



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Sieci komputerowe

WAN – sieci rozległe

dr inż. Andrzej Opaliński
andrzej.opalinski@agh.edu.pl

Plan wykładu

- Standardy
- Urządzenia
- Łączy
- Enkapsulacja
- Komutacja
- Technologie sieci WAN



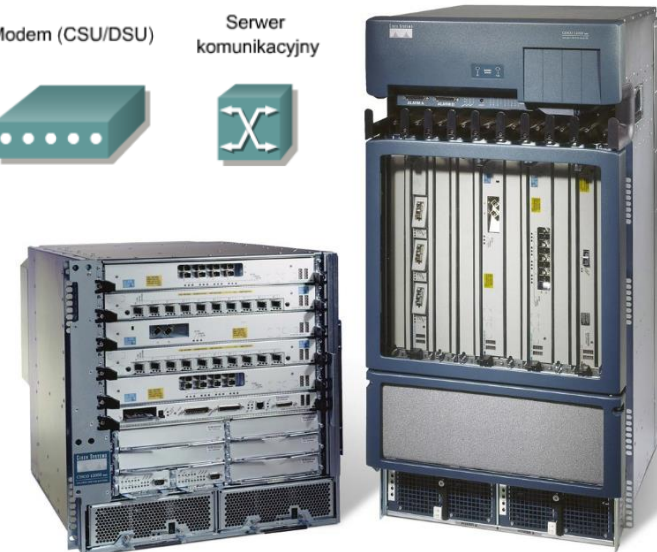
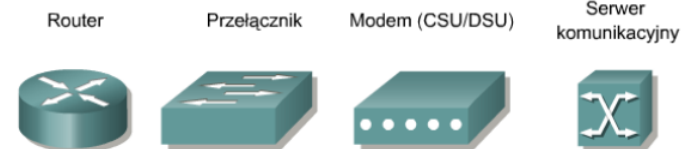
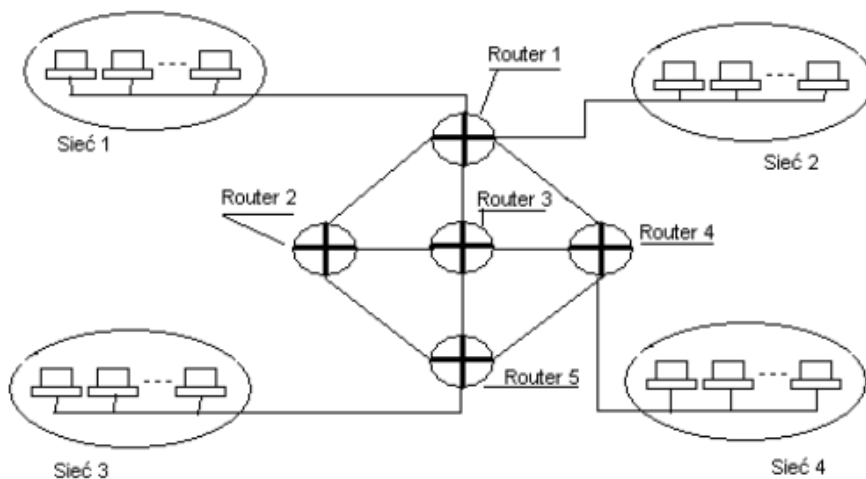
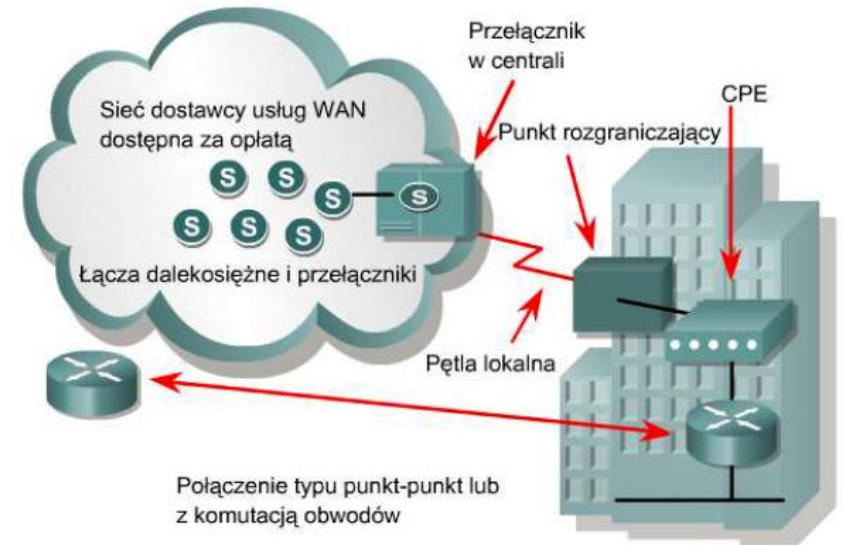
Wprowadzenie

- WAN – Wide Area Network – Sieć rozległa o zasięgu globalnym
- Działa na dużym obszarze – łączy miasta, kraje, kontynenty.
- Wykorzystuje łącza zewnętrznych operatorów (w Polsce: TP S.A., Netia, NASK, Exatel)
- Najpopularniejsze usługi
 - Telefonia
 - Przesył danych
- Właściwości sieci WAN
 - Działanie na dużych obszarach geograficznych
 - Umożliwienie dostępu poprzez interfejsy szeregowo
 - Zapewnienie łączności w pełnym lub ograniczonym wymiarze czasowym
- Działa w ramach dwóch najniższych warstw modeli ISO/OSI
 - Warstwy fizycznej
 - Warstwy łącza danych



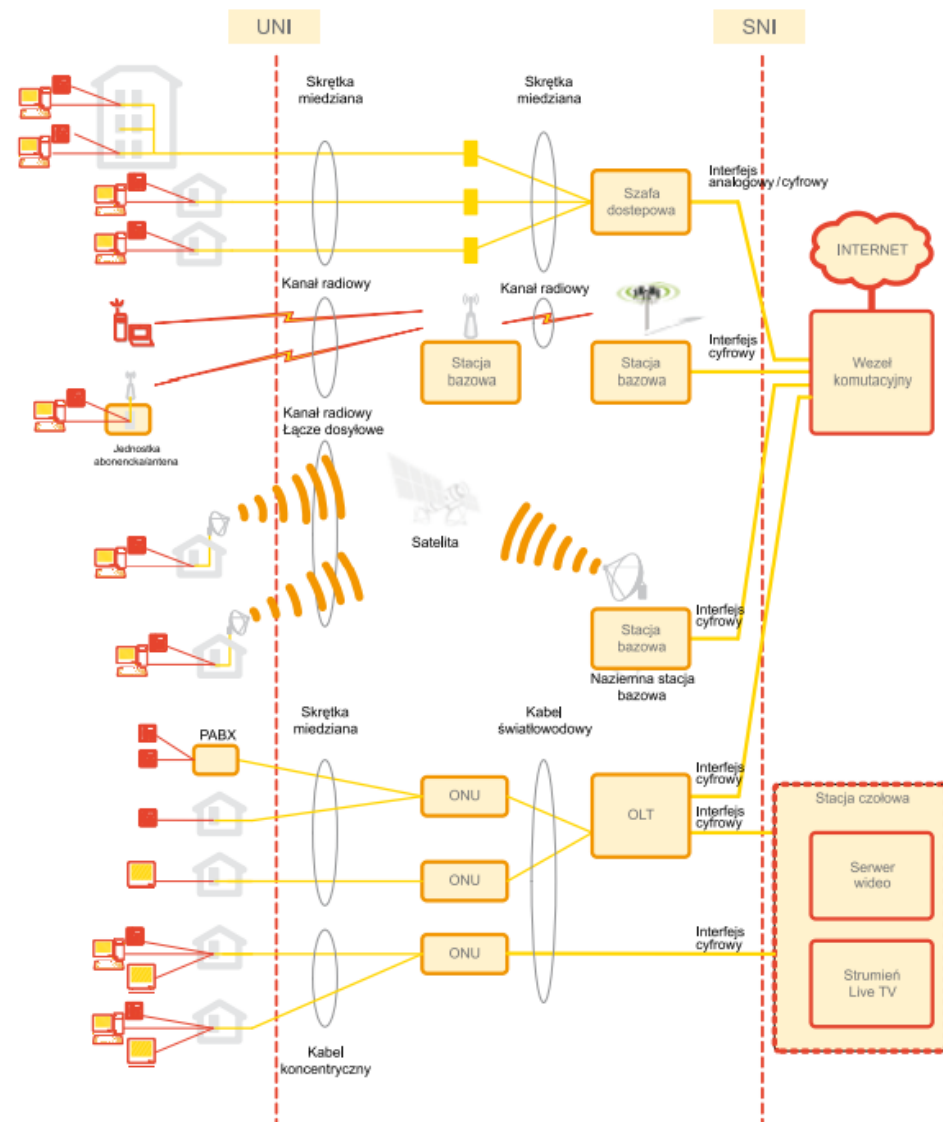
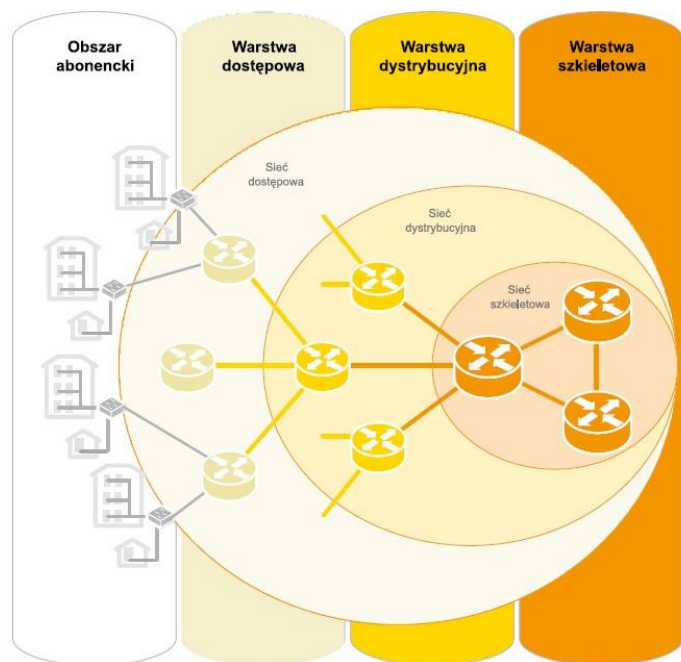
Urządzenia sieci WAN

- Urządzenia sieci WAN
 - Modem
 - Router
 - Przełącznik
 - Serwer komunikacyjny
- Urządzenia dostępne w placówkach abonenta CPE (Customer Premises Equipment)



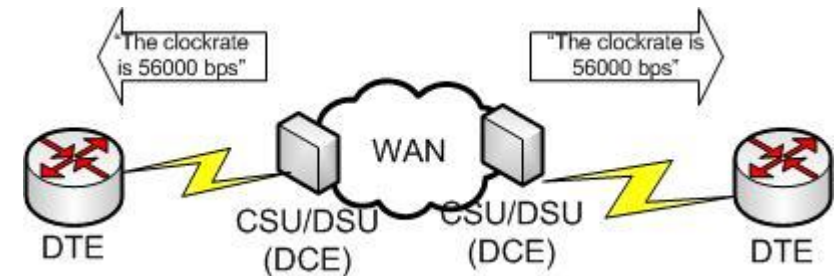
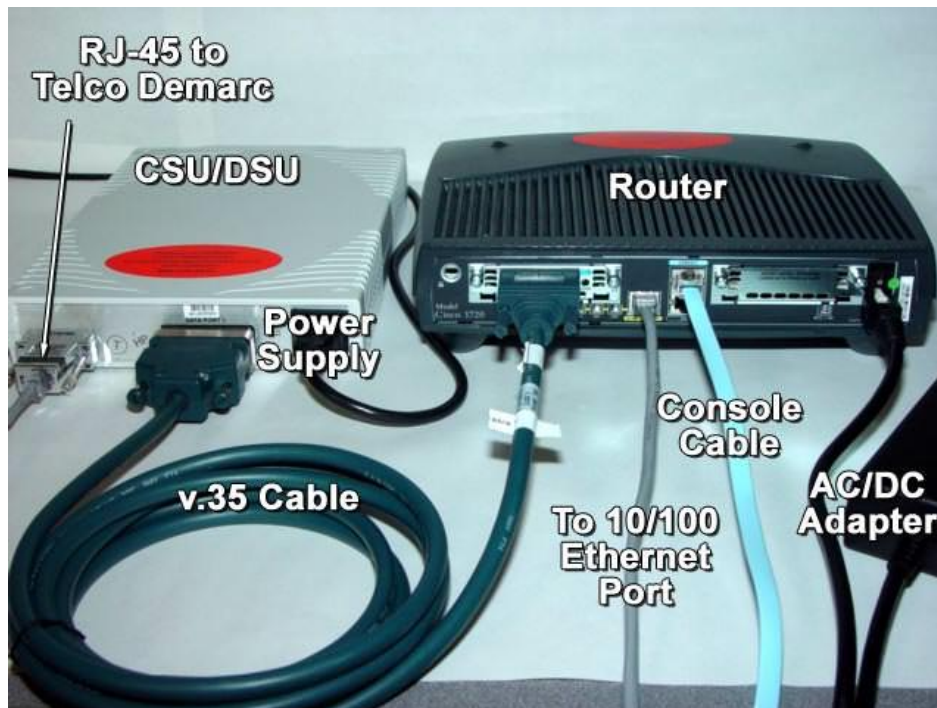
Hierarchiczny model sieci

- Warstwa szkieletowa (rdzeniowa/przełączania) – realizująca funkcja przełączania i komutacji – szybkie połączenia między punktami dystrybucji
- Warstwa dystrybucyjna (agregacji) – dystrybucja usług sieciowych (w oparciu o reguły ruchu/węzły dystrybucyjne/przełączniki/grupy robocze)
- Warstwa dostępową – dostarczenie usług użytkownikom końcowym (skrętka, koncentryk (sieciTV), światłowód)



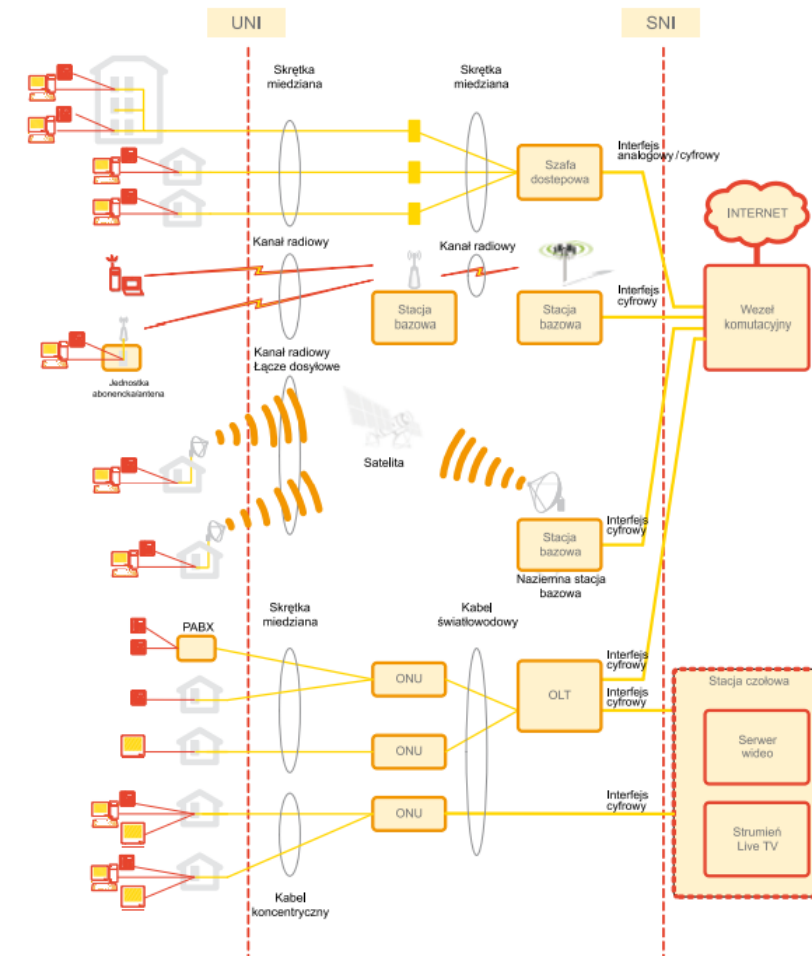
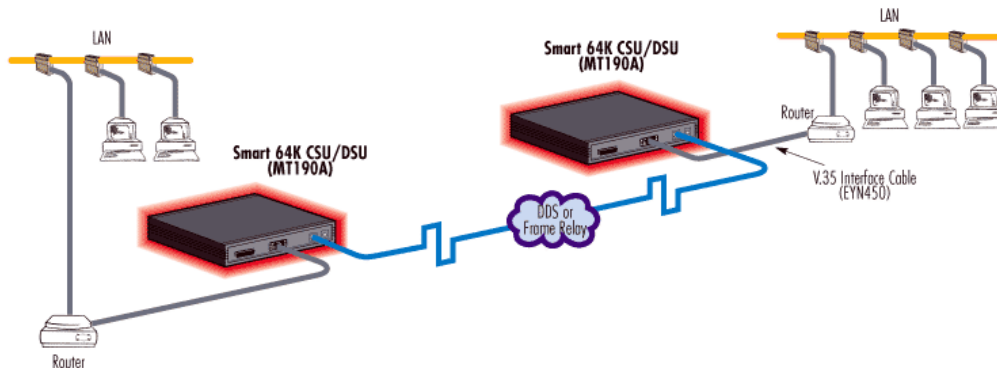
Klasyczny schemat połączenia

- DCE (Data Communications Equipment)
 - Urządzenia przesyłające dane przez pętle lokalną
 - Koniec instalacji komunikacyjnej, po stronie dostawcy sieci WAN
- DTE (Data Terminal Equipmet)
 - Urządzenie klienta, które przekazuje dane do urządzeń DCE
 - Urządzenia z interfejsem podłączonym do sieci WAN



