

# Czy istnieje konieczność ewolucji sieci IP do sieci IP QoS?

Jeżeli założymy, że IP ma być w przyszłości platforma dla wszystkich usług to odpowiedź jest trywialna, tzn. brzmi TAK.

**Dlaczego zatem IP „chce” i może pretendować do tej roli?**

Aby dać na to odpowiedź rozważmy główne grupy działające na rzecz realizacji usług komunikacji i informacji.

Są to:

- **telekomunikacja**,
- **techniki komputerowe** (Internet z przyległościami),
- **media** (dostawcy zawartości, głównie programy TV i TV kablowa).

Spróbujmy określić i podać cechy, które są wspólne dla każdej z nich i możliwie dobrze je charakteryzują.

Podstawowe i istotne cechy to:

- **jakość usług**,
- **szerokość pasma** udostępniana usłudze,
- **elastyczność** do zmian.

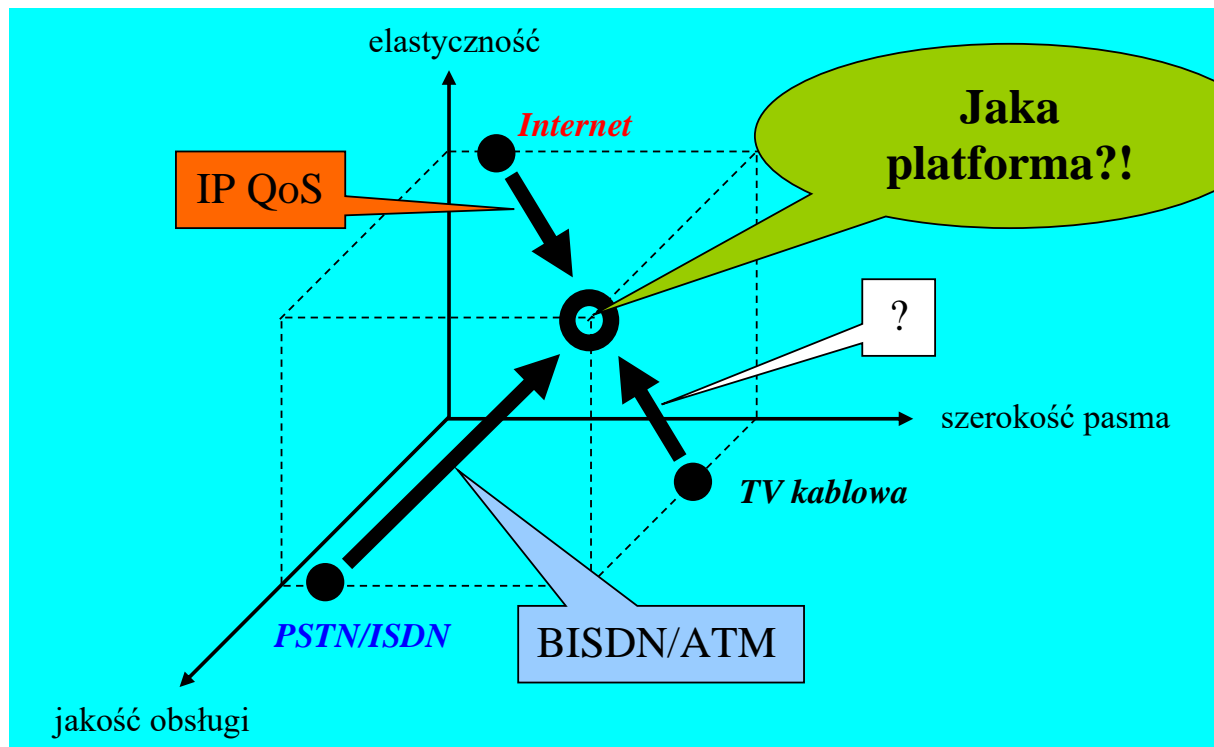
Przyporządkujmy wartości do każdej z cech dla wymienionych grup interesów:

**Telekomunikacja**: wysoka jakość, małe pasmo, mała elastyczność;

**Techniki komputerowe**: żadna jakość, jako takie pasmo, wysoka elastyczność;

**Media**: dość duża jakość, szerokie pasmo, żadna elastyczność.

Jeżeli chcemy aby te trzy grupy zainteresowań mogły działać na wspólnej platformie technologicznej to wymienione cechy muszą gdzieś się spotkać, tzn. być akceptowalne przez zainteresowane strony.



Jeżeli już istnieje konieczność przekształcenia sieci IP w sieć IP QoS to co ma wpływ na sposób podejścia do jej realizacji?

Są to przede wszystkim:

- charakter ruchu w sieci IP,
- zmiany ruchu w sieci IP.

Jednocześnie chce się zachować większość dotychczasowych cech sieci IP, które określają jej atrakcyjność. Są to (tak było gdy prowadzono tego typu analizę):

- prostota realizacji sieci,
- możliwość dynamicznej zmiany struktury sieci,
- możliwość maksymalnego wykorzystania zasobów sieci,
- różnorodność sprzętowa,
- niskie koszty eksploatacji,
- niskie koszty usług komunikacji.

Spróbujemy przeprowadzić porównanie dla sieci PSTN/ISDN oraz sieci IP – jest to porównanie z czasów w których podejmowano decyzję!!!

