

## **Cisco Systems Poland**

### **Sieć Miejska.**

**Budowa szerokopasmowej infostrady na potrzeby społeczności lokalnej i instytucji publicznych jako element infrastruktury miejskiej.**

**Cisco Systems Poland**

Al. Jerozolimskie 146C

Warszawa, 02-305

Poland

<http://www.cisco.pl>



## **Spis treści**

<b>Spis treści .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Wstęp .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Szkic technologiczny .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Budowa szerokopasmowej sieci miejskiej .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Dlaczego Ethernet ? .....</b>	<b>23</b>
<b>5. Teraz ... METRO ETTX !!!.....</b>	<b>25</b>
<b>Załącznik A: Modelowy dobór urządzeń Cisco dla sieci Metro Ethernet .....</b>	<b>26</b>

## 1. Wstęp

Sieci metropolitarne to jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się segmentów rynku sieci komputerowych. Potrzeba szybkiej komunikacji pomiędzy lokalizacjami spowodowała, że tradycyjne sieci rozległe są zastępowane sieciami pracującymi z przepustowościami typowymi dla sieci lokalnych. Tendencja ta jest szczególnie widoczna w miastach, gdzie struktury sieciowe oparte o technologie takie jak FrameRelay są zastępowane przez sieci wykorzystujące Ethernet. Taką migrację ma już za sobą wiele miast europejskich. Trend ten jest również zauważalny w Polsce.

Część miast już rozpoczęła migrację swoich struktur sieciowych do struktury kampusu, a niektóre z nich już korzystają z takich sieci. Zazwyczaj jednak budowa kampusu ogranicza się do zasobów JST, pomijając zasoby innych jednostek podległych samorządowi. Nowe spojrzenie na te jednostki – przez pryzmat lepszej komunikacji – pozwala zaobserwować, iż połączenie wszystkich tych jednostek pozwala na uzyskanie poważnych oszczędności w funkcjonowaniu miasta. Wynikają one m.in. z możliwości wykorzystania jednej sieci podkładowej Metro Ethernet nie tylko dla transmisji danych pomiędzy JST, ale również do realizacji takich zadań jak monitoring miasta, Centrum Zarządzania Kryzysowego, budowy sieci telemetrycznych zakładów komunalnych, budowa E-Urzędu czy zapewnienie powszechnego dostępu do internetu dla mieszkańców.

W polskich realiach budowa sieci metropolitarnej miasta jest paradoksalnie łatwiejsza niż w Europie Zachodniej. Jest to efektem synergii, możliwej do uzyskania w mieście. Spółki komunalne, takie jak Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej czy Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji zazwyczaj dysponują gotową kanalizacją z możliwością ułożenia w niej światłowodów. Miejskie Przedsiębiorstwo Tramwajowe posiada trakcję, która może posłużyć do podwieszenia światłowodów. Wszystkie wymienione Spółki w większości miast podlegają gminom, co ułatwia dostęp do wspomnianych zasobów.

Niniejszy dokument wprowadza do podstawowych zagadnień budowy sieci metropolitarnych koncentrując się na przypadku szczególnym – budowy sieci dla jednostek samorządowych z uwzględnieniem jednostek im podległych: szkół, przedszkoli, bibliotek etc.

## 2. Szkic technologiczny

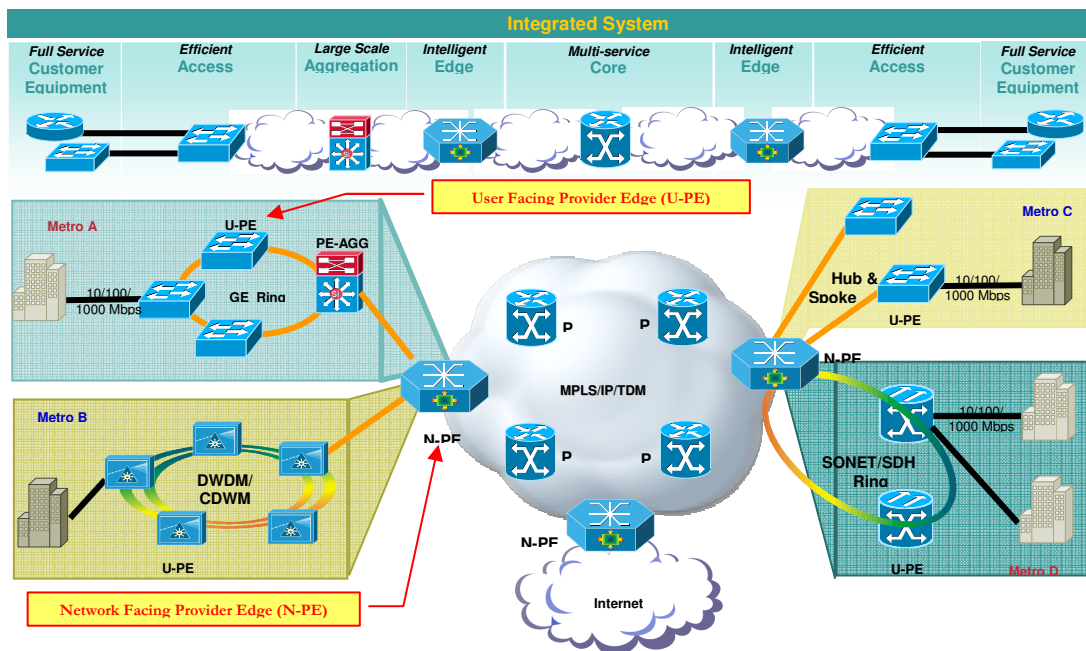
Budowa sieci miejskiej może odbywać się na wiele sposobów. Wynika to z uwarunkowań lokalnych, istniejących i planowanych połączeń światłowodowych, posiadanych urządzeń etc.

W zależności od wymagań oraz obszaru, na którym dana sieć jest budowana, stosowane są różnego rodzaju technologie. Podstawową technologią dostępową stosowaną w budowie sieci Metro jest Ethernet, stąd często stosowana jest nazwa rozwiązania: METRO Ethernet. Ethernet wykorzystywany jest do realizacji ostatniej mili do użytkownika, jak również do budowy połączeń szkieletowych w sieci MAN.

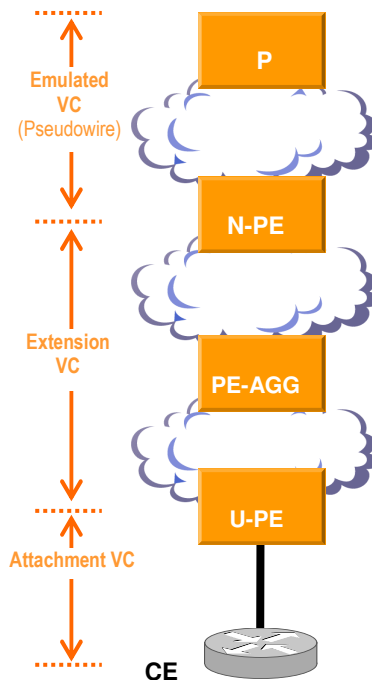
Niekiedy sieć Metro Ethernet jest porównywana z dużą siecią kampusową. Wynika to faktu, że podstawowa wyspa sieci w niektórych przypadkach może przypominać struktury sieci LAN.

Sieć Metro Ethernet różni się jednak znacząco od sieci Ethernet. Dotyczy to przede wszystkim usług realizowanych w sieci oraz sposobu organizacji ruchu.

Poniższy schemat obrazuje poszczególne zależności w sieci Metro Ethernet. Jak widać, dość wyraźnie zarysowuje się granica pomiędzy urządzeniami operatora oraz urządzeniami klienta. Ponadto w sieci Metro pojawia się dodatkowa warstwa łącząca poszczególne wyspy, jak również struktury oparte o pierścienie, które nie mają szerokiego zastosowania w sieciach kampusowych. Innym wyróżnikiem sieci Metro Ethernet w porównaniu do sieci kampusowych jest bardzo duży udział technologii światłowodowych w strukturach sieciowych, m.in. pierścienie światłowodowe tworzone z wykorzystaniem technologii DWDM - multipleksacji światłowodowej.



Przy budowie sieci Metro Ethernet należy jednoznacznie wyróżnić typy urządzeń, które będą wykorzystane do budowy takiej sieci:



Ich podział determinuje rodzaj urządzeń zastosowanych w sieci.