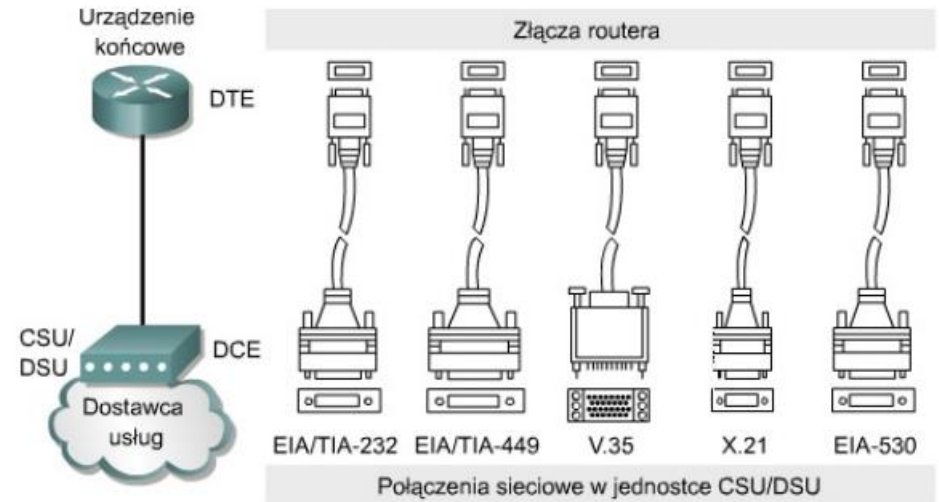
Problem ostatniej mili

- Dostarczenie sygnału (usług) z sieci WAN do sieci lokalnej abonenta
- „ostatnia mila” – odcinek pomiędzy węzłem sieci szkieletowo dystrybucyjnej a użytkownikiem końcowym
- Mila/kilometr - metafora
- Przykłady
 - Kable miedziane sieci telefonicznej do centrali
 - Bezprzewodowy sygnał z anteny sieci GSM do telefonu komórkowego
- Technologie
 - Oparte o łącza telefoniczne – ISDN / DSL
 - WiMAX, GPRS, EDGE, HSDPA, LTE
 - PON

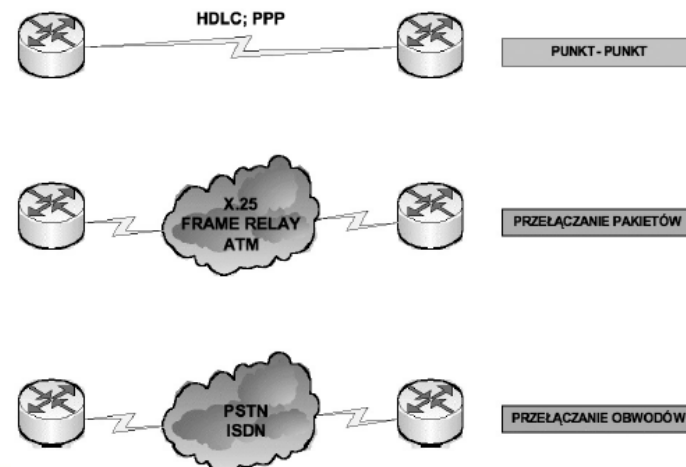


Standardy sieci WAN

- Warstwa fizyczna
 - Parametry nawiązywania połączeń
 - Specyfikacja złącz
 - Elektryczne,
 - Mechaniczne,
 - Funkcjonalne

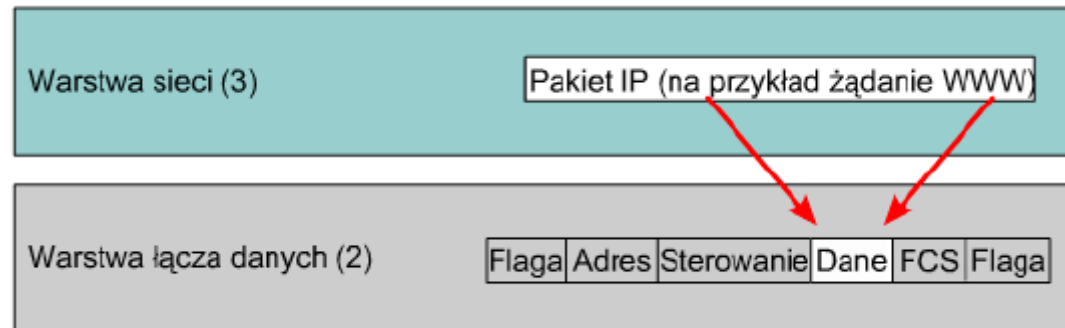


- Warstwa łącza danych
 - Mechanizm transferu ramek
 - Sposoby enkapsulacji danych



Enkapsulacja w sieciach WAN

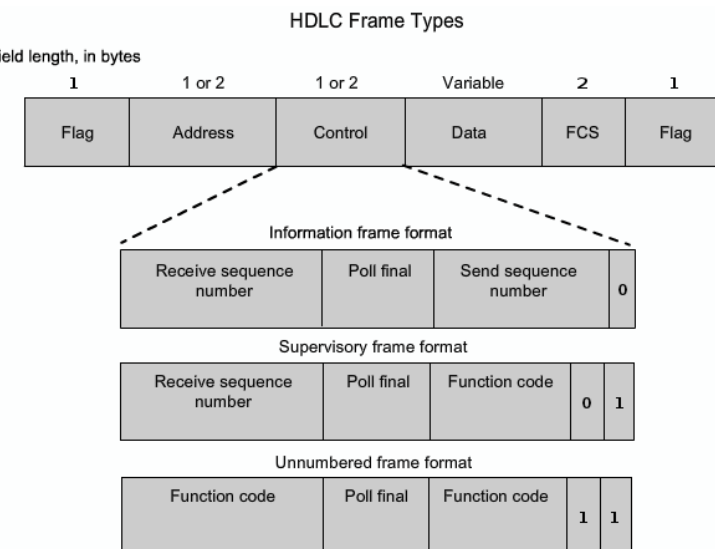
- Przekazanie danych
 - z warstwy sieciowej
 - do warstwy łącza danych
 - w celu przesłania przez łącze fizyczne
- Do enkapsulacji ruchu przesyłanego przez łącze stosowany jest protokół HDLC (High-Level Data Link Control)



- Dwie wersje implementacji
 - Wersja ISO
 - Wersja CISCO (obsługa wielu protokołów jednym połączeniem)

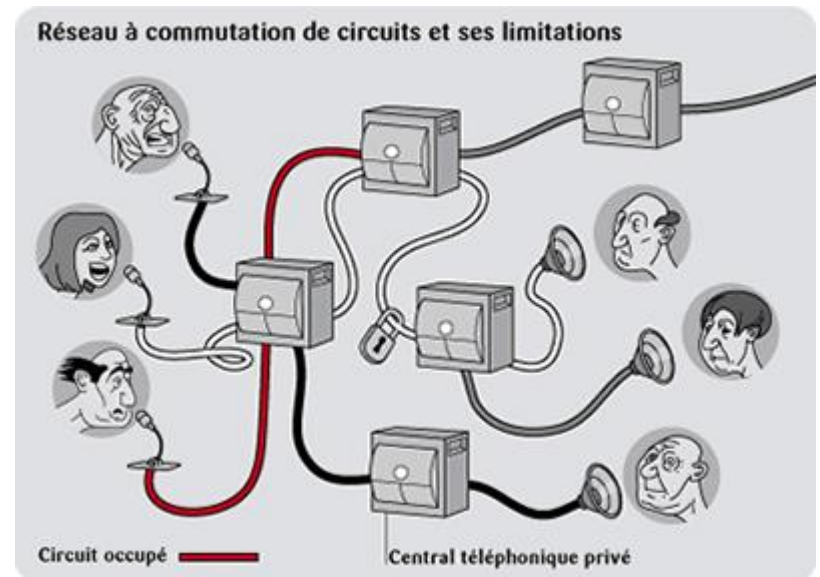
Enkapsulacja HDLC

- HDLC – protokół warstwy łącza danych stosowany w sieciach WAN
 - Gwarantuje niezawodną transmisję danych przez zawodne łącza
 - Posiada wbudowane mechanizmy kontroli przepływu i naprawy błędów
- Tryby pracy
 - NRM (normal response mode) – urządzenie działające jako slave nie może inicjować transmisji
 - ARM (asynchronous response mode) – slave może inicjować transmisję
- Ramka HDLC
 - Kończy i zaczyna się 8 bitowym polem flagi: 01111110
 - Flaga kończąca jedną ramkę jest flagą początkową następnej ramki
 - Pole sterujące określa typ ramki:
 - Informacyjna (I) – zawiera dane warstwy sieciowej (użytkownika)
 - Administracyjna (S) – steruje przepływem ramek informacyjnych, obsługuje mechanizmów korekcji błędów
 - Nienumerowane (U) – zawiera komunikaty konfiguracyjne łącza
- Zaadaptowany do różnych standardów WAN
 - X.25 – jako LAPB
 - V.24 – jako LAPM
 - FrameRelay – jako LAPF
 - ISDN - LAPD



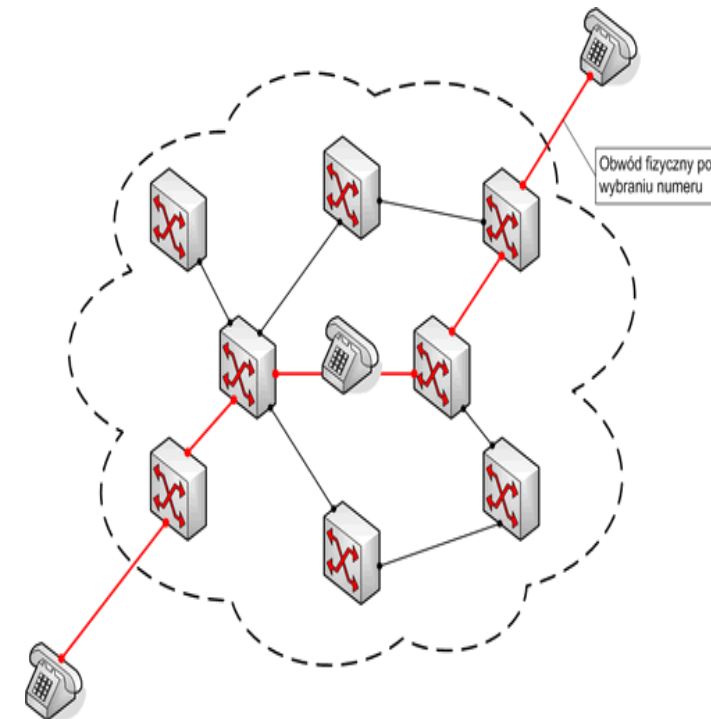
Techniki komutacji w sieciach WAN

- Komutacja: *sposób transferu informacji od węzła źródłowego do węzła końcowego poprzez węzły tranzytowe*
- Techniki komutacji:
 - Komutacja kanałów
 - Komutacja pakietów
 - Komutacja komórek
 - Komutacja ramek



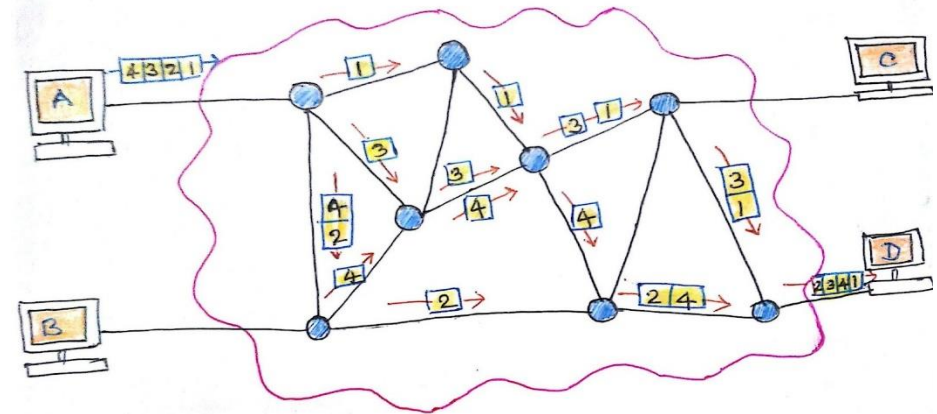
Komutacja kanałów

- Nazywana także:
 - Komutacja łączy
 - Komutacja obwodów
- Przydzielenie dla danego łączy dedykowanej sekwencji połączonych kanałów od terminala źródłowego do docelowego
- Łącze zarezerwowane na cały czas połączenia
- Przesył danych po zestawieniu połączenia
 - Faza ustanawiania połączenia
 - Transfer danych
 - Rozłączanie połączenia
- Cechy
 - Stosunkowo niska efektywność
 - Zajęcie kanałów na wyłączność
 - Fazy ustanawiania i rozłączania
 - Wysoka jakość transmisji
 - Trwały kanał
 - Stałe parametry
 - Stosunkowo wysokie koszty eksploatacji

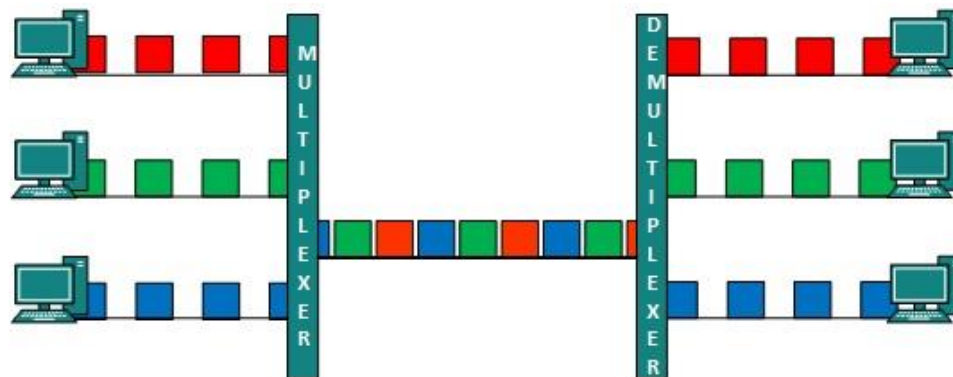


Komutacja pakietów

- Umożliwia nawiązywanie połączenia z wieloma użytkownikami jednocześnie
- Pakiety wielu nadawców w ramach jednego łącza
- Dane przesyłane w postaci pakietów
 - Podział informacji użytkownika na części o stałej długości
 - Dodatkowy nagłówek
 - Transfer od adresata do odbiorcy
 - Sprawdzenie poprawności danych w węzłach pośrednich
 - Zestawienie i odtworzenie danych u odbiorcy
- Podział łącza dla wielu użytkowników :
mechanizm TDM – Time division multiplexing



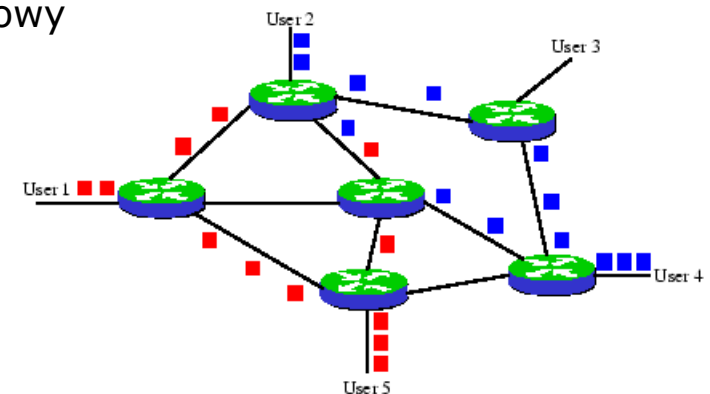
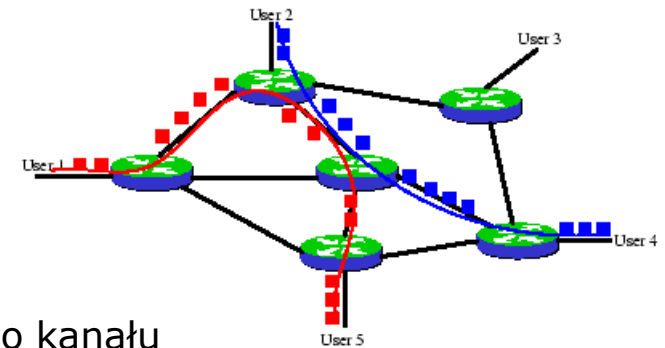
Datagram approach



Komutacja pakietów – metody transmisji

- Połączeniowa (virtual circuit packet switching)
 - Pakiety kierowane zawsze tą samą trasą
 - Przesyłanie pakietów poprzedzone zestawieniem połączenia wirtualnego
 - Wiele połączeń wirtualnych w ramach jednego fizycznego kanału
 - Zastąpienie adresów źródł/doc identyfikatorem połączenia wirtualnego
 - Informacja o kolejności węzłów w kanale wirtualnym w węzłach sieci

- Bezpołączeniowa (datagram packet switching)
 - Pakiety transmitowane różnymi trasami
 - Trasa dobierana przez węzły w oparciu o adres docelowy
 - Różna kolejność dotarcia pakietów do odbiorcy
 - Zadania odbiorcy: synchronizacja, wykrycie błędów i pakietów utraconych

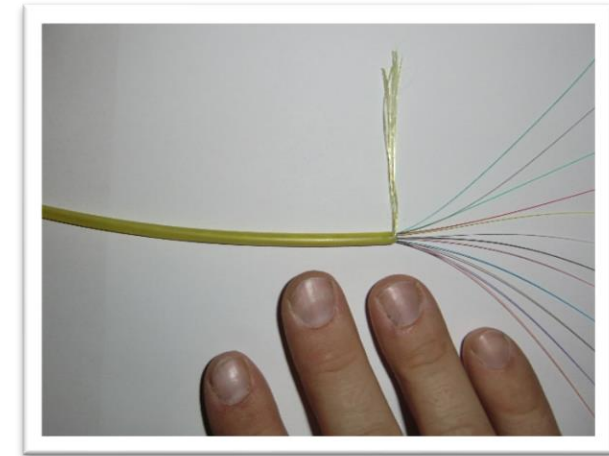


Komutacja ramek i komórek

- Szybka odmiana techniki komutacji pakietów
- Przystosowana do sieci opartej o łącza wysokiej jakości (zwykle światłowody)
- Komutacja ramek:
 - Porcje danych: ramka
 - Redukcja mechanizmów pozwalających na korekcję błędów i kontrolę przepływu
 - Kontrola poprawności danych wykonywana na urządzeniu końcowym (mała szansa na wystąpienie błędów)
 - Błędne ramki usuwane w węzłach (bez powiadomienia nadawcy/odbiorcy)
- Komutacja komórek
 - Porcja danych – komórka – stałej długości + nagłówek
 - Węzły w sieci nie odpowiadają za sprawdzenie poprawności transmisji
 - Zadania odbiorcy
 - Ustalanie kolejności
 - Wykrywanie ramek uszkodzonych
 - Wykrywanie ramek zagubionych