### Charakter i zmiany ruchu w sieci PSTN/ISDN

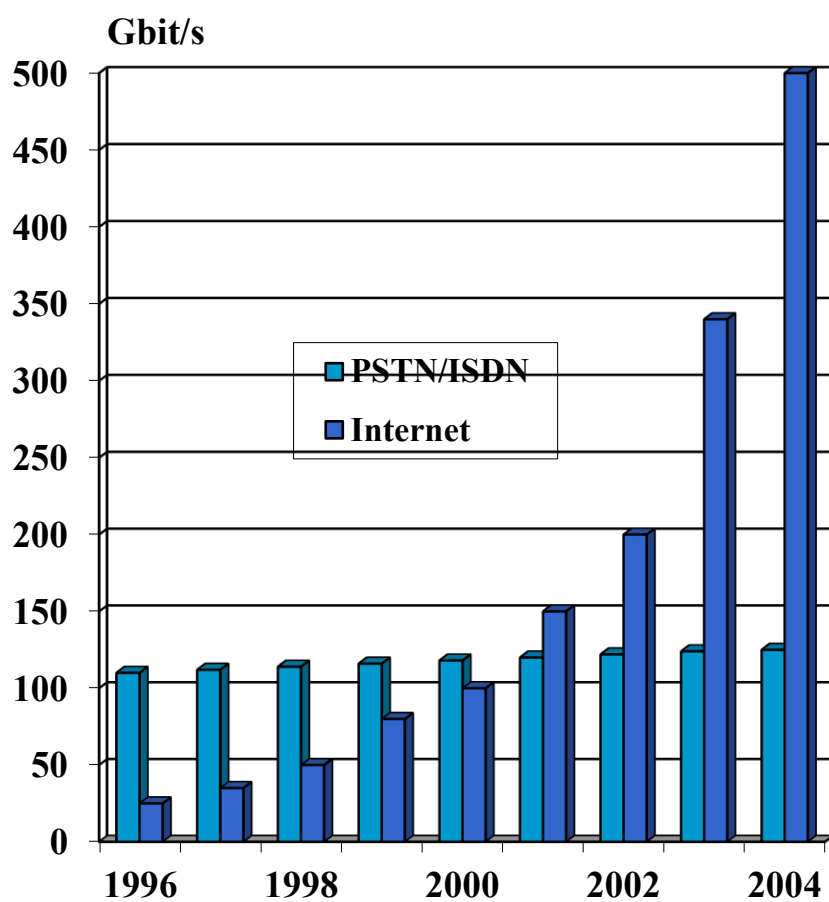
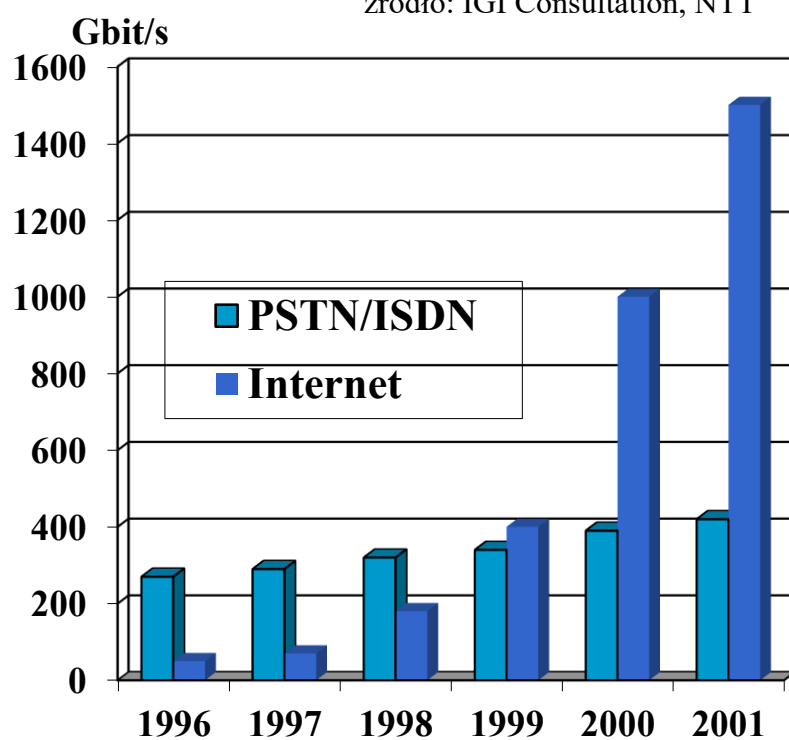
- obsługuje ruch, który jest przede wszystkim ruchem wynikającym z obsługi „mowy”,
- jeżeli nawet weźmiemy pod uwagę usługi wynikające z:
  - sieci ISDN,
  - istnienia FAX’ów,
  - istnienia MODEM’ów
- to i tak udział „mowy” znacznie przewyższa udział „danych”,
- przyrost ruchu jest nieduży, zatem
- przyrost dochodu także nie będzie duży (nie mylić z wielkością dochodu!),
- modele ruchu są w miarę proste i sprawdziły się w praktyce inżynierskiej, tzn. zdały egzamin w projektowania sieci telekomunikacyjnej.

### Charakter i zmiany ruchu w sieci Internet

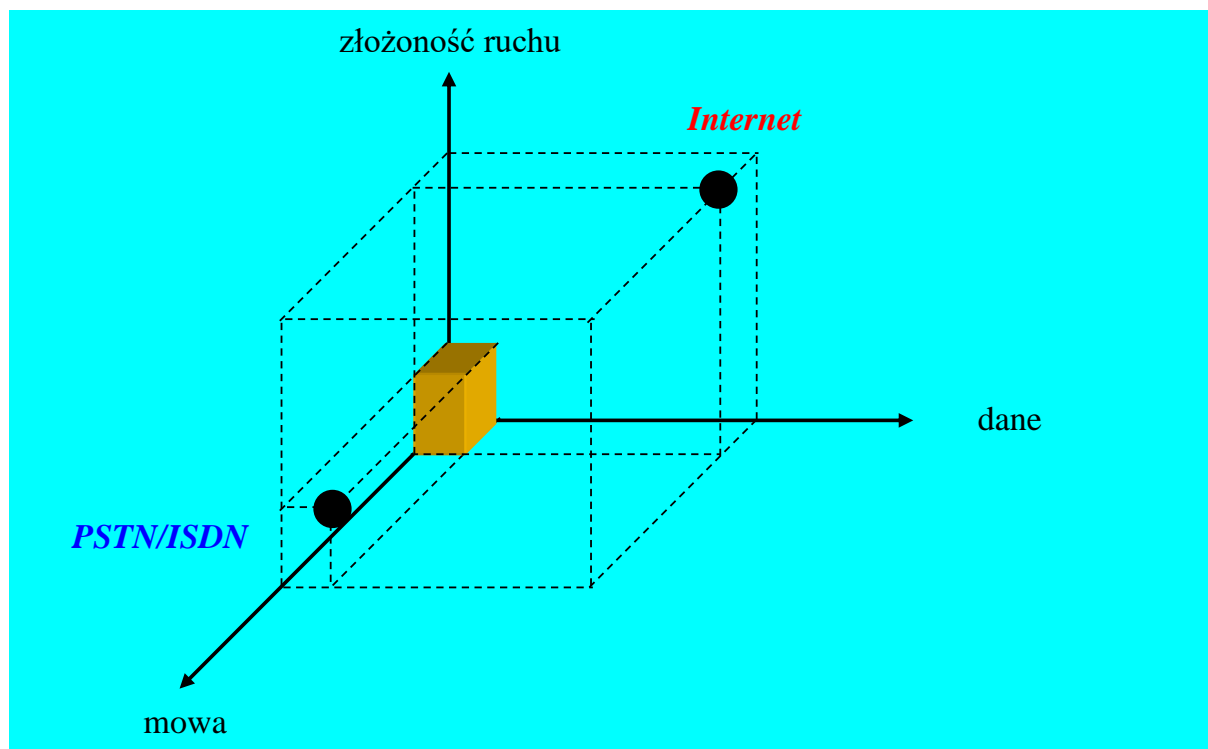
- obsługuje ruch, który jest przede wszystkim ruchem wynikającym z obsługi „danych”,
- ruch ma charakter fraktalny (samopodobny),
- mamy asymetrię ruchu,
- częste stany natłoku z uwagi na „www”,
- następuje gwałtowny przyrost ruchu, który wynika z rozwoju aplikacji i to dla różnych dziedzin działalności,
- daje to nadzieję w przyszłości na duży przyrost dochodów (choć aktualnie z samej sieci jest nieduży!),
- brak modeli ruchu przydatnych w praktyce inżynierskiej, zatem otwarty jest problem projektowania sieci czyli wymiarowania jej zasobów!

