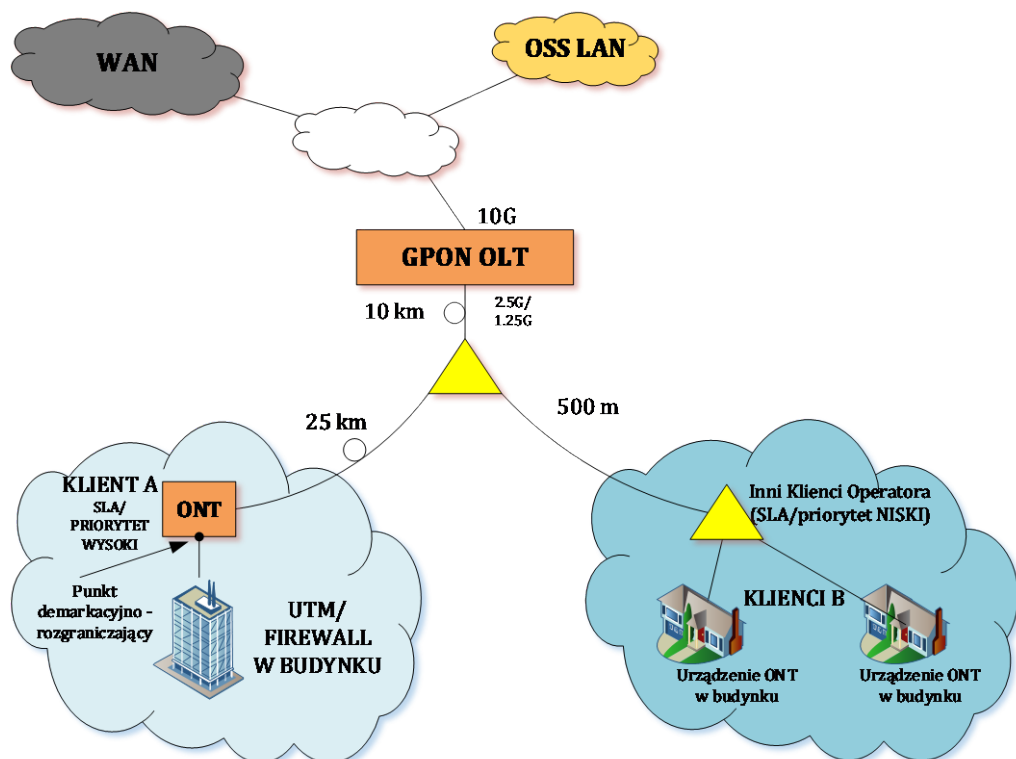
1. Dostęp do Internetu poprzez protokoły IPv4 oraz IPv6, w tym 1 adres publiczny IPv4;
2. Zachowanie odpowiednich parametrów jakości łącza, co do jego przepustowości, opóźnień oraz jitteru;
3. Infrastruktura Operatora musi spełniać wymagania technologiczne takie jak:
 - a. 10Gbit łącza uplinkowe;
 - b. Kolejowanie ruchu per port na zasadzie Strict Priority;
 - c. Przenoszenie oraz markowanie priorytetów 802.1p lub DSCP.

9.1.2. Scenariusz 2: Infrastruktura sieciowa w oparciu o rozwiązania xPON

Powyższy model zakłada świadczenie usługi poprzez własne urządzenia sieciowe ostatniej mili, które zagwarantują odpowiedniej parametry transmisyjne oraz późniejszą możliwość zwiększenia liczby świadczonych usług. Scenariusz ten zakłada zastosowanie technologii pasywnej sieci optycznej PON w jednym z powyższych standardów:

1. GPON (ITU-T G.984.x)
2. GPON z CWDM overlay
3. XG-PON1 ITU-T G.987

Rozwiązania xPON pozwalają podłączyć na jednym włóknie transmisyjnym kilku abonentów, którzy współdzielą 2,4Gbit/1,24Gbit transmisje. Dzięki temu ograniczona zostanie liczba włókien, które mogą być dzierżawione lub współdzielone pomiędzy innymi jednostkami (nie koniecznie posiadającymi ten sam priorytet w dostępie do medium). Proponowana infrastruktura została przedstawiona na rys. 9.1.

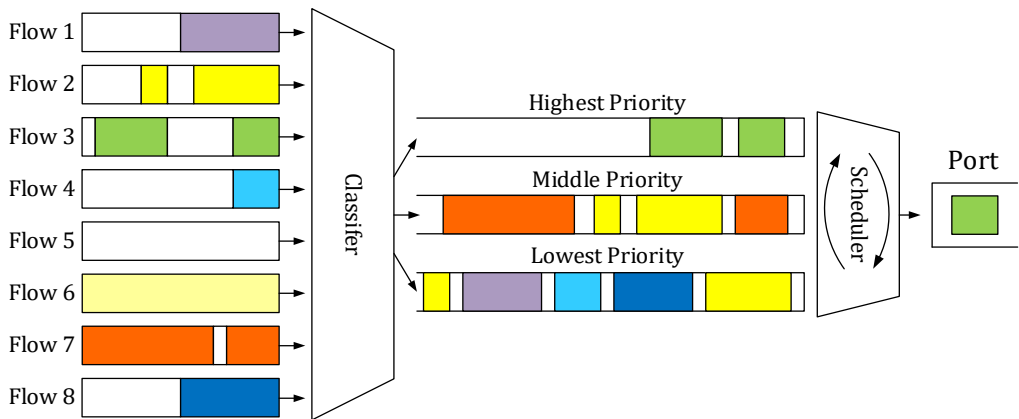


Rys. 9.1. Połączenia w scenariuszu 2

Rozwiązania xPON, takie jak GPON, dedykowane są operatorom, którzy chcą bardziej zaawansowanych usług kontroli jakości. Sieć GPON składa się z jednostki centralnej OLT (Optical Line Terminal) oraz terminali ONT (Optical Network Terminal). Sieć ta zostanie wybudowana w oparciu o sieć światłowodów jednomodowych. GPON pozwala zagwarantować prędkości transmisji w kierunku od ONT do OLT dzięki wbudowanemu mechanizmowi SR DBA, gdzie można przyporządkować 4 klasy SLA (typy T-CONT):

1. *Fixed* (gwarancja pasma, pasmo przyporządkowane nawet wtedy, kiedy ONT go nie potrzebuje);
2. *Assured* – pasmo przydzielane w pierwszej kolejności, jeżeli ONT go wymaga;
3. *Non-Assured* - pasmo przydzielane w drugiej kolejności jeżeli ONT go potrzebuje;
4. *BE (Best Effort)* – najniższa klasa gwarancji.

Prędkość na wyjściu z portów ma być zagwarantowana dzięki mechanizmowi QoS. Urządzenia OLT, przedstawione na rys. 9.2, może klasyfikować ruch zgodnie z przyjętą polityką, odpowiednio go markować z wyższym priorytetem, a następnie przekierować do kolejki na porcie, która zagwarantuje pierwszeństwo wyjścia z portu w przypadku przeciążenia. Tak mechanizm będzie działał zarówno na porcie GPON OLT i kierunku do ONT oraz na porcie uplinkowym.



Rys. 9.2. Idea kolejowania w scenariuszu 2

OLT – wymagania techniczne:

1. Klasyfikacja ruchu:
 - a. Per SMAC i DSTMAC;
 - b. Per IPv4 lub IPv6;
 - c. Per Ethertype;
 - d. Per VLAN ID (802.1Q lub 802.1ad);
 - e. Per CoS (802.1p) lub DSCP.
2. 8-kolejek na port;
3. Szyfrowanie ruchu w kierunku OLT - > ONT;
4. Zabezpieczenie przed Rouge ONT (mechanizm auto wykrywania uszkodzonych laserów w ONT, które mogą zakłócać pracę innych ONT, a następnie wyłączanie laserów w ONT);
5. Zabezpieczenie przed pętlami po stronie urządzeń ONT;
6. Port rate-limit;
7. Monitorowanie ruchu na porcie per CoS (802.1p);
8. Wsparcie dla OAM ITU-T Y.1731.

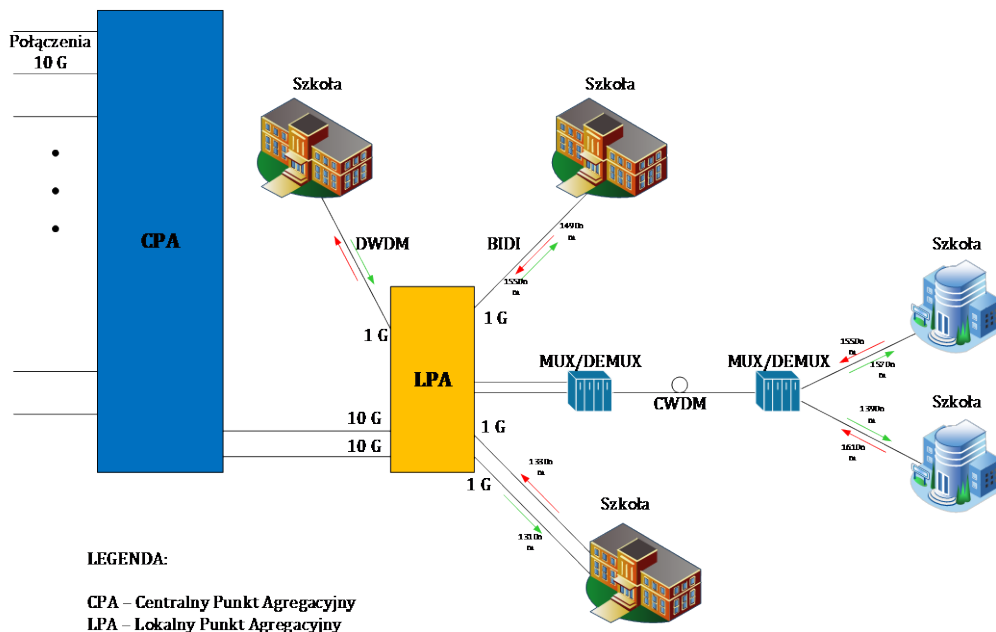
Wymagania dotyczące ONT:

1. ITU-T G.984.4;
2. Certyfikat zgodności z BBF.247;
3. Możliwość pracy jako Router z wyłączonym NAT, z możliwością manipulowania tablicą routingu;
4. Polskie interfejsy WWW;
5. SNMP Client na ONT z monitorowaniem ruchu, przechodzącego w dwóch kierunkach na porcie LAN, OSS lub Szkoła może monitorować ruch bez udziału operatora;
6. Wsparcie dla jumbo ramki 1590;
7. Limitowanie ruchu per CoS na ONT w kierunku egress na porcie Ethernet;
8. Wsparcie dla ruchu IPv4 i IPv6;
9. Wsparcie dla transparentnego przesyłania ruchu w tunelu;

10. W każdym scenariuszu wymagana wydajność nie może być mniejsza niż 500Mb/s.

9.1.3. Scenariusz 3: Sieć oparta o rozwiązania Punkt-Punkt

W tym scenariuszu każda jednostka będzie podłączona za pomocą dedykowanego włókna lub pary długości fal (xWDM). W tym celu potrzebne będą przełączniki światłowodowe dostępne o zróżnicowanej gęstości portów. Przełączniki muszą być wyposażone w mechanizm QoS w oparciu o 802.1p oraz kolejkowanie per port SPQ (Strict Priority Queue). Infrastrukturę tego scenariusza przedstawiono na rys. 9.3.



Rys. 9.3. Idea połączeń scenariusza 3

Aby zapewnić odpowiednie parametry urządzeń preferowane rozwiązania powinny być wyposażone w mechanizmy:

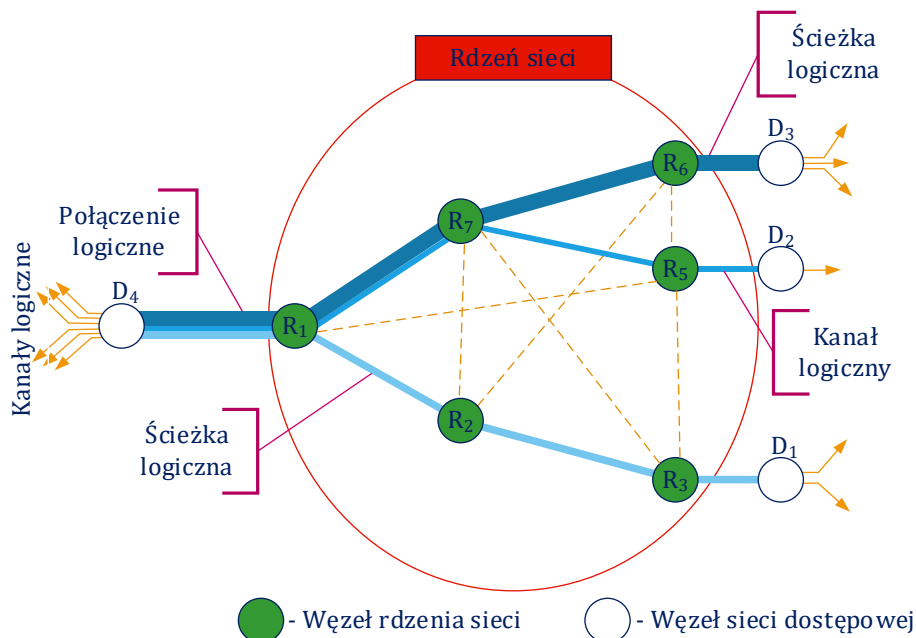
1. Tuneli wirtualnych:
 - a. Provider Backbone Bridges (PBB) IEEE 802.1ah, lub:
 - b. VLAN Cross-Connect VLAN-XC, lub:
 - c. Wsparcie dla EVL i EVPL w kontekście standardów MEF.
2. OAM zgodny z IEEE 802.1ag.

Szerszy opis możliwości wykorzystania scenariusza przedstawiono w kolejnym paragrafie opracowania.

9.2. Zastosowanie technologii wielokanałowych

Rozwiązaniem pozwalającym radykalnie zmienić właściwości sieci jest zastosowanie technologii wydzielonych falowo kanałów logicznych. Podstawą realizacji

rozwiązań opartych na technologiach tej grupy jest hierarchia topologii, bazująca na powszechnie dostępnych we współczesnych technologiach komunikacyjnych wielokanałowości, której istota przedstawiona została na rys. 9.4.



Rys. 9.4. Komponenty wielokanałowego systemu komunikacyjnego

W analizowanej sieci fizycznej wyróżniamy dwa typy węzłów: węzły rdzenia oznaczone symbolem *R* oraz węzły sieci dostępowej *D*. W fizycznym kanale komunikacyjnym łączącym parę węzłów fizycznych, za pomocą jednej z metod zwielokrotniania kanałów komunikacyjnych, wydziela się niezależne kanały logiczne, na bazie których tworzone są ścieżki oraz połączenia logiczne. Pojęcia te zostały zdefiniowane poniżej.

Początkowo, zastosowanie kanałów logicznych wynikało wyłącznie z potrzeby maksymalnego wykorzystania dostępnego pasma transmisyjnego kanałów komunikacyjnych, z uwagi na wysokie koszty ich budowy i eksploatacji. Maksymalizacja powodowała, że koszty usług transmisyjnych malały, dzięki czemu rozszerzał się zakres ich potencjalnych odbiorców. Warto ponadto zauważyć, że komunikacja długodystansowa jest realizowana obecnie, przede wszystkim, w oparciu o przesyłanie sygnału optycznego. Z kolei przetwarzanie informacji we wszystkich typach komputerów opiera się na wykorzystaniu sygnału elektrycznego. Tak więc, na styku przesyłania i przetwarzania (połączenie kanału komunikacyjnego z urządzeniem przetwarzającym) musi zostać wykonana konwersja elektron-foton lub foton-elektron. Niestety, dostępne obecnie szybkości konwersji nie odpowiadają szybkościom transmisji informacji w światłowodach. W ten sposób, wielokanałowość staje się narzędziem rozwiązania problemu niewykorzystywania dostępnego

pasma komunikacyjnego: w miejsce jednego konwertera, obsługującego kanał fizyczny, wykorzystujemy wiele niezależnych kanałów logicznych obsługiwanych przez wiele konwerterów. Niezależność kanałów komunikacyjnych pozwala zagwarantować użytkownikowi określoną jakość usług, bowiem nie konkuruje on wtedy z innymi użytkownikami o dostęp do wydzielonych zasobów komunikacyjnych.

Wielokanałowość stanowi podstawę realizacji hierarchizacji w wielu typach współczesnych sieci, w tym również w sieciach regionalnych i korporacyjnych. Przykładową hierarchię topologii wykorzystywaną w sieciach tej klasy przedstawiono na rys. 9.5.



Rys. 9.5. Komponenty hierarchii topologii i ich wzajemne powiązanie

Komponenty opartych na wielokanałowości systemów hierarchicznych można rozdzielić na fizyczne oraz logiczne. Komponenty fizyczne odnoszą się do rzeczywistych elementów, takich jak: węzły sieci i kanały komunikacyjne. Główne z nich to topologia fizyczna, ścieżka fizyczna oraz kanał fizyczny.