### U-PE - User Provided Edge

Ten styk stanowi punkt, gdzie kończy się sieć zarządzana przez operatora, a zaczyna się sieć klienta. W większości przypadków U-PE stanowią urządzenia przełączające w warstwie drugiej (przełączniki sieciowe) lokowane w siedzibie klienta (biurowiec, dom mieszkalny), ale zarządzane przez operatora sieci. Krytycznym jest, aby urządzenia U-PE były zabezpieczone fizycznie przed niepożądanym dostępem. Do podstawowych funkcji realizowanych przez U-PE należy zaliczyć:

- dostarczenie wielu interfejsów (UNI) dla przyłączenia urządzeń klienta (CE – Customer Equipment),
- określenie usług sieci przez zapewnienie tunelowania 802.1Q (np. Q-in-Q), oraz funkcji tagowania 802.1Q na interfejsie UNI,
- zapewnienie realizacji kontraktów SLA przez wsparcie dla usług klasyfikacji, policingu, znakowania (marking) oraz kolejkowania,
- zarządzanie spiętrzeniami ruchu sieciowego.

### PE-AGG – Provider Edge Aggregation

PE-AGG to opcjonalna warstwa w sieciach Metro Ethernet. Stosuje się ją w dużych sieciach, gdzie jest ona lokowana pomiędzy U-PE oraz N-PE. Do podstawowych funkcji PE należy zaliczyć:

- efektywną agregację ruchu,

- multipleksację ruchu oraz zarządzanie spiętrzeniami,
- local switching dla usług Ethernet.

Urządzenia PE-AGG są stosowane w konfiguracji redundantnej: tzn. urządzenia U-PE są dołączane do dwóch niezależnych urządzeń PE-AGG (dla podniesienia poziomu niezawodności sieci). Warto również podkreślić, że urządzenia PE-AGG mogą pełnić rolę U-PE dla klientów instytucjonalnych.

### **N-PE – Network Provider Edge**

N-PE jest to punkt w sieci, gdzie terminowane są usługi sieciowe realizowane w warstwie 2 modelu OSI, a zaczynają być realizowane usługi warstwy trzeciej – typowe usługi rdzenia sieci. N-PE styka się z urządzeniami realizującymi funkcję U-PE oraz urządzeniami P realizującymi rdzeń MPLS. Urządzenia N-PE zapewniają m.in. mapowanie sieci VLAN (zarządzanych przez operatora) do EoMPLS (Ethernet over MPLS) dla usług punkt-punkt oraz VPLS dla usług punkt-wielopunkt. Do podstawowych funkcjonalności N-PE należy zaliczyć:

- bramę do MPLS i usług opartych o IP,
- definicję usług VPLS i VPWS,
- local switching dla usług Ethernet,
- tworzenie sieci VPN Layer 3,
- zaawansowane zarządzanie ruchem i spiętrzeniami w sieci,
- load-balancing pomiędzy ścieżkami EoMPLS.

### **Provider Core (P) Router**

Urządzenia P to routery rdzeniowe, które operują na znacznikach MPLS (MPLS Switching). Rdzeń sieci operatorskiej obejmuje szereg routerów P oraz urządzeń N-PE połączonych w konfiguracji partial lub full-mesh. Do podstawowych funkcji routerów P należy zaliczyć:

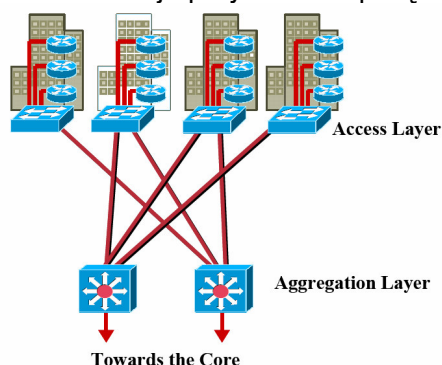
- zapewnienie stabilnych połączeń rdzeniowych
- realizacja połączeń pomiędzy N-PE
- zapewnienie skalowalnej struktury dla realizacji usług L2 VPN oraz MPLS VPN
- wsparcie dla zaawansowanych mechanizmów zarządzania ruchem
- Load balancing pomiędzy ścieżkami MPLS

Urządzenia U-PE, PE-AGG, N-PE oraz P mogą pracować w różnych topologiach sieciowych. Struktury rozważane jako możliwe do zastosowania w sieciach dla samorządów lokalnych to Gigabit Ethernet Hub-and-Spoke oraz Gigabit Ethernet Ring. Inne modele budowy sieci metropolitarnych takie jak np. Ethernet over SONET/SDH znajdują zastosowanie w sieciach operatorów dysponujących już siecią transportową, a usługi Metro Ethernet mają być przez tą sieć przeniesione.

### **Gigabit Ethernet Hub-and-Spoke**

Hub-and-Spoke jest najpopularniejszą topologią budowy sieci. Wynika to m.in. z ogromnego doświadczenia w tworzeniu sieci opartych o ten model pochodzącego ze środowiska sieci kampusowych.

W tym modelu urządzenia sieciowe instalowane w lokalizacji klientów są łączone do dwóch urządzeń agregujących celem uzyskania niezbędnej w takich sieciach redundancji. Poniższy schemat obrazuje przykładowe połączenia w tej topologii



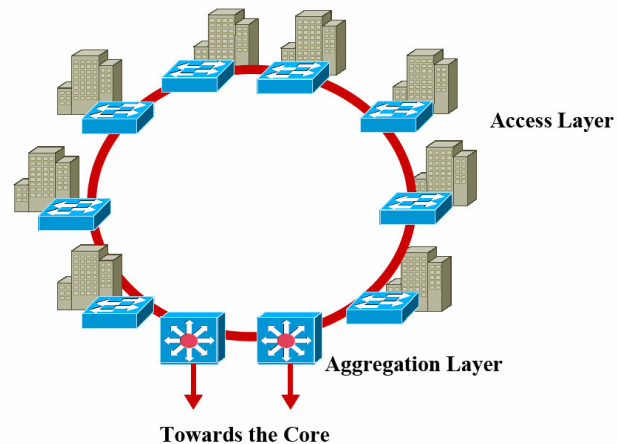
### Gigabit Ethernet Ring

Jest to topologia typowa dla sieci Metro Ethernet. Rzadko, w implementacjach sieci kampusowych stosowana jest technika Ethernet Ringu. Topologia ta została wymuszona przez istniejące struktury okablowania, która w wielu przypadkach tworzyła pierścienie.

Jak wskazuje nazwa, w tej topologii przełączniki łączone są w pierścień, a podstawową przyczyną stosowania tej technologii w porównaniu do Hub-and-Spoke jest koszt. Topologia pierścienia wymaga mniejszych nakładów na strukturę światłowodową, wymaga mniej interfejsów w urządzeniach rdzeniowych etc.

Za niższym kosztem stoją jednak konkretne konsekwencje: współdzielenie pasma w pierścieniu przez wszystkie przełączniki, opóźnienia i jitter w aplikacjach głosowych są zmienne i zależą od położenie przełącznika w pierścieniu. Dodatkowo należy również dobrze przygotować projekt oraz bacznie obserwować sieć pod kątem Spanning Tree. Pomimo faktu że STP dla topologii H&S jak i dla topologii pierścienia funkcjonuje tak samo, to wymagania czasu konwergencji powodują, że znacznie więcej czasu i uwagi kosztuje przygotowanie dobrego projektu sieci w oparciu o pierścień. Wymagania czasu konwergencji powodują również obostrzenia dotyczące ilości przełączników w pierścieniu. Dla implementacji 802.1s/w ten limit wynosi 20, chociaż sam standard dopuszcza 40. W przypadku 802.1d zaleca się by w pierścieniu nie pracowało więcej niż 6-8 przełączników.

Poniższy schemat przedstawia topologię Gigabit Ethernet Ring



## Bezpieczeństwo i dostępność usług w sieci Metro Ethernet

Sieć Metro Ethernet będąc de facto siecią usługową ma znacząco podniesione wymagania związane z bezpieczeństwem i dostępnością. Wynika to chociażby z faktu, że użytkownik sieci Metro Ethernet może posiadać na swojej stacji roboczej dowolną ilość aplikacji mających na celu uniemożliwienie poprawnej pracy sieci, z drugiej strony oczekiwania ciągłości jej pracy. Operator musi uszanować oczekiwania klienta, jednak nie może wymagać „uległości”.

Do typowych ataków, które mają miejsce w sieciach kampusowych i sieciach Metro Ethernet, należy zaliczyć:

- MAC attack,
- PDU Storm,
- VLAN Hopping,
- Native VLAN Broadcast Storm,
- ARP Attack,
- STP Attack,
- VLAN Leaking.

Przeciwko typowym atakom stosuje się szereg mechanizmów pozwalających uniknąć niepożądanych zachowań sieci. Do tych urządzeń należy zaliczyć np. STP RootGuard, listy dostępowe na MAC, zmiana numeru Native VLAN na nietypowy, per-VLAN MAC limiting , Dynamic ARP inspection itp.