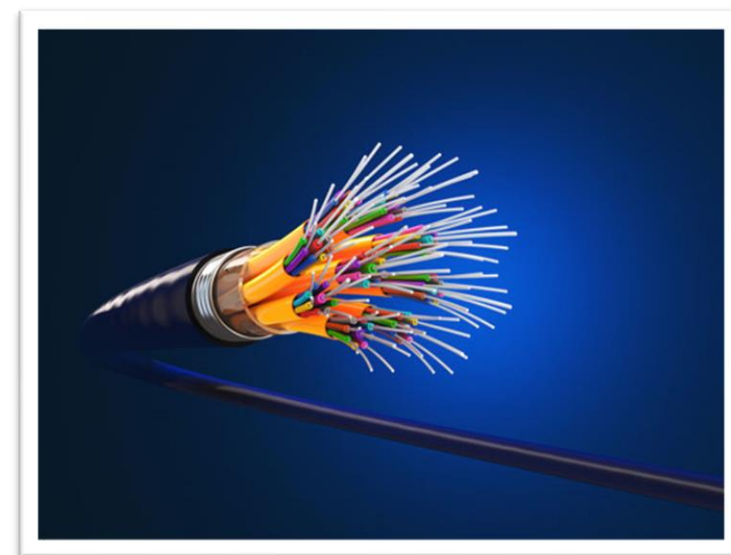
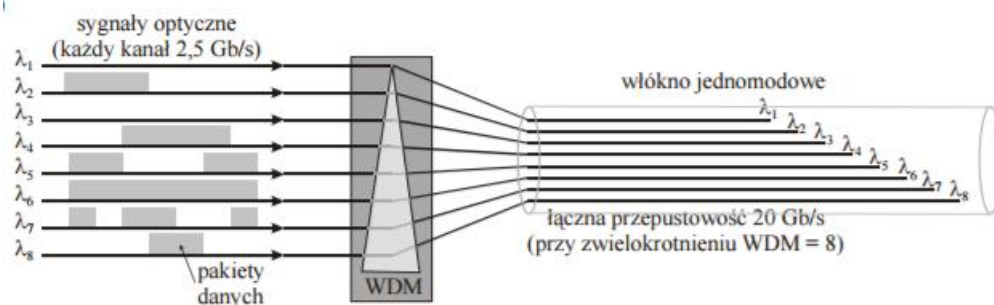
Media transmisyjne w sieciach WAN

- Okablowanie elektryczne (kable koncentryczne, skrętka)
 - Możliwość transmisji wielu poziomów napięć
 - Częstotliwości rzędu GHz
 - Zakłócenia elektryczne, tłumienie
 - Przepustowości zależne od jakości okablowania
- Światłowody
 - Częstotliwość modulacji sygnału (binarnego) THz
 - przepustowość teoretyczna do 3Tb/s
 - Realna przepustowość – do 100 Gb/s (zwykle 10-40Gb/s)
- Rekordy przepustowości transmisji światłowodowej (zmultipleksowanej WDM)
 - 2006r – 14 Tb/s (160km) - Nippon Telegraph
 - 2009r – 15,5 Tb/s (7000km) – Bell Labs
 - 2010r – 69 Tb/s (240km) – Nippon Telegraph
- Światło w atmosferze – 74 Tb/s (eksperymentalne, niestosowane)
- Komunikacja bezprzewodowa
 - GSM/UMTS/LTE/5G – 28/300/4000 Mb/s
 - WiMAX – do 40Mb/s
- Odległość a rodzaj mediów (najpopularniejsze, stosunek ceny do jakości)
 - do 200 m – skrętka
 - 200m do 2 km – światłowód wielomodowy
 - Powyżej 2 km – światłowód jednomodowy



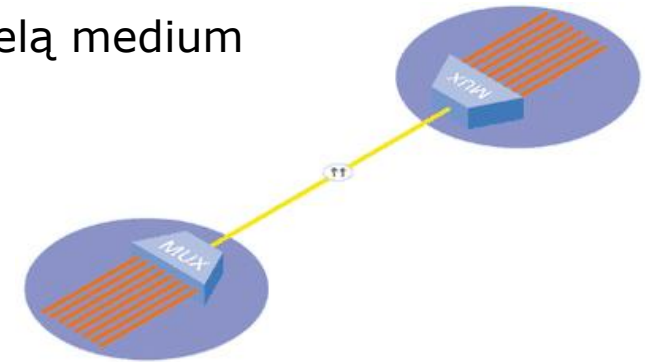
Metody zwiększenia przepustowości łączy

- Zmiana tradycyjnego nośnika sygnału na światłowód
- zwiększenie przepustowości przy zmianie światłowodu z pracującego w zakresie 1300 nm na pracujący przy 1550 nm (wzrost do 10 Gb/s)
- instalacja dodatkowych włókien (nowych kabli)
- zastosowanie szybszej elektroniki
- zastosowanie technik multipleksacji (z wielokrotnienia) – np. WDM

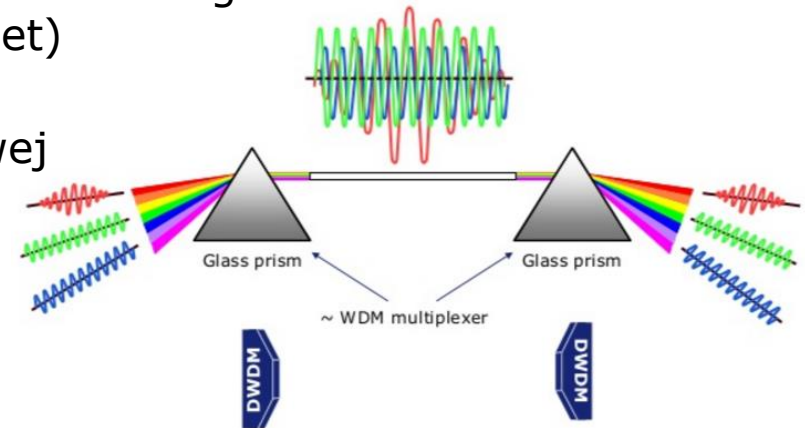


Multiplexowanie

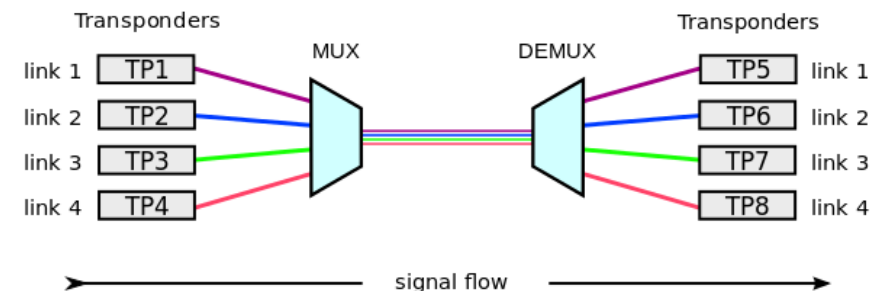
- Multipleksacja (pol. zwielokrotnianie, ang. multiplexing) – metoda realizacji dwóch lub większej liczby kanałów komunikacyjnych w jednym medium transmisyjnym (np. para przewodów światłowodów, powietrze itp.).
- Użytkownicy kanałów nie powinni odczuwać, że współdzielą medium transmisyjne.
- Pozwala ograniczyć liczbę stosowanych mediów transmisyjnych, zwłaszcza kabli.
- Techniki multipleksacji:
 - Multipleksacja przestrzenna – SDM (Space Division Multiplexing)
istnieje wiele fizycznych linii w medium (rdzeni światłowodu, przewodów elektrycznych) przeznaczonych do transmisji poszczególnych sygnałów. Alternatywa: podział obszarami (BSS w sieciach komórkowych).
 - Multipleksacja z podziałem czasu – TDM (Time Division Multiplexing)
podział sygnałów na części i przypisanie im szczelin czasowych
 - Multipleksacja z podziałem częstotliwości – FDM (Frequency Division Multiplexing)
Sygnały przetwarzane są na zmiany częstotliwości wokół środkowej częstotliwości nośnej kanałów. Kanały sąsiadują ze sobą a każdy ma inną częstotliwość środkową.
 - Multipleksacja z podziałem długości fali – WDM (Wavelength Division Multiplexing)
Przesyłany sygnał pochodzi z oddzielnych źródeł. Każdemu sygnałowi przypisana jest jego własna długość fali. Realizowane tylko w systemach optycznych.
 - Multiplexowanie kodowe – CDM (Code Division Multiplexing)
niezależne kodowanie każdego z sygnałów kodem (sekwencją) rozpraszającym. Wszystkie sygnały są przesyłane w tym samym paśmie transmisyjnym. Ze względu na ortogonalność stosowanych kodów rozpraszających odbiornik jest w stanie zdekodować wysłany do niego sygnał.



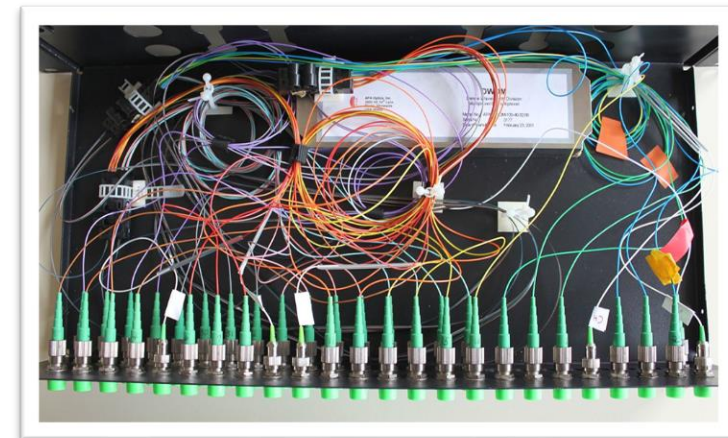
- WDM (ang. Wavelength Division Multiplexing) – zwielokrotnianie w dziedzinie długości fali realizowane za pomocą światła laserowego.
- **Fizyczna technologia** współpracująca z różnymi technologiami inżynierii ruchu (MPLS, IPoDWDM, Carrier Ethernet)
- transmisja sygnału cyfrowego w formie analogowej
- podział światła laserowego na wiele fal o różnych długościach
- Zwykle na kablach jednomodowych
- Fale przesyłane
 - w tym samym czasie,
 - w tym samym medium transmisyjnym (włóknie optycznym)
- Każda długość fali tworzy osobny "kanał", który może przenosić informację.



wavelength-division multiplexing (WDM)



- Zwielokrotnienie pojedynczego sygnału o przepustowości 100Gbit/s na parze (przy 160 kanałach = 16Tbit/s)
- Podział w zależności od liczby kanałów
 - CWDM – Coarse Wave Division Multiplexing (16 lub 18 kanałów) – 20nm między kanałami
 - DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing. (40, 80, 160, 320) – 0,4nm między kanałami (przepustowość nawet do 400Gb/s)
- Problemy techniczne
 - Mechanizmy degradujące jakość sygnału optycznego
 - Liniowe – szum optyczny, szum termiczny, zniekształcenia (dyspersje)
 - Nieliniowe – mieszanie czterofalowe FWM, automodulacja fazy SPM, skrośna modulacja fazy XPM oraz wymuszone rozpraszanie Ramana SRS
 - Rozwiązania
 - nadmiarowe kodowanie korekcyjne FEC
 - Stosowanie wzmacniaczy/repeaterów (~100km)
- Wprowadzanie WDM na aktualnej infrastrukturze
 - Wymiana wzmacniaczy optycznych i (de)multiplexerów
 - W oparciu o „stare” kable światłowodowe



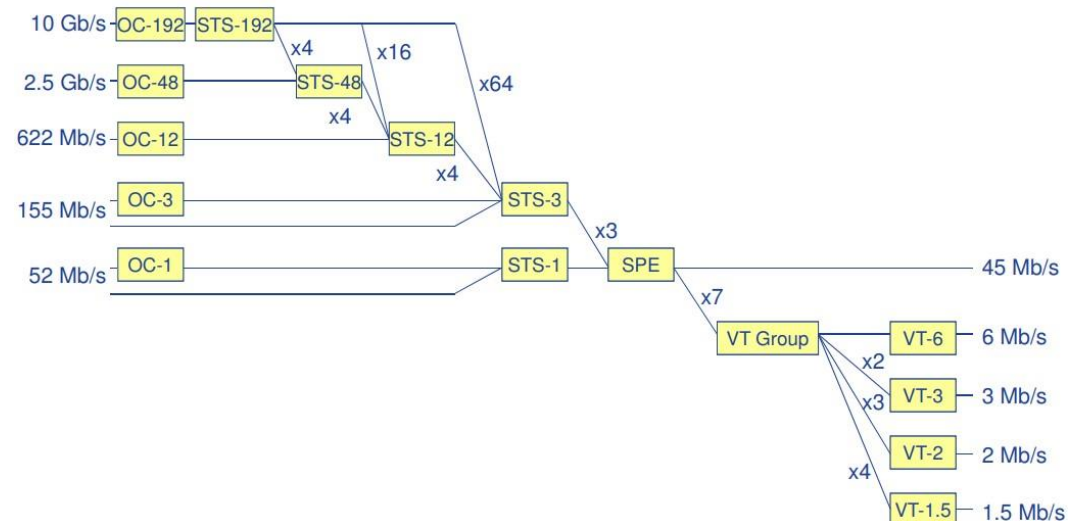
- OCx – Optical Carrier transmission rates – zestaw standardowych przepustowości transmisji w łączach światłowodowych
- Transmisja danych w ramach standardów SONET/SDH
- Podstawowa jednostka 51,48 Mbit/s - OC-n gdzie n to $n \cdot 51,48 \text{ Mb/s}$
 - OC-12 (622Mb/s) – łączy WAN małych ISP
 - OC-48 (2,4Gb/s) – część regionalnych łączy szkieletowych małych i średnich ISP
 - OC-192 (10Gb/s) – standardowo wykorzystywane przy 10GbE
 - OC-768 (40GB/s) – podstawowe przepustowości szkieletowych sieci WAN głównych teleoperatorów

Optical Level	Electrical Level	Line Rate (Mbps)	Payload Rate (Mbps)	Overhead Rate (Mbps)	SDH Equivalent
OC-1	STS-1	51.840	50.112	1.728	-
OC-3	STS-3	155.520	150.336	5.184	STM-1
OC-9	STS-9	466.560	451.008	15.552	STM-3
OC-12	STS-12	622.080	601.344	20.736	STM-4
OC-18	STS-18	933.120	902.016	31.104	STM-6
OC-24	STS-24	1244.160	1202.688	41.472	STM-8
OC-36	STS-36	1866.240	1804.032	62.208	STM-13
OC-48	STS-48	2488.320	2405.376	82.944	STM-16
OC-96	STS-96	4976.640	4810.752	165.888	STM-32
OC-192	STS-192	9953.280	9621.504	331.776	STM-64
OC-768	STS-768	39818.120	38486.016	1327.104	STM-256

Technologie transmisji sygnału – SDH/Sonet

- SONET – Synchronous Optical Network (Synchroniczna Sieć Optyczna)
 - To nie są protokoły transmisji
 - są to **standardy transmisji sygnału** (kontenery transportowe) w oparciu o kable światłowodowe
 - Nadajniki: lasery lub diody LED
 - Opracowane w laboratoriach Bell w latach 80tych
 - Dwie wersje
 - Stany Zjednoczone – klasyczny SONET w oparciu o 193 bitową ramkę T-Carrier
 - Europa – SDH (Synchronous Digital Hierarchy) w oparciu o 256 bitową ramkę E-Carrier
 - Przepływowość podstawowa Sonet STS-1 (OC-1) – 54 Mbit/s (155Mbit/s dla SDH-STM1)

System Sygnałów		Symbol OC	Szybkość transmisji (Mbit/s)
SONET	SDH		
STS-1		OC-1	51,84
STS-3	STM-1	OC-3	155,52
STS-9	STM-3	OC-9	466,56
STS-12	STM-4	OC-12	622,08
STS-18	STM-6	OC-18	933,12
STS-24	STM-8	OC-24	1244,16
STS-36	STM-12	OC-36	1866,24
STS-48	STM-16	OC-48	2488,32
STS-96	STM-32	OC-96	4976,64
STS-192	STM-64	OC-192	9953,28

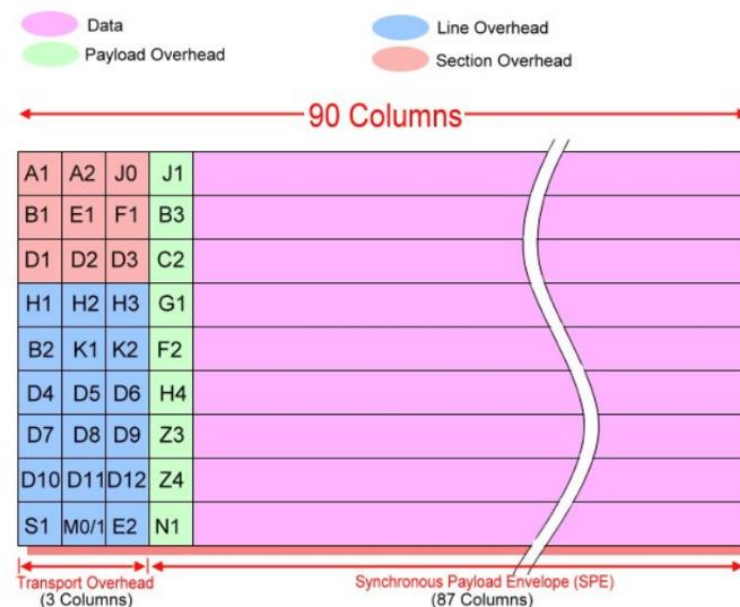


SONET – Synchronous Optical Network (Synchroniczna Sieć Optyczna)

- Różnica w stosunku do transmisji pakietowej (np. w Ethernetie) (nagłówek, dane (zmienniej długości), suma kontrolna)

SONET:

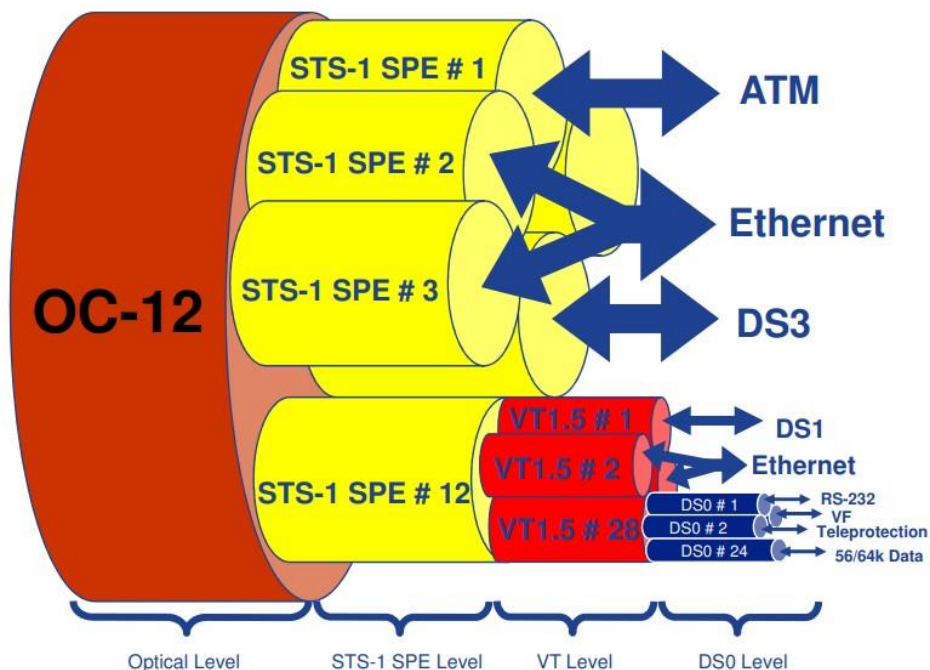
- Czas transmisji pojedynczej ramki to zawsze 125 μ s (mikrosekund) (8000 ramek na sekundę)
- Header vs overhead
- Transmisja „rząd po rzędzie” (overhead+payload)
- Przepływowość podstawowa Sonet (OC-1) – 54 Mbit/s
- Rozmiar ramki STS-1 (OC-1) to 9 rzędów po 90 bajtów = 810 bajtów



SONET – kolejne poziomy zwielokrotnienia

- SONET – Synchronous Optical Network (Synchroniczna Sieć Optyczna)
 - Czas transmisji pojedynczej ramki to zawsze 125 μ s (8000 ramek na sekundę)
 - Gdy łącze obsługuje szybszą transmisję
 - zwiększa się rozmiar ramki (liczbę kolumn)
 - Multipleksuje się kolejne ramki w ramach tej samej szczeliny czasowej
 - W ramach zmultipleksowanych danych mogą być przesyłane różne protokoły

System Sygnałów		Symbol OC	Szybkość transmisji (Mbit/s)
SONET	SDH		
STS-1		OC-1	51,84
STS-3	STM-1	OC-3	155,52
STS-9	STM-3	OC-9	466,56
STS-12	STM-4	OC-12	622,08
STS-18	STM-6	OC-18	933,12
STS-24	STM-8	OC-24	1244,16
STS-36	STM-12	OC-36	1866,24
STS-48	STM-16	OC-48	2488,32
STS-96	STM-32	OC-96	4976,64
STS-192	STM-64	OC-192	9953,28



Ramka STS-3 (OC-3)
(zmultipleksowane 3x STS-1)

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	Z0	Z0											
B1	X	X	E1	X	X	F1	X	X											
D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X											
H1	H1	H1	H2	H2	H2	H3	H3	H3											
B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X											
D4	X	X	D5	X	X	D6	X	X											
D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X											
D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X											
S1	Z1	Z1	Z2	Z2	M1	E2	X	X											

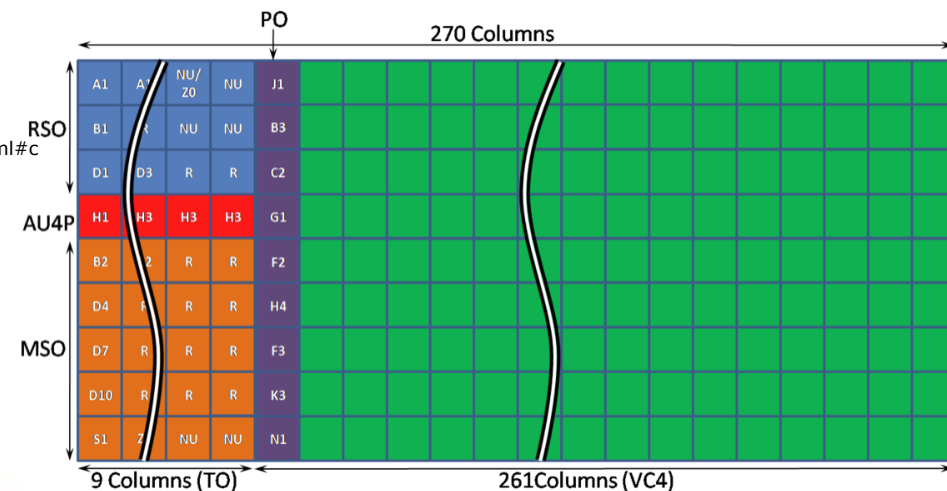
- SDH – Synchronous Digital Hierarchy - Synchroniczna Hierarchia Systemów Cyfrowych
 - Podstawowa przepływowość – 155 Mb/s –STM-1 (ramka OC-3)
 - Kolejne poziomy zwielokrotnienia – STM-n – zwiększa się „długość rzędu”
 - Aktualnie STM-768 (120 Gbit/s).
 - Wykorzystywane przez: GSM, Internet, FDDI)
 - Budowa ramki
 - 9 kolumn – nagłówek
 - 261 kolumn – dane
 - Niektóre elementy nagłówka
 - A1, A2 – framing bytes – znacznik początku ramki
 - B1 – bit interleaved parity – bit parzystości
 - E1 – orderwire - voicechannel
 - D1-3,4-12 – section data communication channel (zarządzanie, monitorowanie, alarmy)
 - S1 – synchronization status

System Sygnałów		Symbol OC	Szybkość transmisji (Mbit/s)		
SONET	SDH				
STS-1		OC-1	51,84		
STS-3	STM-1	OC-3	155,52	STM-1	(155,52 Mbit/s),
STS-9	STM-3	OC-9	466,56	STM-4	(622,08 Mbit/s),
STS-12	STM-4	OC-12	622,08	STM-16	(2488,32 Mbit/s),
STS-18	STM-6	OC-18	933,12	STM-64	(9953,28 Mbit/s),
STS-24	STM-8	OC-24	1244,16	STM-256	(39813,12 Mbit/s),
STS-36	STM-12	OC-36	1866,24	STM-512	(80 Gbit/s).
STS-48	STM-16	OC-48	2488,32	STM-768	(120 Gbit/s).
STS-96	STM-32	OC-96	4976,64		
STS-192	STM-64	OC-192	9953,28		

<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/optical/synchronous-optical-network-sonet/28081-sonet-28081.html#c>

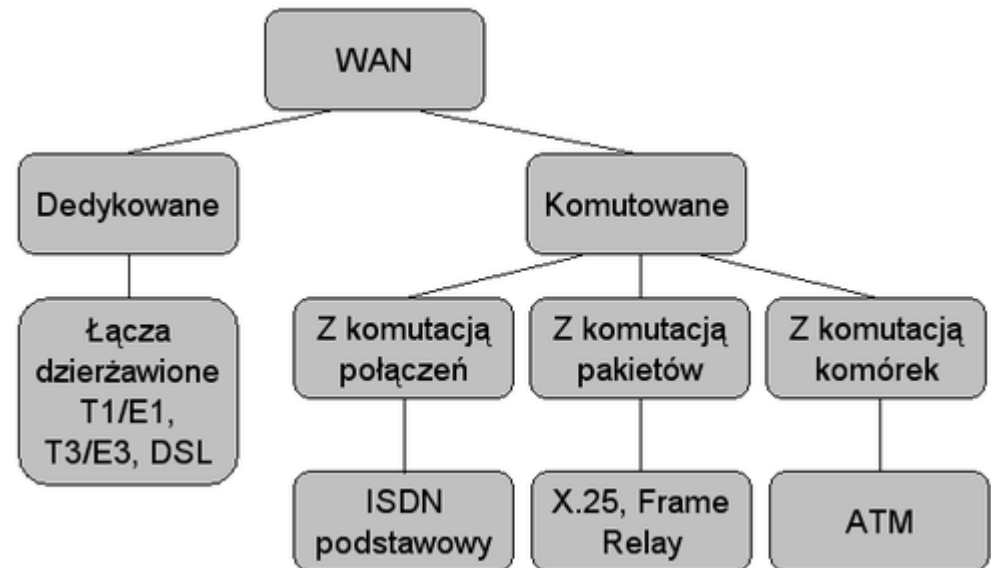
The STM-1 base frame is structured with the following characteristics:

- **Length:** 270 column × 9 row = 2430 bytes
- **Byte:** 1-byte = 8 bit
- **Duration (Frame repetition time):** 125 μs i.e. 8000 frame/s
- **Rate (Frame capacity):** 2430 × 8 × 8000 = 155.5200 Mbit/s
- **Payload =** 2349bytes × 8bits × 8000frames/sec = 150.336 Mbit/s



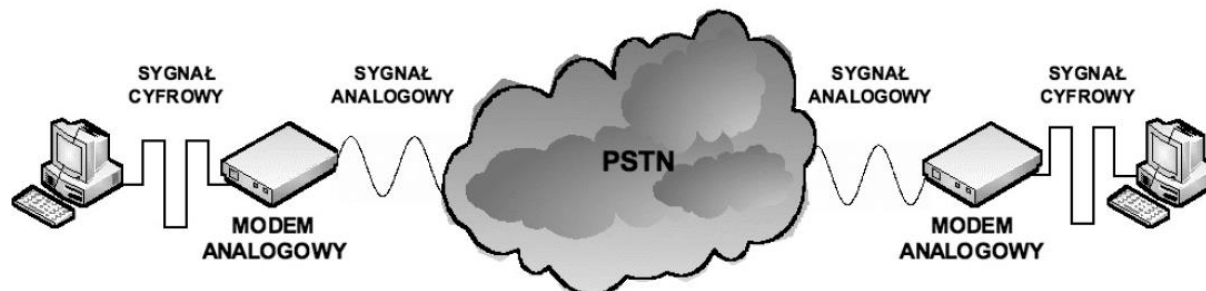
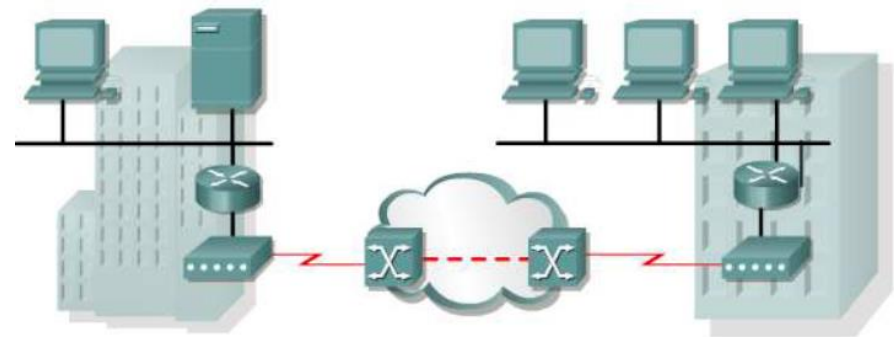
Technologie sieci WAN

- Łącze dzierżawione
- Analogowe łącze dodzwaniane
- ISDN
- DSL
- Modemy kablowe
- Frame Relay
- ATM
- MPLS

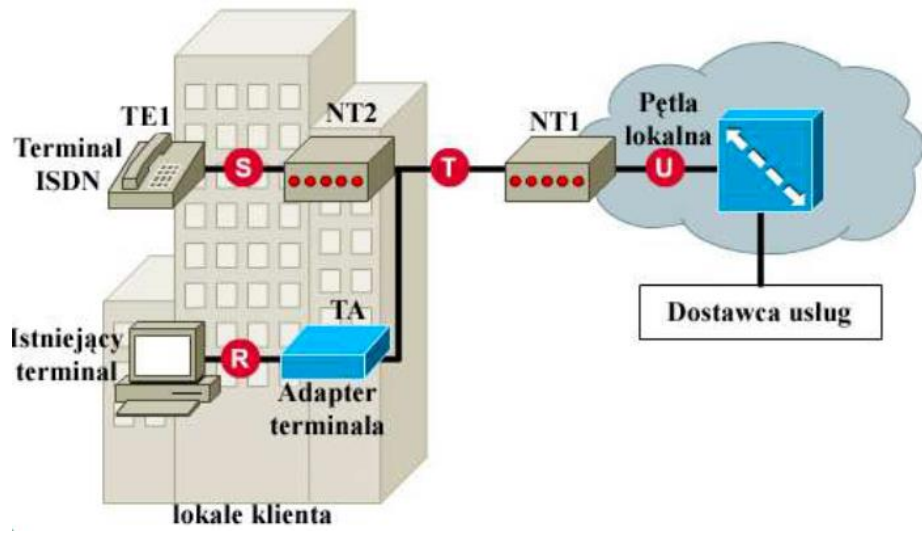


Analogowe łącze dzwaniące - PSTN

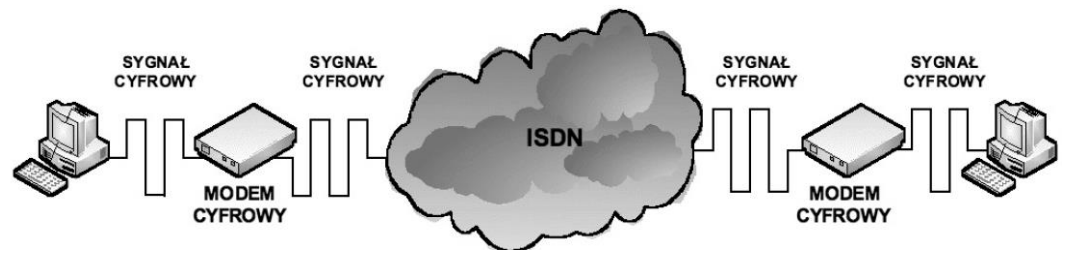
- Pierwsze sieci WAN - oparte o **modemy i analogowe linie telefoniczne**
- Public Switched Telephone Network – Publiczna komutowana sieć telefoniczna
- Połączenia komutowane o niskiej przepustowości - do 33Kb/s
- Modem – zamienia dane cyfrowe na analogowy sygnał łącza (i odwrotnie)
- Sporadyczne transfery danych o niewielkiej objętości
- Połączenia taryfowe zależne od pory dnia
- Zalety:
 - prostota,
 - niskie koszty wdrożenia
- Wady:
 - długi czas łączenia,
 - niska przepustowość (audio/video)
- Obecnie rzadko spotykane



- Integrated Services Digital Network
- Świadczenie **usług cyfrowych** z wykorzystaniem **okablowania telefonicznego**
- Kompatybilność na poziomie międzynarodowym
- Szybszy transfer i zestawienie połączenia w porównaniu z modemami analogowymi
- Integracja przesyłu – jednoczesny przesył głosu oraz danych cyfrowych (kanały)
- Gwarantowana przepływność transmisji (bez względu na odległość)



TE1	Oznacza urządzenie kompatybilne z siecią ISDN. Łączy się z terminatorem NT 1 lub 2.
TE2	Oznacza urządzenie, które nie jest kompatybilne z siecią ISDN. Wymaga TA.
TA	Zmienia sygnały elektryczne na postać stosowaną w ISDN, tak aby urządzenia TE2 mogły funkcjonować w sieci ISDN.
NT1	Łączy czteryżyłowe okablowanie abonenckie ISDN z konwencjonalną, dwużyłową lokalną pętlą.
NT2	Kieruje ruch do i z urządzeń abonenckich i NT1. Jest urządzeniem wykonującym zadania przełącznika i koncentratora z regeneracją.



Usługi ISDN

- Usługi ISDN

- system wielu kanałów cyfrowych w ramach pojedynczego łącza
- wyróżniony kanał sygnalizacyjny stosowany do zestawiania połączeń w pozostałych kanałach
- BRI – Basic Rate Interface
 - Dwa 8 bitowe kanały B (dane) i jeden 2 bitowy kanał D (synchronizacja)
- PRI – Primary Rate Interface
 - 30 kanałów 8 bitowych (B) i jeden 8 bitowy kanał D (2 Mb/s)
 - W USA i Japoni (23 kanały B)

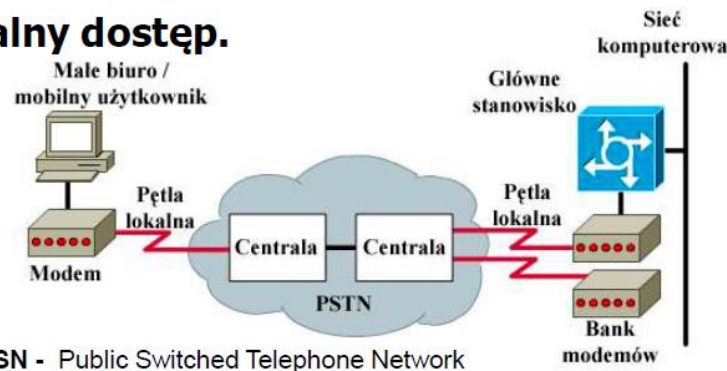


14001

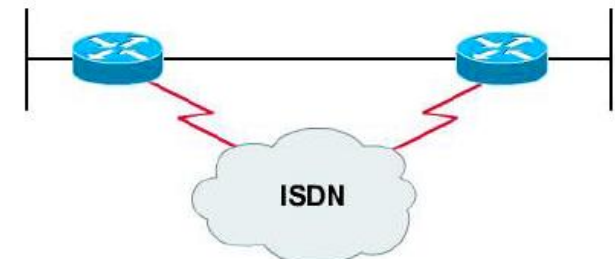
- Zastosowania

- Zdalny dostęp
- Zdalne węzły
- Zapewnienie łączności małym sieciom
- Zapasowe łącze

Zdalny dostęp.



Zapasowe łącze.