Fizyczna topologia sieci odzwierciedla połączenia pomiędzy rzeczywistymi (realnymi) komponentami systemu. Jest ona przedstawiana za pomocą nieskierowanego grafu $G_F = (V_F, E_F)$, gdzie V_F – zbiór wierzchołków, odpowiadających rzeczywistym węzłom sieci $V_F = \{v_1, \dots, v_n\}$, $n > 0$, E_F – zbiór krawędzi grafu odwzorowujących rzeczywiste połączenia $E_F = \{e_1, \dots, e_m\}$, $m > 0$. Graf topologii fizycznej, to graf ważony, jako waga gałęzi wykorzystywana jest w nim odległość dzieląca połączone węzły, opóźnienie przesyłu informacji na danym łączu lub jego przepustowość. Stosowane są również miary hybrydowe, będące połączeniem powyższych wskaźników.

W przypadku sieci regionalnych struktura sieci fizycznej odzwierciedla organizację jednostek administracji samorządowej: starostwa powiatowe tworzą węzły rdzenia sieci, do których za pomocą sieci dostępowych dołączane są urzędy gminne. Architektura części fizycznej sieci korporacyjnych może być znacznie bardziej różnorodna. Jeżeli przedsiębiorstwo jest scentralizowane, to sieć podobnie jak w sieciach regionalnych, sieć fizyczna opiera się na światłowodach. Jeżeli jednak mamy do czynienia z korporacją ogólnokrajową lub międzynarodową, do budowy rdzenia sieci stosuje się dzierżawione kanały wirtualne.

Przy obecnym rozwoju technologii większość sieci fizycznych jest zazwyczaj realizowana za pomocą kabli światłowodowych. Rozwiązanie takie zapewnia wysoką niezawodność komunikacji, maksymalne przepustowości kanałów komunikacyjnych oraz umiarkowane koszty eksploatacji. Chociaż instalacje światłowodowe mogą być obciążane podatkiem od nieruchomości, jego wysokość jest niższa od opłat za pasmo komunikacyjne dla sieci bezprzewodowych. Oczywiście, nie można wykluczyć, że w szczególnych przypadkach sieć fizyczna będzie oparta na łączności bezprzewodowej, ale rozwiązania takie w sieciach regionalnych i korporacyjnych stosowane są stosunkowo rzadko.

Kanałem fizycznym nazywamy kanał transmisyjny wykorzystujący rzeczywiste medium transmisyjne (np. włókno światłowodowe), łączące dwa sąsiednie węzły fizyczne. Ponieważ przepływy informacyjne w sieciach są dwukierunkowe, graf opisujący topologię fizyczną jest najczęściej nieskierowany. Wynika to z jednokierunkowości komunikacji optycznej, kiedy dwukierunkowość realizowana jest za pomocą pary niezależnych kanałów komunikacyjnych lub poprzez zastosowanie komunikacji w pierścieniu. Formalnie, połączenie fizyczne e_k to krawędź grafu topologii fizycznej łącząca wierzchołki v_i, v_j i należąca do zbioru $E_F = \{e_1, \dots, e_k, \dots, e_m\}$. Wierzchołki związane z krawędzią e_k nazywa się *wierzchołkami końcowymi* kanału e_k . Kanał fizyczny łączący wierzchołki v_i oraz v_j będziemy oznaczać dalej jako $[v_i, v_j]$. Podstawową charakterystyką zbioru krawędzi E_F jest *waga kanału fizycznego* $d_{[v_i, v_j]}$, najczęściej określająca jego fizyczną długość.

Węzeł fizyczny to miejsce rozmieszczenia rzeczywistych (realnych) zasobów systemu informatycznego. Odpowiada on wierzchołkowi grafu topologii fizycznej, w którym kończą się połączenia fizyczne reprezentowane jego krawędziami. Zbiór węzłów topologii fizycznej najczęściej opisuje się za pomocą:

1. Liczby $n_F = |V_F|$ wierzchołków grafu, odpowiadających węzłom fizycznym w realnym systemie;
2. Stopnia s_i^F węzła fizycznego, określającego liczbę kanałów fizycznych, incydentnych do danego (i -tego) wierzchołka,
3. Stopnia S^F topologii fizycznej, który jest określany jako maksymalny stopień węzłów topologii, tj. $S^F = \max_{i \in V_F} s_i^F$.

Ścieżka fizyczna to połączenie pomiędzy dowolną parą wierzchołków s i t grafu $G_F = (V_F, E_F)$ o długości k , będącej sekwencją węzłów $d = (v_s, \dots, v_t)$ ścieżek $e_i = (v_i, v_{i+1})$ takich, że $e_i = (v_i, v_{i+1}) \in E_F$ dla $i \in \{s, \dots, t\}$ oraz $t = k - 1$, przy czym każdy z kanałów fizycznych może wystąpić w ścieżce jednokrotnie. Jeżeli ścieżka fizyczna łączy wierzchołki s oraz t , to można ją przedstawić jako sekwencję kanałów fizycznych:

$$[s, b_1], [b_1, b_2], \dots, [b_{k-1}, b_k], [b_k, t]. \quad (1)$$

Ścieżka fizyczna, łącząca wierzchołki s oraz t będzie oznaczana dalej jako $\llbracket s, t \rrbracket$. Dla ścieżki fizycznej można również wprowadzić pojęcie wagi. Jeżeli rozpatrywana ścieżka została opisana wyrażeniem (1) i wagi kanałów fizycznych są równe odpowiednio $d_{[s, b_1]}, d_{[b_1, b_2]}, \dots, d_{[b_{k-1}, b_k]}, d_{[b_k, t]}$, to waga ścieżki fizycznej określana jest

sumą wag wszystkich kanałów fizycznych tworzących daną ścieżkę. Dla topologii fizycznej opisanej za pomocą grafu $G_F = (V_F, E_F)$ waga ścieżki d_{G_F} jest sumą wag wszystkich kanałów tworzących daną ścieżkę, tj.:

$$d_{G_F} = \sum_{[m,n] \in [s,t]} d_{[m,n]}. \quad (2)$$

Pojęcie wagi (kanału, ścieżki lub topologii) ściśle związane jest z kosztem ich budowy. W celu określenia opóźnień komunikacyjnych występujących w sieci zazwyczaj wprowadza się dodatkowe parametry.

Drugą grupą komponentów sieci z hierarchią topologii są *komponenty logiczne*, do których możemy zaliczyć: węzeł logiczny, kanał logiczny, ścieżkę logiczną oraz topologię logiczną. *Węzły logiczne* to elementy topologii logicznej, będące końcowymi węzłami logicznych kanałów komunikacyjnych. Węzły logiczne budowane są na bazie węzłów fizycznych i nie mogą istnieć bez nich. Podobnie jak węzły fizyczne, można je opisać za pomocą stopnia wierzchołków. Logiczny stopień i -tego wierzchołka s_i^L określa liczbę kanałów logicznych incydentnych do danego wierzchołka. Ponieważ połączenia logiczne są skierowane, możemy wyróżnić wejściowy $s_i^{L_{in}}$ oraz wyjściowy $s_i^{L_{out}}$ stopień i -tego wierzchołka. Dla logicznego stopnia i -tego wierzchołka słusznym jest wyrażenie:

$$s_i^L = s_i^{L_{in}} + s_i^{L_{out}}. \quad (3)$$

Stopniem S^L topologii logicznej będziemy nazywać maksymalny stopień węzła logicznego, tj. $S^L = \max_{i \in V_L} s_i^L$, gdzie V_L – zbiór wierzchołków logicznych.

Ponieważ węzły fizyczne i logiczne są wzajemnie powiązane, to przy opisie topologii logicznej można wyróżnić stopień logiczny s_i^{LF} węzłów fizycznych. Wartość parametru s_i^{LF} dla i -tego węzła fizycznego określa się jako sumę stopni logicznych węzłów zbudowanych na jego bazie. Niech V_i^{LF} będzie zbiorem węzłów logicznych utworzonych na bazie i -tego węzła fizycznego. Wtedy wartość s_i^{LF} możemy określić jako:

$$s_i^{LF} = \sum_{j \in V_i^{LF}} s_j^L. \quad (4)$$

Stopień logiczny s_i^{LF} węzła fizycznego określa liczbę urządzeń nadawczo-odbiorczych wykorzystywanych w węźle fizycznym, która to liczba jest zazwyczaj bardzo ograniczona.

Analogicznie z topologią fizyczną można również określić stopień S^{LF} topologii logicznej, który może być określony wyrażeniem:

$$S^{LF} = \max_{i \in V_F} s_i^{LF} \quad (5)$$

gdzie: V_F – zbiór wierzchołków fizycznych.

Kolejnym elementem omawianej hierarchii jest kanał logiczny, wydzielany jako niezależny fragment pasma komunikacyjnego. Kanał logiczny wiąże ze sobą węzły logiczne i jest realizowany za pomocą jednej z dostępnych metod zwielokrotniania kanałów komunikacyjnych. Jak pokazuje doświadczenie, postępy technologii oraz

spadek cen urządzeń spowodował, że w przewodowych fragmentach rozpatrywanych sieci najczęściej wykorzystuje się zwielokrotnianie falowe WDM. Dalej kanał logiczny wiążący wierzchołki m oraz n będziemy oznaczać jako $\|m, n\|$.

Przepustowość kanału logicznego jest fragmentem przepustowości kanału fizycznego. Bazowym kanałem logicznym będziemy nazywać kanał o minimalnej wydzielonej przepustowości $p_{\|m, n\|}^{\min}$. W celu zapewnienia skalowalności połączeń przepustowość kanałów logicznych może być wielokrotnością przepustowości kanału bazowego. Zbiór różnych wielokrotności dla kanału $\|m, n\|$ oznaczono jako $C_{\|m, n\|}^k$ i jest on podzbiorem zbioru liczb naturalnych ($C_{\|m, n\|}^k \subseteq \mathbb{N}$), ograniczonym od góry przepustowością $P_{[m, n]}$ fizycznego kanału komunikacyjnego. W ten sposób $C_{\|m, n\|}^k = \{1, \dots, c_{\|m, n\|}^{\max}\}$, gdzie: $c_{\|m, n\|}^{\max} \leq \lfloor P_{[m, n]} / p_{\|m, n\|}^{\min} \rfloor$. Ponieważ maksymalna przepustowość kanału jest niezmienna, to zbiór dopuszczalnych przepustowości wywiera istotny wpływ na wartości funkcji gęstości f . Wraz ze wzrostem wartości $c_{\|m, n\|}^{\max}$ maksymalne dopuszczalne znaczenie funkcji f zmniejsza się. Dla realnych systemów elementami zbioru $C_{\|m, n\|}^k$ są wyłącznie wybrane elementy zbioru $\mathbb{N}$ (dla SONET to 1, 3, 12, 192 i in.). Parametr $c_{\|m, n\|}^{\max}$ będzie nazywany gęstością kanałów logicznych w kanale fizycznym łączącym węzły m oraz n . Gęstość $c_{\|m, n\|}^{\max}$ zależy od następujących czynników:

1. Bazowej przepustowości $p_{\|m, n\|}^{\min}$ kanału logicznego, przy czym im wartość ta jest mniejsza, tym wielkość $c_{\|m, n\|}^{\max}$ jest większa;
2. Odległości pomiędzy sąsiednimi kanałami logicznymi, niezbędnej do zapewnienia efektywnego funkcjonowania filtracji kanałów;
3. Przepustowości $P_{[m, n]}$ kanału fizycznego.

Najistotniejszym logicznym elementem analizowanych systemów hierarchicznych jest ścieżka logiczna. W literaturze nie występuje pojęcie ścieżki logicznej, a w jego miejsce pojawia się znacznie węższy termin ścieżki optycznej, funkcjonujący wyłącznie w ramach optycznych środowisk komunikacyjnych. Ścieżka optyczna wiąże ze sobą, kanałami światłowodowymi, dwa węzły fizyczne. Określenie to posiada dwie podstawowe wady. Po pierwsze, odnosi się ono wyłącznie do systemów z komunikacją optyczną. Po drugie, nie uwzględnia możliwości tworzenia zbioru ścieżek logicznych opartych na niezależnych ścieżkach fizycznych, a łączących różne węzły logiczne rozmieszczone w tych samych węzłach fizycznych. Ponadto, powszechnie uważa się, że ścieżka optyczna jest nieskierowana, co utrudnia jednoznaczny opis kanałów komunikacji optycznej, które są kanałami skierowanymi. W związku z tym wprowadzimy pojęcie ścieżki logicznej, które zdefiniujemy w poniższy sposób.

Ścieżką logiczną (i, j) będziemy nazywać nieukierunkowany wirtualny kanał komunikacyjny łączący dwa węzły logiczne i oraz j ; połączenie dwóch różnych węzłów logicznych w ramach jednego i tego samego węzła fizycznego nazywa się wewnętrzną ścieżką logiczną, jeżeli ścieżka łączy węzły logiczne rozmieszczone w różnych węzłach fizycznych nazywana będzie zewnętrzną. W ramach jednej ścieżki logicznej przekształcenie formy prezentacji sygnału informacyjnego

(zmiana typu kanału) nie jest wykonywane. Niech ścieżka logiczna łączy węzły v_1 oraz v_{i+1} , gdzie: $i = 1, \dots, k$, wtedy jest ona sekwencją węzłów i kanałów logicznych i może zostać zapisana jako $(v_1, c_1, v_2, c_2, \dots, c_k, v_{k+1})$, gdzie: c_i – kanał logiczny, łączący węzły v_i oraz v_{i+1} .

Aby przedłużyć cykl życia sieci, należy zapewnić jej rekonfigurowalność. Oznacza to, że rzeczywista architektura połączeń będzie mogła być dostosowana do aktualnych wymagań użytkowników w trakcie funkcjonowania sieci. W szczególności zakłada się, że węzły powiatowe będą połączone z węzłem wojewódzkim za pomocą ścieżek logicznych, których parametry będą odpowiadać konkretnym potrzebom użytkowników. W sieci z normalnymi obciążeniami centra gminne będą dołączane do węzłów powiatowych. Jeżeli jednak pojawi się znaczny ruch adresowany z gminy do sieci zewnętrznych, do obsługi może być zestawiona ścieżka logiczna łącząca bezpośrednio gminę z wojewódzkim centrum sieci. Powyższe połączenia będą realizowane na bazie statycznych lub dynamicznych ścieżek logicznych.

Styczne ścieżki logiczne tworzone są w momencie rozpoczęcia funkcjonowania systemu komputerowego i pozostają niezmiennymi przez cały cykl pracy systemu komputerowego. Ich rekonfiguracja posiada charakter statyczny i jest wykonywana przed rozpoczęciem pracy systemu poprzez wniesienie zmian w parametry konfiguracyjne, na których podstawie zestawiane są ścieżki logiczne. Styczne ścieżki logiczne gwarantują minimalne opóźnienia czasowe transmisji informacji. Wykorzystuje się je głównie do połączenia ze sobą węzłów z wysoką gęstością ruchu (np. węzłów rdzenia sieci). Ścieżki statyczne nie zapewniają efektywnego wykorzystania dostępnych logicznych kanałów komunikacyjnych. W projektowanej sieci ścieżki tego typu mogą znaleźć zastosowanie do bezpośredniego połączenia węzłów powiatowych z centralnym węzłem sieci (węzłem wojewódzkim).

Dynamiczne ścieżki logiczne to połączenie logicznych kanałów komunikacyjnych tworzone w procesie funkcjonowania systemu jako reakcja na pojawiające się zmiany gęstości żądań transmisji danych. Tworzenie dynamicznych ścieżek logicznych rozpoczyna się od nastrojenia parametrów węzłów: źródłowego (i) oraz docelowego (j), które adaptują się do obsługiwanego strumienia informacyjnego na bazie wykorzystania odpowiedniego typu kanału logicznego. Następnie, poprzez poszukiwanie pośrednich węzłów transmisji, określana jest ścieżka wiążąca zadane węzły. W rozpatrywanych sieciach o ograniczonym zasięgu ten typ ścieżek można zastosować do bezpośredniego połączenia węzłów NUTS3 z centralnym węzłem sieci.

Rozdział 10

Wytyczne dla sprzętowej architektury Projektu

10.1. Wprowadzenie

Myśląc o przyszłości kraju nie można pominąć istotnego aspektu edukacji i tego, jak stosowane modele nauczania, wsparte dodatkowymi mechanizmami oraz zestawami narzędzi opartych o nowoczesne technologie, pozwolą na skuteczne zaadresowanie potrzeb i wymagań uczniów oraz nauczycieli, a także samego systemu szkolnictwa. Potrzeby te są ściśle związane z hasłem cyfryzacji (ang. *Digitization*) i zmieniają się bardzo dynamicznie, wraz z pojawiającymi się nowymi technologiami, trendami czy sposobami dostarczania wiedzy do odbiorców, kładąc bardzo duży nacisk na wysoką elastyczność, skalowalność i możliwości adaptacyjne stosowanych rozwiązań. Jednym z kluczowych elementów obserwowanej obecnie rewolucji technologicznej, wpływającej na niemalże wszystkie aktywności naszego codziennego życia jest sieć Internet i możliwości jej wykorzystania w celach poznawczych i edukacyjnych. Internet stał się umownym oknem na świat, otwierającym nieograniczone możliwości pozyskiwania informacji dla każdego, kto do takiej sieci jest przyłączony.