## Zmiany ruchu PSTN/ISDN i internetowego

źródło: IGI Consultation, NTT



Spróbujmy przedstawić graficznie ulokowanie składników ruchu „mowa”, „dane” oraz ich złożoność ruchową. Unaocznili to nam jak oddzielne są te dwa podmioty operatorów sieci PSTN/ISDN i Internetu (świadomie nie wymieniam tu sieci GSM bo ona jest utworzona na sieci ISDN a więc z punktu widzenia możliwości usługowych nie odbiega od ISDN poza wsparciem mobilności).



Z tego wynika, że jest długa droga do utworzenia wspólnej platformy satysfakcjonującej oba podmioty.

Zatem przeprowadźmy porównanie PSTN/ISDN z Internetem. Otóż możemy zauważyć, że:

- świat telekomunikacji i świat internetu to dwa różne światy,
- startowały z różnych technologii i potrzeb usługowych,
- świat telekomunikacji metodycznie zauważył potrzebę zmian
  - i zaproponował, opracował i zrealizował sieci BISDN w technologii ATM,
  - technologia ta była pomyślana jako jednolita wspólna platforma dla wcześniej wymienionych trzech podmiotów,
  - początkowo świat internetu zaakceptował technologię ATM,
- jednakże z upływem czasu świat internetu odrzucił technologię ATM uważając, że jest ona obciążona cechami telekomunikacji z rodowodem „mowy”,

- uważa się, że docelowa sieć Internetu nie będzie miała tej cechy,
- zatem musi ona być przede wszystkim dostosowana do swoich potrzeb
- i w jej ramach także obsłużyć „mowę”, a nie odwrotnie!!!

## Wniosek świata Internetu

1. będziemy budować platformę opartą na IP starając się zachować jej dotychczasowe cechy
2. dodamy jakość usług
3. i obsłużymy także mowę

## Pytanie, które samo się nasuwa to jak osiągnąć punkty 2 i 3?

Temu zagadnieniu poświęcimy następne wykłady pokazując co było i jest proponowane i jak daleko jesteśmy od celu mimo, iż z deklaracji wynikało, że powinien on być już dawno osiągnięty!!!

## Architektury sieci IP QoS

Proszę mieć na uwadze, że ta analiza i propozycje były przeprowadzane, gdy podjęto tą przełomową decyzję.

Dotychczasowa sieć IP stosuje podejście „best effort” czyli „przekażę najlepiej jak potrafię”  
inaczej mówiąc:

- routery IP przesyłają pakiety według zasady FIFO,
- w przypadku przepełnienia bufora odrzucają nadmiarowe pakiety,
- najlepiej jak potrafię to nie oznacza optymalizację wykorzystania zasobów,
- a na ogół oznacza to że można by lepiej,

czyli sieć ta nie rozróżnia klasy pakietów a tym samym nie może zróżnicować ich obsługi!

W związku z tym jeżeli chcemy mieć sieć IP QoS to mamy dwa rozwiązania:

- pozostawiamy brak rozróżnienia klas ale to wymaga aby sieć była dostosowana do klasy o najwyższej wymaganej jakości usługi,
- różnicujemy pakiety w zależności od wymagań na jakość obsługi i obsługujemy pakiety w zależności od żądanej jakości obsługi.

**Zauważmy, że nic nowego nie wymyślono!**

Tą drogę przeszła telekomunikacja:

- pierwsze podejście zastosowano w sieci PSTN/ISDN,
- drugie w sieci BISDN/ATM;
- z tych doświadczeń korzystają propagatorzy IP QoS.

Zauważmy, że fakt wprowadzenia zróżnicowania pakietów generuje konieczność dwóch poziomów obsługi:

- poziomu żądań usługi (zgłoszeń) - muszę stwierdzić czy mam wystarczające zasoby aby spełnić wymagania użytkownika lub co mu mogę zapewnić,
- poziomu przenoszenia pakietów - obsługuję w sieci w zależności od jakości (klasy).

Muszą więc być zastosowane odpowiednie mechanizmy dla każdego z poziomów obsługi.

Mechanizmy te można scharakteryzować następująco:

- dla poziomu żądań usługi wprowadzono funkcję Admission Control (AC), która w oparciu o kontrakt i stan zasobów określa możliwość realizacji tego kontraktu lub określa co można zapewnić użytkownikowi,

- dla poziomu przekazu pakietu muszą być przede wszystkim :
- zdefiniowane klasy usług sieciowych,
  - zdefiniowane parametry QoS dla każdej klasy (jeżeli są),
  - zasady przydzielania zasobów dla danej klasy,
  - mechanizmy rozróżniające w ruterach IP QoS klasy pakietów,
  - ustalone zasady obsługi klas pakietów w ruterach IP QoS.

Ponieważ istnieje związek między obu poziomami i QoS to muszą być realizowane funkcje:

- AC,
- sprawdzania parametrów uzgodnionych dla usługi,
- niedopuszczenie do sieci ruchu niezgodnego z ustalonymi parametrami.

**Jak widać jest to identyczne podejście, przynajmniej gdy chodzi o ogólne zasady, z wypracowanym i stosowanym w sieci BISDN/ATM.**

Zatem czy jest różnica i gdzie, która ma wpływ na rozwiązania mechanizmów QoS i ich skuteczność?

Otóż są dwie istotne różnice:

- brak wirtualnych połączeń w sieci (także wirtualnych ścieżek),
- długość przesyłanych pakietów jest zmienna.

Tak więc należy się spodziewać, że sterowanie jakością w sieci IP QoS będzie mniej efektywne niż w sieci ATM!!!



Zaproponowano kolejno dwa modele, dwie architektury sieci IP QoS:

1. najpierw architekturę Integrated Services (IntServ) - usług zintegrowanych,
2. później architekturę Differentiated Services (DiffServ) - usług zróżnicowanych.

Rozwiązania te są naturalną konsekwencją założeń i celów jakie chcemy uzyskać w tej sieci oraz wniosków z sieci BISDN/ATM.

**IntServ** - zakłada podobne podejście jak w sieci BISDN/ATM, tzn. każda aplikacja żądająca usługi jest indywidualnie obsługiwana i dla niej realizowana jest rezerwacja zasobów.

**DiffServ** - jest nowym podejściem w którym sieć nie widzi (nie obsługuje) indywidualnej aplikacji żądającej usługi a widzi i obsługuje strumienie ruchu, których klasyfikacja wynika z wprowadzonych usług sieciowych (klas usług sieciowych). Zatem obsługa jest zależna od usługi sieciowej a nie konkretnej aplikacji (żądania).

Czy tu widzą Państwo podobieństwo do wcześniej przeprowadzonej klasyfikacji usług telekomunikacyjnych dla sieci ISDN?

### Sieć IP QoS z IntServ

Ze względu na dwie cechy:

- indywidualną obsługę żądania oraz
- rezerwację zasobów dla tego żądania

konieczne jest wprowadzenie do sieci IP QoS sygnalizacji.

Na poziomie zgłoszenia dotychczas w sieci telekomunikacyjnej były wyróżniane trzy fazy: zgłoszenia, połączenia i rozłączenia.

W sieci IP QoS z IntServ przyjęto koncepcję w której użytkownik musi co określony czas odnawiać rezerwację zasobów. Zatem mamy fazy:

- zgłoszenia i rezerwacji zasobów,
- wymiany pakietów,
- odnawiania rezerwacji zasobów - jeżeli ona nie ma miejsca to nastąpi automatycznie rozłączenie przez elementy sieci.