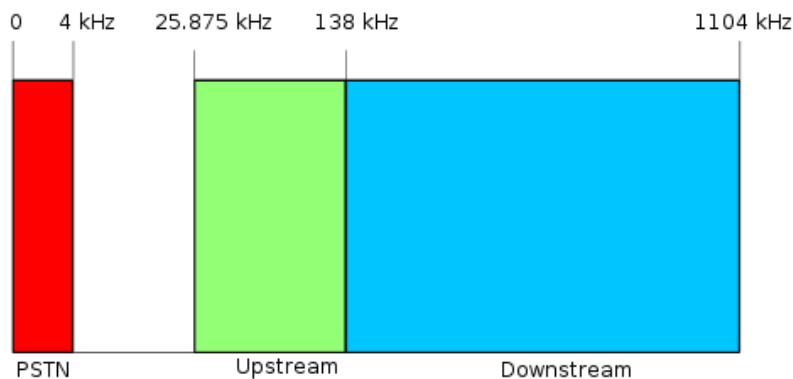
DSL

- Cyfrowe łącze abonenckie DSL (Digital Subscriber Line)
- Technologia szerokopasmowa umożliwiająca przesyłanie danych do abonentów po **cyfrowych liniach telefonicznych**
- Technologia szerokopasmowa – wiele częstotliwości w jednym fizycznym nośniku
- Od 300Hz – 1,1MHz
 - do 20kHz – głos
 - 20kHz – 1,1MHz – upstream (wysyłanie) + downstream (pobieranie) danych
- xDSL – różne warianty technologii DSL
 - ADSL (Asymmetric DSL) – asymetryczne łącza DSL
 - SDSL (Symmetric DSL) – symetryczne łącza DSL
 - HDSL (High Bit Rate DSL) – DSL o dużej szybkości bitowej
 - IDSL – DSL typu ISDN
 - CDSL (Consumer DSL) – konsumenckie łącza DSL

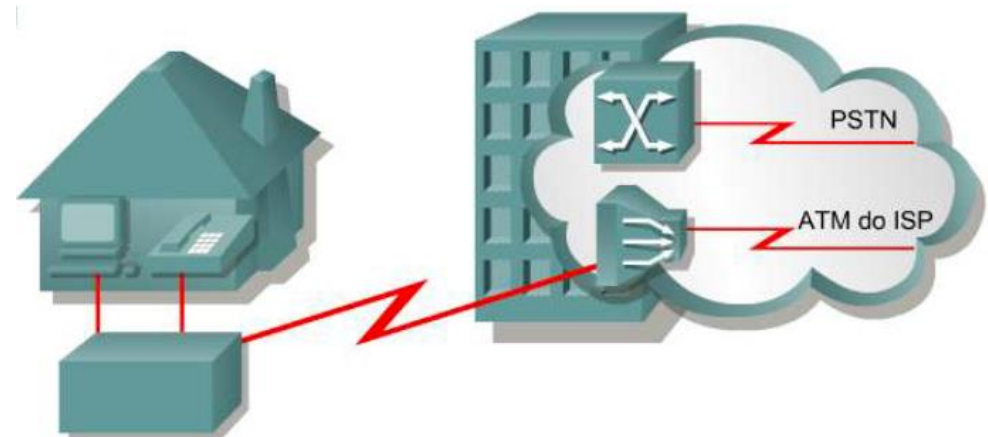
Usługa	Pobieranie	Wysyłanie
ADSL	64 kbps - 8.192 Mbps	16 kbps - 640 kbps
SDSL	1.544 Mbps - 2.048 Mbps	1.544 Mbps - 2.048 Mbps
HDSL	1.544 Mbps - 2.048 Mbps	1.544 Mbps - 2.048 Mbps
IDSL	144 kbps	144 kbps
CDSL	1 Mbps	16 kbps - 160 kbps

DSL

- Jednoczesna transmisja głosu i danych
 - Kanał głosowy standardowego telefonu - częstotliwości 330Hz – 3,3kHz
 - Transmisja danych w DSL - częstotliwości powyżej 4 kHz
- Przepustowości do 8 Mb/s (zaawansowane techniki kodowania i modulacji)
- Wiele linii abonenckich DSL może być multipleksowanych w łącze o dużej przepustowości
- Podstawowe wersje DSL (asymetryczna ADSL i symetryczna DSL)
- Przepustowość zależy od długości pętli lokalnej (od 3 do 6km), typu i stanu okablowania

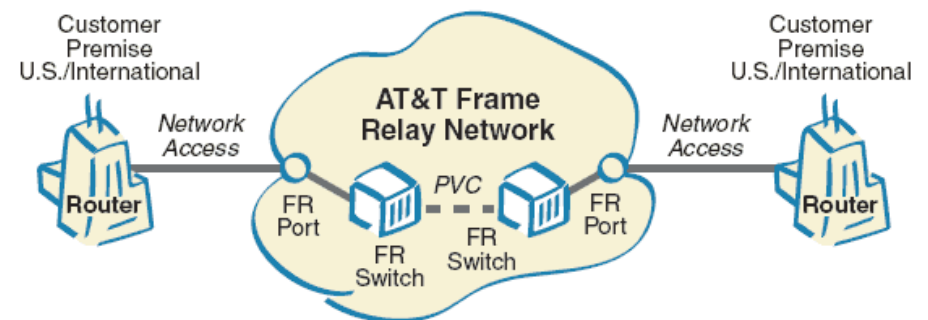


ADSL – podział pasma

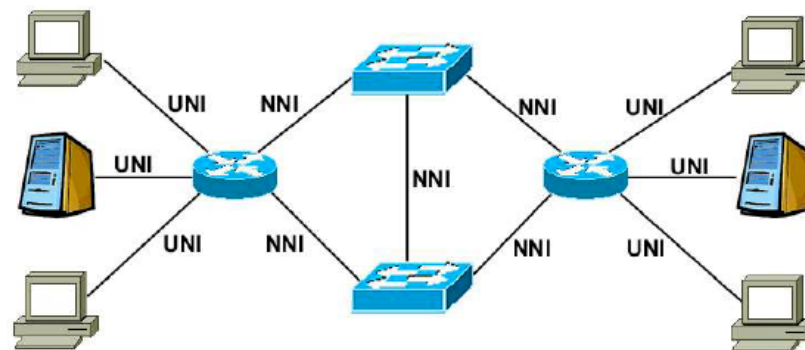


Frame Relay

- Następca standardu X.25, poprzednik ATM
- połączeniowa usługa sieci WAN z komutacją pakietów
- Działa w warstwie łącza danych (adresacja)
- W warstwie fizycznej oparta na SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
- Protokół LAPF (Link Access Procedure for Frame Relay)
 - Przesył ramek danych pomiędzy:
 - Urządzeniami dostępowymi użytkowników DTE (Data Terminal Equipment) na obrzeżach sieci WAN (terminale, komputery, routery, mosty, multipleksery)
 - Urządzeniami komunikacyjnymi DCE (Data Circuit terminating Equipment)
- Składa się z wielu znajdujących się w różnych miejscach przełączników FR połączonych przy użyciu łączy rozległych
- Obwód wirtualny – **VC (virtual circuit)** - połączenie pomiędzy **dwoma urządzeniami DTE**
- Łącze dostępowe w sieci Frame Relay
 - Standardowa przepustowość – do 4Mb/s
 - linia dzierżawiona (do 45 Mb/s)



- ATM (Asynchronous Transfer Mode)
 - Szerokopasmowy standard komunikacji realizujący przesył pakietów przez łącza wirtualne
 - Technologia powstała w 1988 roku
 - Założenie: integracja sieci LAN, WAN i PTSN (Public Switched Telephone Network)
 - Standard ATM został opracowany przez CCITT jako element specyfikacji szerokopasmowych sieci cyfrowych z integracją usług (BISDN)
 - Jest wykorzystywany do przesyłania danych przez sieć z dużą przepustowością
- Definiuje zasady komunikacji w sieci
- Nie definiuje medium transmisyjnego (pomiędzy węzłami)
 - Światłowody
 - Kable koncentryczne
 - Transmisja bezprzewodowa
- Dwa typy interfejsów
 - UNI – User to Network Interface – interfejs pomiędzy sprzętem użytkownika a zakończeniem sieci szerokopasmowej
 - NNI – Network to Network Interface – interfejs w węzłach sieci, do komunikacji z innymi węzłami

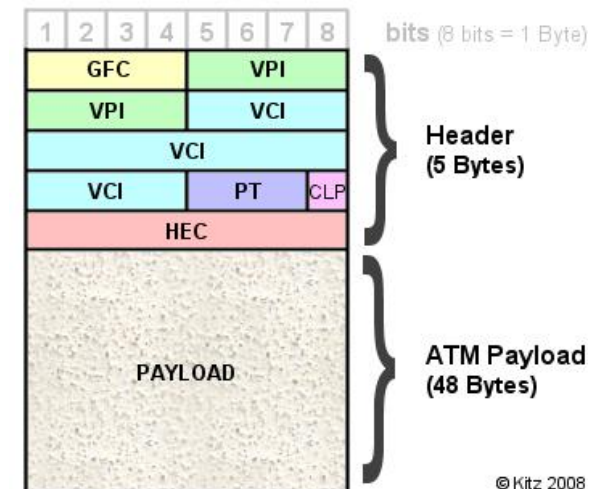


Połączenia wirtualne w sieciach ATM

- ATM – technologia połączeniowa
 - Zanim zostanie rozpoczęte przesyłanie danych wymagana jest faza nawiązywania i zestawiania połączenia
 - W oparciu o deklarowane parametry QoS sieć ustala
 - Czy może zapewnić połączenie danej jakości
 - Trasę połączenia o takich parametrach
- Połączenia w sieciach ATM są wirtualne
 - Pomiedzy dwoma węzłami chcącymi przesłać dane tworzone jest logiczne połączenie
 - Niezależne od rodzajów fizycznego medium i urządzeń na trasie, widoczne jako połączenie bezpośrednie
- Kanał wirtualny (Virtual Channel VC)
 - W fizycznym łączy przesyłane są komórki należące do różnych połączeń
 - Każdemu połączeniu odpowiada jeden kanał wirtualny (logiczne połączenie dwóch węzłów sieci)
 - Przynależność komórki do kanału identyfikuje pole VCI
 - Parametry przesyłu ustalane są na etapie zestawiania połączenia
- Ścieżka wirtualna (Virtual Path VP)
 - Kanały wirtualne **o wspólnym węźle docelowym** tworzą grupy zwane ścieżkami wirtualnymi
 - Każda ścieżka wirtualna ma przydzielone pasmo, którym może rozporządzać. Pozwala to na:
 - Uproszczenie doboru trasy połączenia
 - Brak konieczności analizowania identyfikatora VCI w każdym węźle pośrednim
- Węzłem źródłowym/docelowym może być przełącznik ATM lub router brzegowy ATM



- ATM – technika pakietowa
 - Dane organizowane w jednakowej długości bloki (komórki, cells)
 - Komórka o stałej długości 53 bajtów
 - 5 bajtów nagłówka
 - uproszczenie sterowania ruchem i zarządzaniem zasobami sieci
 - Szybkość działania i elastyczność sieci
 - Zalety
 - Szybkość działania i elastyczność sieci
 - Wady
 - segmentacja i składowanie dłuższych wiadomości,
 - spory udział nagłówka w długości komórki
- Multipleksacja etykietowana
 - Zasada dostępu, komutacji i transmisji informacji
 - Przydzielanie szczelin czasowych na żądanie (w zależności od potrzeb)



Budowa komórki ATM

- GFC (Generic Flow Control)
 - występuje tylko w komórce typu UNI, 4 bity.
 - zarządzanie przepływem pakietów pomiędzy elementami sieci użytkownika.
- VPI (Virtual Path Identifier) – wielkość pola zależna od styku
 - UNI – 8 bitów
 - NNI – 12 bitów
 - Identyfikuje nawiązane połączenie ze ścieżką wirtualną w łączy fizycznym
- VCI (Virtual Channel Identifier)
 - 16 bitów (do 65536 kanałów wirtualnych w każdej ścieżce)
 - identyfikuje kanał wirtualny w ścieżce wirtualnej.
- PT (Payload Type) – 3 bity, określa typ komórki ATM
 - 0 – dane użytkownika
 - 1 – komórka kontrolna, dane sygnalizacyjne
- CLP (Cell Loss Priority)
 - 1 bit - określa priorytet pakietu
 - 1 – pakiet może być utracony w przypadku przeciążenia,
 - 0 podnosi priorytet ale nie gwarantuje dostarczenia
- HEC (Header Error Control)
 - 8 bitów
 - ochrona nagłówka przed błędami transmisji
- Pole przeznaczone na dane użytkownika – 48 bajtów

Diagram of the UNI ATM Cell

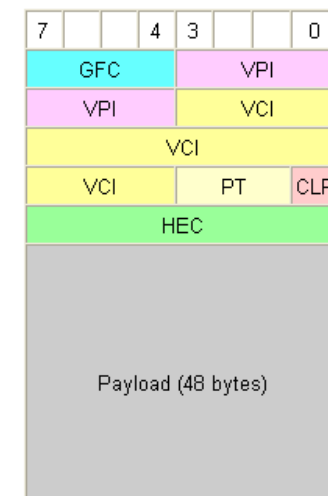
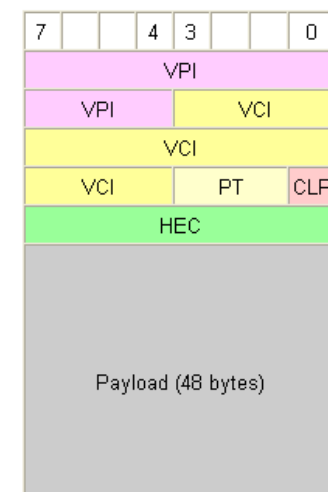


Diagram of the NNI ATM Cell



Klasy usług ATM

- QoS (Quality of Service) – zdolność zapewnienia jakości usług (największa zaleta sieci ATM)
- Parametry zapewniające jakość usług
 - Opóźnieniowe
 - CDV (peak-to-peak cell delay variation) – zmienność opóźnienia komórki
 - MaxCTD (maximum cell transfer delay) – maksymalne opóźnienie komórki
 - Mean CDV (mean cell transfer delay) – średnie opóźnienie komórki
 - Niezawodnościowy – CLR (cell lost ratio) – wskaźnik gubienia komórek
- Zestaw klas usług, deklarowany przy nawiązywaniu połączenia
 - CBR (Continuous Bit Rate) – używana do połączeń wymagających stałej przepływności bitowej (np. przesyłanie dźwięku bez kompresji)
 - VBR-RT (Variable Bit Rate – Real Time) – połączenia dopuszczające zmienne pasmo przy zachowaniu relacji czasowych między próbkami (np. transmisja skompresowanego materiału video)
 - VBR-NRT (Variable Bit Rate – Non-Real Time) –
 - połączenia dopuszczające zmienne pasmo,
 - nie wymagające ścisłych relacji czasowych pomiędzy próbkami informacji
 - Wymagająca gwarancja przepływności lub opóźnienia
 - ABR (Available Bit Rate) – zmienna przepływność bitowa bez relacji czasowych i bez gwarancji poziomu przepływności. Sieć usług „najlepszych starań” (best effort)
 - UBR (Unspecified Bit Rate) – brak zapewnienia jakiegokolwiek gwarancji usług (zgubienia, opóźnienia)



Warstwa fizyczna protokołu ATM

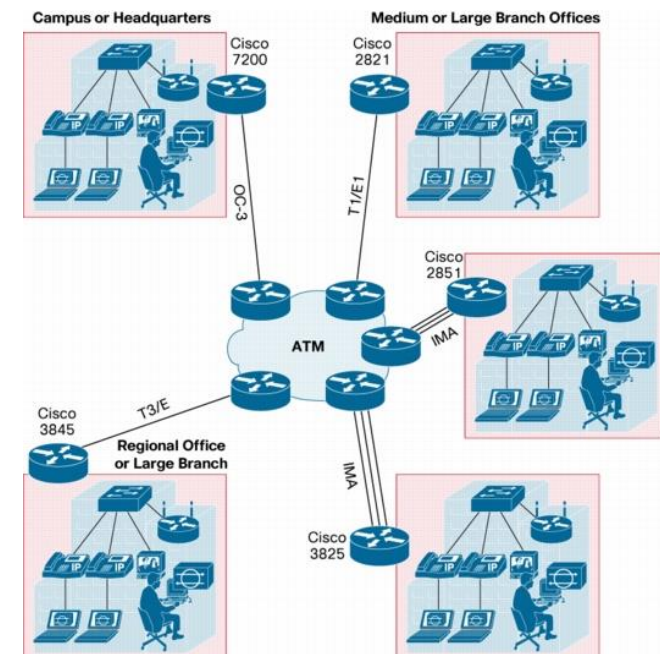
- Warstwa fizyczna
 - Możliwość wykorzystania różnych nośników (mediów transmisyjnych)
 - Zalecane stosowanie światłowodów
 - Najczęściej stosowane interfejsy
 - SONET (Synchronous Optical NETwork)
 - SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
 - PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Optical Level	Electrical Level	Line Rate (Mbps)	Payload Rate (Mbps)	Overhead Rate (Mbps)	SDH Equivalent
OC-1	STS-1	51.840	50.112	1.728	-
OC-3	STS-3	155.520	150.336	5.184	STM-1
OC-9	STS-9	466.560	451.008	15.552	STM-3
OC-12	STS-12	622.080	601.344	20.736	STM-4
OC-18	STS-18	933.120	902.016	31.104	STM-6
OC-24	STS-24	1244.160	1202.688	41.472	STM-8
OC-36	STS-36	1866.240	1804.032	62.208	STM-13
OC-48	STS-48	2488.320	2405.376	82.944	STM-16
OC-96	STS-96	4976.640	4810.752	165.888	STM-32
OC-192	STS-192	9953.280	9621.504	331.776	STM-64
OC-768	STS-768	39818.120	38486.016	1327.104	STM-256

Nazwa	Szybkość bitowa (Mbps)	Efektywna szybkość bitowa (Mbps)
SONET STS-1	51.84	49.536
SONET STS-3c	155.52	149.76
SONET STS-12c	622.08	594.432
SDH STM1	155.52	149.76
SDH STM4	622.08	594.432
DS-1	1.544	1.536
DS-2	6.312	6.176
DS-3	44.736	40.704
E1	2.048	1.92
E3	34.368	
E4	139.264	
Światłowod wielomodowy (FDDI)	100	100
STP	155.52	149.536
Łącze światłowodowe	155.52	149.536
UTP	51.84 25.60 12.96	23.18