Cyfryzacja nie jest terminem wyłącznie związanym z dostępem internetowym, dotykając takich elementów jak sieci bezprzewodowe, zapewnienie stosownych mechanizmów bezpieczeństwa, obsługa urządzeń mobilnych, komunikacja głosowa i wideo, praca grupowa, a także skupiając się na aspekcie edukacyjnym z rozwiązaniami ułatwiającymi zarządzanie szkołą i klasą, dostarczanie wiedzy, wsparcie narzędzi dydaktycznych, czy też umożliwiając dostęp do zdefiniowanych zasobów cyfrowych.

Omawiana poniżej architektura i powiązane z nią komponenty dotyczą około 25 tysięcy szkół podstawowych, gimnazjalnych oraz ponadgimnazjalnych, rozlokowanych na terenie całego kraju, a głównym założeniem jest przedstawienie rozwiązania, którego podstawowym zadaniem jest umożliwienie dostarczenia w sposób stabilny, kontrolowalny, ale przede wszystkim bezpieczny, dostępu do Internetu do tych obiektów. Proponowana architektura i rozwiązanie mają także na celu umożliwienie łatwej rozbudowy oraz dodania usług dodatkowych zgodnie z przedstawionym powyżej opisem potencjalnych rozwiązań wokół cyfryzacji.

10.2. Architektura rozwiązania – struktura

Biorąc pod uwagę wymagania na elastyczność rozwiązania i potrzebę gotowości na potencjalne przyszłe opcje rozszerzenia, kluczowym elementem jest wykorzystanie rozwiązania modularnego, gotowego na adaptację do zmieniających się warunków i wymagań, zachowując przy tym podstawowe założenia, dotyczące obsługi wszystkich przyłączonych jednostek.

Architektura rozwiązania zakłada utworzenie struktury hierarchicznej i wydzielenie 3 podstawowych bloków funkcjonalnych z perspektywy umiejscowienia i funkcji w infrastrukturze sieciowej. Te trzy bloki to:

1. Blok wyposażenia szkoły – CPE;
2. Blok lokalnej agregacji – Lokalny Punkt Agregacyjny (LPA);
3. Blok rdzenia sieci – Centralny Punkt Agregacyjny (CPA).

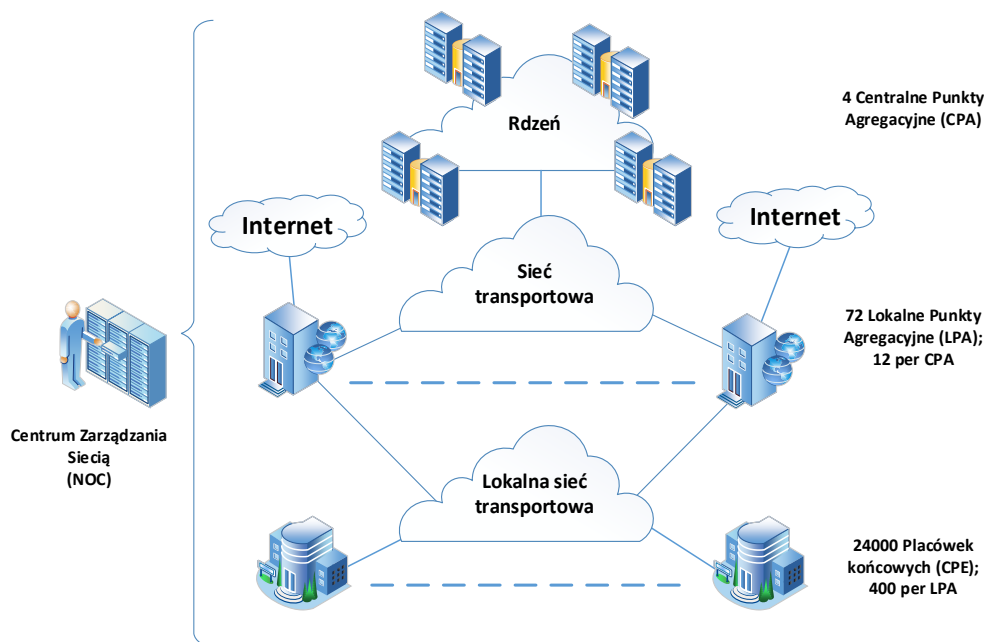
Niezbędnym elementem jest również Centrum Zarządzania Siecią, pozwalające na monitorowanie całości systemu, zarządzanie usuwaniem awarii, wprowadzanie zmian konfiguracyjnych poszczególnych komponentów, a także definicję polityki bezpieczeństwa oraz obserwację incydentów bezpieczeństwa.

Przy tworzeniu tej części dokumentu założono, że część związana z infrastrukturą przyłączeniową poszczególnych szkół do lokalnych punktów agregacji jest zapewniona, czy to w formie bezpośredniego podłączenia światłowodowego ze szkoły do LPA, czy też w formie zagregowanego kanału transmisyjnego, przenoszącego podłączenia z wielu szkół i zakończony z perspektywy wyposażenia aktywnego sieci strony LPA interfejsem w standardzie Ethernet. Pozwala to na skupienie się na mechanizmach i funkcjonalnościach warstw wyższych, wpływających na funkcje dostępne dla użytkowników końcowych.

Z perspektywy skalowalności rozwiązania założono następujący podział ilościowy poszczególnych bloków sieciowych:

1. CPA – cztery centralne punkty agregacyjne rozmieszczone na terenie kraju tworzące rdzeń sieci, połączone ze sobą w systemie każdy z każdym oraz będące punktami umieszczenia centrów przetwarzania danych;
2. LPA – 72 punkty rozmieszczone na terenie całego kraju określające region, który obsługują; wszystkie LPA podzielone są na cztery grupy po 18 jednostek, gdzie każda taka grupa łączy się do jednego z czterech punktów CPA w oparciu o dystans pomiędzy CPA i LPA. Bloki LPA są również miejscem przyłączenia wyjścia do Internetu dla każdego z regionów;
3. CPE, węzły końcowe – blisko 24 tysiące placówek szkolnych na terenie całego kraju wyposażonych w komponenty sieciowe umieszczone bezpośrednio w szkołach gwarantujące dostęp do sieci w danej lokalizacji; rozkład placówek to 400 jednostek w każdym z regionów przyłączonych do odpowiedniego LPA, w zależności od rozlokowania geograficznego, dystansu do LPA i możliwości technicznych dostępu do medium transmisyjnego.

Podział, przedstawiony na rys. 10.1, ma po pierwsze wiązać się bezpośrednio z geograficznym rozlokowaniem poszczególnych placówek i dostępności opcji agregacji łączy w ramach LPA. Po drugie, wprowadza klarowną segmentację poszczególnych obszarów na poziomie sieciowym, tak że uzyskujemy skalowalne i przewidywalne rozwiązanie, z jasnym podziałem spodziewanych przepływów ruchu.



Rys. 10.1. Architektura infrastruktury sieciowej

Transport ruchu ze szkół do punktów LPA może odbywać się poprzez dedykowane światłowody do lokalizacji agregujących te połączenia po stronie operatorów, które przekazują ruch dalej w formie zagregowanej z zachowaniem separacji poszczególnych szkół np. z użyciem technologii takich jak VLAN, gdzie zakończenie połączenia L2 odbędzie się na przełącznikach agregujących w LPA, a zakończenie tego ruchu z perspektywy warstwy 3 (L3) zostanie obsłużona na routerach obsługujących węzły LPA. W LPA na podstawie adresów docelowych zostanie podjęta decyzja o tym, czy ruch ma być wysłany do systemów ścian ogniowych (ang. firewall) w LPA, czy też dalej do sieci szkieletowej, w kierunku scentralizowanych zasobów osadzonych w CPA lub też w zasobach dostępnych przez przyłączenie do zasobów zewnętrznych instytucji. Ruch do Internetu skierowany jest poprzez lokalne podłączenia i przełączniki do systemu Firewall, gdzie nastąpi dodatkowa inspekcja ruchu, ewentualna translacja i wysłanie. Dla ruchu wewnętrznego do CPA i podłączonych podmiotów zostanie skierowany w kierunku centralnej sieci szkieletowej, łączącej wszystkie węzły LPA do węzłów CPA, zgodnych z ich geograficznym rozlokowaniem i przynależnością. Wymagana jest wysoka dostępność połączenia, dlatego też powinno być realizowane w oparciu o podwójne łącza na liniach LPA-CPA. Sieć wykorzystuje standardowe mechanizmy ruchu warstw 2 i 3, z pewnymi elementami, natomiast w momencie szczegółowego tworzenia projektu oraz uruchomienia sieci należy rozważyć zastosowanie technologii takich jak MPLS, pozwalających zbudować na wspólnym transporcie wiele instancji sieci od siebie nie-

zależnych, pozwalających np. na wydzielenie ruchu tzw. Biurowego z poszczególnych szkół od ruchu związanego z edukacją i dostępem do usług serwowanych przez węzły CPA.

W dalszych częściach tego dokumentu założono, że średnie obciążenie ruchem pojedynczej szkoły to 100Mb/s, co przekłada się na przetwarzanie około 40Gb/s z perspektywy lokalizacji poziomu węzła LPA. Ze względu na zastosowanie wyjścia internetowego dla regionów na poziomie LPA, obciążenie CPA nie jest wprost proporcjonalne do ilości ruchu internetowego.

Istotnym elementem, zwłaszcza w środowiskach szkolnych, jest kwestia bezpieczeństwa i kontroli dostępu do sieci Internet i niedozwolonych treści. W ramach proponowanego rozwiązania należy uwzględnić uruchomienie zaawansowanych mechanizmów bezpieczeństwa filtrowania oraz inspekcji ruchu. Rekomendowanym rozwiązaniem jest uruchomienie funkcji bezpieczeństwa w modelu rozproszonym, bezpośrednio na urządzeniach CPE instalowanych w szkołach, a dodatkowo w lokalizacjach oferujących podłączenie do Internetu, w celu głębokiej inspekcji i weryfikacji ruchu po agregacji.

10.3. Rola, architektura i komponenty węzła CPA

Określenie Centralny Punkt Agregacyjny dotyczy przede wszystkim agregacji usług, które zostaną udostępnione wszystkim lub wybranym zestawom lokalizacji. Serwowanie aplikacji jak i materiałów edukacyjnych to podstawowa rola tego typu węzła. Drugorzędną rolą jest możliwość integracji z innymi instancjami sieci instytucji edukacyjnych, np. uniwersyteckimi chmurami edukacyjnymi.

Z powodu wyłączenia ruchu internetowego z i do placówek końcowych, czyli szkół z procesu agregacji na poziomie CPA, poprzez wykorzystanie agregacji na poziomie bliższym użytkownika końcowego, czyli LPA, osiągnięto znaczące obniżenie wymagań wydajnościowych stawianych tym węzłom na początku działania opisywanej sieci. Natomiast wraz z rozwojem i liczbą oferowanych usług, wymagania te mogą wzrosnąć, stąd przy planowaniu założeń odnośnie komponentów użytych przy budowie tego węzła należy uwzględnić aspekty takie jak modularność i możliwość dynamicznego zwiększenia skali systemu poprzez dołożenie kolejnych komponentów.

W tej sieci zaplanowano cztery takie węzły, obsługujące cały kraj w oparciu o lokalizację geograficzną i liczbę ośrodków szkolnych. Każdy węzeł CPA będzie jednostką nadrzędną dla grupy 18 węzłów LPA.

Architektura pojedynczego węzła CPA składa się z dwóch głównych komponentów:

1. Zestaw dwóch przełączników/routerów, zapewniających wysokodostępne podłączenie do sieci rdzeniowej, a tym samym pozostałych komponentów sieci;
2. Zestaw wyposażenia Data Center w postaci przełączników, zasobów serwerowych oraz dyskowych.

Wszystkie komponenty muszą mieć zapewnione odpowiednie redundantne zasilanie z dwóch oddzielnych źródeł/obwodów elektrycznych oraz odpowiednie warunki środowiskowe, takie jak temperatura czy wilgotność, dostarczone poprzez odpowiednie wyposażenie miejsca instalacji.

10.4. Rola, architektura i komponenty węzła LPA

Zgodnie z definicją ogólnej architektury rozwiązania węzły Lokalny Punkt Agregacyjny (LPA) mają dwa główne zadania:

1. Agregacja połączeń ze szkół danego regionu w ilości około 400 szkół na jeden węzeł LPA oraz połączenie z węzłami CPA;
2. Zapewnienie bezpiecznego styku z siecią Internet dla podłączonych szkół.

Planowane jest uruchomienie 72 węzłów tego poziomu, które mają obsłużyć około 28 tysięcy szkół rozproszonych na terenie całego kraju. Bazując na założeniu, że każda szkoła może wygenerować 100Mb/s ruchu, który musi przejść przez węzeł LPA, bez względu na to, czy jest to ruch do Internetu, czy też ruch wewnątrz sieci, np. do zasobów *eLearning* obsługiwanych przez blok Data Center w CPA. Ruch do Data Center w CPA jest poddawany wyłącznie agregacji i dalszemu przesłaniu. Natomiast ruch internetowy powinien podlegać również analizie przez silniki bezpieczeństwa, takie jak system Ściany Ogniowej (ang. *Firewall*) oraz system wykrywania i zapobiegania zagrożeniom (ang. *Intrusion Prevention System, IPS*).

Wydajność węzła agregującego wraz z systemami bezpieczeństwa powinna być na poziomie sumy ruchu z obsługiwanych placówek, czyli przy założeniu 100Mb/s dla każdej lokalizacji oraz około 400 placówek w ramach jednego LPA otrzymujemy wartość 40Gb/s.

10.5. Wymagania funkcjonalne dla lokalizacji „szkoła”

Świat, a tym samym również elementy związane z edukacją, zmieniają się w bardzo szybkim tempie. Proces edukacyjny nie może się już obejść bez stosowania technologii IT. Zapewnienie uczniom i nauczycielom dostępu do Internetu, coraz powszechniejszy dostęp do cyfrowych narzędzi oraz materiałów edukacyjnych – to wszystko stało się palącą potrzebą każdej jednostki edukacyjnej.

Wzrost liczby urządzeń mobilnych, nowe zagrożenia związane z bezpieczeństwem, nowe narzędzia edukacyjne – to wszystko stawia coraz poważniejsze wyzwania przed infrastrukturą nowoczesnej szkoły. Wykorzystywanie w szkole rozwiązań tzw. „domowych” jest pomysłem działającym wyłącznie na krótką metę, ponieważ rozwiązania takie szybko przestają wystarczać, a ich funkcjonalności związane z wydajnością, bezpieczeństwem, jak i potrzebną w takim środowisku kontrolą, nie spełniają wymagań i oczekiwań.

Jednocześnie należy pamiętać o związanych z tym trendem wyzwaniach i zagrożeniach, zarówno z zakresu bezpieczeństwa, kontroli dostępnych treści, jak też potrzeby utrzymania, zarządzania i monitorowania infrastruktury.

W przedstawionej architekturze węzeł "szkoła" jest de facto zakończeniem ścieżki zbudowanego przyłącza internetowego, co jest równoznaczne z dostarczeniem usługi dostępu internetowego do danej lokalizacji. Natomiast, aby szkoła mogła zacząć z takiego przyłącza korzystać, do łącza musi zostać dopięte urządzenie końcowe klasy CPE (ang. *Customer Premises Equipment*). Z perspektywy architektury sieci węzeł szkoła jest klientem korzystającym z całej omówionej wcześniej infrastruktury. W rzeczywistości, aby móc korzystać z dostępu internetowego potrzebna jest także infrastruktura dostępowa sieci przewodowej i bezprzewodowej, umożliwiająca podłączenie się do sieci przez potencjalnych użytkowników, czyli w tym przypadku nauczycieli i uczniów.

Każda szkoła jest inna. Jedne są większe z perspektywy zajmowanego obszaru czy wielkości budynków, inne zaś obejmują swoimi działaniami duże grupy dzieci i młodzieży, a jeszcze inne należą do grupy małych z każdej możliwej perspektywy. W takim przypadku nie da się zastosować logiki typu "jedno rozwiązanie pasuje dla wszystkich", dlatego też dokonano umownego podziału na 4 kategorie szkół bazując na liczbie nauczycieli i uczniów przypisanych do danej placówki. Oto zdefiniowane kategorie:

1. Szkoła mała – do 50 osób (nauczyciele + uczniowie);
2. Szkoła średnia – 51-200 osób;
3. Szkoła duża – 201-500 osób;
4. Szkoła bardzo duża – powyżej 500 osób.

Do tak zdefiniowanych kategorii przypisano cztery różne zestawy wymagań w odniesieniu do urządzeń CPE, przełączników oraz punktów dostępowych sieci bezprzewodowej. Szczegóły wymagań zostaną przedstawione w dalszej części dokumentu.