Niektóre mechanizmy są wykorzystywane zarówno dla zapewnienia bezpieczeństwa jak również dla zagwarantowania dostępności sieci. STP RootGuard i STP LoopGuard służą także do zapewnienia kontrolowanej rekonfiguracji sieci w przypadku awarii łącz. Jednak typowymi mechanizmami zapewnienia dostępności sieci są 802.1s/w, grupowanie portów 802.3ad (LACP0 Link Aggregation Control Protocol), czy UDLD (Unidirectional Link Detection).

## Zapewnienie jakości usług QoS w sieci Metro Ethernet

Zapewnienie jakości usług (QoS – Quality of Service), określa zdolność sieci do zagwarantowania pewnych parametrów transmisji dla wskazanego typu ruchu, bez

względu na aktualną technologię podkładową (Ethernet 802.1, SDH czy sieć MPLS). QoS pozwala na stworzenie odrębnej usługi sieciowej poprzez:

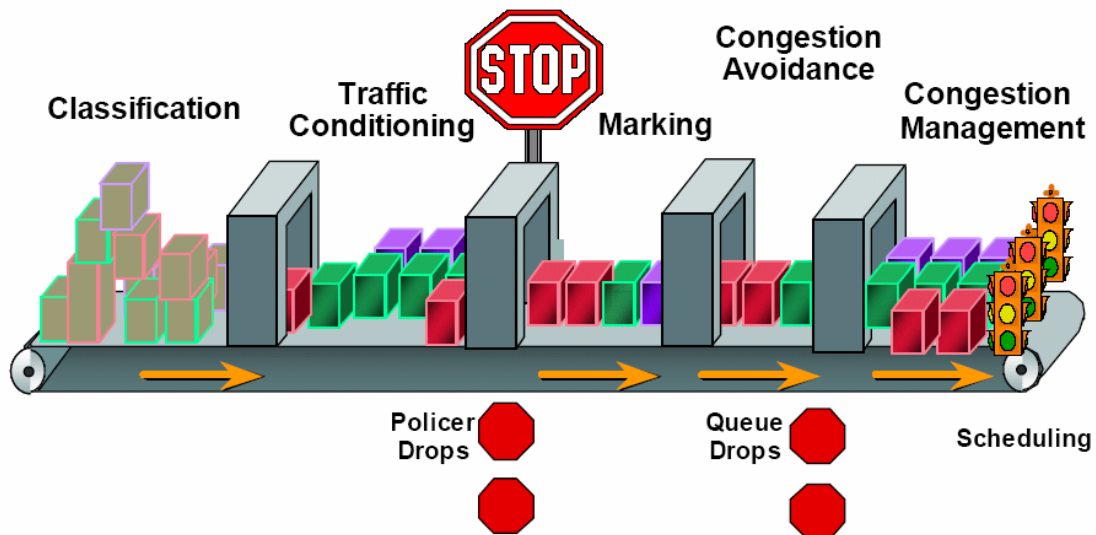
- zapewnienie dedykowanego pasma,
- zmniejszenie ilości gubionych pakietów,
- unikanie i zarządzanie spiętrzeniami w sieci,
- Kształtowanie (shaping) ruchu w sieci,
- Ustawianie i honorowanie priorytetów w całej sieci.

QoS jest krytyczne w sieciach gdzie transportowany jest ruch wrażliwy na opóźnienia, np. Voice over IP, oraz ruch aplikacji krytycznych, szczególnie w miejscach gdzie istnieją „wąskie gardła” w sieci,

Model QoS dla sieci Metro Ethernet został oparty o „QoS Architecture Baseline” – EDCS 206468. Różnicowanie usług jest możliwe na podstawie informacji przenoszonej przez każdy pakiet IP (IP Precedence, Diff-Serv DSCP) lub ramkę Ethernet (Class of Service – CoS). Honorowanie tej informacji w całej sieci umożliwia zapewnienie odpowiedniej jakości transmisji dla określonego typu ruchu. Odbywa się ona za pośrednictwem szeregu mechanizmów pozwalających na klasyfikację (classification), oznaczanie (marking), kształtowanie (shaping) i wymuszanie określonego ruchu (policing), a następnie inteligentne kolejkowanie tego ruchu na portach urządzenia (queuing). W modelu Metro Ethernet stosowane są następujące rodzaje narzędzi QoS:

- klasyfikacja i oznaczanie (Classification and Marking) pozwalające na rozpoznanie ruchu i przypisanie do odpowiedniej klasy, a następnie oznaczenie,
- kształtowanie ruchu (Traffic Conditioning) – zastosowanie mechanizmów shaping i policing pozwala na uzyskanie znany m.in. z Frame Relay gwarancji pasma CIR i PIR,
- unikanie spiętrzeń (Congestion Avoidance) – wykorzystuje narzędzia Random Early Detection pozwalające na zarządzanie przepływającym ruchem dla uniknięcia spiętrzenia,
- zarządzanie spiętrzeniami (Congestion Management) bardzo często sprowadza się do wprowadzenia mechanizmów inteligentnego kolejkowania.

Poniższy schemat obrazuje kolejność wprowadzanie poszczególnych działań



## Usługi sieci Metro Ethernet.

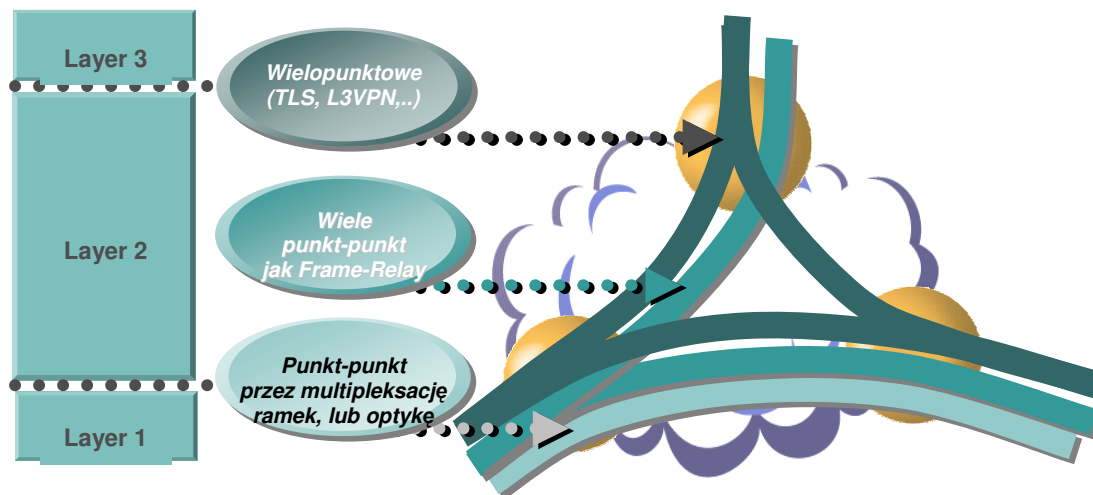
Wiele z mechanizmów, opisanych w poprzednich punktach, może odnosić się zarówno do sieci kampusowych, jak i do sieci Metro Ethernet. Warto zatem zaznaczyć, że sieci Metro Ethernet widziane z perspektywy operatora to przede wszystkim usługi, które mogą być zaproponowane klientowi. Sieć klienta może oznaczać sieć odseparowaną, ale także specyficzny rodzaj komunikacji pomiędzy wyznaczonymi punktami.

W sieci miejskiej przykładowymi „Klientami” mogą być:

- szkoły – uczniowie i nauczyciele korzystający z centralnego portalu edukacyjnego,
- szkoły – personel zarządzający korzystający z centralnego serwera aplikacji finansowo-księgowej,
- szpitale – telemedycyna,
- itd. itp.

Warto zauważyć że poszczególne aplikacje mają różnego rodzaju wymagania dotyczące pasma, opóźnień etc. Stosując tradycyjne technologie warstwy 1 i 2 można by określić, że niektóre aplikacje wymagają połączenia dzierżawionego wysokiej jakości, inne połączenia klasy Frame Relay z wysokim CIR, inne wreszcie wymagają jedynie dostępności bez gwarancji opóźnień.