ATM - podsumowanie

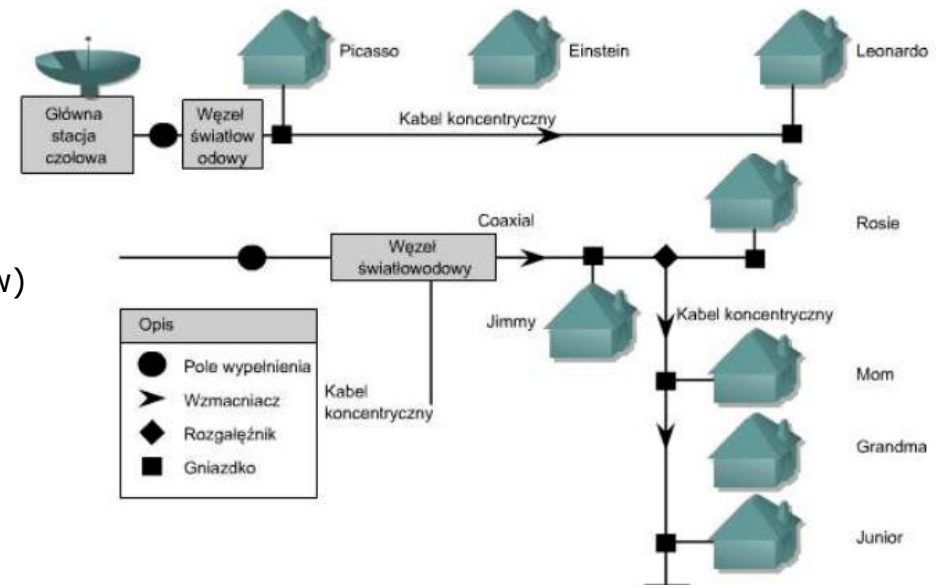
- Zapewnia klasy usług o gwarantowanych parametrach transmisji
- Brak weryfikacji poprawności przesyłanych danych (warstwy wyższe)
- Transmisja danych:
 - Sieć ATM składa się z wielu połączonych przełączników
 - Ramka ATM kierowana jest do następnego węzła na podstawie informacji w nagłówku
 - Kanał wirtualny – logiczne połączenie między nadawcą a odbiorcą
 - Ścieżka wirtualna – zestaw kanałów o wspólnym węźle docelowym
 - Liczba ścieżek mniejsza od liczby kanałów – ułatwia zarządzanie
- Aktualnie nie stosowany do budowy LAN (wyparty przez Ethernet)



Sieci hybrydowe (DOCSIS)

- DOCSIS/EuroDOCSIS
 - Data Over Cable Service Interface Specifications
 - standardy danych w sieciach HFC (Hybrid Fiber Coaxial) - łączących światłowody i kable koncentryczne
 - Od stacji czołowej do węzła - światłowody
 - Od węzła do klienta - kable koncentryczne
 - W węźle - konwersja sygnału cyfrowego na sygnał analogowy w ramach częstotliwości nośnych/kanałów
 - Aktualnie przepustowości powyżej 1Gb/s
 - Do wersji 3.1 - różnice w szerokościach kanałów (6MHz PAL Europa, 8MHz NTSC USA)

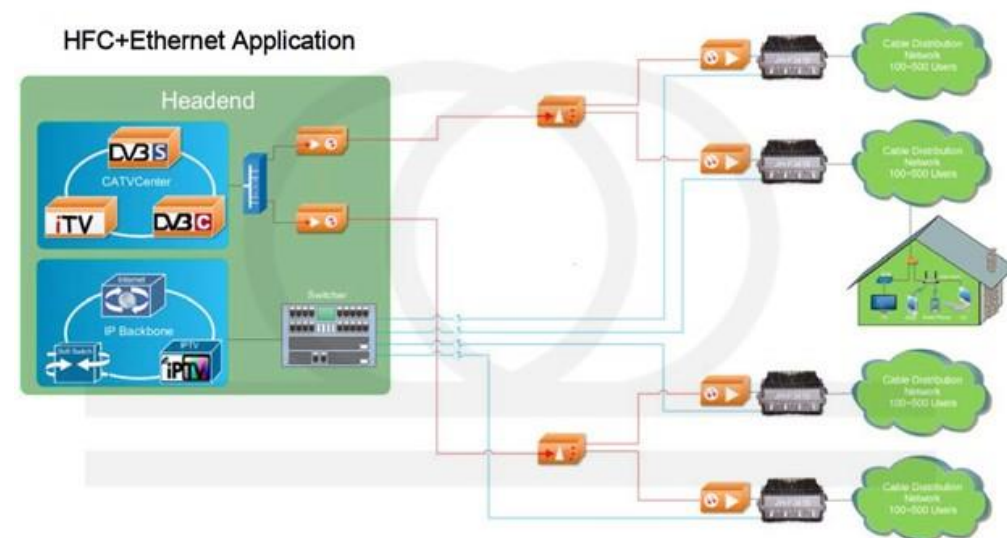
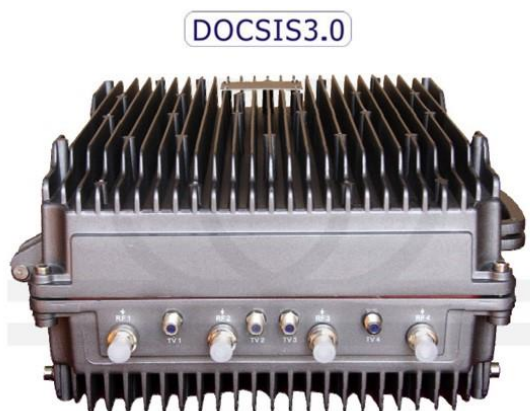
- System transmisji danych
 - Pasmo transmisji od 5 do 900MHz (najnowsze wersje do 1800MHz)
 - Centralny system nadawczo-odbiorczy (CMTS Cable Modem Termination System)
 - Modemy kablowe w mieszkaniach abonentów (multipleksacji TDM - obsługa dużej liczby modemów)
 - Modulacje 64/256/1024QAM
 - Wiązanie kanałów (do 16tu w v.30)



upstream	TV + FM	downstream	
5-42	54 - 550	550-750	MHz

Sieci hybrydowe (DOCSIS)

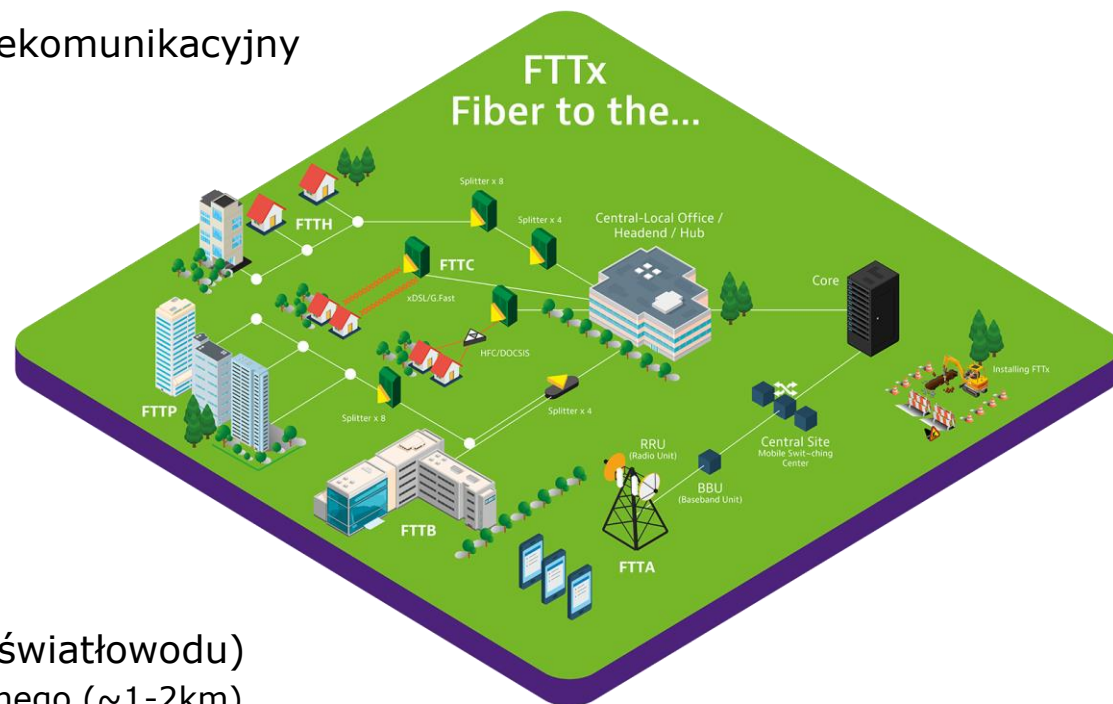
- Wersje standardu
 - 1.0 – 1997 r – 40Mb (download), 10Mb/s (upload), multipleksacja TDMA
 - 1.1 – 2001 r – wprowadzenie QoS (stabilniejsze połączenie i mniejsze opóźnienia, obsługa VoIP)
 - 2.0 – 2002 r – upload (30Mb/s)
 - 3.0 – 2006 r – obsługa IPv6, 1Gb/s (download), 200Mb/s upload
 - 3.1 – 2013 r – 10Gb/s download, 1Gb/s upload (węższe kanały 50kHz zamiast 6-8MHz)
 - 4.0 – 2017 r – upstream do 6Gb/s (spektrum fal do 1800MHz) – faza prototypu
- W 2020 roku DOCSIS 3.0 w zasięgu 46% europejskich gospodarstw domowych
- W Europie dominują – Węgry, Belgia, Malta, Holandia
- W Polsce DOCSIS 3.1 w ofercie Vectra i UPC
- Duża konkurencja ze strony GPON (w całości opartej na światłowodach)



- Fiber-to-the-X – szerokopasmowy system telekomunikacyjny

- Usługi oferowane w ramach systemu
 - Szerokopasmowy dostęp do internetu
 - Usługi telefoniczne
 - Telewizja

- Podstawowe medium transmisyjne – kable światłowodowe



- Rodzaje architektur (miejsce doprowadzenia światłowodu)

- Fiber-to-the-Node (FTTN) – do węzła zewnętrznego (~1-2km)
- Fiber-to-the-Antenna (FTTA) – do anteny – podstawa sieci 5G (mniejsza waga i opór niż kabli miedzianych)
- Fiber-to-the-Curb/Cabinet (FTTC/FTTCab) – do skrzynki rozdzielczej / "krawężnika" ~300m (VDSL/Ethernet)
- Fiber-to-the-Premise (FTTP) – do lokalu (łączy FTTB, FTTH, FTTO)
 - Fiber-to-the-Building (FTTB) – do budynku
 - Fiber-to-the-Office (FTTO) – do biura
 - Fiber-to-the-Home (FTTH) – do domu/mieszkania (do gniazdek abonentów)

PON – Passive Optical Network

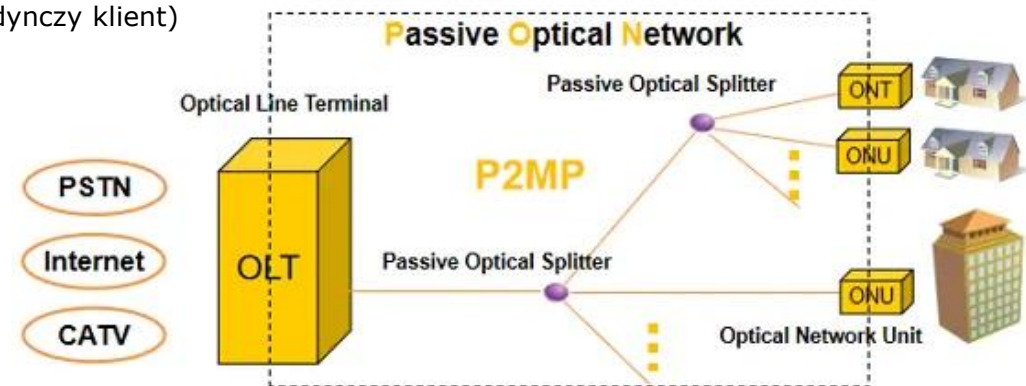
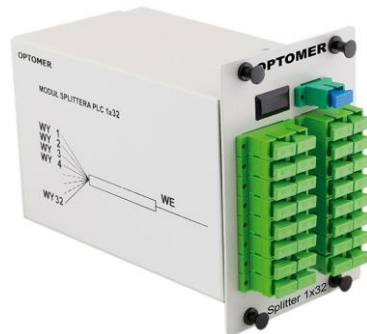
- PON - Pasywna Sieć Optyczna

- Medium transmisyjne – światłowód jednomodowy
- Architektura punkt-wielopunkt (P2MP)
- Podział przepustowości przez elementy pasywne (splitery optyczne)
- elementy aktywne (wymagających zasilania)
 - tylko w końcowych lub początkowych węzłach sieci
 - brak pomiędzy OLT a ONT



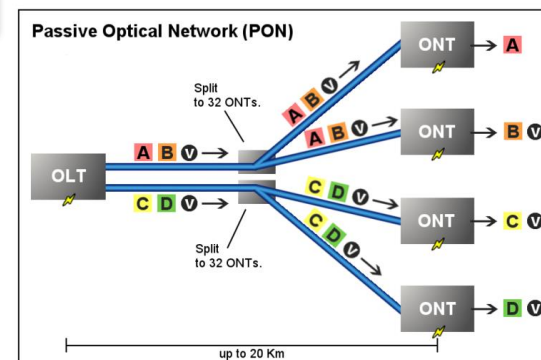
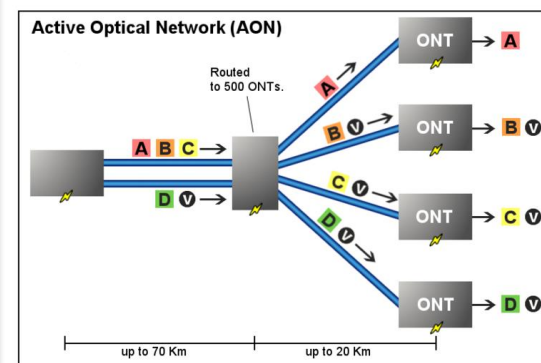
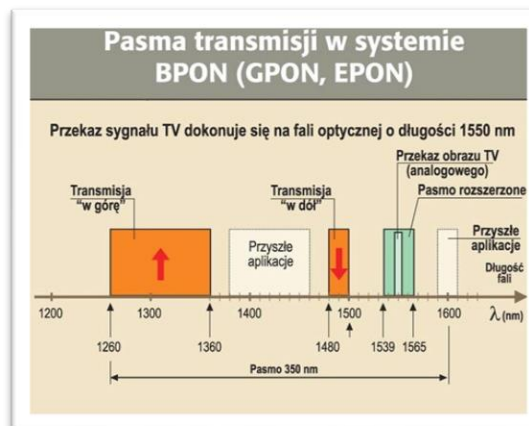
- Urządzenia w sieciach PON

- Urządzenia dystrybucyjne – koncentratory - OLT (Optical Line Termination)
- Splittery optyczne
 - Urządzenia pasywne
 - 1 gniazdo wejściowe, wiele wyjściowych
 - Podział promienia laserowego za pomocą pryzmatu
- Urządzenia końcowe – lokalny punkt dystrybucyjny, terminal abonencki (konwersja na sygnał elektryczny, bezprzewodowy)
 - ONU (Optical Network Unit) (IEEE) (większa liczba odbiorców)
 - ONT (Optical Network Termination) (ITU-T) (pojedynczy klient)

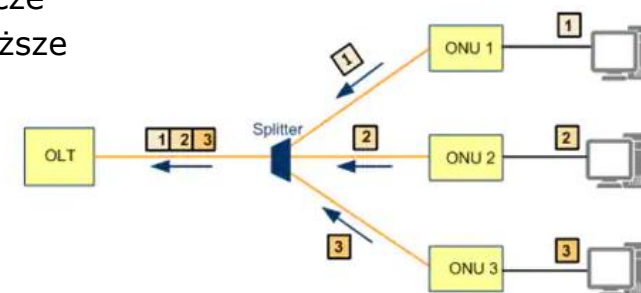


PON – Passive Optical Network

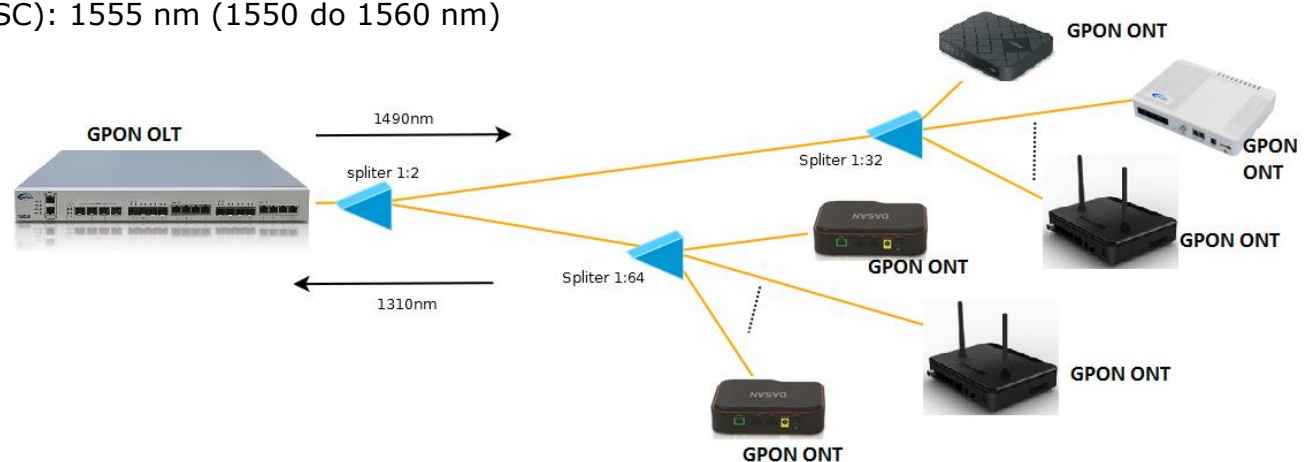
- Długości fali
 - 1310nm - upstream (ONU/ONT do OLT)
 - 1490nm - downstream (OLT do ONU/ONT)
 - 1550nm - transmisji rozgłoszeniowej CATV
- Maksymalny zasięg sieci – do 20km
(krótkodystansowe sieci światłowodowe)
- Transmisje
 - Od OLT do terminali ONT
 - Transmisja rozgłoszeniowa do wszystkich terminali
 - Szyfrowanie enkapsulowane za pomocą AES z 128bitowym kluczem i hasłem
 - Od ONT do OLT
 - multiplikacja z podziałem czasu (TDMA)
 - sloty czasowe dla każdego z terminali ONT
- Standardy sieci PON
 - ITU-T G.983 – BPON (Broadband PON) – maks. 32 rozgałęzienia na złącze
 - ITU-T G.984 – GPON (Gigabit PON) – rozwinięcie standardu BPON – wyższe szybkości, wzmocnione bezpieczeństwo, wybór protokołu warstwy 2
 - IEEE 802.3agh – GEAPON (Gigabit Ethernet PON) – pakiety Ethernet
 - IEEE 802.3av (10Gbit Ethernet PON) – 10 Gigabitowy Ethernet



Key: **A** - Data or voice for a single customer. **V** - Video for multiple customers.