W ramach podstawowych funkcjonalności, urządzenie takie powinno umożliwiać podłączenie interfejsem zewnętrznym do styku z Internetem, a po stronie interfejsów umownie nazwanych wewnętrznymi umożliwić przyłączenie urządzeń klienckich w szkole, czy to będących pod kontrolą szkoły (np. urządzenia typu desktop PC), czy też w wersji bardziej otwartej, bezpośrednio dla uczniów i ich prywatnych urządzeń mobilnych. W ramach tej architektury sieci urządzenie pełni trzy podstawowe role:

1. Definiuje punkt przyłączenia danej lokalizacji do Internetu;
2. Jest urządzeniem łączącym świat wewnętrznej infrastruktury szkolnej ze światem zewnętrznym, a w szczególnym przypadku z siecią Internet z użyciem podstawowych mechanizmów sieciowych takich jak np. translacja adresów sieciowych (ang. *NAT – Network Address Translation*);
3. Dodaje mechanizmy bezpieczeństwa takie jak filtrowanie ruchu z użyciem firewall stanowego, rozpoznawanie aplikacji, blokowanie dostępu do niepowołanych treści, mechanizmy takie jak *Google SafeSearch* i *YouTube EDU* dedykowane dla szkolnictwa, integrację z usługami katalogo-

wymi takimi jak Active Directory i użycie filtrowania w oparciu o identyfikację użytkownika, a dodatkowo posiada możliwość ograniczania niektórych typów ruchu, aby efektywniej wykorzystywać dostępne pasmo.

Dodatkową rekomendacją jest wyposażenie urządzenia w modem 3G/4G/LTE umożliwiający uzyskanie połączenia do publicznego Internetu w przypadku awarii łącza podstawowego, a dodatkowo również możliwość zestawiania bezpiecznych tuneli VPN, aby wprowadzić dodatkowe mechanizmy zabezpieczeń.

Niezwykle istotnym zagadnieniem, zwłaszcza przy tak dużej lokalizacji biorących udział w przedsięwzięciu, jest możliwość szybkiej instalacji urządzenia i dołączenia do całej infrastruktury oraz dodanie urządzenia do systemu zarządzającego, najlepiej bez potrzeby zaangażowania dedykowanych zasobów IT, wyłącznie wykorzystując pomoc lokalnej osoby, która podłączy zasilanie oraz podepnie kabel od strony przyłącza internetowego. Tego typu wymagania kierują w dwie strony: rozwiązania wykorzystujące serwis PnP (*Plug-n-Play*) dla środowisk zamkniętych w ramach sieci prywatnych lub rozwiązanie wykorzystujące zarządzanie w tzw. chmurze publicznej (ang. *Public Cloud*), z urządzeniami, które po podłączeniu do sieci, umożliwiającej dostęp do Internetu. Wykonują procedurę tzw. *Call-home*, zgłaszając się do chmury z informacją „jestem on-line”, gdzie w kolejnym kroku administrator używając jednej konsoli dla całego wdrożenia może dodać urządzenie do puli, używając numeru seryjnego i przypisanej do niego licencji, a następnie może zaaplikować konfigurację używaną w innych lokalizacjach i otrzymać w pełni działający system w kilka minut od wyciągnięcia urządzenia z pudełka. Z tej samej konsoli w kilku krokach może zmienić konfigurację na wszystkich niemalże 30 tysiącach urządzeń. To samo dotyczy możliwości monitorowania i diagnozowania potencjalnych awarii, czy problemów niezwiązanych z produktami tworzącymi infrastrukturę sieci. Zarządzanie w takim przypadku odbywa się przez przeglądarkę internetową i jest możliwe z jednego miejsca w sieci, np. przez zespół nadzorujący wdrożenie i później poprawną pracę całej infrastruktury. Przy wsparciu granularnej konfiguracji dostępu, w większych ośrodkach, gdzie obecne są osoby kompetentne, można udostępnić im interfejs zarządzania, aby sami mogli monitorować i diagnozować potencjalne problemy.

Jest to oczywiście jedna z możliwości, niewykluczająca innych opcji, natomiast pokazuje ona dużą przewagę przy środowiskach o wielkiej skali, dużym rozproszeniu lokalizacji ograniczonych zasobach IT, mogących aktywnie uczestniczyć w procesie implementacji, a później administracji.

Ważnym elementem związanym z tego typu systemami jest, że żadne dane podłączonych systemów klienckich nie są przesyłane do chmury; dane zostają lokalnie na urządzeniu, natomiast przesyłane są wyłącznie komunikaty kontrolne, komendy zarządzające oraz dane telemetryczne.

Ten system zarządzania może być również użyty w przypadku zastosowaniu odpowiednich przełączników i punktów dostępowych sieci bezprzewodowych, opisanych w kolejnych sekcjach tego dokumentu.

10.6. Ogólne wymagania realizacyjne

10.6.1. *Polityka wsparcia*

Producent powinien podać politykę wycofywania i wprowadzania nowych produktów oraz określić czasy ich życia/sprzedaży. Urządzenia powinny być serwisowane przez co najmniej 5 lat od odbioru. Producent w ramach kontraktu serwisowego powinien zapewniać dostęp do części zamiennych i poprawek oprogramowania.

Należy przyjąć spójne warunki serwisowe dla budowanej sieci, gdzie wymagany zakres i czas trwania serwisu jest jasno określony. Serwis będzie zróżnicowany w zależności od roli urządzenia

Należy zwrócić uwagę na dostępność certyfikowanych inżynierów i specjalistów, posiadających potwierdzoną wiedzę w zakresie proponowanych rozwiązań, co pozwoli na minimalizację kosztów utrzymania sieci jako wydatki niekwalifikowane.

10.6.2. *Polityka bezpieczeństwa*

Producent sprzętu powinien posiadać jasno określoną politykę bezpieczeństwa, dotyczącą usterek związanych z bezpieczeństwem w oferowanych przez niego urządzeniach.

Producent powinien posiadać zespół odpowiedzialny za bezpieczeństwo (ang. *Security Incident Response Team*), do którego bezpośrednio można zgłaszać problemy. Procedura zgłaszania problemów związanych z bezpieczeństwem powinna być opublikowana.

Producent powinien publikować informacje o stwierdzonych usterek bezpieczeństwa (ang. *security bulletins*) i przedstawiać informacje o sposobie im zapobiegania.

Rozdział 11

Architektura chmury dla edukacji

11.1. Informacje podstawowe

Istotnym wymaganiem z punktu widzenia niezawodności działania jest zapewnienie ciągłej dostępności do usług oferowanych przez chmurę. Konieczne jest zatem wprowadzenie infrastruktury wysokiej dostępności, zapewnionej poprzez redundancję sprzętową na poziomie geograficznym. Dwie niezależne fizycznie chmury powinny zostać rozmieszczone w co najmniej dwóch oddalonych od siebie ośrodkach. Podczas wyboru lokalizacji warunkiem koniecznym jest dostęp do sieci szerokopasmowej, wraz z punktem dostępowym do sieci operatora telekomunikacyjnego. Dodatkowo, należy zapewnić miejsce w budynku oraz zatrudnić specjalistów z zakresu konserwacji i obsługi sprzętu.

Założenie odnośnie dwóch punktów może ulec zmianie. Decydując się na większą liczbę węzłów centralnych należy pamiętać o wzroście kosztów połączeniowych o bardzo wysokiej przepustowości (nx10gbps). Jako propozycję można zaproponować ośrodki akademickie, należące do krajowej sieci Pionier, które mogłyby z powodzeniem spełniać zadania punktów centralnych edukacyjnej chmury obliczeniowej. Argumentem przemawiającym za tym rozwiązaniem jest dostęp do infrastruktury teletransmisyjnej o wysokiej wydajności (przepustowości rzędu 100 Gbps).

11.2. Bezpieczeństwo chmury obliczeniowej

Chmura obliczeniowa jest środowiskiem zapewniającym wysokiej jakości wyspecjalizowane usługi, nieograniczoną możliwość magazynowania danych. Łatwa skalowalność i przydział zasobów zależny od zapotrzebowania sprawia, że każda ze szkół dysponuje odpowiednią mocą obliczeniową, redukując tym samym koszty związane z utrzymaniem własnej infrastruktury. Tak zdefiniowana chmura obliczeniowa narażona jest jednak na szereg zagrożeń związanych z bezpieczeństwem informacji. Wynika to przede wszystkim z szerokiej dostępności usług użytku publicznego, a także komunikacji przez niezaufane medium transmisyjne, jakim jest Internet. W ogólnym przypadku, żadna chmura publiczna nie jest w pełni zaufana. Powstaje zatem konieczność wdrożenia rozwiązań zapewniających odpowiedni poziom bezpieczeństwa. Wśród potencjalnych zagrożeń można wymienić [33]:

1. Ataki typu Odmowa Usługi (ang. *Denial of Service*) – rozwiązania programowe lub sprzętowe;
2. Zagrożenia wynikające z obecności czynnika ludzkiego – edukacja, szkolenia, rozwiązania programowe w postaci ograniczeń/przydziału dostępów;
3. Modyfikacja, przejęcie (odzyskanie) lub usunięcie zbioru danych, utrata ich spójności – kopie zapasowe, nadmiarowość, mechanizmy wielopoziomowej autoryzacji użytkownika.

Biorąc pod uwagę bezpieczeństwo połączenia z chmurą, należy zadbać o zabezpieczenia antywirusowe i antyspamowe, zaporę ogniową (programowa lub sprzętowa). Ze względu na poufność informacji konieczna może być transformacja danych, utrudniająca lub uniemożliwiająca identyfikację tożsamości na podstawie zgromadzonych danych lub realizowanych połączeń.

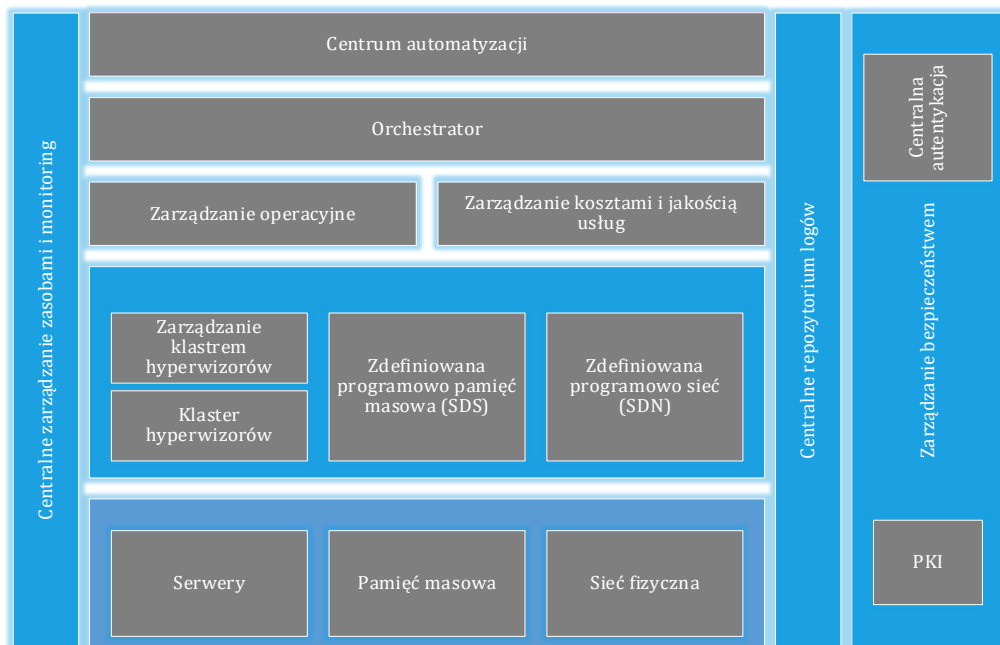
11.3. Modelowa infrastruktura

Przykładowa infrastruktura chmury obliczeniowej musi składać się takich elementów jak:

1. Zasoby obliczeniowe w postaci procesorów ogólnego przeznaczenia CPU lub gotowych serwerów;
2. Zasoby przechowywania i przetwarzania danych (pamięć masowa);
3. Sieć fizyczna wraz z dostępem do sieci publicznej Internet;
4. Rozwiązania wirtualizacji zarówno zasobów obliczeniowych, pamięci masowej, jak i sieci transmisji danych (wirtualizatory, programowo definiowalna sieć SDN, programowo definiowalna pamięć). Rozwiązanie wirtualizacji sieci jest konieczne w przypadku rozwiązań, w których niezbędne jest zachowanie, wysokiej dostępności, ciągłości pracy i zachowania wysokiego poziomu bezpieczeństwa, niezależnie od lokalizacji aplikacji. Wirtualizacja sieci wkomponowuje się w programy bezpiecznej skalowalności aplikacji, z utrzymaniem polityk bezpieczeństwa organizacji, zdefiniowanych na poziomie zapory ogniowej i reguł dostępowych. Wirtualizacja sieci pozwala na bezpieczną skalowalność aplikacji, wraz z utrzymaniem ujednoliconych polityk bezpieczeństwa, określonych na poziomie zapory ogniowej i warunków dostępowych. Zachowując transparentność konfiguracji można zapewnić ciągłość bezpieczeństwa komunikacji od źródła do urządzenia końcowego;
5. Orchestratora – zapewnia automatyzację procesów w chmurze, integrując ją z innymi systemami zarządzania. Ponadto, udostępnia administratorom narzędzie projektowania przepływu zadań (ang. *workflow*), pozwalając na opracowywanie złożonych zadań automatyzujących pracę w chmurze. Wykorzystanie gotowych bibliotek orchestratora przyspiesza dostosowanie funkcjonalności do zapotrzebowania użytkowników;
6. Modułu zarządzania operacyjnego – oferuje uproszczone podejście do zarządzania operacyjnego hiperwizora, a także infrastrukturą fizyczną i wirtualną. Poprzez konsolę operacyjną, istnieje możliwość wglądu do systemu oraz podgląd stanu, ryzyka i efektywności działania infrastruktury. Pomaga w optymalizacji wykorzystania zasobów;
7. Modułu zarządzania kosztami i jakością usług – gwarantuje przejrzystość oraz kontrolę kosztów i jakości świadczonych usług. Pomaga organizacjom w orientacji oferowanych usług do potrzeb klientów biznesowych;

8. Infrastruktury autentykacji i autoryzacji użytkowników – do osiągnięcia tego celu można wykorzystać infrastrukturę klucza publicznego.

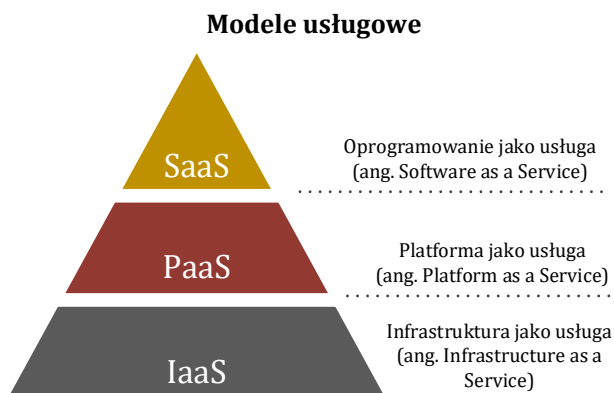
Schemat z rys. 11.1 przedstawia modelową infrastrukturę chmury obliczeniowej, z powodzeniem nadającą się do realizacji chmury edukacyjnej.



Rys. 11.1. Modelowa infrastruktura

11.4. Modele usługowe

Zaproponowane w projekcie modele usługowe zostały zaprezentowane na rys. 11.2. Jest to klasyczny podział chmury obliczeniowej ze względu na sposób świadczenia usługi.



Rys. 11.2. Modele usługowe

11.4.1. Infrastruktura jako usługa

Podstawową usługą chmurową jest udostępnienie klientom chmury (w tym przypadku: uczniom, nauczycielom, szkołom) infrastruktury jako usługi. Jest to model, w którym świadczoną usługą jest dostarczenie klientowi żądanej infrastruktury informatycznej w postaci procesorów, pamięci, przestrzeni dyskowej, wraz z mechanizmami gwarantującymi bezpieczeństwo. Sprzęt nie jest fizycznie instalowany u klienta, a oprogramowanie może być dostarczone zarówno przez usługodawcę jak i usługobiorcę.

W przypadku wielu szkół infrastruktura teleinformatyczna złożona jest z serwerów niskiej klasy. Najczęściej rolę serwera pełni zwykły komputer PC. W przypadku usług takich jak serwery pocztowe lub strony www, szkoły korzystają z zewnętrznych hostingów. Można więc założyć, że środki finansowe i wiedza z zakresu obsługi sprzętu są niewystarczające, aby z powodzeniem zabezpieczyć przechowywane dane. Dotyczy to przede wszystkim sytuacji związanych z awarią, nieautoryzowanym dostępem i tworzeniem kopii zapasowych. Racjonalnym podejściem do tej sytuacji może być realizacja ww. usług poprzez *serwery chmurowe*, gdzie moc obliczeniowa udostępniana jest poprzez wirtualizację maszyn na zasadzie bare metal. Dodatkowym argumentem przemawiającym za chmurą obliczeniową jest niepełne wykorzystanie mocy obliczeniowej, oferowanej przez zakupiony na własność sprzęt serwerowy. Głównym celem proponowanego rozwiązania ma być redukcja kosztów związanych z zakupem i utrzymaniem sprzętu. W związku z tym tworzenie wirtualnej infrastruktury jest możliwe bez zatrudniania dodatkowych administratorów.