Zatem co zaproponowano gdy chodzi o sygnalizację (proszę sobie

przypomnieć nasze wcześniejsze rozważania na temat sygnalizacji). Otóż zaproponowano nowy specjalny protokół o nazwie

## **RSVP - ReSource reserVation Protocol**

Tak więc protokołem przewidzianym dla sieci IP QoS z IntServ jest **RSVP** mający następujące cechy:

- jest protokołem sygnalizacyjnym,
- żądanie rezerwacji jest generowane przez nadawcę (pakietów),
- rezerwacja jest realizowana na żądanie odbiorcy (pakietów)!!!,
- rezerwacja musi być odnawiana okresowo!!!,
- w ruterach IP QoS musi być przechowywana informacja o pojedynczych strumieniach (dla pojedynczej aplikacji lub dla zagregowanych aplikacji).

Dla zrealizowania IntServ oprócz RSVP każdy element sieci musi mieć zaimplementowane następujące mechanizmy (funkcje):

- sterowanie przyjęciem zgłoszenia (Admission Control),
- klasyfikacji pakietów do określonego strumienia (Traffic Classification),
- sprawdzania zgodności z zawartym kontraktem ruchowym (Traffic Policing),
- obsługi pakietów każdego strumienia (Scheduling).

### **Zadania każdego z mechanizmów:**

#### Funkcja AC

- w oparciu o informacje opisujące usługę oraz stan zasobów podejmuje decyzję o przyjęciu lub odrzuceniu żądania usługi

#### Klasyfikacja pakietów

- w oparciu o pola nagłówka dokonuje określenia przynależności do strumienia i tym samym determinuje jakość obsługi

#### Sprawdzania zgodności

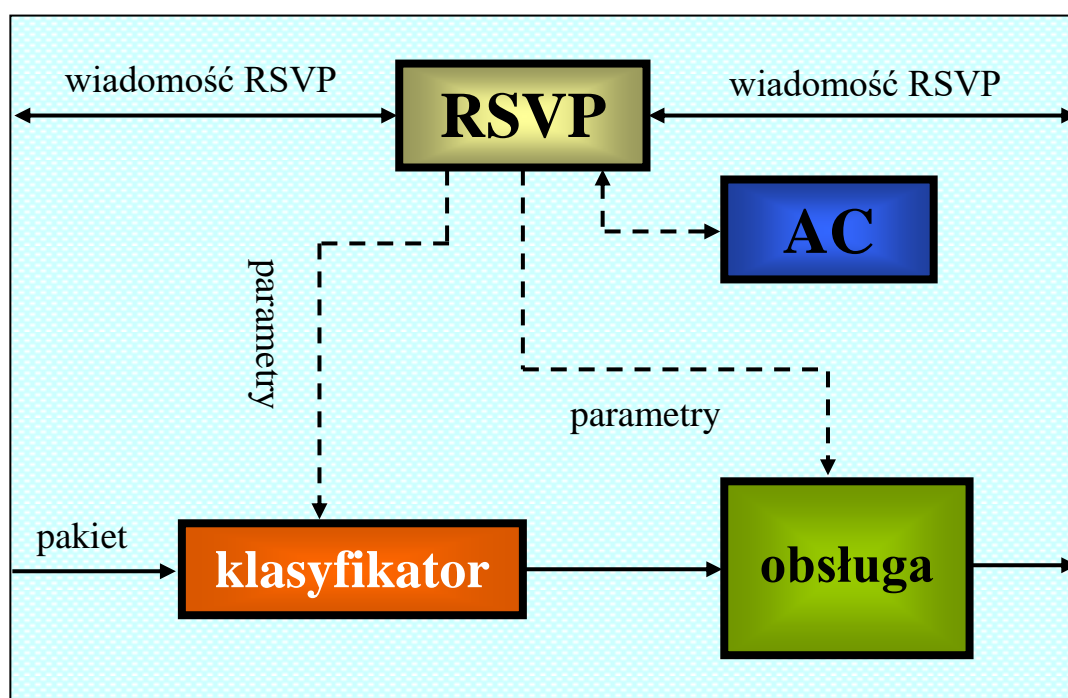
- strumień (pakiet) zgodny z kontraktem ruchowym jest obsługiwany według zasad ustalonych dla tego strumienia,
- natomiast niezgodny może być obsługiwany jako *best effort* lub

odrzucony

### Obsługa pakietów

- określa w jaki sposób przebiega obsługa pakietu należącego do danego strumienia
- i ta obsługa ma zagwarantować określone QoS,
- stosuje się kolejki z priorytetami, obsługę RR (Round Robin), WFQ (Weighted Fair Queuing) lub PQ (Priority Queuing).

Ogólny schemat powiązań mechanizmów QoS w elemencie (węzeł - router) sieci IP QoS z IntServ przedstawiono na rysunku.



Element sieci IP (węzeł - router) ma także pozostałe dotychczasowe funkcje, które tu nie zostały pokazane!!! (jaki to są?)

Jeszcze kilka uwag o QoS i zasobach.

Z rezerwacją zasobów wiąże się problem określenia związków między wielkościami opisującymi QoS a zasobami sieci (w ogólności problem jest dużo bardziej złożony niż w technologii ATM).

### Wielkości opisujące QoS to:

- minimalna i maksymalna przepływność,
- opóźnienie i jego zmienność,
- prawdopodobieństwo starty pakietu.

### Zasoby to:

- przepustowość łączy,
- pojemność buforów,
- moc przetwarzania węzłów (ruterów).

**Należy pamiętać, że rezerwacja realizowana jest tylko w jednym kierunku!**

### Jakie są tego konsekwencje?

## **Sieć IP QoS z DiffServ**

Z uwagi na podstawową wadę architektury IntServ, tzn. **brak skalowalności**, szybko zaproponowano nową architekturę DiffServ.

### Ograniczenia architektury IntServ:

- obsługa strumienia dla konkretnej aplikacji,
- pamiętanie w ruterach informacji o każdym indywidualnym strumieniu,
- brak skalowalności, tzn. trudności przy realizacji sieci o dużej liczbie strumieni i dużych przepływnościach,

skłoniły twórców do zaproponowania nowego podejścia nazwanego **architekturą DiffServ**, która nie ma tych cech i tym samym wad z punktu widzenia założeń sieci IP QoS.

\* **Zauważmy, że to co dla twórców sieci BISDN/ATM było podstawowym założeniem jest w sieci IP QoS z IntServ wadą** (dlaczego?).