Zróznicowane wymagania mogą być spełniane w sieci Metro Ethernet przez wprowadzenie odpowiednich usług konfigurowanych na urządzeniach dotychczas przypominających sieć kampusową. W efekcie możliwe jest uzyskanie usługi łącząco podobnej do linii dzierżawionej, sieci Frame Relay, czy nawet usługi gdzie sieć operatorska może pracować podobnie do sieci LAN. Taka elastyczność pochodzi z modelu, który jest wyjściowym dla sieci Metro Ethernet (zamieszczony poniżej)



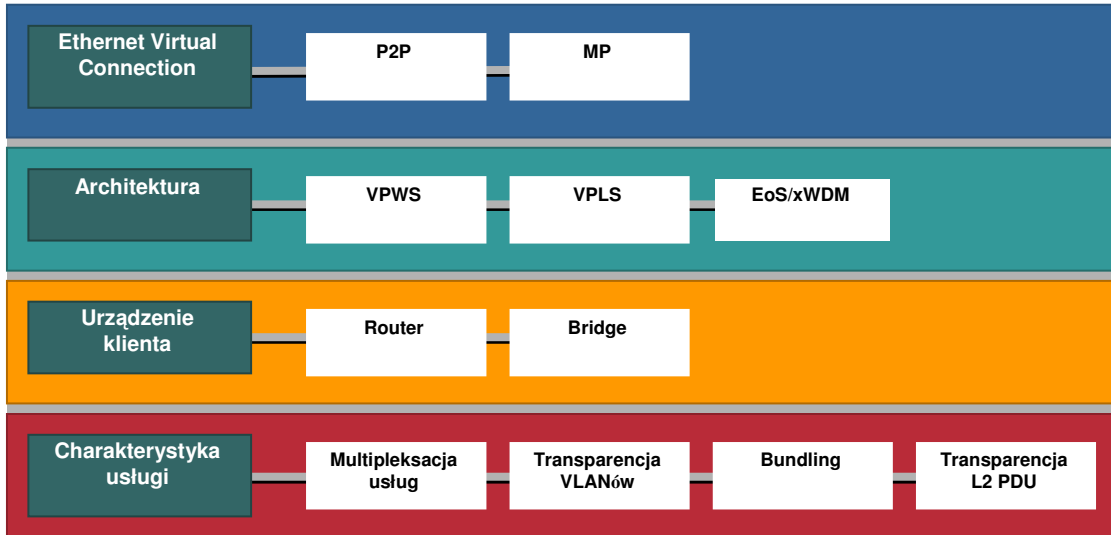
Do usług Metro Ethernet zaliczamy:

- Ethernet Private Line –EPL,
- Ethernet Wire Service – EWS,
- Ethernet Relay Service – ERS,

- Ethernet Multipoint Service – EMS,
- Ethernet Relay Multipoint Service – ERMS.

Dla właściwego odróżnienia usług Metro Ethernet przygotowano model porównawczy określający:

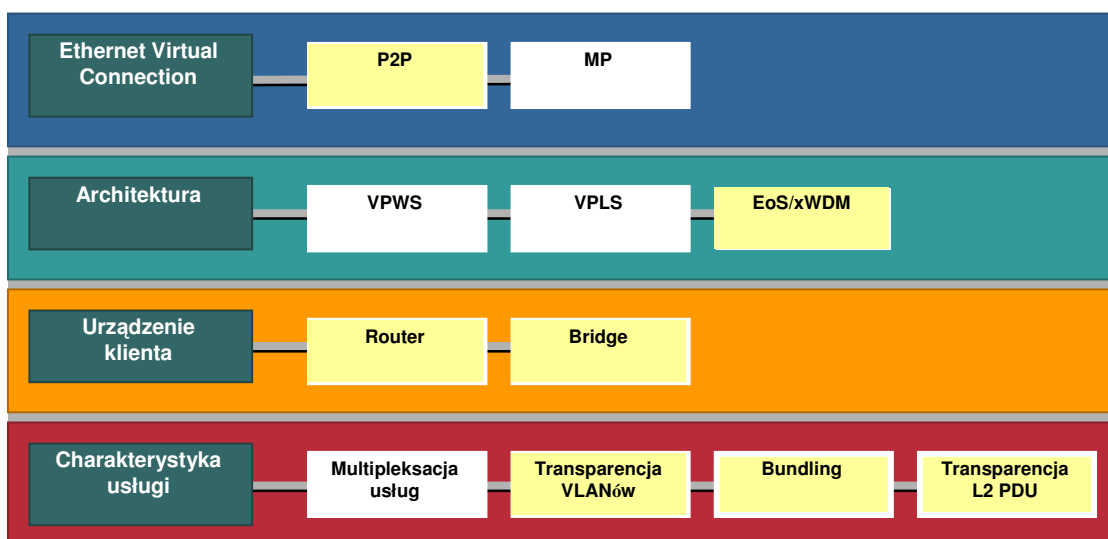
- czy usługa jest punkt-punkt czy wielopunkt - wielopunkt,
- czy wykorzystuje Virtual Private Wire Service (VPWS) czy Virtual Private LAN Service (VPLS) czy wreszcie Ethernet over SDH lub WDM,
- czy urządzenie klienckie to router czy przełącznik,
- które usługi dodatkowe są realizowane w obrębie usługi Metro Ethernet.



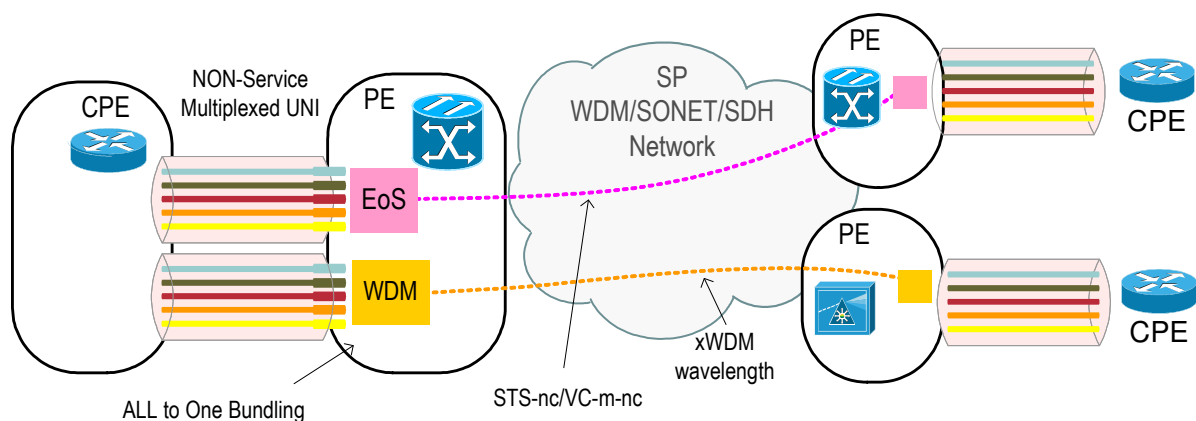
## Ethernet Private Line

Cechy typowe:

- usługa punkt - punkt oparta na portach (SDH/WDM),
- Brak multipleksacji,
- Transparentne przenoszenie BPDU,
- Brak nadsubskrypcji (EoSDH lub WDM),
- Urządzenia CE to routery lub bridge.



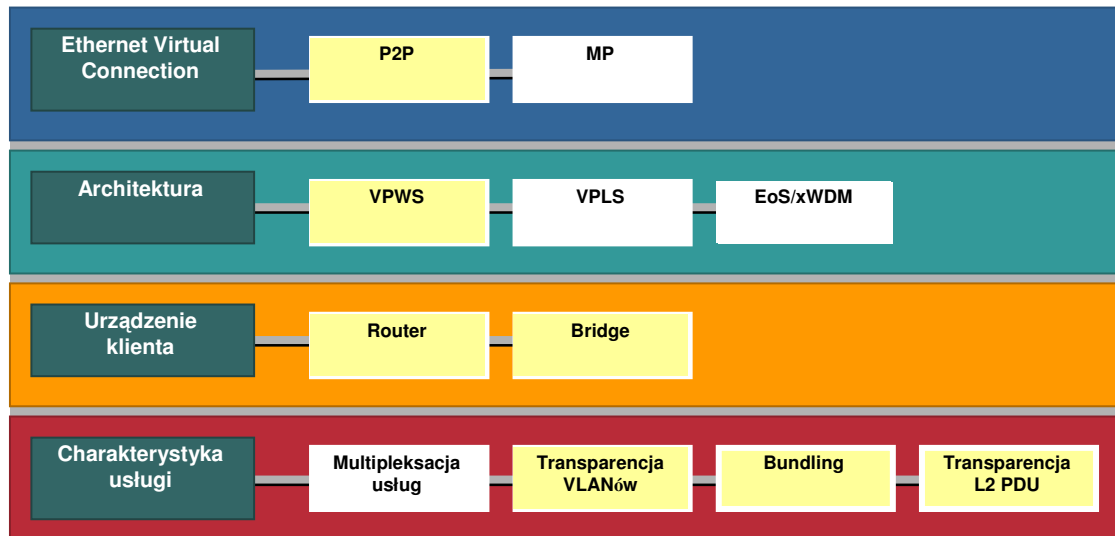
Poniższy schemat obrazuje typową strukturę logiczną:



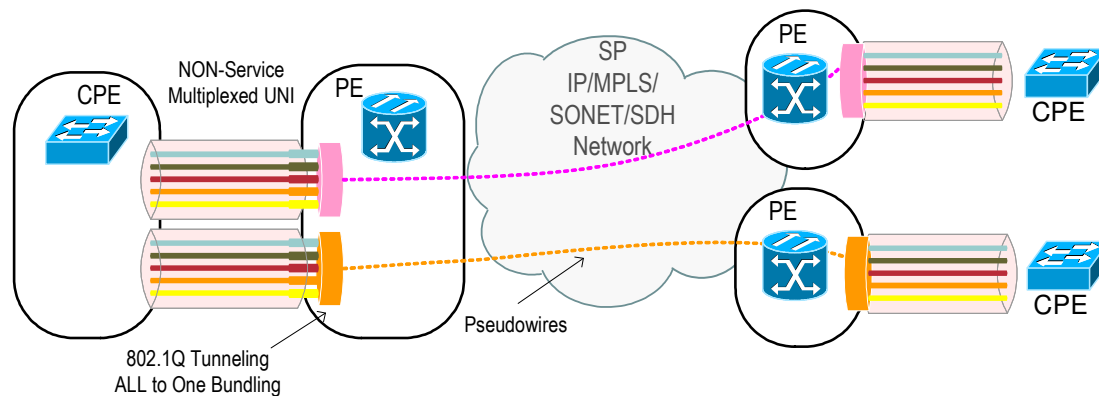
## Ethernet Wire Service

Cechy typowe:

- usługa punkt - punkt oparta na portach,
- brak multipleksacji,
- transparentne przenoszenie BPDU,
- nadsubskrybcja statystyczna,
- urządzenia CE to routery lub bridge.