Spośród użytkowników infrastruktury chmurowej można wyróżnić następujące jednostki, których struktura ma charakter hierarchiczny:

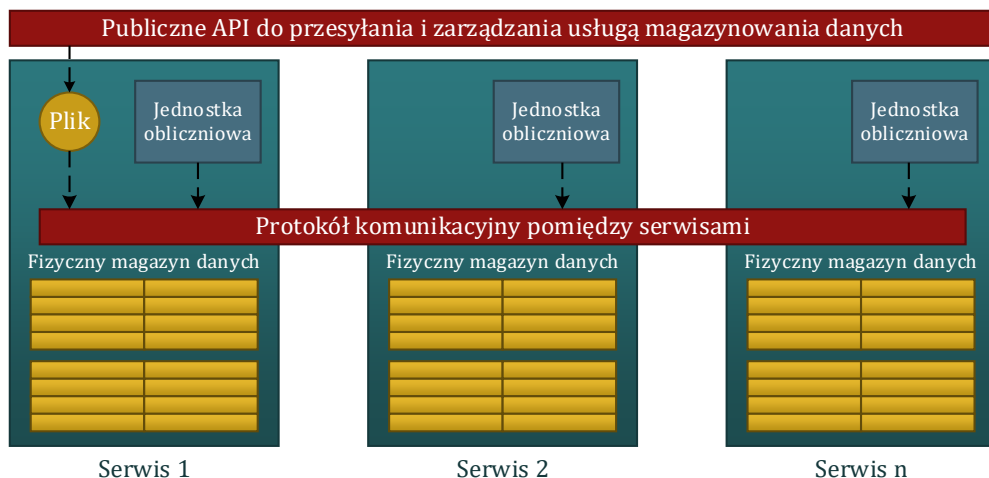
1. Uczniowie – na poziomie szkół średnich w ramach zajęć z informatyki, szkół średnich profilowanych w kierunku informatyki, techników, w dalszej perspektywie możliwe jest rozszerzenie o inne aspekty;
2. Nauczyciele – ułatwienie prowadzenia zajęć, gromadzenie materiałów, udostępnianie konspektów, informacji i innych pomocy naukowych dla uczniów, medium komunikacyjne;
3. Szkoły – realizowane obecnie poprzez outsourcing lub na własnych serwerach usługi serwera pocztowego, aplikacyjnego, stron www;
4. Organy prowadzące – udostępnianie, przydzielanie, zarządzanie pulą serwerów dla szkół.

Część usług dostarczana będzie bezpłatnie w ramach standardowego pakietu dla poszczególnych jednostek. Przewiduje się, że usługi niestandardowe oraz większa ilość zasobów będą podlegać zamówieniom w modelu dzielenia kosztów.

Technologia *wirtualnych desktopów* może znacząco przyczynić się do budowy cyfrowej szkoły. Każdy uczeń od momentu rozpoczęcia edukacji powinien uzyskać unikalny identyfikator, pozwalający na dostęp do zcentralizowanej na poziomie kraju chmury, gdzie udostępniany jest wirtualny desktop. Korzystanie z usługi może zostać zrealizowane z dowolnego urządzenia, niezależnie od architektury

sprzętowej i systemu operacyjnego. Wirtualny desktop jest środowiskiem pracy ucznia przez cały okres edukacji, gdzie udostępniane są materiały edukacyjne oraz usługi w postaci multimediów, aplikacji, konta poczty e-mail. Takie rozwiązanie jest tańsze w utrzymaniu i bardziej efektywne od wyposażenia uczniów w urządzenia przenośne, które finansowane są ze środków publicznych. W przypadku uczniów nieposiadających własnego sprzętu, logowanie do chmury może odbywać się przy użyciu terminali, co jest bardziej efektywne ekonomicznie, ze względu na koszty licencji i zakupu urządzeń dla uczniów. Gwarantuje to również niezależność od dostawców sprzętu, oprogramowania i systemu operacyjnego.

Jedną z podstawowych usług, oferowanych przez chmurę, jest *magazynowanie danych*. Proponowane rozwiązanie posłuży do udostępnienia uczniom i nauczycielom odpowiednich zasobów, umożliwiających współdzielenie materiałów edukacyjnych, plików, notatek. Konieczne jest przystosowanie architektury tak, aby zagwarantować bezpieczeństwo danych, zarówno przed utratą, jak i nieautoryzowanym dostępem. Przykładowa infrastruktura, realizująca usługę magazynu danych, została przedstawiona na rys. 11.3.



Rys. 11.3. Modelowa architektura chmurowa, realizująca magazynowanie danych

Na dzień dzisiejszy, wdrożenie usługi *kopii zapasowej* w szkołach na terenie kraju jest poza zasięgiem finansowym. Znacząco bardziej korzystną opcją jest udostępnienie przez chmurę obliczeniową usługę zdalnej kopii zapasowej (ang. *remote backup service*), co umożliwi jednostkom edukacyjnym ochronę danych przed utratą, zapewni ciągłość działania oprogramowania zainstalowanego lokalnie lub dostępnego za pośrednictwem chmury edukacyjnej. Takie podejście ma też inne zalety, takie jak:

- Nieograniczony dostęp – usługa realizowana jest poprzez klasyczne protokoły sieciowe, w związku z tym jest niezależna od lokalizacji geograficznej użytkownika, typu urządzenia, czy systemu operacyjnego;

- Łatwa skalowalność – z punktu widzenia klienta, wraz ze wzrostem rozmiaru kopii zapasowej, wzrasta ilość miejsca. Zmiana dostawcy usługi lub fizycznej lokalizacji serwera nie jest widoczna dla użytkownika.;
- Możliwość współpracy w modelu dzielenia kosztów – klient płaci wyłącznie za aktualnie wykorzystywane miejsce;
- Bezpieczeństwo – zabezpieczenie danych realizowane jest bez ingerencji klienta Dostawca musi zagwarantować brak możliwości nieautoryzowanego dostępu.

11.4.2. Platforma jako usługa

Kolejnym modelem chmury jest udostępnianie platformy jako usługi (ang. *Platform as a Service PaaS*). Zadaniem chmury typu *PaaS* jest udostępnianie wirtualnej platformy sprzętowej i programistycznej dla zaawansowanych usług, których wdrożenie w jednostkach edukacyjnych jest niemożliwe ze względu na ich niski budżet. Wszystkie niezbędne aplikacje znajdują się na serwerze, wobec tego nie ma konieczności ich zakupu i instalacji na urządzeniach klienckich. Klient płaci najczęściej za wykorzystanie czasu procesora, przestrzeni dyskowej lub transferu danych.

Aktualnie wiele szkół w Polsce korzysta z *oprogramowania typu e-szkoła*, takich jak planowanie rozkładu godzin, elektroniczny dziennik lub innych aplikacji o charakterze edukacyjnym. Chmura obliczeniowa może udostępniać niezbędne zasoby w postaci systemu operacyjnego, pamięci masowej, czy też autoryzacji użytkowników, które konieczne są do uruchomienia aplikacji. Proponowane rozwiązanie zapewni dużo wyższą jakość usług, w porównaniu do obecnych, fizycznie umiejscowionych w szkołach. W szczególności poziomu bezpieczeństwa danych i ich dostępności. Standardowa usługa powinna udostępniać gotowe platformy, gwarantujące bezpieczeństwo komunikacji, bez konieczności ingerencji administratorów po stronie szkoły. W zależności od zapotrzebowania, szkoła może zamówić platformę poprzez podanie podstawowych parametrów.

Sposób udostępniania platformy chmurowej ułatwia *pracę w grupach i współpracę pomiędzy instytucjami edukacyjnymi*, co obecnie jest trudne w realizacji ze względów finansowych. W szczególności, można wyróżnić następujące środowiska, które umożliwiają współpracę:

1. Komunikator internetowy – praca w grupach, wideo- i telekonferencje, praca zdalna, wykłady;
2. Infrastruktura laboratoryjna – oprogramowanie, platformy programistyczne, przygotowane do pracy systemy operacyjne;
3. Portal społecznościowy – komunikacja pomiędzy uczniami/nauczycielami w ramach szkoły lub klasy;
4. Platforma dydaktyki zdalnej – ułatwienie nauki uczniom wykluczonym, nieobecny i niepełnosprawnym, wraz z możliwością współpracy pomiędzy uczestnikami.

Chmura może udostępniać *platformę sprzętowo-programową* dla dowolnego typu oprogramowania, wykorzystywanego przez szkołę, nauczycieli lub uczniów.

Można zatem stworzyć platformy, które nie są powszechnie dostępne dla wszystkich użytkowników, lecz dla kół naukowych lub organizacji, funkcjonujących w ramach szkoły. Takim programem mogą zostać objęci również uczniowie wybitnie uzdolnieni.

11.4.3. Oprogramowanie jako usługa

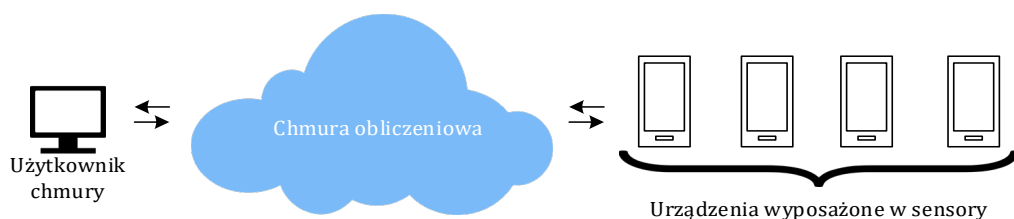
Na rynku można spotkać szeroką gamę oprogramowania typu *e-szkola*: *Vulcan*, *Lubrus*, *Progress*. Wciąż jednak pojawia się konieczność tworzenia nowych rozwiązań, w szczególności chmur hybrydowych, współpracującymi z podmiotami działającymi już na rynku. W ramach takiej chmury musi znaleźć się e-dziennik, a także informacje o wynikach uczniów, udostępniane w odpowiednich komisjach egzaminacyjnych.

Przed rozpoczęciem edukacji, każdy uczeń powinien otrzymać dostęp do prywatnej *poczty elektronicznej*, przypisanej do niego aż do zakończenia procesu edukacyjnego. Nauczyciele oraz pracownicy centrów doskonalenia nauczycieli również powinni uzyskać własne skrzynki pocztowe w domenie edukacyjnej. Ze względu na duże zapotrzebowanie na przestrzeń dyskową oraz obecność na rynku gotowych rozwiązań można założyć, że usługa poczty elektronicznej realizowana będzie przez chmurę komercyjną. Autoryzacja i autentykacja odbywać się będzie po stronie chmury edukacyjnej.

Zadaniem chmury edukacyjnej jest kształcenie młodzieży w efektywny i przystępny sposób. Do tego konieczne jest udostępnianie szerokiego zakresu *oprogramowania edukacyjnego*, w tym dostępnego w ramach platform *AppStore* dla urządzeń firmy *Apple* oraz *Google Play* przeznaczonych dla systemu *Android*. Ponadto, podmiot odpowiedzialny za organizację i utrzymanie chmury, powinien mieć możliwość negocjacji optymalnego modelu licencjonowania z dostawcami oprogramowania na rynku, szczególnie dla zaawansowanych produktów, takich jak *Mathematica* czy *Matlab*, gdzie wysokie koszty wymuszają zakup licencji na jednoczesną liczbę użytkowników. Takie podejście znacząco podwyższa jakość kształcenia, minimalizując przy tym koszty zakupów i obsługi.

11.4.4. Pomiary jako usługa

W publikacjach naukowych ze świata [34], [35] można zauważyć, że wśród usług oferowanych przez chmurę obliczeniową wyróżnia się kolejny model usługowy. Nowoczesne urządzenia mobilne wyposażone są w wiele czujników. Część z nich umożliwia prawidłowe funkcjonowanie urządzenia, np. żyroskop umożliwia obracanie ekranu w smartfonach, a od niedawna znajduje zastosowanie w realizacji technologii wirtualnej rzeczywistości VR. Inne zaś, montowane opcjonalnie i niewystępujące w każdym modelu, zwiększają funkcjonalność i komfort użytkowania. Obecne chmury obliczeniowe mają możliwość zlecenia takim urządzeniom pomiarów różnych wielkości. Taki model chmurowy nosi miano pomiaru jako usługa (ang. *Sensing as a Service*, *S²aaS*). Na rys. 11.4 zaprezentowano przykładową chmurę w modelu *S²aaS*.

Rys. 11.4. Infrastruktura modelu usługowego typu S^2aaS

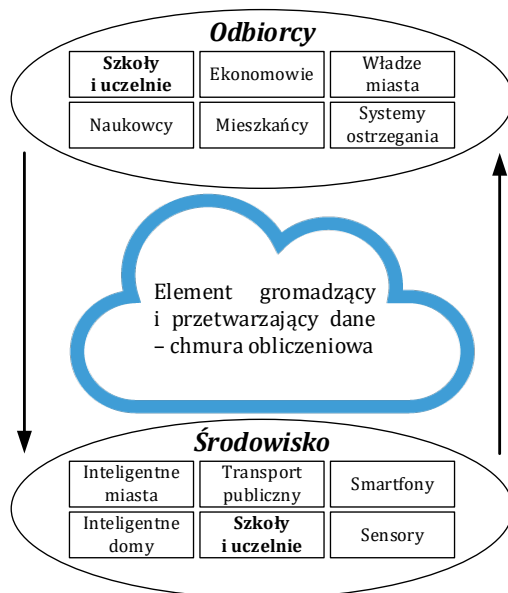
Obecnie, model pomiaru jako usługi wykorzystywany jest w wielu branżach [36]: zarządzanie ruchem drogowym (*ParkSight*, *StreetBump*); zarządzanie zasobami (*Echelon* – zarządzanie energią w oświetleniu dróg publicznych); monitorowanie aktywności mieszkańców (*Livehoods*, *Scenetap*); systemy wczesnego ostrzegania i detekcji katastrof (*AmritaWNA*, *Insightrobotics*) i wiele innych.

Dynamiczny rozwój technologii sprawia, że wdrożenie edukacji z obsługi i zastosowania inteligentnych urządzeń staje się niezbędne do efektywnego życia zawodowego. Wykorzystanie modelu S^2aaS może mieć miejsce w szkołach agronomicznych, gdzie uczniowie mają pojąć wiedzę z zakresu uprawy ziemi. Jednym z inteligentnych systemów wspomagających uprawę winnej latorośli jest *SensorCloud* [37]. Połączone siecią bezprzewodową sensory monitorują w czasie rzeczywistym parametry otoczenia (wilgotność, nasłonecznienie) oraz stan roślin. Na podstawie zebranych informacji system może podjąć decyzję o nawodnieniu lub poinformowaniu użytkownika o optymalnym terminie zbiorów. Budowa lub zakup podobnej infrastruktury w mikroskali jest relatywnie tani. W większości są to proste sensory, których koszt nie przekracza kilkunastu złotych, a bardziej kompleksowe mieszczą się w granicach kilkudziesięciu złotych (źródło: badania własne w serwisie Bolland).

Innym przykładem, mającym zastosowanie i duże znaczenie dla każdego ucznia szkoły ponadpodstawowej, jest wykorzystanie inteligentnych technologii w budowie i zarządzaniu przedsiębiorstwem. Zapoznanie z topowymi technologiami w zarządzaniu zasobami (w tym ludzkimi), energią i bezpieczeństwem (inteligentny monitoring), choćby w formie warsztatów, może mieć kluczowy wpływ na rozwój polskiej gospodarki. Dotyczy to w szczególności szkół zawodowych i techników, gdzie absolwenci trafiają od razu na rynek pracy.

W modelu S^2aaS każdy może być zarówno odbiorcą, jak i uczestniczyć w generacji danych. Przyszłościową wizję przedstawia rys. 11.5, gdzie wiele usług, urządzeń i instytucji jest podłączonych do wspólnej infrastruktury.

Biorąc pod uwagę obecny kierunek rozwoju technologii S^2aaS , wysoce prawdopodobnym jest, że szkoły zostaną włączone do takiej infrastruktury i korzystanie z możliwości ww. modelu chmury będzie całkowicie bezkosztowe.