**Podstawowym problemem jaki ma rozwiązać architektura DiffServ to maksymalne uproszczenie funkcji wewnątrz sieci i skupienie ich na brzegu sieci!!!**

Aby **rdzeń sieci** mógł obsługiwać dużą liczbę strumieni i być jednocześnie prostym funkcjonalnie należało w nim:

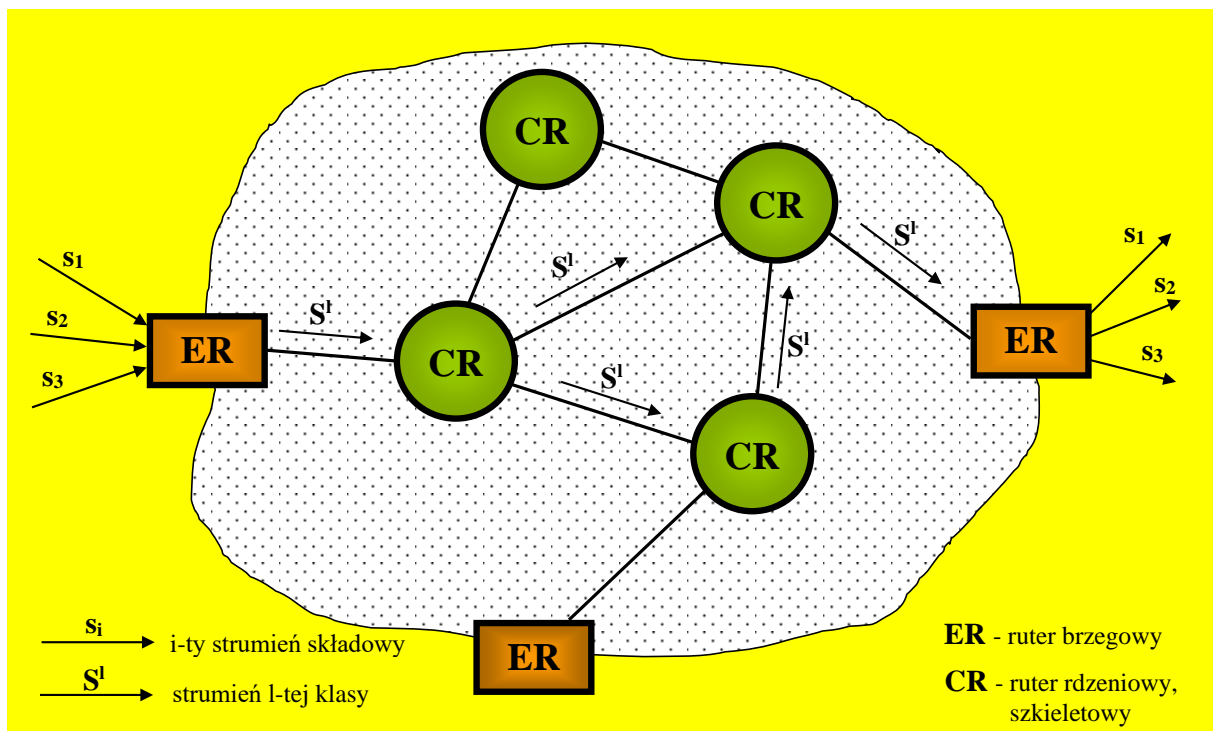
- rozróżniać i obsługiwać tylko kilka klas usług sieciowych,
- w obrębie klasy mieliśmyby zagregowany jeden strumień, składający się z nierozróżnialnych wielu indywidualnych strumieni,
- obsługa tego zagregowanego strumienia (klasy) byłaby dostosowana do wymagań jakościowych tej klasy i określała usługę

sieciową (jej rodzaj).

Na brzegu sieci natomiast mają być realizowane złożone funkcje takie jak:

- klasyfikacja,
- analiza zgodności,
- znakowanie,
- obsługa.

Ogólna struktura takiej sieci IP QoS z DiffServ została pokazana na kolejnym rysunku.



Wszystkie pakiety należące do tej samej klasy mają w sieci ten sam **DSCP (Differentiated Service Code Point)**.

Przydział DSCP odbywa się w ruterze brzegowym.

Pole **DS** w którym zapisuje się DSCP zajmuje miejsce:

- pola Type Of Service w IP v.4,
- pola Traffic Class w IP v.6,
- aktualnie wykorzystywanych jest 6 bitów 16 bitowego pola DS.

Zbiór pakietów mających ten sam DSCP nazywamy **Behavior Aggregate (BA)**.

Zbiór reguł obsługi i przekazywania pakietu dalej nazywamy **Per-Hop Behavior** (PHB).

Jednemu DSCP przyporządkowany jest jeden PHB.

PHB jest realizowany przy pomocy:

- odrzucania pakietów,
- kolejkowania priorytetowego PQ,
- mechanizmów szeregowania obsługi wielu kolejek (np. WFQ).

### **Ruter brzegowy - realizowane funkcje**

Klasyfikacja pakietów na podstawie jednego lub kilku pól nagłówka, np.

- adres IP źródła i przeznaczenia,
- numer portu źródła i przeznaczenia,
- identyfikator protokołu (TCP, UDP).

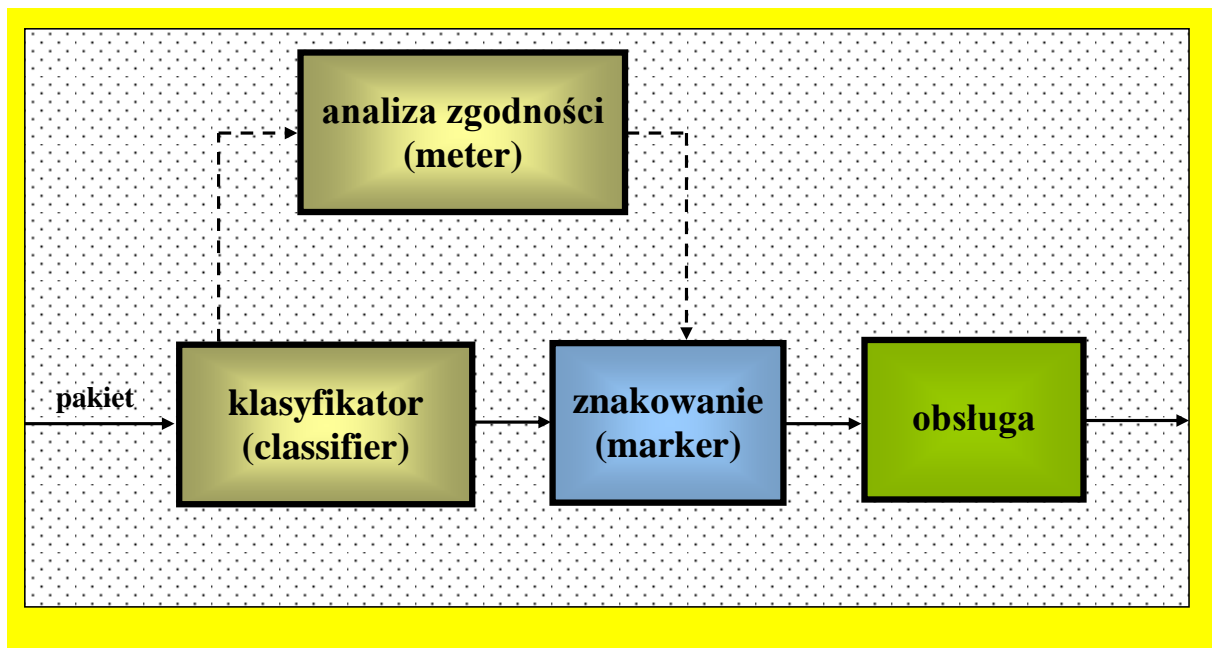
Określenie zgodności pakietu z porozumieniem uzgodnionym między użytkownikiem a dostawcą usługi (domeną z DiffServ).