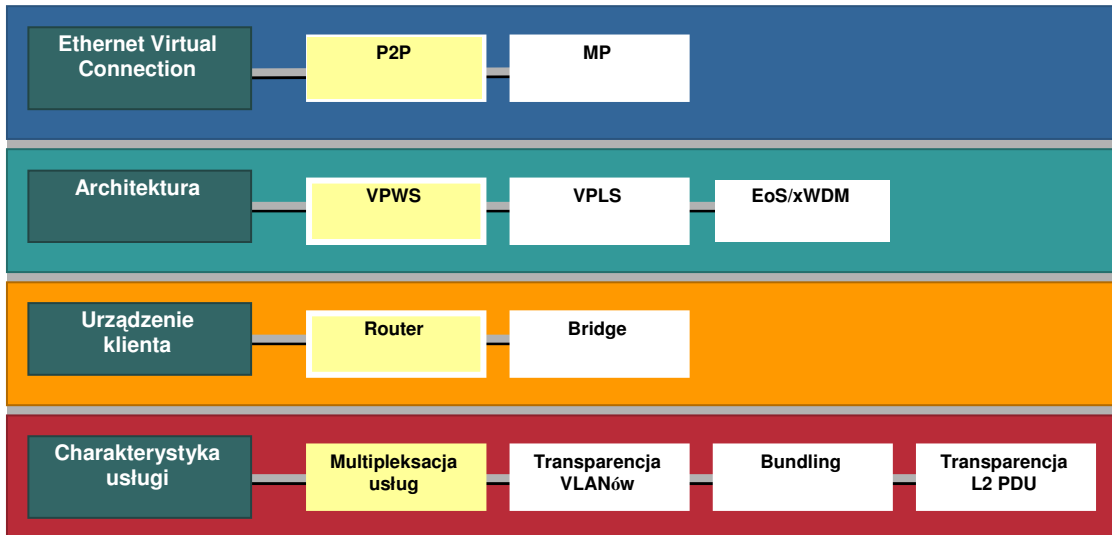
Poniższy schemat obrazuje typową strukturę logiczną



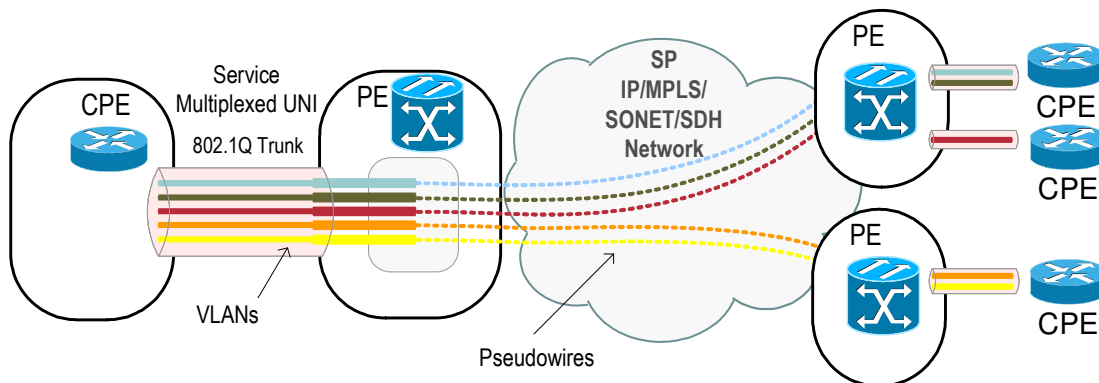
## Ethernet Relay Service

Cechy typowe:

- usługa punkt - punkt oparta na VLANach, odpowiednik Frame Relay wykorzystujący VLANy zamiast VC,
- multipleksacja usług na UNI (np. trunk 802.1Q),
- modyfikuje BDU klienta (nie przenosi BPDU),
- nadsukrybcja statystyczna,
- rekomendowane urządzenia CE to routery.



Poniższy schemat obrazuje typową strukturę logiczną

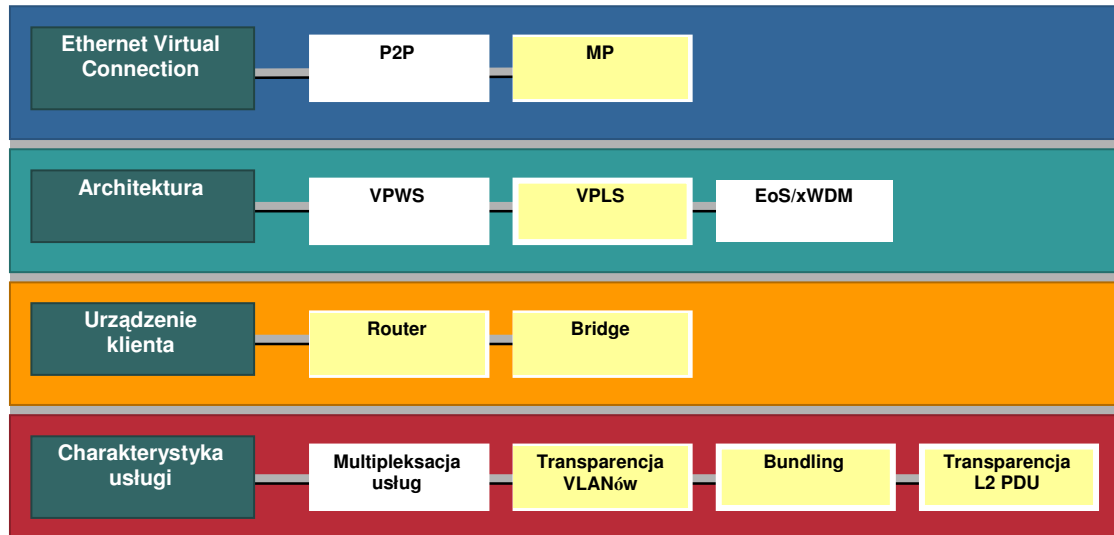


## Ethernet Multipoint Service

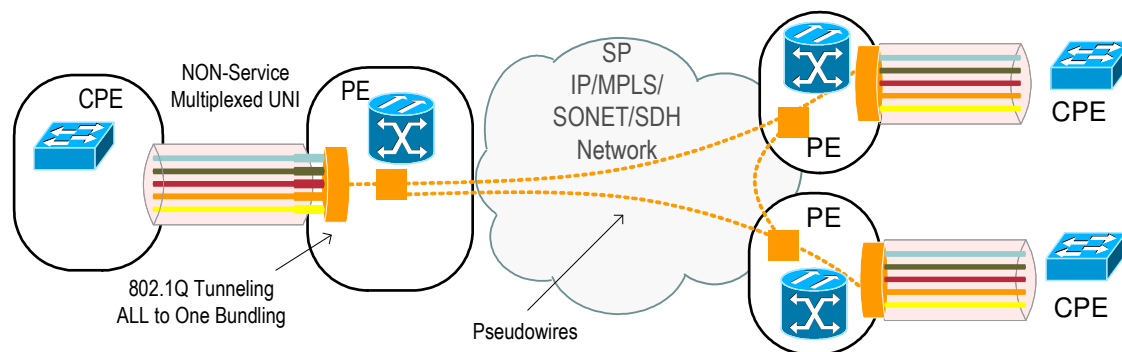
Cechy typowe:

- usługa wielopunktowa – wszystkie urządzenia są sąsiadami,
- brak multipleksacji - wszystkie VLANy we wszystkich lokalizacjach,
- transparentne przenoszenie BPDU,
- urządzenia CE to routery lub bridge.