Rys. 11.5. Przepływ danych w modelu chmurowym *pomiar jako usługa*

11.5. Inne aspekty chmury

Ogólnopolski portal edukacyjny. Portal dedykowany dla nauczycieli, uczniów i rodziców, a także instytucji prowadzących. W odróżnieniu od klasycznych portali, powinien mieć strukturę hierarchiczną: uczeń, klasa, szkoła, gmina, województwo, kraj. Centralna autentykacja i autoryzacja użytkowników ma za zadanie umożliwiać wykorzystanie usług zlokalizowanych w chmurze edukacyjnej (np. zakładanie stron WWW szkół i kół naukowych). Kolejnym zadaniem portalu powinno być udostępnianie materiałów edukacyjnych i aplikacji, oferowanych przez chmurę. Portal powinien również udostępniać wirtualny komputer, pocztę elektroniczną, czy aplikacje typu e-szkoła. Taki tryb funkcjonowania portalu edukacyjnego umożliwi współpracę z podmiotami, oferującymi rozwiązania dla szkół.

Ogólnopolski system autentykacji i autoryzacji uczniów. System identyfikujący ucznia od początków jego edukacji, który umożliwi:

1. Standaryzację rozwiązań szkolnych pod kątem dostępu do Internetu - dowolny uczeń, w dowolnej szkole, powinien mieć dostęp do sieci Internet. Ze względów bezpieczeństwa powinien być identyfikowalny w sieci oraz posiadać dostęp do poczty oraz innych spersonalizowanych usług;
2. Prowadzenie analizy danych edukacyjnych – jakość kształcenia w placówkach, ścieżki edukacyjne uczniów, historia nauki, korelacja pomiędzy edukacją na różnych poziomach a wyborem studiów;
3. Zautomatyzowanie ewidencji zarówno uczniów jak i nauczycieli, przyspieszenie sprawozdawczości;

4. Zwiększenie poziomu bezpieczeństwa telekomunikacyjnego w szkołach oraz utrudni dostęp do nieetycznej części Internetu – uczeń w sieci nie będzie anonimowy, a więc powinien stosować się do zasad netykiety;
5. Autentykacja i autoryzacja ucznia umożliwi automatyczne przejście do systemu profilu zaufanego (e-PUAP) po ukończeniu 18 roku życia i pozwoli na wykorzystywanie przez niego narzędzi e-administracji od początku dorosłego życia.

11.6. Big data w edukacji

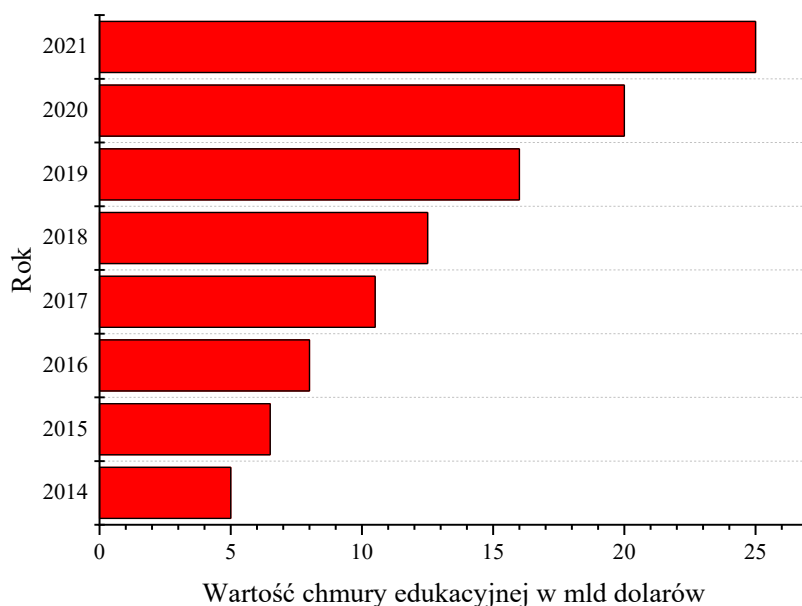
Podczas pracy z chmurą edukacyjną generowane będą dane o charakterze statystycznym, co może pozwolić na przeprowadzenie zaawansowanej analizy. Organom prowadzącym udostępniane będą specjalistyczne narzędzia, pozwalające na korelację różnych danych, przykładowo planowania sieci szkół na podstawie danych meldunkowych, związku subwencji oświatowej z poziomem edukacji, wykorzystanie usług ze względu na region, prognoza zapotrzebowania na nauczycieli z konkretną specjalizacją, statystyki egzaminów, testów lub matur.

Chmura jako środowisko deweloperskie. Chmura gromadząca i przetwarzająca dane może stać się środowiskiem deweloperskim dla biznesu, świadcząc tym samym nowe usługi dla edukacji, ale także dla uczniów, którzy tworzyć będą rozwiązania dla innych szkół w ramach własnej pracy lub zainteresowania. Może się to przyczynić do szybkiego rozwoju biznesu, jeśli aplikacja zyska uznanie wśród użytkowników chmury edukacyjnej.

Chmura jako instrument aktywnej polityki państwa. Chmura edukacyjna i oferowane przez nią narzędzia wpłyną na funkcjonowanie rynku edukacyjnego. Wykorzystanie narzędzi analitycznych ma umożliwić przewidywanie z wyprzedzeniem zjawisk dotyczących rynku pracy z punktu widzenia absolwenta, dopasowanie profilu kształcenia ustawicznego i zawodowego do zapotrzebowania. Tryb funkcjonowania chmury może umożliwić państwu rozwój kształcenia w określonych dziedzinach, poprzez złożenie zamówień na odpowiednie aplikacje i materiały dydaktyczne, udostępniane w formie usług. Wykorzystanie nowoczesnych technologii pozwoli na poszukiwanie wybitnie uzdolnionych uczniów, obejmując ich specjalnym programem edukacji, niezależnie od miejsca zamieszkania dzięki zdalnej edukacji, prowadzeniu wideokonferencji czy komunikację poprzez pocztę elektroniczną.

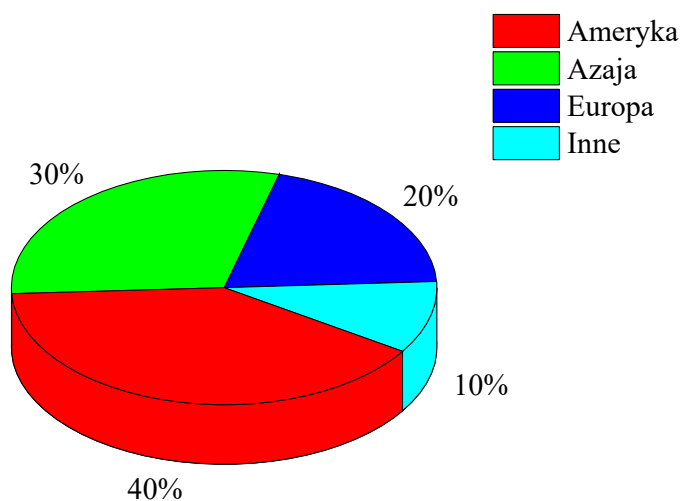
11.7. Chmura edukacyjna na świecie

Technologia chmurowa jest z powodzeniem wykorzystywana nie tylko w obszarach rozwoju gospodarczego, ale również w obszarze edukacji. Co roku wartość rynkowa chmur edukacyjnych się zwiększa. Szacuje się, że w roku 2021 wartość przekroczy 25 mld dolarów. Na rys. 11.6 przedstawiono diagram, na którym zawarto prognozę wartości chmur edukacyjnych na rynku światowym [38].



Rys. 11.6. Wartość rynkowa chmur edukacyjnych na świecie

Na rynku chmur edukacyjnych dominuje Ameryka Północna (40%), Europa natomiast plasuje się na trzeciej pozycji [39], co zaprezentowano na rys. 11.7.



Rys. 11.7. Udział procentowy kontynentów na rynku chmur edukacyjnych

Obecnie istnieją dwa najczęściej stosowane podejścia udostępniania platformy do e-learningu. Pierwszy model to wirtualne środowisko edukacyjne (ang. *Virtual Educational Environment VLE*). Umożliwia on w pełni edukację na odległość i jest wspierany przez dział informacyjny. Drugi model opiera się o witryny typu *Web 2.0* i jest zrealizowany w oparciu o mechanizmy samouczące się. Zauważa się również

powstawanie trzeciego modelu, w którym wszystkie usługi edukacyjne są udostępniane jako zewnętrzne serwisy.

Najczęściej spotykanymi rozwiązaniami chmurowymi są te oferowane przez firmy *Google* oraz *Microsoft*. Dostarczają gotowe i bezpłatne (czasem za niewielką opłatą) narzędzia dla wielu instytucji naukowych na świecie, służące do wspierania komunikacji w formie maili, konferencji, wiadomości błyskawicznych (ang. *instant messages*), kalendarzy i harmonogramów. Ponadto, udostępniają aplikacje webowe do edycji dokumentów tekstowych, arkuszy kalkulacyjnych oraz prezentacji, które są umieszczane w zdalnych magazynach danych i mogą być modyfikowane przez wielu użytkowników jednocześnie. Każdy użytkownik otrzymuje do 15 GB miejsca za darmo w ramach *Google Drive* oraz do 7 GB dla *Microsoft OneDrive*. Ponadto, Google pozwala na hostowanie, budowanie oraz wdrażanie stron typu *wiki*.

Rozdział 12

Szacunkowe kosztorysy realizacji Projektu

12.1. Uwagi wstępne

Rozmiar przedsięwzięcia, ale również zadania przed nim stojące wymagają implementacji zaproponowanych rozwiązań za pomocą sprzętu wysokiej klasy. Wyłącznie zastosowanie sprzętu wysokiej jakości pozwoli na sprawne funkcjonowanie całości systemu, bez konieczności ingerencji ze strony personelu obsługującego.

Analizując przedstawione dalej kosztorysy należy **obowiązkowo** mieć na uwadze:

1. Wszystkie przedstawione dalej ceny, są cenami netto, do których należy doliczyć podatek VAT w wysokości wynikającej z przepisów prawa;
2. Wysokość zaproponowanych przez autorów opracowania rabatów odzwierciedla wyłącznie ich własną opinię. Rzeczywiste wartości rabatów mogą różnić się od wskazanych w opracowaniu;
3. Koszty instalacji sprzętu przyjęto na poziomie wartości średnich rynkowych. Z uwagi na skalę projektu i jego masowy charakter, koszty te mogą się różnić.

12.2. Elementy kosztorysu

12.2.1. CPE

W niniejszym paragrafie analizować będziemy koszty wyposażenia węzłów CPE, które zlokalizowane są w bezpośrednio w obiektach edukacyjnych. Jednostki edukacyjne (szkoły), względem ilości uczniów, podzielono na cztery rodzaje, oznaczone jako:

1. Szkoła mała, w której uczy się nie więcej niż 50 osób;
2. Szkoła średnia dla 51-200 osób;
3. Szkoła duża dla 201-500 osób;
4. Szkoła bardzo duża, w której uczy się powyżej 501 osób.

Ofertę na wyposażenie CPE przygotowano w dwóch wariantach. W pierwszym z nich zakłada się, że dostarczany będzie kompletny zestaw sprzętowy umożliwiający bezpieczny dostęp do sieci wszystkich komputerów jednostki edukacyjnej. W skład dostarczanych zestawów wchodzić będą (w zależności od rozmiaru szkoły): urządzenie kontroli treści, przełącznik wieloportowy oraz sterownik sieci bezprzewodowej. Dla każdego z typów szkół przygotowano specjalne zestawy sprzętowe: zestaw A1, dla szkół małych; B1 dla średnich; C1 dla dużych i D1 dla szkół bardzo dużych. W tabeli 12.1 przedstawiono skład każdego z zestawów, koszty jednostkowe w dolarach oraz złotych (przy założonym kursie walutowym), a także koszt po udzieleniu rabatu wynikającego ze skali zamówienia. W tabeli pokazano również koszty instalacji sprzętu oraz cenę sprzętu uwzględniającą koszty instalacji.

W tabeli 12.2 zaprezentowano zestawienie ilościowo-kosztowe wyposażenia CPE. Oprócz kosztów jednostkowych zestawów wyrażonych w dolarach i złotych podano sumaryczne koszty zakupu liczby zestawów wynikającej z ilości szkół danego typu, w tym z uwzględnieniem kosztów instalacji.

Tabela 12.1 Wyposażenie CPE – skład zestawów dla pierwszego wariantu

Typ zestawu	Skład zestawu				
A1	1 x UTM TYP1 z serwisem na 5 lat, 3x radiowy punkt dostępowy 802.11ac wraz z zasilaczami i licencją na 5 lat				
B1	1 x UTM TYP2 z serwisem na 5 lat, 1 x przełącznik TYP1 (24p z PoE) z licencją na 5 lat, 5 x radiowy punkt dostępowy 802.11ac wraz z zasilaczami i licencją na 5 lat				
C1	1 x UTM TYP3 z serwisem na 5 lat, 1 x przełącznik TYP2 (48p z PoE) z licencją na 5 lat, 10 x radiowy punkt dostępowy 802.11ac wraz z zasilaczami i serwisem na 5 lat				
D1	1 x UTM TYP3 z licencją na 5 lat, 1 x przełącznik TYP1 (24p z PoE) z serwisem na 5 lat, 1 x przełącznik TYP2 (48p z PoE) z serwisem na 5 lat, 15 x radiowy punkt dostępowy 802.11ac wraz z zasilaczami i serwisem na 5 lat				
Wycena zestawów					
Typ zestawu	Cena jednostkowa w USD	Cena jednostkowa w zł	Cena jednostkowa po rabacie w zł	Koszt instalacji w zł	Cena sumaryczna
A1	6 758,00	27 032,00	6 758,00	675,80	7 433,80
B1	17 798,00	71 192,00	17 798,00	1 779,80	19 577,80
C1	39 758,00	159 032,00	39 758,00	3 975,80	43 733,80
D1	49 532,00	198 128,00	49 532,00	4 953,20	54 485,20
Kurs USD w zł		4			
Rabat		75%			

Tabela 12.2 Wyposażenie CPE – zestawienie ilościowe dla wariantu 1

Rodzaj szkoły	Ilość zestawów	Cena jednostkowa w USD	Cena zestawu w zł	Cena kompletu zestawów/ po rabacie w zł	Koszty instalacji kompletu/cena wraz z instalacją w zł
Szkoła mała – zestaw A1	2910	6 758,00	27 032,00	78 663 120,00/ 19 665 780,00	1 966 578,00/ 21 632 358,00
Szkoła średnia – zestaw B1	9246	17 798,00	71 192,00	658 241 232,00/ 164 560 308,00	16 456 030,80/ 181 016 338,80
Szkoła duża – zestaw C1	7160	39 758,00	159 032,00	1 138 669 120,00/ 284 667 280,00	28 466 728,00/ 313 134 008,00

Szkoła bar- dzo duża – zestaw D1	4290	49 532,00	198 128,00	849 969 120,00/ 212 492 280,00	21 249 228,00/ 233 741 508,00
Kurs USD w zł	4				
Wysokość rabatu	75%				
RAZEM	749 524 212,80				

Drugi wariant zakłada dostawę do szkół wyłącznie urządzeń kontroli treści. Zakłada się, że pozostałe elementy, niezbędne do funkcjonowania sieci jednostki edukacyjnej (przełączniki, elementy sieci bezprzewodowej) znajdują się już na wyposażeniu szkoły. Skład zestawów drugiego wariantu przedstawiono w tabeli 12.3. W tabeli 12.4 zestawienie ilościowe dla wyposażenia CPE.

W tabeli 12.5 zaprezentowano zestawienie kosztów realizacji nowego okablowania światłowodowego w układzie wojewódzkim.

Analizując dane zawarte w tabeli 12.5 należy uwzględnić następujące uwarunkowania:

1. Kolumna *Długość gwiazdzistych tras kablowych* określa sumaryczną długość okablowania, przy założeniu, że budowana sieć ma topologię gwiazdy. Oznacza to, że żadne fragmenty tras kablowych nie pokrywają się;
2. Kolumna *Długość dendrytowych tras kablowych* określa sumaryczną długość okablowania, przy założeniu, że realizowany jest dendryt (minimalne drzewo rozpinające) łączący współdzielonymi trasami wybrane węzły sieci (jednostki edukacyjne) z danego obszaru. W [32] udowodniono, że pomiędzy sumaryczną długością kanałów komunikacyjnych rzeczywistej sieci gwiazdzistej i dendrytu zbudowanego na jej bazie istnieje zależność wielomianowa. Oznacza to, że w realnych sieciach długość kanałów dendrytu będzie zawsze mniejsza o sumarycznej długości kanałów gwiazdy, a współczynnik skali będzie zależny rozmiaru sieci oraz gęstości rozmieszczenia węzłów. Przedstawione w kolumnie długości sieci dendrytowych zostały oszacowane za pomocą wytycznych przedstawionych w [32] oraz wybiórczo zweryfikowane w ramach obszarów NUTS-3 z wykorzystaniem algorytmów budowy drzew rozpinających przedstawionych w [40]. W tabeli przedstawiono optymistyczne oszacowanie długości tras. Oszacowanie pesymistyczne może różnić się od optymistycznego, maksymalnie o 30%;
3. Kolumna *Jednostkowa cena budowy okablowania* określa szacunkowe koszty budowy ziemnej instalacji światłowodowej zgodne z wytycznymi *Wymagania dla sieci NGA-POPC*, uśrednionymi dla województw.
4. Kolumna *Jednostkowa cena instalacji okablowania* określa szacunkowe koszty wprowadzenia okablowania do istniejącej kanalizacji teletechnicznej. Wykonywane prace są zgodne z wytycznymi *Wymagania dla sieci NGA-POPC* i zostały uśrednione dla województw.