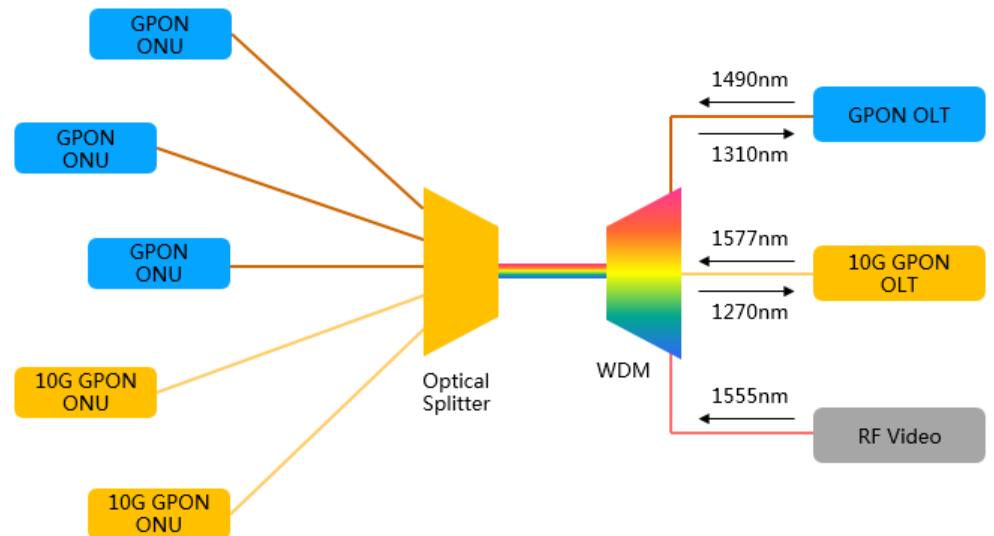


- Gigabit-capable Passive Optical Networks – Gigabitowa Pasywna Sieć Optyczna
 - Standard ITU-T G.984.x (następca standardów APON/BPON)
 - Przepustowości
 - 2488 Mb/s download
 - 1244 Mb/s upload
 - Maksymalnie 256 ONT na 1 port urządzenia OLT
 - Standardowy podział sygnału – 1:32 lub 1:64
 - Maksymalna odległość między OLT i ONT – 60km
 - Rozpiętość sieci (pomiędzy ONT) – 20km
 - Możliwość stosowania kodowania Forward Error Correction (FECT) – poprawa błędów transmisji kosztem 7% przepustowości łącza
 - Wykorzystywane 3 długości fal:
 - Od ONT do OLT: 1310 nm (1260 do 1360 nm)
 - Od OLT do ONT: 1490 nm (1480 do 1500 nm)
 - Wideo (CATV/DVB/ATSC): 1555 nm (1550 do 1560 nm)

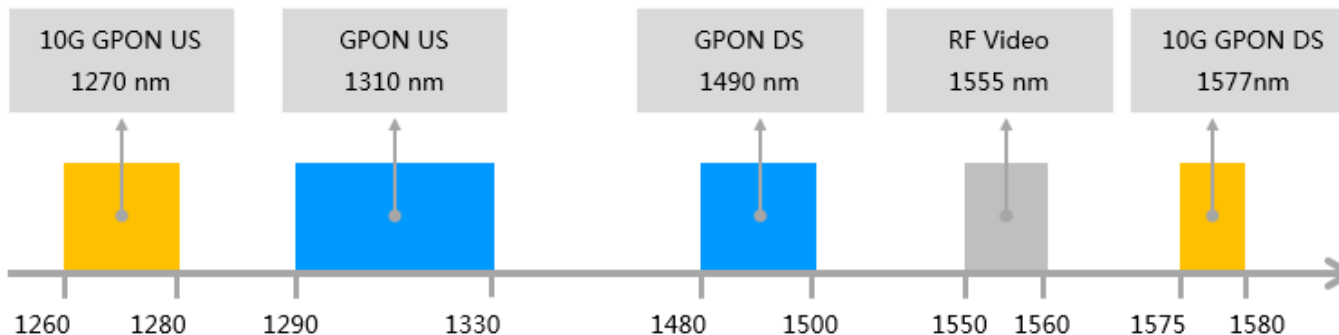


- 10G-PON, XG-PON, XGS-PON – 10Gb Passive Optical Networks – 10Gigabitowa Pasywna Sieć Optyczna

- Standard ITU-T G.987 (następca standardu GPON)
 - XG-PON (g.987.1) – asymetrycznie
 - » 10Gb/download,
 - » 2,5Gb/upload
 - XGS-PON (G.9807.1) symetrycznie
 - » 10Gb download/upload
- Rozpiętość sieci (pomiędzy ONT)
 - poszerzona z 20 do 40 km
- Wstecznie kompatybilny z GPON – działa na innych długościach fali



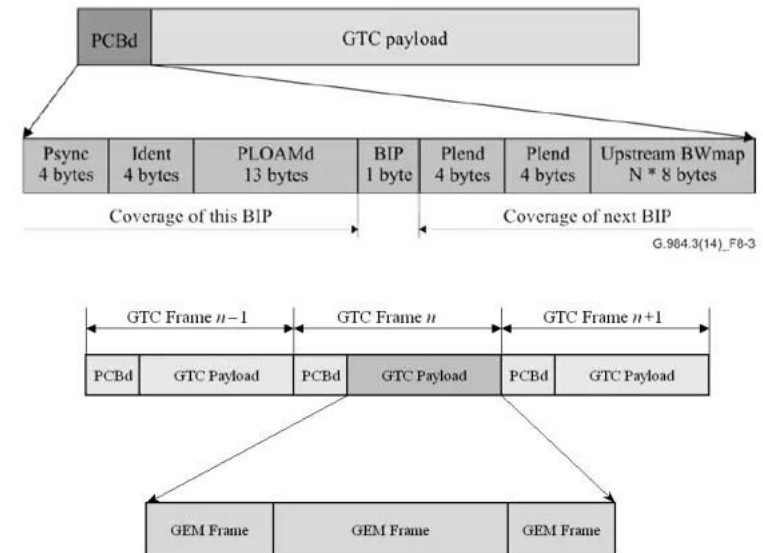
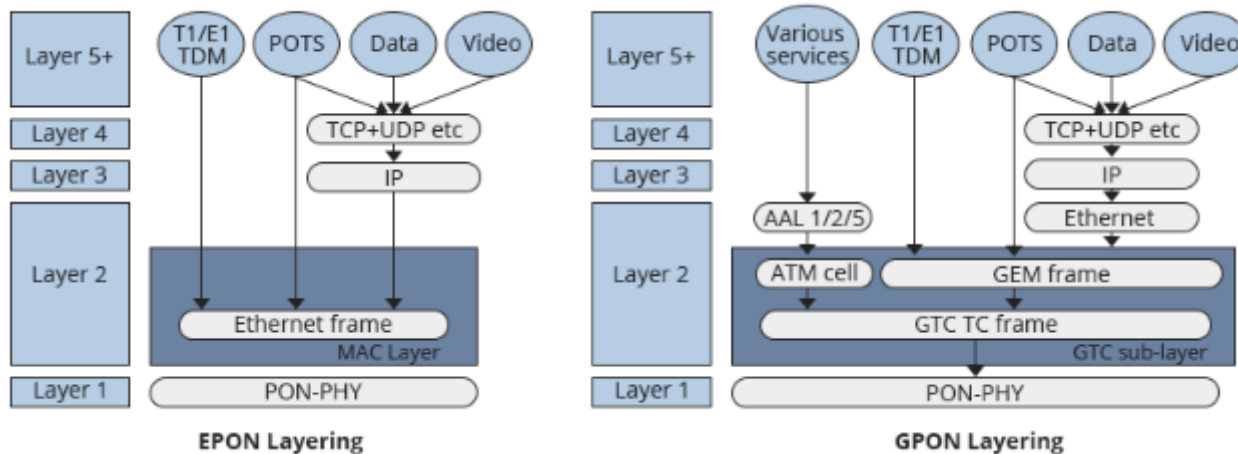
Center Wavelength



- Gigabit Ethernet Passive Optical Network – Gigabitowa Ethernetowe Pasywna Sieć Optyczna (GEAPON)

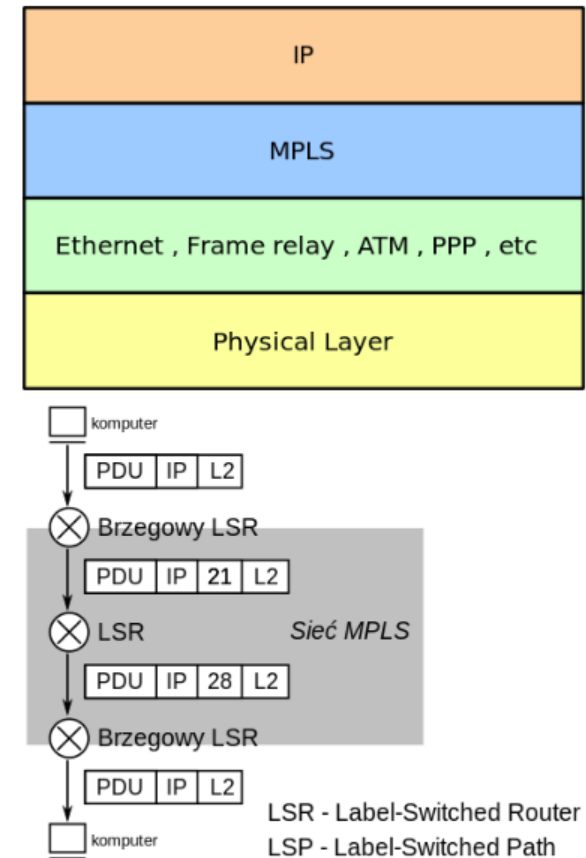
- Opracowany przez IEEE jako standard 802.3ah
- Takie same długości fali jak GPON
- Zasięg – 20km
- Przepustowość 1,25Gb/s (upload i download)
- Kodowanie 8b/10b
- **Oparty na standardowej ramce Ethernet z danymi o wielkości 1518B**
(GPON oparty na GEM - GPON encapsulation method)
- Standardowo 32 urządzenia ONU/ONT na 1 porcie OLT

- Ethernet 10 Gbit – IEEE 802.3av



MPLS – Multi Protocol Label Switching

- MPLS – MultiProtocol Label Switching
- Technika transmisji pakietów w sieciach rozległych
- Protokół zarządzania siecią (inżynierii ruchu)
- Działa na styku warstwy drugiej i trzeciej
 - Szybki jak warstwa łącza danych
 - Skalowalny jak warstwa sieciowa
 - Nazywany protokołem warstwy 2,5
 - Stosowany zwykle dla protokołu IP w warstwie sieci (IP/MPLS)
 - W wersji uogólnionej (GMPLS, Generalized MPLS)
- Zastępuje proces routowania przez „przełączanie etykiet”
 - Etykiety określają najlepszą trasę dla danego pakietu
- Etykiety umożliwiają:
 - Rezerwację pasma dla przepływu ruchu
 - Rozróżnienie wymagań jakości usług (QoS) (jak w FR czy ATM)
 - Implementację VPN



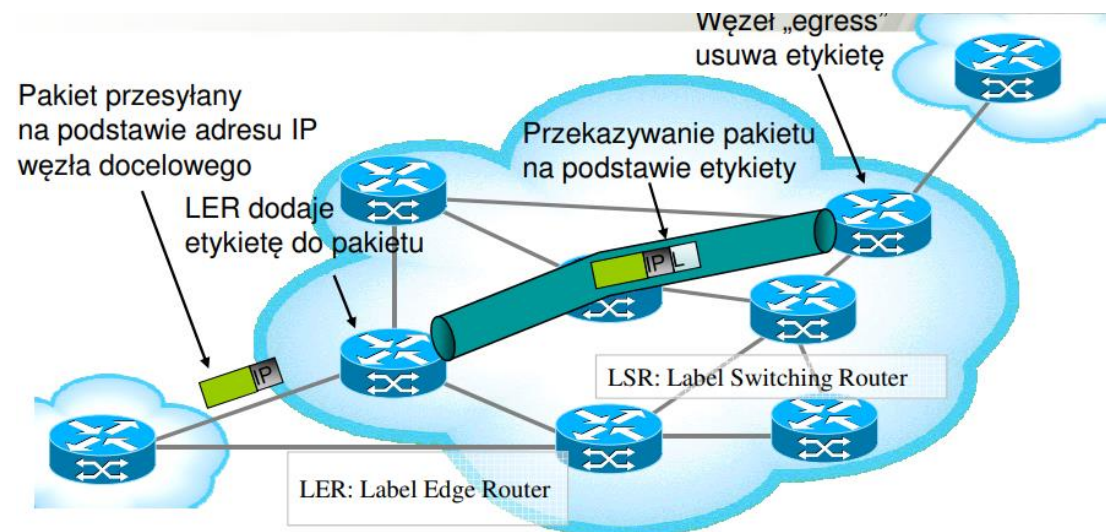
MPLS – porównanie z innymi technologiami inżynierii ruchu

- IP
 - Oparty o tablice routowania (miejsca docelowe/metryki)
 - Wymiana informacji przez protokoły routingu
 - Stosunkowo wolny (wymaga analizy nagłówka warstwy sieci)
 - Brak uwzględnienia QoS (częściowo uwzględniane w metrykach)
- ATM
 - Przełączanie w oparciu o struktury wirtualnych kanałów/ścieżek
 - Ustalenie kanału/ścieżki w oparciu o parametry QoS
 - Konieczność analizy identyfikatora kanału/ścieżki
- MPLS
 - Przełączanie w oparciu o etykiety (a nie w oparciu o adresy IP czy VCI)
 - Brak konieczności analizy całego pakietu
 - Etykiety określają najlepszą trasę dla danego pakietu
 - Przenosi ruch (IP, ATM, FR, SONET, Ethernet)
 - Dla ramek Ethernet, pole EtherType:
 - 0x8847 – MPLS Unicast
 - 0x8848 – MPLS Multicast

MPLS – Multi Protocol Label Switching

- Zasada działania

- Na brzegu sieci MPLS (LER – Label Edge Router)
 - Przypisanie - w oparciu o proces klasyfikacji (klasy FEC - Forwarding Equivalence Class)
 - na podstawie IP docelowych i QoS
 - Identyczne etykiety dla pakietów routowanych w identyczny sposób
 - inne etykiety dla tych samych IP docelowych o różnych parametrach QoS
- Wewnątrz sieci (LSR – Label Switch Router)
 - Wykorzystywanie tablic etykiet w routerach
 - Etykieta wejściowa jako indeks w tablicy
 - Wartość w tablicy – nowa etykieta + adres następnego punktu
 - **Podmiana** etykiety na nową (swap, push, pop)
- Na końcowym brzegu sieci MPLS:
 - Usuwanie etykiety
- Budowa tablic etykiet przez routery (przyporządkowania ich klasom FEC)
 - Dedykowany protokół LDP (Label Distribution Protocol)
 - Rozszerzone protokoły RSVP i BGP

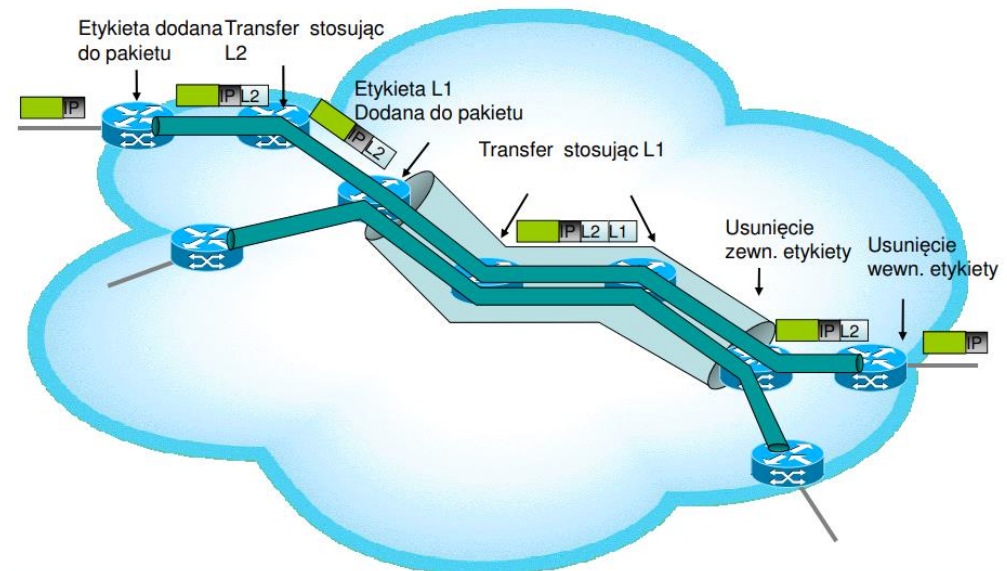


MPLS – budowa nagłówka

- Dodatkowy nagłówek, zależny od protokołu warstwy 2

MPLS Label																															
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Label																				TC: Traffic Class (QoS and ECN)			S: Bottom-of-Stack			TTL: Time-to-Live					

- Dla Ethernetu - 32 bity
 - ID – 20 bitowa etykieta (label)
 - TC (Traffic Class) – 3 bity do obsługi QoS
 - S – 1 bit – znacznik ostatniej etykiety w stosie (1).
0 oznacza kolejne etykiety w dalszej części.
Stos etykiet działa na zasadzie LIFO
 - TTL – 8 bitów – time to live – pakiety z wartością 0 są odrzucane
- Możliwość stosowania stosu etykiet
 - Działa jak LIFO
 - Realizuje połączenia VPN (osobne etykiety dla różnych VPNów)