Znakowanie pakietów, w oparciu o klasyfikację i zgodność, poprzez przyporządkowanie DSCP.

Obsługa pakietu (może być także realizowana funkcja kształtowania ruchu):

- odrzucanie pakietów,
- kolejkowanie priorytetowe PQ,
- mechanizm szeregowania obsługi wielu kolejek (np. WFQ).

Struktura funkcjonalna rutera brzegowego została pokazana na kolejnym rysunku, przy czym nie pokazano funkcji elementu sieci IP, które były dotychczas realizowane (jakie to funkcje?).



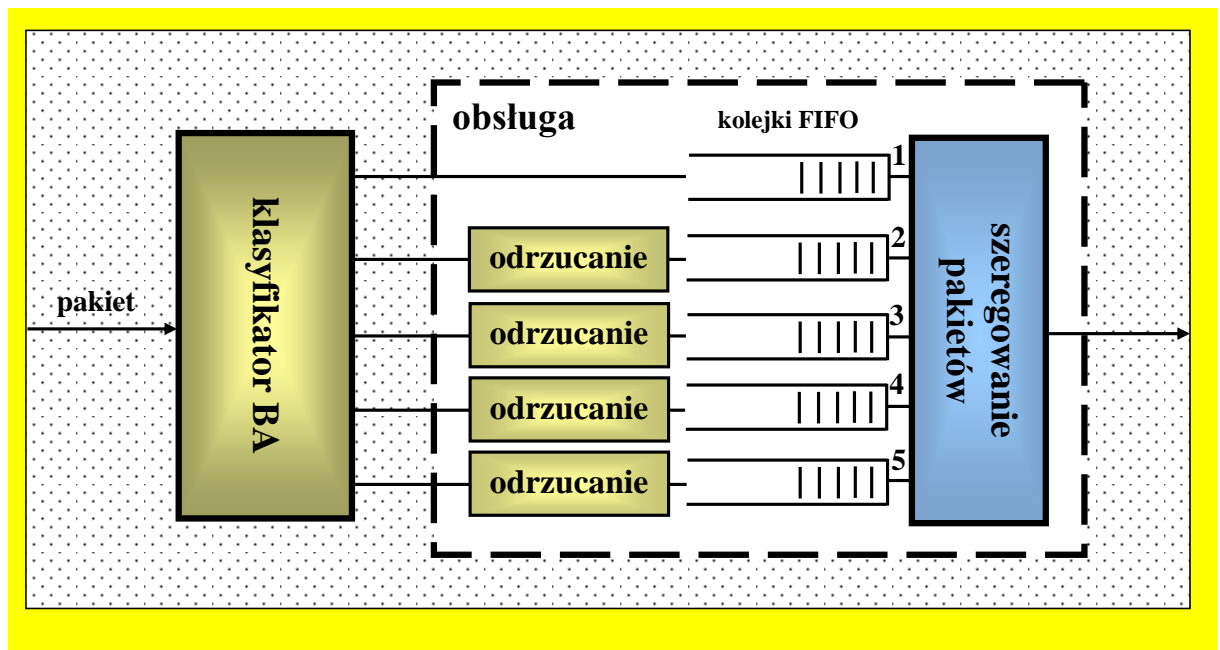
### **Ruter rdzeniowy - realizowane funkcje**

Klasyfikacja pakietów na podstawie DSCP i określenie przynależności do BA.

W zależności od BA zastosowanie odpowiedniego PHB czyli odpowiedniej obsługi poprzez:

- odrzucanie pakietów,
- kolejkovanie priorytetowe (PQ),
- mechanizm szeregowania obsługi wielu kolejek (np. WFQ).

Struktura funkcjonalna rutera rdzeniowego została pokazana na kolejnym rysunku, przy czym nie pokazano funkcji elementu sieci IP, które były dotychczas realizowane (jakie to funkcje?).



Podstawowe klasy usług i klasy PHB dotychczas zdefiniowane przez IETF:

- Expedited Forwarding (EF) - ma przyporządkowaną jedną wartość DSCP.
- Assured Forwarding (AF) - ma cztery klasy obsługi (AF1, AF2, AF3 i AF4) a w każdej z nich trzy poziomy odrzucania pakietów, co daje dwanaście wartości DSCP.
- Oprócz tych dwóch klas usług istnieje domyślne PHB odpowiadające dotychczasowej usłudze „best effort” (BE), która jest też nazywana usługą niesklasyfikowaną.

Zakres usług sieciowych oferowanych użytkownikom na bazie PHB w danej domenie z DS pozostaje w gestii operatora sieci IP.

### EF PHB - Expedited Forwarding PHB

Został zaproponowany dla zapewnienia jakości obsługi wymagającej:

- gwarancji określonego pasma,
- niewielkich strat pakietów,
- niewielkiego opóźnienia,
- małej wariancji opóźnienia.

Nie definiuje ilościowo a jedynie jakościowo QoS (tak było na początku, obecnie są podawane konkretne wartości!!!).



Dla zrealizowania tych cech pakiety nie powinny być kolejkowe.

Maksymalna przepływność EF BA musi być mniejsza od dostępnego dla EF BA pasma łącza w każdym ruterze domeny z DS.

EF PHB musi być niezależny od ruchu innego niż EF przechodzącego przez ruter.

Pakiety EF PHB mają być umieszczane w kolejce o najwyższym priorytecie.

### AF PHB - Assured Forwarding PHB

Został zaproponowany dla zapewnienia obsługi pakietów na zasadzie „better than best-effort”.

To jak będzie realizowana obsługa zależy od:

- przydzielonych zasobów dla danej klasy AF,
- chwilowego obciążenia w klasie,
- poziomu odrzucania pakietów.

Z góry o jakości obsługi tego PHB nie możemy nic powiedzieć (tak było na początku, obecnie są podawane wartości!!!).