5. Kolumna *Koszt budowy sieci gwiazdzystych* podaje oszacowanie kosztów realizacji instalacji światłowodowej przy założeniu, że jej całość wykonana zostanie w oparciu o nową kanalizację teletechniczną;
6. Kolumna *Koszt budowy sieci dendrytowych* określa szacunkowe koszty pełnej budowy sieci światłowodowej łączącej wybrane węzły za pomocą drzewa rozpinającego;
7. Analiza wybranych fragmentów sieci pokazała możliwość wykorzystania na części wykonywanych tras istniejącej kanalizacji teletechnicznej. Wykonane szacunki, pokazały iż dendryty w około 40% mogą wykorzystywać kanalizację operatorów telekomunikacyjnych. Pozostałe 60% tras należy wykonać za pomocą nowej kanalizacji teletechnicznej. Jak pokazały badania powyższa proporcja jest zależna od gęstości rozmieszczenia sieci i wiąże się analitycznie ze średnią długością kanału przyłączeniowego. Niestety, nie są znane liczbowe powiązania ww. wartości. Kolumna *Koszt realizacji dendrytowych sieci mieszanych* określa szacunkowe koszty realizacji sieci, w której 40% tras zostało wykonanych na bazie istniejącej kanalizacji, zaś pozostałe 60% – nowo wybudowanej. Jak zaznaczono wcześniej ww. proporcje mają charakter szacunkowy.

Tabela 12.3 Wyposażenie CPE – skład zestawów dla drugiego wariantu

Tabela 12.3 Wypożyczenie CPE – skład zestawów dla drugiego wariantu					
Typ zestawu	Skład zestawu				
A1	1 x UTM TYP1 z serwisem na 5 lat				
B1	1 x UTM TYP2 z serwisem na 5 lat				
C1	1 x UTM TYP3 z serwisem na 5 lat				
D1	1 x UTM TYP3 z serwisem na 5 lat				
Wycena zestawów					
Typ zestawu	Cena jednostkowa w USD	Cena jednostkowa w zł	Cena jednostkowa po rabacie w zł	Koszt instalacji w zł	Cena sumaryczna
A1	2 924,00	11 696,00	2 924,00	292,40	3 216,40
B1	8 024,00	32 096,00	8 024,00	802,40	8 826,40
C1	20 024,00	80 096,00	20 024,00	2 002,40	22 026,40
D1	20 024,00	80 096,00	20 024,00	2 002,40	22 026,40
Kurs USD w zł		4			
Rabat		75%			

Tabela 12.4 Wyposażenie CPE – zestawienie ilościowe dla wariantu 2

Rodzaj szkoły	Ilość zestawów	Cena jednostkowa w USD	Cena zestawu w zł	Cena kompletu zestawów/ po rabacie w zł	Koszty instalacji kompletu w zł	Cena kompletu wraz z instalacją w zł
Szkoła mała – zestaw A1	2910	2 924,00	11 696,00	34 035 360,00/ 8 508 840,00	850 884,00	9 359 724,00
Szkoła średnia – zestaw B1	9246	8 024,00	32 096,00	296 759 616,00/ 74 189 904,00	7 418 990,40	81 608 894,40
Szkoła duża – zestaw C1	7160	20 024,00	80 096,00	573 487 360,00/ 143 371 840,00	14 337 184,00	157 709 024,00
Szkoła bardzo duża – zestaw D1	4290	20 024,00	80 096,00	343 611 840,00/ 85 902 960,00	8 590 296,00	94 493 256,00
Kurs USD w zł	4					
Wysokość rabatu	75%					
RAZEM	749 524 212,80					
Rodzaj szkoły	Ilość zestawów	Cena jednostkowa w USD	Cena zestawu w zł	Cena kompletu zestawów/ po rabacie w zł	Koszty instalacji kompletu/cena wraz z instalacją w zł	
Szkoła mała – zestaw A1	2910	2 924,00	11 696,00	34 035 360,00/ 8 508 840,00	850 884,00/ 9 359 724,00	
Szkoła średnia – zestaw B1	9246	8 024,00	32 096,00	296 759 616,00/ 74 189 904,00	7 418 990,40/ 81 608 894,40	
Szkoła duża – zestaw C1	7160	20 024,00	80 096,00	573 487 360,00/ 143 371 840,00	14 337 184,00/ 157 709 024,00	
Szkoła bardzo duża – zestaw D1	4290	20 024,00	80 096,00	343 611 840,00/ 85 902 960,00	8 590 296,00/ 94 493 256,00	
Kurs USD w zł	4					
Wysokość rabatu	75%					
RAZEM	343 170 898,40					

Tabela 12.5 Koszty budowy okablowania światłowodowego

Województwo	Długość gwiazdzystych tras kablowych	Koszt budowy sieci gwiazdzystych w zł	Koszt budowy sieci dendrytowych w zł	Koszt realizacji dendrytowych sieci mieszanych w zł
DOLNOŚLĄSKIE	4 584,92/ 1 513,02	236 123 493,98	77 920 753,01	53 409 758,86
KUJAWSKO-POMORSKIE	10 747,63/ 1 934,57	553 502 906,60	99 630 523,19	68 290 436,28
LUBELSKIE	4 680,36/ 1 450,91	241 038 406,78	74 721 906,10	51 217 151,17
LUBUSKIE	846,80/ 719,78	43 610 457,32	37 068 888,72	25 408 383,92
ŁÓDZKIE	19 526,98/ 2 733,78	1 005 639 634,08	140 789 548,77	96 502 350,91
MAŁOPOLSKIE	7 688,43/ 1 537,69	395 954 183,20	79 190 836,64	54 280 321,04
MAZOWIECKIE	31 547,95/ 5 047,67	1 624 719 667,05	259 955 146,73	178 182 848,15
OPOLSKIE	889,45/ 569,25	45 806 524,55	29 316 175,71	20 094 388,40
PODKARPACKIE	4 781,92/ 1 243,30	246 268 713,98	64 029 865,63	43 888 432,17
PODLASKIE	2 311,83/ 1 317,74	119 058 996,82	67 863 628,19	46 516 234,47
POMORSKIE	2 103,18/ 1 198,82	108 314 027,39	61 738 995,61	42 318 185,34
ŚLĄSKIE	20 945,11/ 2 303,96	1 078 673 262,90	118 654 058,92	81 329 869,51
ŚWIĘTO-KRZYSKIE	2 235,67/ 827,20	115 136 952,61	42 600 672,46	29 200 072,58
WARMIŃSKO-MAZURSKIE	2 567,82/ 4 141,64	132 242 707,28	213 294 689,16	146 200 049,08

WIELKOPOLSKIE	4 044,74/ 2 062,82	208 304 206,52	106 235 145,33	72 817 487,96
ZACHODNIOPOMORSKIE	1 695,93/ 1 288,91	87 340 583,09	66 378 843,15	45 498 508,02
Jednostkowa cena budowy okablowania w zł/km	51500			
Jednostkowa cena instalacji okablowania zł/km	24500			
RAZEM	1 055 154 477,86			

Koszty wykonania instalacji kablowych przedstawione w tabeli 12.5 oparto na poniższej kalkulacji. W tabeli 12.6 zaprezentowano szacunkowe jednostkowe koszty ziemnej instalacji światłowodowej.

Tabela 12.6. Jednostkowe koszty ziemnej instalacji światłowodowej

Nr	Pozycja kosztorysowa	Cena jednostkowa za km
1.	Rura HDPE 40	3 000,00 zł
2.	Prace ziemne (wykopy)	20 000,00 zł
3.	Studzienki wraz z posadowieniem	4 000,00 zł
4.	Instalacja światłowodu w rurarzu	3 000,00 zł
5.	Mufy	1 000,00 zł
6.	Splitery	500,00 zł
7.	Kabel światłowodowy	5 000,00 zł
8.	Prace instalacyjne (spawanie, pomiary itp.)	10 000,00 zł
9.	Prace geodezyjne	5 000,00 zł
RAZEM		51 500,00 zł

W tabeli 12.7 pokazano szacunkowe jednostkowe koszty napowietrznej instalacji światłowodowej, wykonanej na istniejących słupach (energetycznych lub teletechnicznych).

Tabela 12.7. Jednostkowe koszty napowietrznej instalacji światłowodowej na istniejących słupach

Nr	Pozycja kosztorysowa	Cena jednostkowa za km
1.	Kabel światłowodowy	5 000,00 zł
2.	Podwieszanie kabla	3 000,00 zł
3.	Podwieszki	1 000,00 zł
4.	Mufy	1 000,00 zł
5.	Splitery	500,00 zł
6.	Projekt wraz z ekspertyzą	15 000,00 zł
8.	Prace instalacyjne (spawanie, pomiary)	10 000,00 zł
9.	Prace geodezyjne	5 000,00 zł
RAZEM		40 500,00 zł

W tabeli 12.8 pokazano szacunkowe jednostkowe koszty napowietrznej instalacji światłowodowej, wykonanej na nowych słupach.

Tabela 12.8. Jednostkowe koszty napowietrznej instalacji światłowodowej na nowych słupach

Nr	Pozycja kosztorysowa	Cena jednostkowa za km
1.	Kabel światłowodowy	5 000,00 zł
2.	Podwieszanie kabla	3 000,00 zł
3.	Podwieszki	1 000,00 zł
4.	Mufy	1 000,00 zł
5.	Splitery	500,00 zł
6.	Zakup i instalacja słupów	12 000,00 zł
8.	Prace instalacyjne (spawanie, pomiary)	10 000,00 zł
9.	Prace geodezyjne	5 000,00 zł
RAZEM		37 500,00 zł

W tabeli 12.9 pokazano szacunkowe koszty wykonania ziemnej instalacji światłowodowej w oparciu o istniejący rurarz.

Tabela 12.9. Jednostkowe koszty ziemnej instalacji światłowodowej wykorzystującej istniejący rurarz

Nr	Pozycja kosztorysowa	Cena jednostkowa za km
4.	Instalacja światłowodu w rurarzu	3 000,00 zł
5.	Mufy	1 000,00 zł
6.	Splitery	500,00 zł
7.	Kabel światłowodowy	5 000,00 zł
8.	Prace instalacyjne (spawanie, pomiary itp.)	10 000,00 zł
9.	Prace geodezyjne	5 000,00 zł
RAZEM		24 500,00 zł

Zdaniem zespołu opiniującego dla tras przekraczających 2-5 km należy rozpatrzyć rozwiązania alternatywne względem światłowodu. Jeżeli dołączenie węzła wymaga wybudowania tras przekraczających 5 km (dotyczy to również architektury dendrytowej) rozwiązanie bazujące na światłowodzie może okazać się ekonomicznie nieuzasadnione. Jako przykład alternatywnego rozwiązania rozważmy łącze satelitarne. Koszty zakupu zestawu do łączności satelitarnej można oszacować na kwotę 2100 zł (netto). Miesięczny koszt dzierżawy kanału o przepustowości 30 Mb/s to obecnie wydatek 180 zł. Zauważmy, że roczne koszty utrzymania kanałów światłowodowych (ryczałtowa opłata serwisowa, opłaty za nieruchomości itp.) można oszacować na 150-250 zł za każdy kilometr. Tak więc, koszty ponoszone na utrzymanie łącza światłowodowego są porównywalne z kosztami utrzymania łącza satelitarnego, zaś koszty jego budowy są nieporównywalnie wyższe.

Oczywiście, zaprezentowane powyżej rozważania upraszczają problem doboru kanału komunikacyjnego. Planując wybór kanału, należy zapoznać się z informacjami zawartymi w §6.4 niniejszego opracowania.

12.2.2. LPA

W tabeli 12.10 przedstawiono elementy i koszty zestawu wyposażenia LPA, a tabeli 12.11 zestawienie ilościowe wyposażenia węzłów LPA. Przytoczone tam rabaty i koszty instalacji oszacowano na podstawie bieżącej analizy rynku. Należy pamiętać, że w obu przypadkach są to wartości szacunkowe, z tendencją do niedoszacowania.

12.2.3. CPA

W tabeli 12.12 przedstawiono elementy i koszty zestawu wyposażenia CPA, a tabeli 12.13 zestawienie ilościowe wyposażenia węzłów CPA. Przytoczone tam rabaty i koszty instalacji oszacowano na podstawie bieżącej analizy rynku. Należy pamiętać, że w obu przypadkach są to wartości szacunkowe, z tendencją do niedoszacowania.

Pełne szacunkowe koszty realizacji Projektu przedstawiono w tabeli 12.14. Koszty realizacji okablowania są oszacowane na podstawie rynkowych cen usługi w warunkach dekoniumktury. Dlatego założono, że dla danej usługi nie zostanie udzielony rabat.

12.3. Koszty sieci cząstkowej

Koszt sieci cząstkowej ulegną zmianie wyłącznie w długości instalowanych łączy światłowodowych i wyposażenia węzłów końcowych. Koszty te stanowić będą nie więcej niż 20% kosztów pierwotnych.

Tabela 12.10 Wyposażenie LPA – skład zestawu

Lp.	Element zestawu	Cena jednostkowa w USD/PLN	Cena jednostkowa po rabacie w zł	Koszt instalacji w zł	Cena sumaryczna
1.	Przełączniki poziomu L2 o dużej gęstości portów 10/40GE. Dla każdego LPA 4 szt. Pary zapewniające redundancję - 2 sztuki na brzeg z Internetem, 2 sztuki na agregację ruchu ze szkół oraz podłączenie do routerów	90 000,00/ 360 000,00	90 000,00	4 500,00	94 500,00
2.	Serwisowanie na okres 5 lat w trybie 8×5×NBD	25 181,00/ 100 724,00	25 181,00	1 259,05	26 440,05
3.	Routerzy agregacyjne pracujące w trybie HA, po 2 sztuki na każde LPA. Wbudowane porty 4×10GE wraz z modułem 40GE wraz z niezbędnym osprzętem	354 782,50/ 1 419 130,00	354 782,50	17 739,13	372 521,63
4.	Serwisowanie na okres 5 lat w trybie 8×5×NBD	36 570,00/ 146 280,00	36 570,00	1 828,50	38 398,50
Kurs USD w zł		4			
Wysokość rabatu		75%			
RAZEM		531 860,18			

Tabela 12.11 Wyposażenie LPA – zestawienie ilościowe

Rodzaj węzła	Ilość zestawów	Cena jednostkowa w USD/PLN	Cena kompletu zestawów/ po rabacie w zł	Koszty instalacji kompletu w zł	Cena kompletu wraz z instalacją w zł
LPA	72	506 533,50/ 2 026 134,00	145 881 648,00/ 36 470 412,00	1 823 520,60	38 293 932,60
Kurs USD w zł		4			
Wysokość rabatu		75%			

Tabela 12.12 Wyposażenie CPA – skład zestawu

Lp.	Element zestawu	Cena jednostkowa w USD/PLN	Cena jednostkowa po rabacie w zł	Koszt instalacji w zł	Cena sumaryczna
1.	Przełącznik router/core 48portów 40GE do agregacji z LPA oraz podłączenia do części serwerowej po 2sztuki na każde CPA z możliwością wydzielenia oddzielnych wirtualnych kontekstów i niezbędnym wyposażeniem	566 000,00/ 2 264 000,00	566 000,00	28 300,00	594 300,00
2.	Serwisowanie na okres 5 lat w trybie 8×5×NBD	100 038,50/ 400 154,00	100 038,50	5 001,93	105 040,43
Kurs USD w zł		4			
Wysokość rabatu		75%			
RAZEM		531 860,18			

Tabela 12.13 Wyposażenie CPA – zestawienie ilościowe

Rodzaj węzła	Ilość zestawów	Cena jednostkowa w USD/PLN	Cena kompletu zestawów/ po rabacie w zł	Koszty instalacji kompletu w zł	Cena kompletu wraz z instalacją w zł
LPA	4	666 038,50/ 2 664 154,00	10 656 616,00/ 2 664 154,00	133 207,70	2 797 361,70
Kurs USD w zł		4			
Wysokość rabatu		75%			

Tabela 12.14 Sumaryczne zestawienie kosztów realizacji Projektu dla pełnego wyposażenia CPE i mieszanych dendrytowych sieci światłowodowych

Lp.	Składnik kosztu	Koszt przed rabatem w zł	Koszt po rabacie w zł
1.	Wyposażenie CPE	2 998 096 851,20	749 524 212,80
2.	Budowa okablowania w topologii dendrytu i mieszanej strukturze	1 055 154 477,86	1 055 154 477,86
3.	Wyposażenie LPA	160 469 812,80	38 293 932,60
4.	Wyposażenie CPA	11 722 277,60	2 797 361,70
RAZEM		4 225 443 419,46	1 845 769 984,96