Usługa ta bywa też nazywana TLS (Transparent LAN Service), E-LAN lub VPLS



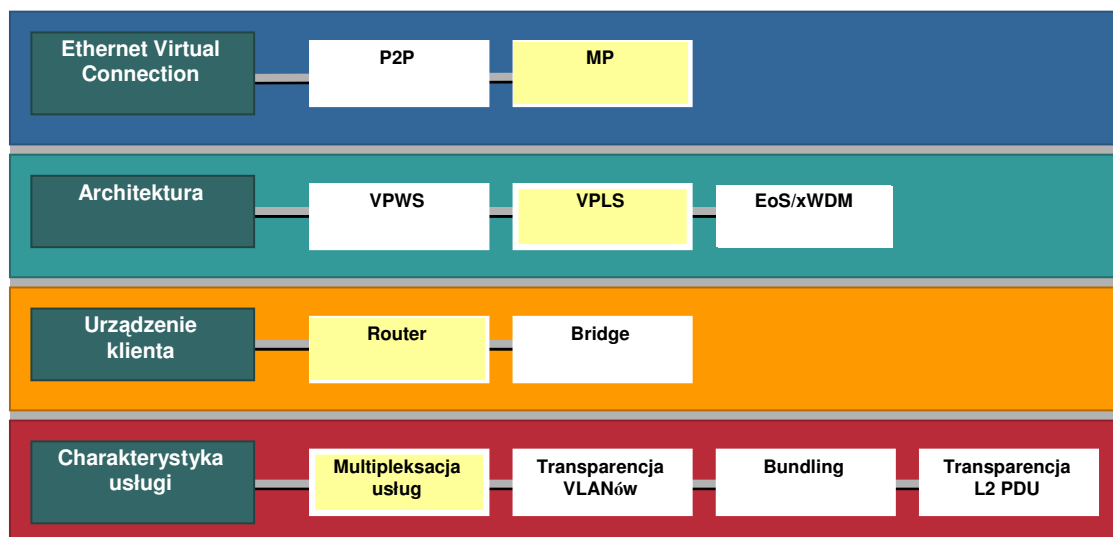
Poniższy schemat obrazuje typową strukturę logiczną



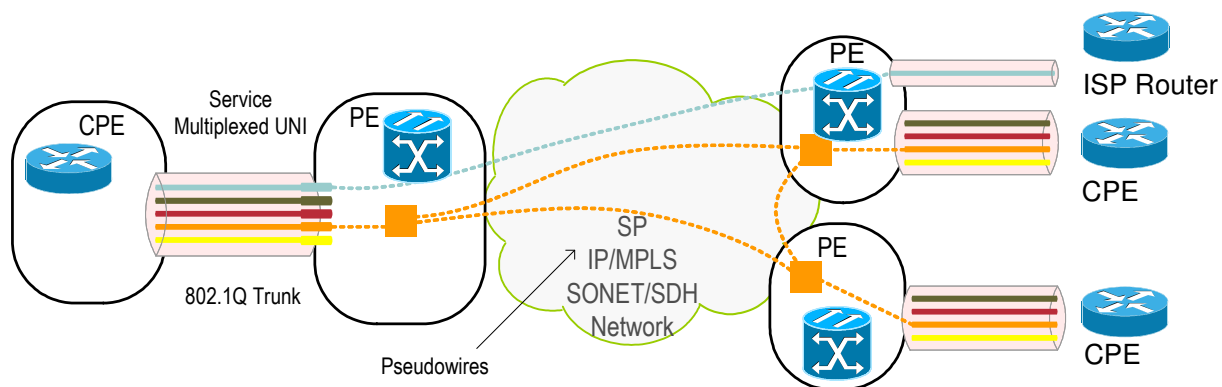
## Ethernet Relay Multipoint Service

Cechy typowe:

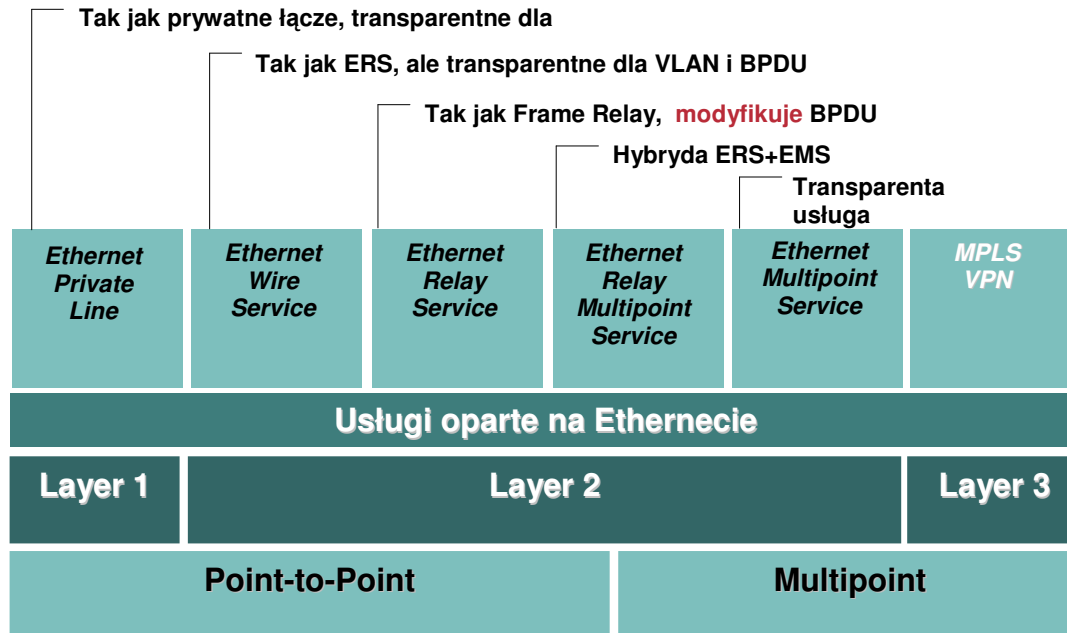
- usługa wielopunktowa oparta na VLANach,
- multipleksacja usług na UNI,
- zarówno point - to-point jak i multipoint – to - multipoint na tym samym UNI,
- rekomendowane urządzenia CE to routery.



Poniższy schemat obrazuje typową strukturę logiczną



Usługi oparte na Ethernetie podsumowano na poniższym schemacie



## Zarządzanie sieciami Metro Ethernet

Narzędzia zarządzające powinny umożliwić operatorowi efektywne zarządzanie siecią. Składają się na to zarówno narzędzia zarządzające, jak i procesy. Zasadniczo w większości systemów zarządzania należy wyróżnić 5 komponentów, które są niezbędne do uzyskania pożądanej funkcjonalności:

- Centrum Zarządzania Siecią (Network Operations Center – NOC),
- sieć komunikacji z urządzeniami zarządzanymi (Data Communications Network (DCN)),
- aplikacje zarządzania i synchronizacji czasu,
- zarządzanie zasobami (Resource Management and Operations - RM&O),
- zarządzanie usługami (Service Management and Operations – SM&O).

Poza powyższymi można jeszcze wyróżnić takie aplikacje jak CRM (Customer Relationship Management) czy podobną aplikację dla współpracy z firmami partnerskimi - Partner Relationship Management. Nie są one jednak niezbędne dla prawidłowego planowania, wdrażania i zarządzania siecią z technicznego punktu widzenia, a jedynie wspierają biznesowe aspekty działania operatora.