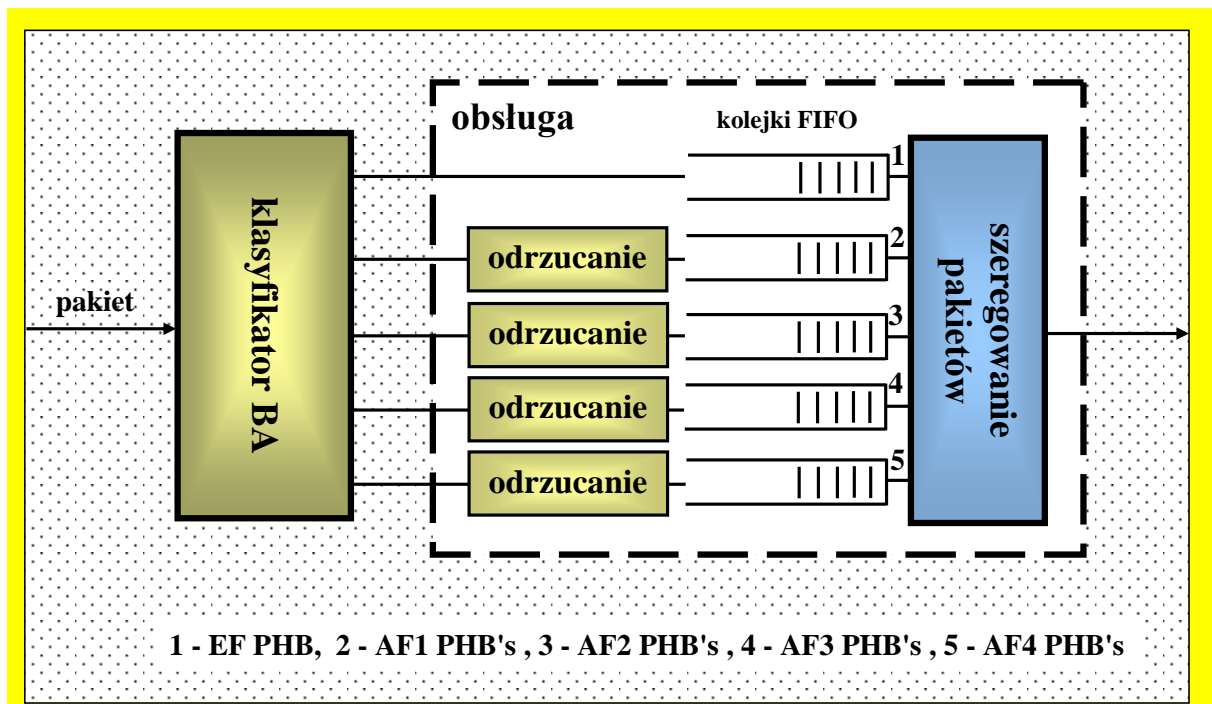
Nie zdefiniowano żadnych parametrów ilościowych określających QoS dla poszczególnych PHB (patrz wyżej!!!).

Ogólna zasada jest taka, że  $i$  - te PHB zapewnia inne QoS niż  $i+1$  - sze PHB.

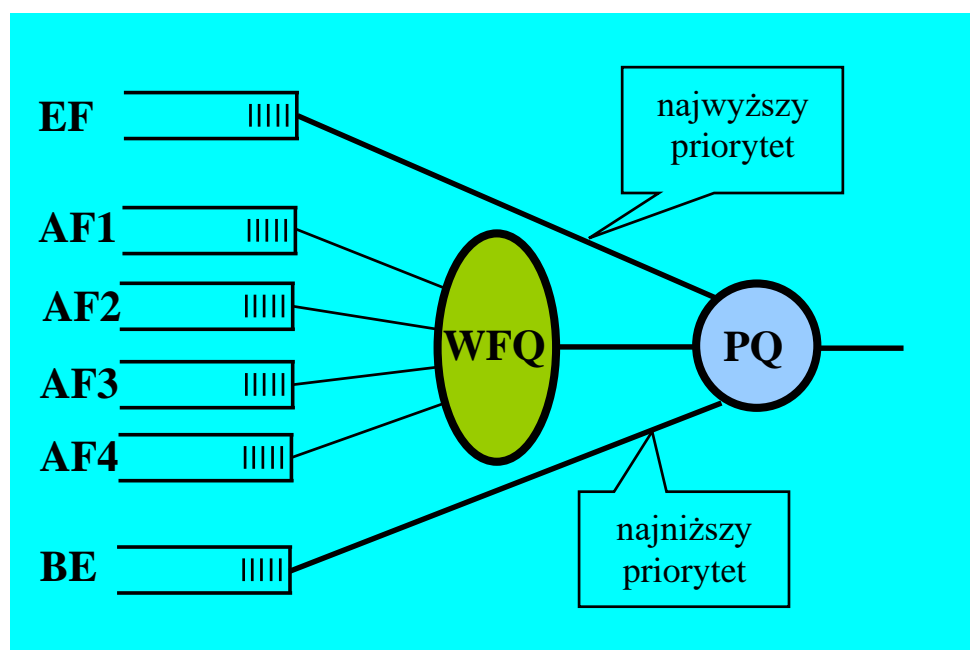
Zakłada się, że ruch zgodny z profilem osiągnie odbiorcę z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż ustalony próg.

Aby to zrealizować każda klasa AF musi mieć niezależny bufor z kolejką FIFO oraz wielkość przydzielonego pasma niezależną od pozostałych klas.

Struktura funkcjonalna rutera rdzeniowego po uwzględnieniu EF PHB i AF PHB została przedstawiona na kolejnym rysunku.

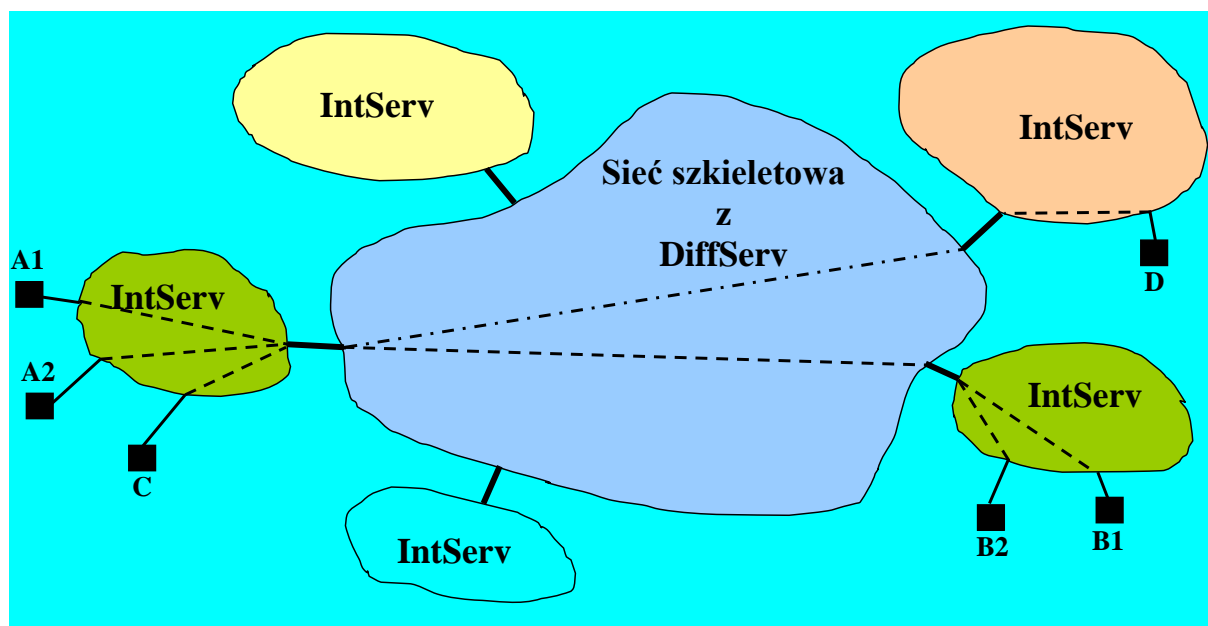


Proponowane rozwiązanie szeregowania obsługi pakietów dla wszystkich zdefiniowanych klas PHB przedstawiono na kolejnym rysunku. Dokument RFC nie narzuca rozwiązania tylko proponuje.