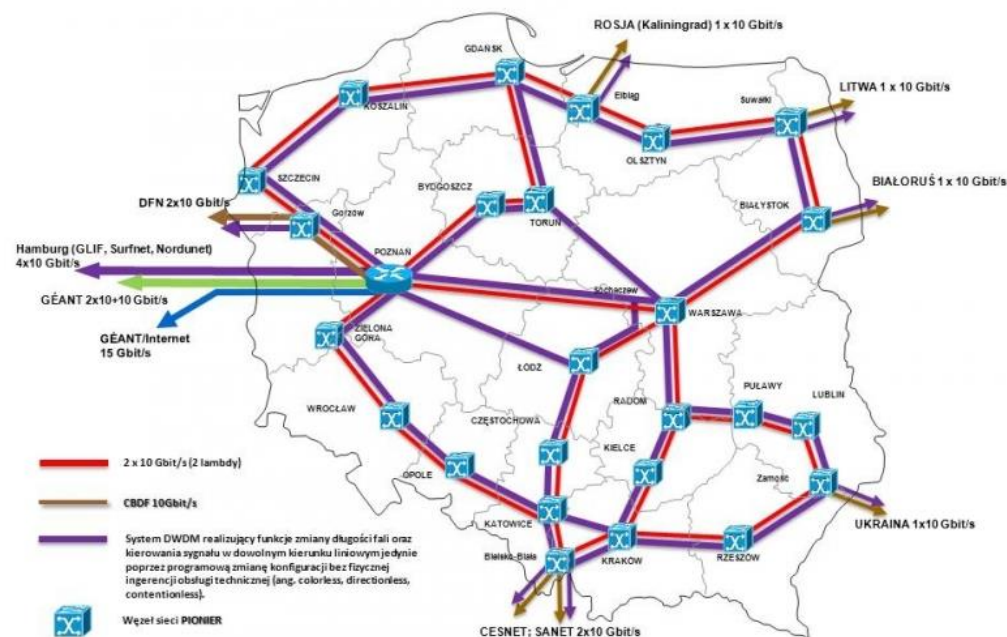
Sieci WAN w Polsce - PIONIER

- Konsorcjum PIONIER - organizacja której celem jest stworzenie i rozwój polskiej akademickiej sieci komputerowej w Polsce
- Założenia
 - ogólnopolska szerokopasmowa sieć optyczna
 - Sieć wysokiej przepustowości
 - Łącząca ośrodki obliczeniowe w całej Polsce
 - Umożliwiająca szybką komunikację z ośrodkami akademickimi z zagranicy
 - Stanowiąca bazę dla badań naukowych i prac rozwojowych w obszarze
 - Informatyki i telekomunikacji
 - Nauk obliczeniowych (gridy)
 - Aplikacji oraz usług dla społeczeństwa informacyjnego
 - Wybudowana w całości ze środków KBN
 - Rozpoczęcie realizacji w roku 2000
- Główny cel: *„obsługa całego polskiego środowiska akademickiego i naukowego oraz wspomaganie realizowanych przez to środowisko projektów badawczych i edukacyjnych”*
- Członkowie konsorcjum:
 - Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica,
 - Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe
 - Instytuty: Chemii Bioorganicznej PAN, Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach,
 - Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa NASK,
 - Politechniki: Białostocka, Częstochowska, Koszalińska, Łódzka, Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Śląska Centrum Komputerowe, Świętokrzyska, Wrocławska,
 - Uniwersytety: Marii Curie-Skłodowskiej, Mikołaja Kopernika, Opolski, Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Warszawski, Zielonogórski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.



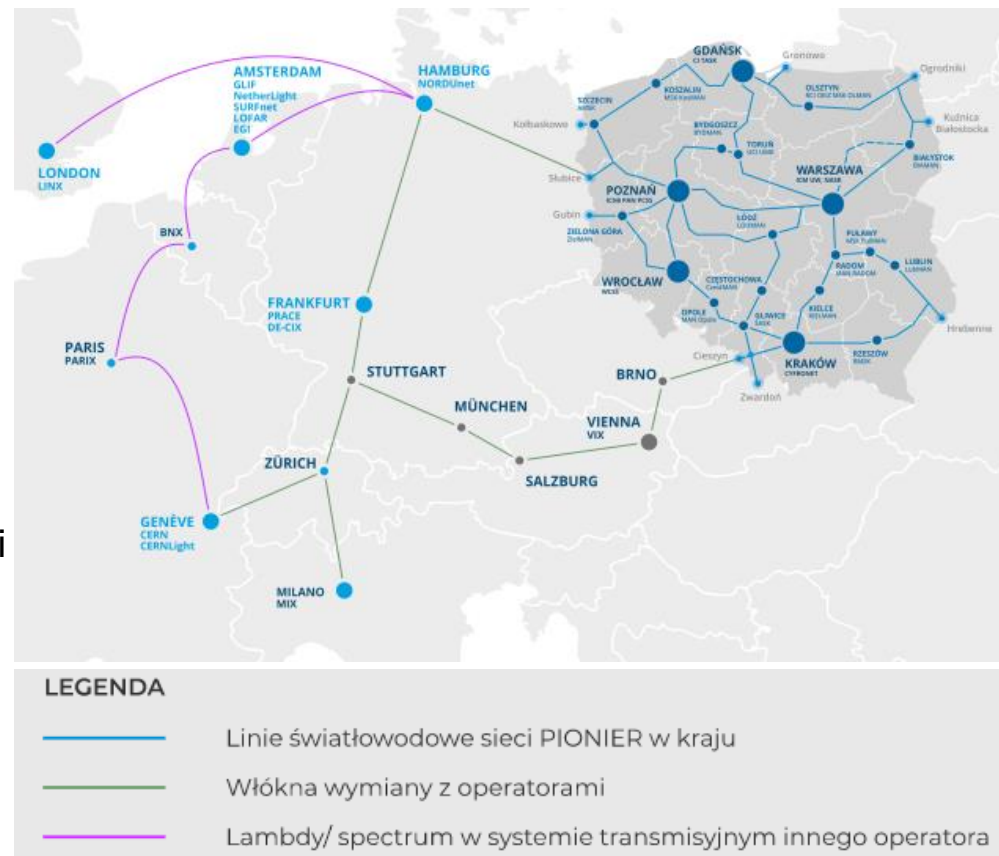
Sieci WAN w Polsce – PIONIER, cz.2

- Infrastruktura
 - łączy 21 ośrodków Miejskich Sieci Akademickich i 5 centrów Komputerów Dużej Mocy
 - Wykorzystuje światłowody w standardzie DWDM i 10GB Ethernet
 - Całkowita długość linii światłowodowych – około 11tys km (2023r)
 - Blisko 7 tys km w Polsce
 - Pozostałe za granicą (do Hamburga i Wiednia)
- Szczegóły technologiczne
 - 5612 km własnych światłowodów
 - włókna jednomodowe (G.652)
 - włókna o niezerowej przesuniętej dyspersji (G.655)
 - transmisja w systemie DWDM.
 - 2 odrębne systemy transmisyjne DWDM pracujące na oddzielnych parach włókien.
 1. 2 kanały optyczne 10 Gbit/s
 2. 80 kanałów optycznych 10 Gbit/s
 - Systemy te realizują połączenia pomiędzy przełącznikami MPLS i routerami wielokrotnymi łączami 10 Gigabit Ethernet
- Operatorem sieci PIONIER jest
Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe



PIONIER – łączy z zagranicą

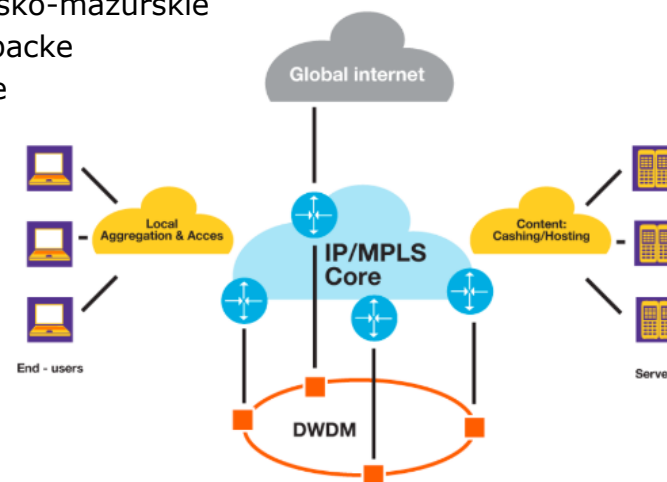
- Niemcy (Słubice - połączenie z siecią DFN)
 - Czechy (Cieszyn - połączenie z siecią CESNET)
 - Słowacja (Zwardoń - połączenie z siecią SANET)
 - Ukraina (Hrebenne - połączenie z siecią UARNET)
 - Białoruś (Kuźnica - połączenie z siecią BASNET)
 - Litwa (Ogrodniki - połączenie z siecią LITNET).
-
- Od połowy sierpnia 2010 otwarto możliwość połączenia sieci PIONIER z siecią naukową w Rosji (Obwód Kaliningradzki).



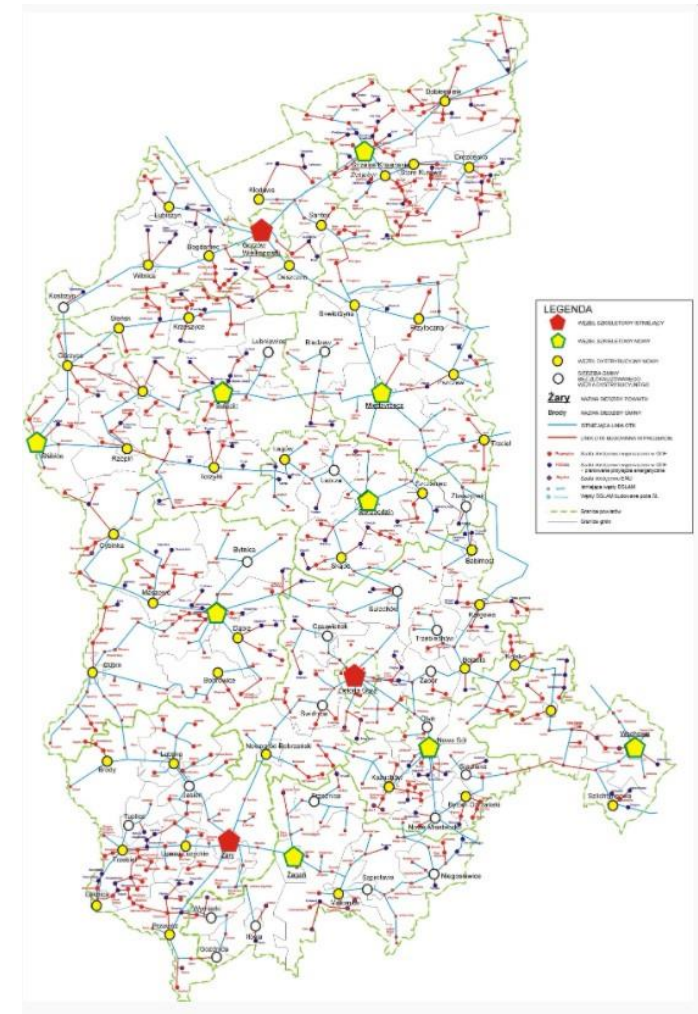
- sieć PIONIER dysponuje łączami do
 - punktu wymiany ruchu w Amsterdamie (AMS-IX) (przez Hamburg)
 - punktu dostępu do zasobów GLIF (Global Lambda Integrated Facility) (przez Hamburg)
 - europejskiej sieci naukowej GEANT (100 Gbit/s w technologiach Packet over Sonet oraz Gigabit Ethernet (węzeł sieci GEANT w Poznaniu))
 - Internetu światowego - aktualna przepustowość 15 Gbit/s.

Sieci WAN w Polsce - Orange

- W oparciu o infrastrukturę T.P. S.A
- Infrastruktura
 - Światłowodowa sieć o długości około 80 000 km
 - Technologie
 - DWDM
 - IP/MPLS
 - Realizator projektu Regionalne Sieci Szkieletowe
 - 1818 km sieci szkieletowej
 - 253 miejscowości
 - Realizacje, m.in.:
 - Szerokopasmowe Lubuskie
 - Szerokopasmowe Pomorskie
 - woj. Warmińsko-mazurskie
 - Woj. Podkarpacke
 - Woj.. Łódzkie



www.blog.orange.pl



Sieci WAN w Polsce - Exatel

- EXATEL S.A.
- Polski operator telekomunikacyjny
- Infrastruktura
 - Światłowodowa sieć transmisji danych o długości około 20 000 km
 - Przepustowość
 - Do 9 Tb/s – DWDM
 - Do 40 Gb/s – IP/MPLS
 - Usługi
 - Transmisja danych
 - Dzierżawa łączy
 - Hosting
 - Kolokacja
 - VPN w oparciu o technologię MPLS
 - Bezpośrednie połączenia z ponad 80 operatorami krajowymi i 70 zagranicznymi
 - 500 węzłów sieci w największych miastach w Polsce



EXATEL



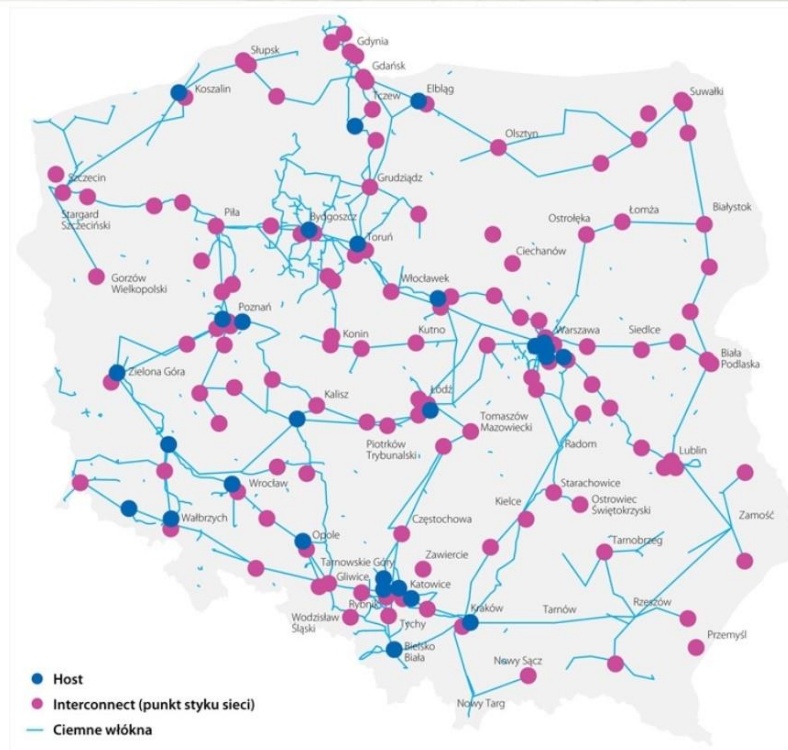
Sieci WAN w Polsce - TkTelekom

- TkTelekom
- Infrastruktura
 - Infrastruktura światłowodowa 7 000 km
 - Infrastruktura miedziana – 20 000 km
 - Główny szkielet w oparciu o IP/MPLS i 10Gb/s IPoDWDM
 - Przepływności – 1, 2.5, 10 Gb/s
 - Tranzyt międzynarodowy – 100 Gb/s
 - Pięć pierścieni
 - północno-zachodni,
 - północno-wschodni,
 - południowo-wschodni,
 - południowo-zachodni,
 - centralny



Sieci WAN w Polsce - Netia

- Netia S.A.
 - operator telekomunikacyjny,
 - dostawca
 - usług telewizyjnych,
 - internetu stacjonarnego oraz mobilnego,
 - telefonii stacjonarnej,
 - telefonii komórkowej
- Spółki wchodzące w skład Grupy Netia
 - Netia SA
 - InterNetia Sp. z o.o.
 - CDP Netia (dawniej Crowley Data Poland)
 - Telefonía Dialog Sp. z o.o.
 - Petrotel Sp. z o.o.
- Infrastruktura
 - światłowodowa sieć transmisji danych o długości ponad 5 000 km
 - Zapewnia dostęp do Internetu dla około 5% użytkowników w Polsce
 - Sieć szkieletowa – 8 rur w kanalizacji kablowej z kablami po 48 włókien
 - Technologia DWDM (32 kanały po 10Gb/s)
 - Usługi – SDH, Carrier Ethernet, IP (IPoDWDM)



NETIA



- A.Sierszeń, Ł.Sturgalewski, „Technologie sieci WAN”, Projektowanie i Realizacja Sieci Komputerowych, Politechnika Łódzka, 2014
- V.Amato, W.Lewis „Akademia sieci CISCO”, Mikom, Warszawa 2001
- L.L.Peterson, B.S.Davie – Sieci komputerowe – podejście systemowe”, Nakom, Poznań 2000
- Andrew S. Tanenbaum, Sieci komputerowe, wydanie 4, Helion 2004
- W.Graniszewski, E.Grochocki, G.Świątek, WAN – Studia Informatyczne, Sieci Komputerowe,
- Mark Sportack, Sieci komputerowe, Księga Eksperta, Helion, Warszawa 1999
- D.E.Comer, „Sieci i intersieci”, WNT, Warszawa 2001
- D.Chaładyniak, J.Wacniki, „Kuźnia Talentów: Sieci komputerowe. Zarządzanie sieciami WAN” – Informatyka+
- C.Bryant „Cisco CCENT/C1CNA Certification Exam Training : Troubleshooting Physical Interfaces And Line Protocol”
- Y.Pointourier „Link Failure Recovery for MPLS Networks with Multicasting”, University of Virginia, August 2002
- Konsorcjum PIONIER, Polski Internet Optyczny,
- B.Zbierzchowski, „Systemy i sieci SDH”, Instytut Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej
- LearnCisco, CCNAX 200-120, WAN basics
- Aman Mangat, GE Multilin Lentonics Multiplexers, SONET 101
- Krzysztof Wajda, Katedra Telekomunikacji AGH, MPLS
- Cisco, Understand GPON Technology, 2022
- W.Baług, J.Józik, R.Mierzwiński, J.Oko, A.Sobczak „Budowa i eksploatacja teleinformatycznej sieci dostępowej”