### **3. Budowa szerokopasmowej sieci miejskiej**

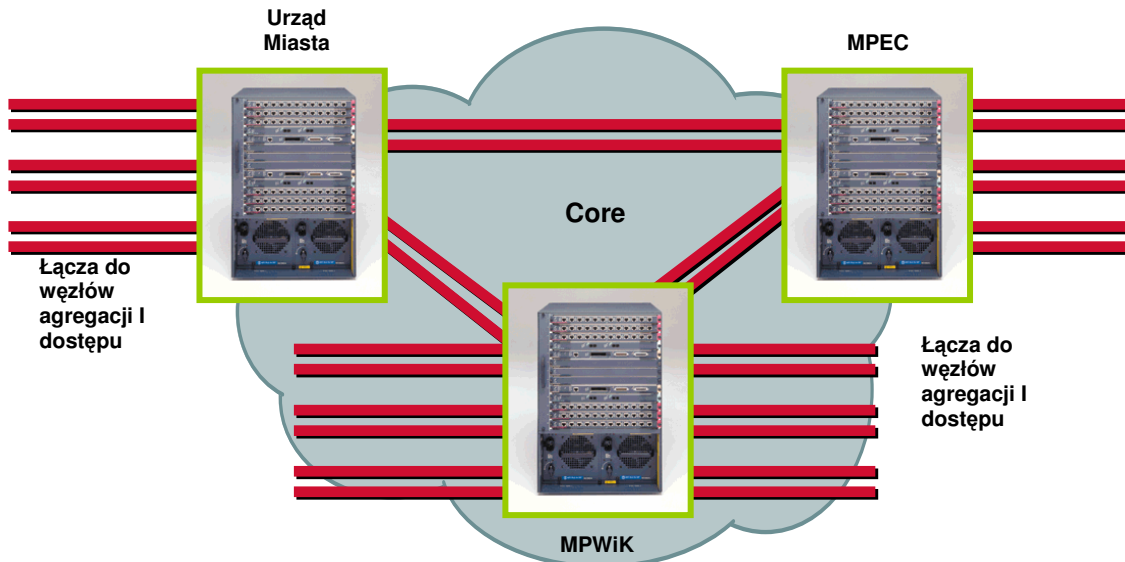
Wraz z wejściem Polski do Unii Europejskiej przed samorządami, pojawiły się nowe wyzwania. Jednym z nich jest stworzenie efektywnego modelu komunikacji pomiędzy poszczególnymi jednostkami działającymi w mieście. Jako jednostki należy postrzegać nie tylko obiekty Jednostki Samorządu Terytorialnego – JST (Urzędu Miasta czy Gminy), ale także szkoły, biblioteki oraz inne ważne dla gminy jednostki użyteczności publicznej, takie jak straż pożarna, jednostki służby zdrowia etc. Ze względu na dużą rozpiętość potrzeb przyłączanych obiektów bardzo często stosuje się trzyetapowy model tworzenia sieci. Ogromnym udogodnieniem jest fakt, że poszczególne etapy mogą być uruchamiane niezależnie. Pierwszym etapem jest budowa wydajnej sieci kampusowej dla samej JST. Wiele miast w Polsce ten etap ma już za sobą, stąd też nie będzie on szczegółowo rozważany w tym dokumencie. W drugim etapie przewiduje się przyłączenie obiektów miejskich i użyteczności publicznej, w trzecim zaś przyłączenie samych mieszkańców. Niezależność poszczególnych etapów dobrze obrazuje przykład miast, gdzie poszczególne etapy są realizowane równolegle: budowa sieci JST, budowa sieci dla jednostek miejskich oraz budowa struktury komercyjnego dostępu dla mieszkańców.

Najpilniejszym działaniem jest budowa sieci pomiędzy jednostkami miejskimi. Wynika to chociażby z uwarunkowań ustawowych, które nakładają na samorzady obowiązek dostarczenia wymienionych obiektów szerokopasmowego łącza dostępowego do internetu. Internet może być jedną z aplikacji realizowanych w sieci miejskiej.

Sieć miejska powinna być budowana w oparciu o technologie światłowodowe stąd w pierwszej kolejności należy rozważyć taki przypadek.

Zakładając, że możemy stworzyć strukturę kablową dla indywidualnych potrzeb miasta możemy przyjąć konkretną strukturę sieciową złożoną z rdzenia, warstwy agregacji/dystrybucji oraz dostępu.

Rdzeń sieci w większości miast w Polsce będzie składał się z 1 lub 2 par urządzeń. Jedynie w miastach powyżej 80-100 tysięcy mieszkańców należy przewidywać większą ilość węzłów rdzeniowych. Jest to oczywiście uproszczenie, ponieważ rzeczywista struktura sieci jest dla każdego miasta inna. Urządzenia rdzeniowe są z definicji urządzenia pozwalającymi na przełączanie w warstwie trzeciej. Są one umieszczane w lokalizacjach o stosunkowo wysokim bezpieczeństwie zapewniającym niskie prawdopodobieństwo dostępu do nich osób postronnych. Niezwykle istotny jest dobór urządzeń rdzeniowych – należy je rozważać nie tylko dla potrzeb przyłączania obiektów w drugim etapie, ale w kontekście budowy całej sieci. Zły dobór urządzeń może spowodować w niedalekiej przyszłości niemożność lub bardzo okrojone możliwości wdrożenia niektórych usług, takich jak np. telemedycyna. W bardzo dużych miastach strukturę rdzenia buduje się w oparciu o duże urządzenia operatorskie klasy Cisco GSR 12000. W mniejszych funkcja rdzenia jest realizowana przez urządzenia klasy Cisco 7600. Rdzeń sieci miejskiej dla miasta np. 120 tysięcznego (dalsze rozważania będą odnosić się do tego przykładu) nie jest bardzo mocno skomplikowany. W takim mieście należy przewidzieć trzy węzły rdzeniowe.



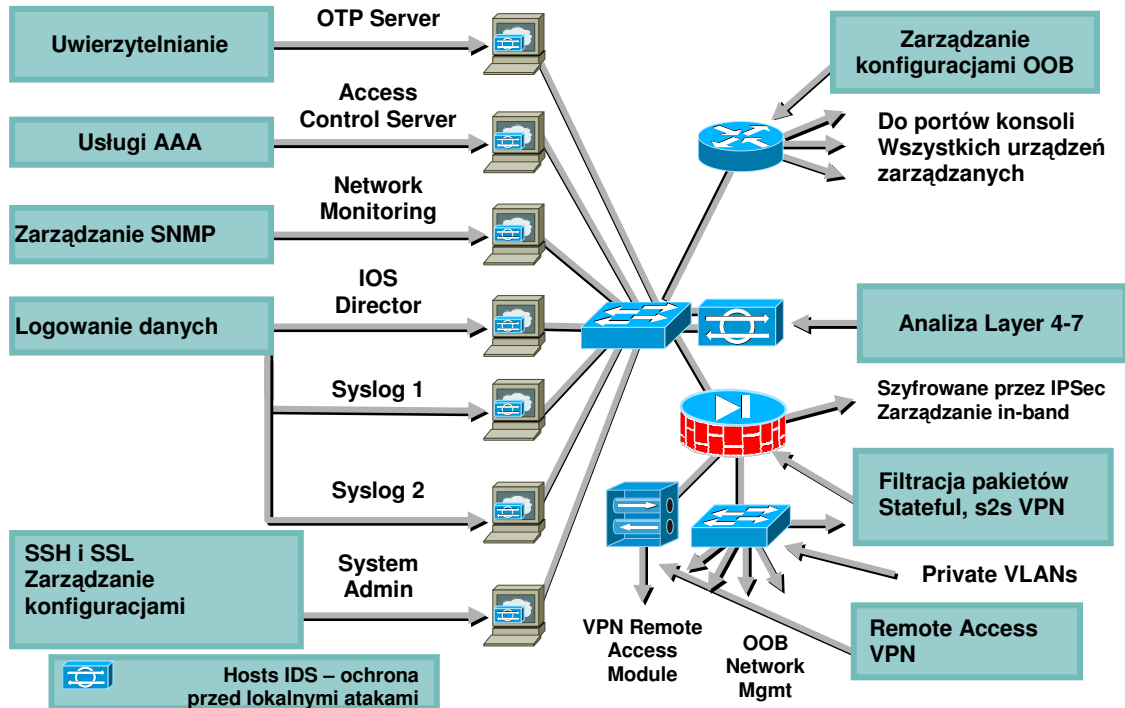
Poszczególne węzły rdzeniowe reprezentowane na schemacie przez pojedyncze urządzenia powinny być budowane w oparciu o model redundanthy. Redundancja powinna być realizowana poprzez dublowanie urządzeń. W bardzo odosobnionych przypadkach stosuje się model redundancji „in-chassis”, polegający na dublowaniu modułów w obrębie pojedynczego urządzenia. Same urządzenia powinny posiadać możliwość uzyskania redundancji w obrębie ich samych – dotyczy to nie tylko zasilaczy, ale przede wszystkim głównych modułów przełączających.

Zaznaczone na schemacie jednostki nie są przypadkowe. W wielu projektowanych sieciach z udziałem spółek komunalnych dla umieszczenia urządzeń rdzeniowych dedykuje się pomieszczenia w siedzibach spółek. Jest to bodaj najłatwiejszy sposób spełnienia kryteriów stawianych lokalizacją węzłów rdzenia sieci.

Jak przedstawiono na załączonym schemacie łącza „w dół” mogą przebiegać zarówno do węzłów agregujących, jak i bezpośrednio do węzłów dostępowych. Wówczas urządzenie rdzeniowe pełni dodatkowo funkcje urządzenia warstwy dystrybucji/agregacji. Urządzenia dostępowe podłączone są do urządzeń agregujących w oparciu o topologię GigabitEthernet Ring lub Gigabit Ethernet Hub&Spoke.

Miasto - 120 tysięcy mieszkańców – posiada około 100-120 jednostek użyteczności publicznej. Stosując topologię H&S należy zatem przewidzieć około 140 portów GE w urządzeniach rdzeniowych (pomniejszoną o ilość portów/przyłączy realizowanych przez dedykowane urządzenia agregacji).