Podsumowanie

W przekonaniu zespołu opiniującego realizacja Projektu jest celowa i pozytywnie przełoży się zarówno na edukację szkolną jak również rozwój rynku telekomunikacyjnego. Przemawiają za tym następujące uwarunkowania:

1. Realizacja inwestycji wpisuje się główny nurt budowy sieci dla edukacji, Polska byłaby kolejnym krajem europejskim realizującym taką inwestycję;
2. Realizacja inwestycji w tej skali sprzyja uzyskaniu wysokich rabatów na dostawę sprzętu i oprogramowania. Ich wysokość w przypadku realizacji inwestycji o mniejszej skali (np. województwa) jest praktycznie nieosiągalna. Dzięki temu, koszty inwestycji w stosunku sumarycznych kosztów projektów częściowych zmniejszają się 3-4 krotnie;
3. Dotąd, finansowane z budżetu inwestycji w obszarze teleinformatyki były ukierunkowane na budowę sieci rdzeniowych, w znacznie mniejszym stopniu na realizację ostatniej mili. Można zaryzykować stwierdzenie, że ponieważ Projekt inwestuje głównie w ostatnią milę pobudzi on konkurencję w tym obszarze wśród operatorów komercyjnych.
4. W długofalowym interesie użytkowników sieci teleinformatycznych leży realizacja Projektu na bazie szerokopasmowych sieci regionalnych. Takie rozwiązanie uczyni je konkurencyjnymi względem sieci operatorów oraz pobudzi dalszy rozwój rynku usług;

Bibliografia

- [1] M. P. Clark, *Networks and Telecommunications: Design and Operation*, Chichester: John Wiley & Sons, 1991.
- [2] S. Evans, *Telecommunications Network Modeling, Planning and Design*, London: The Institution of Electrical Engineers, 2003.
- [3] V. Alwayn, *Optical Network Design and Implementation*, Indianapolis: Cisco Press, 2004.
- [4] C. S. Wasson, *System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [5] R. B. Northrop, *Introduction to Complexity and Complex Systems*, New York: CRC Press, 2010.
- [6] M. D. Mesarovic, D. Macko i Y. Takahara, *Theory of hierarchical, multilevel systems*, New York: Academic Press, 1970.
- [7] N. J. Smith i A. P. Sage, *An introduction to hierarchical systems theory*, Dallas: Information and Control Sciences Center, SMU Institute of Technology, 2005.
- [8] T. L. Saaty, *Fundamentals of Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*, Pittsburgh: RWS Publications, 2000.
- [9] C. S. Wasson, *System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [10] A. Levitin, *Introduction to the Design and Analysis of Algorithms*, Phenix: Addison Wesley, 2006.
- [11] J. D. McCabe, *Network Analysis, Architecture and Design*, 3 red., New York: Morgan Kaufmann, 2007.
- [12] J. Mendez-Rangel i C. Lozano-Garzon, „A network design methodology proposal for E-health in rural areas of developing countries,” w *6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems*, Valencia, 2012.
- [13] R. V. Slyke, „Network planning and design,” 2001.
- [14] D. L. Spohn, *Data Network Design*, New York: McGraw-Hill, 2002.
- [15] W. M. Maziarz, *Rozwój rynku usług telekomunikacyjnych w warunkach kształtowania społeczeństwa informacyjnego w Polsce*, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 2013.
- [16] A. Dąbrowska, M. Janoś-Kresło i A. Wódkowski, *E-usługi a społeczeństwo informacyjne*, Warszawa: DIFIN, 2009.
- [17] M. Golka, *Bariery w komunikowaniu i społeczeństwo (dez)informacyjne*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [18] M. Cierpiął-Wolan, Red., *Województwo podkarpackie. Podregiony, powiaty, gminy - 2013*, Rzeszów: Urząd Statystyczny w Rzeszowie, 2013, p. 356.
- [19] J. Kolbusz i W. Czajka, „Quo Vadis Podkarpacie?,” w *Innowacyjna Gmina. Informatyka w jednostkach samorządu terytorialnego*, M. Hajder, Red., Rzeszów, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2014, pp. 5-16.

- [20] R. Korostenskiy i P. Hajder, „Rola społeczeństwa informacyjnego w formowaniu kapitału ludzkiego,” w *Innowacyjna gmina. Informatyka w jednostkach samorządu terytorialnego*, M. Hajder, Red., Rzeszów, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2014, pp. 105-110.
- [21] J. Oleński, *Infrastruktura informacyjna państwa w globalnej gospodarce*, Warszawa: Nowy Dziennik sp. z o.o. i Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych, 2006, p. 710.
- [22] J. Kolbusz, J. Gąterski i P. Hajder, „Społeczeństwo informacyjne w gminie Sędziszów Małopolski,” w *Innowacyjna gmina. Informatyka w jednostkach samorządu terytorialnego*, M. Hajder, Red., Rzeszów, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2014, pp. 129-144.
- [23] M. Hajder i B. Florek, „Przyczyny i skutki wykluczenia cyfrowego w środowisku wiejskim Podkarpacia,” w *Innowacyjna Gmina. Informatyka w jednostkach samorządu terytorialnego*, Rzeszów, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2014, pp. 47-53.
- [24] J. Kolbusz, „Wykluczenie cyfrowe w gminie Leżajsk - efektywne metody jego likwidacji,” w *Innowacyjna gmina - nowoczesne technologie na usługach samorządu terytorialnego*, M. Hajder, Red., Rzeszów, Leżajsk 2011, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2011, pp. 203-212.
- [25] M. Hajder i T. Bartczak, „Skuteczność walki z wykluczeniem cyfrowym na Podkarpaciu,” w *Innowacyjna gmina. Informatyka w jednostkach samorządu terytorialnego*, M. Hajder, Red., Rzeszów, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2015, pp. 77-86.
- [26] Główny Urząd Statystyczny. Urząd Statystyczny w Szczecinie, *Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2007-2011*, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2012.
- [27] Główny Urząd Statystyczny. Urząd Statystyczny w Szczecinie, *Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2008-2012*, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2012.
- [28] J. Czapiński i T. Panek, „Diagnoza społeczna 2013. Warunki i jakość życia Polaków,” Warszawa, 2013.
- [29] Główny Urząd Statystyczny. Urząd Statystyczny w Szczecinie, *Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2006-2010*, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2010.
- [30] I. N. Bronsztejn, K. A. Siemiendiajew, G. Musiol i H. Muhlig, *Nowoczesne kompendium matematyki*, Warszawa: Wydawnictwa Naukowe PWN, 2004.
- [31] M. Hajder i R. Korostenskiy, *Metody teoriografowego opisu architektury systemów technicznych*, Rzeszów: Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2015.
- [32] M. Hajder i M. Nycz, *Sieci regionalne i korporacyjne. Metody projektowania i eksploatacji*, Rzeszów: Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie, 2015.
- [33] J. Tang, Y. Cui, Q. Li, K. Ren, J. Liu i R. Buyya, „Ensuring Security and Privacy Preservation for Cloud Data Services,” *ACM Surveys*, tom 49, nr 1, 2016.

- [34] X. Sheng, X. Xiao, J. Tang i G. Xue, „Sensing as a Service: A Cloud Computing System for Mobile Phone Sensing,” *IEEE Sensors*, pp. 1-4, 2012.
- [35] X. Sheng, J. Tang, X. Xiao i G. Xue, „Sensing as a Service: Challenges, Solutions and Future Directions,” *IEEE Sensors*, pp. 3733-3741, 2013.
- [36] C. Perera, *Sensing as a Service for Internet of Things: A Roadmap*, Leanpub, 2017.
- [37] MicroStrain, „SensorCloud® Enables Condition Based Agriculture at Shelburne Vineyard | LORD Sensing Systems,” MicroStrain, [Online]. Available: <https://www.microstrain.com/applications/environmental/sensorcloud-enables-condition-based-agriculture-shelburne-vineyard>. [Data uzyskania dostępu: 5 październik 2017].
- [38] A. V. Bataev, „Cloud Technology as Innovative Way in Engineering and Economic Education,” w *Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*, St. Petersburg, 2017.
- [39] K. Warwick i A. Garcia-Perez, „The Impacts of Cloud Computing Adoption at Higher Education Institutions: A SWOT Analysis,” *International Journal of Computer Applications*, tom 127, nr 4, pp. 15-21, 2015.
- [40] J. L. Gross i J. Yellen, *Handbook of graph theory*, London: CRC Press, 2004.
- [41] N. Boccara, *Modeling Complex Systems*, 2 red., New York: Springer, 2010.
- [42] T. Trzaskalik, *Modelowanie optymalizacyjne*, Łódź: Przedsiębiorstwo Specjalistyczne Absolwent, 2001.
- [43] M. Stasiak, M. Głąbowski i P. Zwierzykowski, *Modelowanie i wymiarowanie ruchomych sieci bezprzewodowych*, WKiŁ: Warszawa, 2009.
- [44] A. P. D. Batorski, „Diagnoza i rekomendacje w obszarze kompetencji cyfrowych społeczeństwa i przeciwdziałania wykluczeniu cyfrowemu w kontekście zaprogramowania wsparcia w latach 2014-2020,” Warszawa, 2012.
- [45] R. L. Freeman, *Fundamentals of Telecommunications*, II red., Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.
- [46] A. E. Kamal i R. Ul-Mustafa, „Multicast traffic grooming in WDM networks,” w *Proceedings of Opticomm 2003*, 2003.
- [47] B. Chen i R. Dutta, „On hierarchical traffic grooming in WDM networks,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, tom 16, nr 5, pp. 1226-1238, 2008.
- [48] B. Mukherjee, „Wavelength Conversion in WDM Networking,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, tom 16, nr 7, pp. 1061-1073, 1998.
- [49] L. Sahasrabuddhe i B. Mukherjee, „Survivable WDM mesh networks,” *Journal of Lightwave Technology*, tom 21, nr 4, pp. 870-873, 2003.
- [50] J. Harris, J. L. Hirst i M. Mossinghoff, *Combinatorics and Graph Theory*, 2 red., New York: Springer, 2008.
- [51] D. B. West, *Introduction to Graph Theory*, 2 red., New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [52] M. van Steen, *Graph Theory and Complex Networks: An Introduction*, Maarten van Steen, 2010.
- [53] G. Chartrand i P. Zhang, *A First Course in Graph Theory*, Boston: Dover Publications, 2012.
- [54] R. Diestel, *Graph Theory*, 4 red., New York: Springer, 2010.

- [55] M. V. Gubko, *Mathematical models of optimization of hierarchical structures*, LENAND, 2006.
- [56] T. L. Saaty, „The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making,” w *Multiple Criteria Decision Analysis*, Springer, pp. 345-407.
- [57] R. Dutta, A. E. Kamal i G. N. Rouskas, *Traffic Grooming for Optical Networks: Foundations, Techniques and Frontiers*, New York: Springer, 2010.
- [58] R. Dutta i G. N. Rouskas, „On Optimal Traffic Grooming in WDM Rings,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, tom 20, nr 1, pp. 110-121, 2002.
- [59] T. L. Saaty, *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Proces*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [60] A. Barak i E. Schenfeld, „Embedding classical communication topologies in the scalable OPAM architecture,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, tom 7, nr 9, pp. 979-992, 1996.
- [61] N. Bagherzadeh, M. Dowd i N. Nassif, „Embedding an arbitrary binary tree into the star graph,” *IEEE Transactions on Computers*, tom 45, nr 4, pp. 475-481, 1996.
- [62] T.-J. Lin i S.-Y. Hsieh, „Embedding Cycles and Paths in Product Networks and Their Applications to Multiprocessor Systems,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, tom 23, nr 6, pp. 1081-1089, 2012.
- [63] R. A. Rowley i B. Bose, „Fault-tolerant ring embedding in de Bruijn networks,” *IEEE Transactions on Computers*, tom 42, nr 12, pp. 1480-1486, 1993.
- [64] M. Livingston i Q. F. Stout, „Embeddings in Hypercubes,” *Mathematicak ana Computational Modelling*, nr 11, pp. 222-227, 1988.
- [65] G. Gravenstreter i R. G. Melhem, „Embedding rings and meshes in partitioned optical passive stars networks,” w *Massively Parallel Processing Using Optical Interconnections*, San Antonio, 1995.
- [66] Y. Bulent, „Virtual embeddings on regular topology networks,” w *Eighth IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing*, New Orleans, 1996.
- [67] H. Fang i W. Xuechun, „Research on embedded network scheme based on quantum key distribution,” w *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, Taipei, 2011.
- [68] B.-J. Chang i R.-H. Hwang, „Performance analysis for hierarchical multirate loss networks,” *IEEE Journals & Magazines*, pp. 187 - 199, 2004.
- [69] S. Y. Chang i H.-C. Wu, „Joint Optimization of Complexity and Overhead for the Routing in Hierarchical Networks,” *IEEE Journals & Magazines*, nr 22, pp. 1034 - 1041, 2011.
- [70] B. Mirkin, R. Andrey i F. S. Roberts , *Mathematical Hierarchies and Biology*, Amer Mathematical Society, 1997.
- [71] V. Kulish, *Hierarchical Methods: Undulative Electrodynamical Systems*, New York: Springer, 2002.
- [72] M. D. Ilic i S. Liu, *Hierarchical Power Systems Control: Its Value in a Changing Industry*, New York: Springer, 1996.

- [73] D. Raychaudhuri i M. Gerla, *Emerging Wireless Technologies and the Future Mobile Internet*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [74] A. S. Tannenbaum, *Strukturalna organizacja systemów komputerowych*, V red., Gliwice: Helion, 2006, p. 863.
- [75] J. L. Hennessy i D. A. Patterson, *Computer Architecture a Quantitative Approach*, I red., San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002, p. 1143.
- [76] E. Perahia i R. Stacey, *Next Generation Wireless LANs: Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n*, Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [77] E. May, *Wireless Communications & Networks*, 2 red., New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [78] M. Hajder, P. Dymora i M. Mazurek, „Projektowanie topologii transparentnych sieci optycznych,” w *Konferencja Polski Internet Optyczny: technologie, usługi i aplikacje*, Poznań, 2002.
- [79] S. Dandamudi, *Hierarchical Scheduling in Parallel and Cluster Systems*, New York: Springer, 2003.
- [80] C. Smith i C. Gervelis, *Wireless Network Performance Handbook*, New York: McGraw-Hill Professional, 2009.
- [81] H. Nederbragt, „Hierarchical Organization of Biological Systems and the Structure of Adaptation in Evolution and Tumorigenesis,” *Journal of Theoretical Biology*, tom 184, nr 2, pp. 149-156, 1 1997.
- [82] R. L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunication*, III red., Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.
- [83] A. Schrijver, *Theory of Linear and Integer Programming*, Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- [84] T. A. Hamdy, *Operations Research: An Introduction*, New Jersey: Prentice Hall, 2005.
- [85] S. M. Sinha, *Mathematical Programming: Theory and Methods*, Delhi: Elsevier Science, 2006.
- [86] G. Mao i B. Fidan, *Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks*, Hershey: Information Science Publishing, 2009.
- [87] P. Santi, *Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks*, Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- [88] A. K. Jain, N. Murty i P. J. Flynn, „Data Clustering: A Review,” *ACM Computing Surveys*, tom 31, nr 3, pp. 264-323, 1999.
- [89] N. Jardine, *Mathematical Taxonomy*, London: John Wiley & Sons, 1971.
- [90] M. S. Levin, „Towards hierarchical clustering,” w *Computer Science - Theory and Applications: Second International Symposium on Computer Science in Russia*, 2007.



Powszechność dostępu do urządzeń komputerowych i sieci Internet wydaje się dla większości z nas trywialną oczywistością. Trudno wręcz wyobrazić sobie życie bez laptopa czy smartfonu, pozwalających nam nieprzerwanie korzystać z zasobów sieci społecznościowych. Niewyobrażalne staje się również życie bez informacji, które wykorzystujemy podejmując nawet najprostsze decyzje. Umiejętność obsługi urządzeń komputerowych, w szczególności mobilnego Internetu, wielu z nas nabyło w czasach szkolnych. Niestety, wśród osób wykluczonych kontakt z Internetem często ograniczał się do szkolnych zajęć z Informatyki. Chociaż w walce z wykluczeniem cyfrowym zrobiono bardzo wiele, nierówności społeczne, które nabrzmiewały w ciągu ostatnich dziesięcioleci pogłębiały taki stan. Być może należy spojrzeć na problem od innej strony. Zauważmy, że w wielu sołectwach czy niewielkich miastach szkoła jest często jedynym ośrodkiem propagującym wiedzę i kulturę, nie tylko wśród dzieci, ale również pośród dorosłych. Może więc należałoby oprzeć walkę z wykluczeniem na istniejącej infrastrukturze szkół, które w ten sposób zyskałyby nową rolę w społeczeństwie. Niniejsza monografia, powstała na zlecenie Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej analizuje celowość budowy ogólnopolskiej sieci komputerowej szkół. Wykorzystując metody matematyczne autorzy prezentują jej architekturę i parametry, szacują koszty realizacji takiej inwestycji.



**WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI I ZARZĄDZANIA**
z siedzibą w Rzeszowie