Struktura usługowa sieci miejskiej powinna ponadto zawierać dedykowaną strukturę NOC – chronioną firewallem, systemem wykrywania włamań oraz wewnętrznymi obostrzeniami. Przykładowy model NOC wraz z określonym modelem wymiany informacji został zamieszczony poniżej.



Dwa kolejne elementy rozważane przy budowie sieci METRO Ethernet – powiązane pośrednio, ale mające duży wpływ na funkcjonowanie sieci – to Centrum Danych (Data Center) oraz wydajny styk z internetem (Internet eXchange Point – IXP). Powyższe usługi nie wpływają wprost na możliwości sieci samej w sobie natomiast wpływają bezpośrednio na jakość korzystania z zasobów sieci globalnej oraz na możliwość szybkiego dostępu do informacji przechowywanych w samej sieci miejskiej.

Jak zaznaczono we wstępie, sieć Metro Ethernet powinna być budowana jako sieć wielousługowa czyli sieć pozwalająca na jednoczesną transmisję danych, głosu i wideo dla wszystkich odbiorców w poszczególnych lokalizacjach. Warto zatem określić rodzaje aplikacji typowych dla sieci miejskiej. Podstawową aplikacją jest dostęp do internetu. Kolejne to chociażby aplikacje E-learningowe czy aplikacje finansowo-księgowo umożliwiające kontrolę wydatków szkół. Usługi multimedialne to poza prawie zawsze wymienianym e-learningiem również aplikacje telefonii IP pozwalająca praktycznie w każdym przypadku na uzyskanie oszczędności. Budowa sieci w oparciu o technologię Ethernet i przepustowość 10/100 Mbps pozwala z powodzeniem korzystać z wszystkich powyższych usług jednocześnie. W większych sieciach, gdzie wymagania dla pojedynczych użytkowników przekraczają 100Mbps stosuje się przyłącza o przepustowości 1Gbps.

Realnie w wielu implementacjach sieci Metro w Europie zastosowano te możliwości do uruchomienia wymagających usług:

Usługa	Korzyść
Wysokiej jakości E-learning	Wyrównywanie szans osób niepełnosprawnych
Usługi medyczne	Transfer obrazu z sal operacyjnych i konsultacje w innych szpitalach

Monitoring chorych	Wyższy poziom opieki medycznej - możliwość bardzo szybkiego (również cyklicznego) przesłania wyników badań wykonywanych lokalnie do lekarza znajdującego się w szpitalu
	Wyższy poziom opieki medycznej – możliwość dokonania konsultacji lekarza rodzinnego u specjalisty dzięki zastosowaniu technik multimedialnych w gabinetach lekarskich
	Wyższy poziom opieki medycznej – możliwość stworzenia bazy danych o przebiegu leczenia chorych co ułatwi korzystanie z opieki medycznej
Telepraca	Możliwość aktywizacji osób niepełnosprawnych dzięki możliwości wykonywania pracy z wykorzystaniem technik multimedialnych
Edukacja	Wzbogacenie „oferty” bibliotek o treści multimedialnych
Bezpieczeństwo	Możliwość monitoringu szkół, mieszkań, domów
	Możliwość monitoringu miasta

Budowa wielousługowych sieci miejskich wymaga jednak doświadczenia i nie można traktować jej jako „trochę większej” sieci LAN. O ile wstępne określenie rodzin produktów do budowy takich sieci nie jest bardzo trudne, o tyle model Adresacji logicznej IP, reguł wymiany informacji, polityki bezpieczeństwa, modelu zapewnienia jakości usług dla sieci MAN oraz dla jednostek przyłączanych, wymaga już dogłębnej analizy. Również zaprojektowanie elementów stricte operatorskich: operatorskiego styku telefonicznego dla wymiany informacji z tradycyjnymi dostawcami usługi telefonii czy zaawansowanego systemu zarządzania wymaga specjalistycznej wiedzy.

Należy zatem zakładać udział w projektach miejskich szeregu specjalistów – na wszystkich etapach prac: od projektu poprzez układanie okablowania, na konfiguracji usług logicznych skończywszy.

#### 4. Dlaczego Ethernet ?

Przedstawiona metodologia stanowi jedynie jedno z możliwych rozwiązań. Sieci Metro Ethernet budowane są przy założeniu co najmniej kilkuletniego użytkowania. Konieczne jest zatem zapewnienie przepustowości dla poszczególnych użytkowników z parametrami, które są standardem dla użytkowników w krajach np. Unii Europejskiej.

Przyjmując, że minimalna przepustowość dla pojedynczego użytkownika korzystającego z zasobów w instytucji wynosi składową trzech usług:

- transmisji danych – przyjęto minimalną przepustowość na poziomie około 500kbps, co pozwala na sprostanie wymaganiom otwarcia strony internetowej wewnątrz sieci w czasie poniżej 6-8 sekund (czas akceptowalny dla przeciętnego użytkownika w Stanach Zjednoczonych),
- transmisji głosu – przyjęto, że wymagane pasmo nie przekroczy 100Kbps,
- transmisji wideo – przyjęto, że wymagany standard to MPEG-1 wymagający około 6 Mbps pasma dla każdego z użytkowników,

można określić minimalną przepustowość na około 7Mbps.

Za modelowe rozwiązanie przyjmuje się szkołę (stanowią one około 40% wszystkich przyłączanych obiektów w mieście) – 5 komputerów administracji oraz 15 komputerów w pracowni informatycznej. Sumarycznie 20 użytkowników wymagających około 210 Mbps pasma.

Możliwości wykorzystania innych technologii:

1. Technologia DSL – nieefektywna – wymaga koncentracji dużej liczby łączy DSL dla uzyskania pożądanej przepustowości.
2. Technologia Cable – Wymaga wybudowania tzw. Head End dla transmisji sygnału Cable (wykorzystywany byłby DOCSIS lub EuroDOCSIS). Abstrahując od wymagań dotyczących technologii kablowych warto zaznaczyć, że wyposażenie pozwalające na uzyskanie przepustowości 200Mbps osiąga koszt porównywalny do kosztu budowy sieci GigabitEthernet – bez uwzględnienia kosztów budowy struktur telewizji kablowej
3. Wykorzystanie lokalnego operatora dostarczającego usługę z przepustowością co najmniej 155Mbps dla każdej z lokalizacji (interfejs ATM lub POS). Koszt wyposażenia szkół w urządzenia routujące przewyższa znacząco koszt budowy sieci Metro Ethernet

Jedynie system DSL może dostarczyć podobną funkcjonalność. Wprowadzenie rozwiązania opartego o DSL niesie ze sobą pewne konsekwencje, które decydują o wyborze przez wielu operatorów i miast Ethernetu jako technologii dla budowy sieci:

- zwiększenie przepustowości wiąże się z nakładami po stronie centralnej oraz po stronie lokalizacji dostępowej, rozwiązanie Ethernet daje przepustowość 1Gbps bez dodatkowych kosztów,

- technologia DSL wymaga zastosowania rozwiązań stricte operatorskich, w przypadku Ethernetu możliwe jest wykorzystanie rozwiązań klasy Enterprise, a następnie migrowanie do struktur operatorskich,
- technologia DSL ma znaczące ograniczenia odległości (zasięg do kilku kilometrów)– w przypadku technologii Ethernet zasięgi są określane na poziomie kilkudziesięciu kilometrów.

Ostatecznie po rozważeniu wszelkich zalet i ograniczeń uznano, że Metro Ethernet zapewnia najlepsze parametry i jest relatywnie najtańszym rozwiązaniem dla budowy sieci miejskich.

## **5. Teraz ... METRO ETTX !!!**

Dynamiczny rozwój sieci Metro Ethernet jest efektem wielu czynników. Należy do nich zaliczyć ogromny postęp technologiczny w obrębie samej technologii Ethernet oraz stosu protokołów TCP/IP od strony technicznej a także jednoznaczne wskazania badań, które mówią, że wydajna struktura komunikacyjna bezpośrednio wpływa na wydajność pracy oraz na poziom zadowolenia mieszkańców. Stojąc zatem przed wyborem stworzenia sieci dla miasta z możliwością uzyskania dodatkowych korzyści lub budowy nieefektywnej struktury wielu niezależnych wyjść do sieci globalnej, decyzja nasuwa się sama.

Z pewnością decyzja o budowie sieci musi być podparta, co najmniej wstępną analizą możliwości prowadzenia połączeń w mieście oraz analizą finansową. Jednakże bazując już na wielu przykładach można stwierdzić, że sieci Metro Ethernet stanowią preferowaną alternatywę.

W wielu gremiach naukowych wspomina się, że najbliższe lata będą należały do technologii Ethernet – warto o tym pamiętać przygotowując model komunikacji w mieście.

## Załącznik A: Modelowy dobór urządzeń Cisco dla sieci Metro Ethernet