Na bazie obu architektur została zaproponowana [struktura sieci IP QoS](#) z ich wykorzystaniem. W dostępie proponuje się architekturę IntServ z uwagi na jej kłopoty ze skalowalnością, natomiast w rdzeniu sieci (szkielet sieci) proponuje się wykorzystanie architektury DiffServ do obsługi zagregowanych strumieni na poszczególnych relacjach brzeg-brzeg. Rozwiązanie

to pokazano na kolejnym rysunku.



### Kilka uwag końcowych o IP QoS

Czy przedstawione rozwiązania umożliwiają realizację QoS tak jak to dotychczas rozumiała telekomunikacja?

Niestety odpowiedź na to pytanie jak na razie nie jest w pełni zadowalająca.

Zaproponowane mechanizmy dotyczą pracy ruterów.

Nic nie mówi się w jaki sposób określa się pasmo i przydziela je usługom sieciowym.

Nic nie mówi się o sterowaniu na poziomie sieci (domeny).

Nic nie mówi się o właściwościach end-to-end, a to jest to co odczuwa klient i za to płaci.

W związku z tym pojawia się pytanie jak projektować takie sieci (wymiarować zasoby) bo przecież to jest konieczne w działalności komercyjnej.

Jak widać pytań jest dużo i problemów do rozwiązania także.

Są one aktualnie analizowane, badane, rozwiązywane i wprowadzane.

**W czym widzi się nadzieję w przezwycięzeniu tych problemów?**

W rozwiązaniu realizacji funkcji AC (**Admission Control**).

W zastosowaniu MPLS (**MultiProtocol Label Switching**);  
przy czym należy pamiętać, że sam MPLS nie rozwiąże problemów (zostanie krótko omówiony w dalszej części tego wykładu).

W opracowaniu **algorytmów routingu w powiązania z MPLS**.

A więc w opracowaniu

## **Inżynierii Ruchu**

na miarę potrzeb platformy IP QoS.

Zatem pojawia się pytanie: Czy po rozwiązaniu tych wszystkich problemów platforma IP QoS będzie nadal prosta i tym samym tania?

- Dokładną odpowiedź na to pytanie otrzymamy chyba w niedalekiej przyszłości.
- Ale biorąc pod uwagę doświadczenia z rozwoju technologii ATM i narastania problemów oraz złożoności rozwiązań w niej występujących wydaje się, że trudno będzie utrzymać obecny stan fascynacji technologią IP QoS.
- Aktualnie ma ona problemy z zagwarantowaniem globalnie jako takiej jakości dla mowy, a gdzie są usługi o większych wymaganiach jak np. wideotelefonía, wideokonferencje, video na żądanie, TV.
- **Obserwuje się korygowanie oczekiwań i rozwiązań technologii IP QoS**, tak aby była zachowana w stosunku do klienta zasada

**„Klient płaci i oczekuje z tego tytułu określonego towaru”.**

## Dlaczego MPLS?

W każdej sieci (w węźle) musi być realizowana funkcja routingu oraz komutacji.

W przypadku sieci IP (z komutacją pakietów) obie funkcje są umieszczone w warstwie trzeciej - warstwie sieciowej.

Kierowanie przybyłego pakietu oparte jest o tablice z których odczytuje się kolejne łącze na podstawie nagłówka tego pakietu.

Na ogół proces ten jest realizowany programowo.

Wraz ze wzrostem ruchu i powiększaniem się sieci czas niezbędny na realizację tej funkcji zwiększa się co powoduje ograniczenie wydajności węzła (routera).

Jednocześnie sieć przekształca się w sieć wielousługową w której różnorodność usług wymaga różnorodnej obsługi.

To z kolei powoduje, że konieczne jest uwzględnienie zarówno w procesie routingu jak i komutacji dodatkowych informacji znajdujących się w nagłówku (ale nie tylko) co jeszcze bardziej wydłuża realizację tych funkcji.

Wymaga to dużej mocy przetwarzania co jest trudne do uzyskania i kosztowne przy dzisiejszym stanie technologii!

W konsekwencji powoduje to trudności w realizacji takich funkcji w sieci jak:

- sterowania ruchem,
- sterowania jakością usług,
- zarządzania zasobami.

Jednym ze sposobów na rozwiązanie tych trudności jest uproszczenie realizacji funkcji komutacji w taki sposób aby można było łatwo zaimplementować tą funkcję sprzętowo uniezależniając się od złożoności i różnorodności dotychczas stosowanych nagłówków pakietu.

Jest to zatem powrót do koncepcji, która była wcześniej z powodzeniem sprawdzona w rozwiązaniach wykorzystywanych w technice STM i ATM.

Oczywiście w tym przypadku musi być ona dostosowana do potrzeb

komutacji pakietów i właściwości tych sieci.

Tą propozycją jest właśnie **MPLS - MultiProtocol Label Switching** czyli **Wieloprotokółowa Komutacja Etykietowa**.

## Co to jest MPLS?

Jest to określona przez IETF koncepcja, która umożliwia efektywniejszą realizację w sieć takich funkcji jak: ruting, komutacja i tym samym obsługa ruchu (przekazywania pakietów).

Jej istotne cechy to to, że:

- ma mechanizmy umożliwiające zarządzanie przepływem ruchu o różnorodnym stopniu rozdrobnienia, czyli ruchem między różnym sprzętem, różnymi maszynami (stacjami), różnymi aplikacjami,
- jest niezależna od protokołów warstwy drugiej i trzeciej,
- udostępnia sposoby odwzorowania adresów warstwy trzeciej (np. IP) w proste o stałej długości etykiety,
- jest dostosowany do istniejących protokołów routingu i rezerwacji zasobów,
- wspomaga protokoły warstwy drugiej dla IP, ATM i FR,
- może być wykorzystany przez dowolne protokoły warstwy trzeciej, stąd nazwa „wieloprotokółowa”.

## Podstawowe składniki MPLS

W MPLS przenoszenie danych od źródła do odbiorcy ma miejsce wzdłuż etykietowo przełączanej ścieżki LSP (**Label-Switched Path**).

Fizycznie ścieżka utworzona jest przez szereg połączonych węzłów LSR (Label Switching Router) (ruterów) i łączy między węzłami.

Rozróżnia się dwa typy węzłów LSR:

- brzegowe (edge),
  - wejściowy (ingress),

- wyjściowy (egress),
  - komutujące - nie brzegowe.

Domena MPLS to zbiór połączonych węzłów (ruterów), które są węzłami MPLS i należą do jednego obszaru administracyjnego.

FEC (Forwarding Equivalent Class - klasy równoważności przekazywania) jest to grupa pakietów (np. IP), które nie są rozróżnialne w sieci MPLS, tzn. są przenoszone przez tą samą ścieżkę i obsługiwane według tych samych zasad.

Etykieta L jest krótkim identyfikatorem, który jest wykorzystany do identyfikacji FEC oraz realizacji funkcji komutacji.

### Istota komutacji etykietowej to:

Klasyfikacja pakietu (np. IP) w węźle brzegowym (wejściowym) do określonego FEC.

Na podstawie FEC określenie etykiety L i dołączenie jej do pakietu.

Określenie następnego węzła LSR w oparciu o etykietę L.

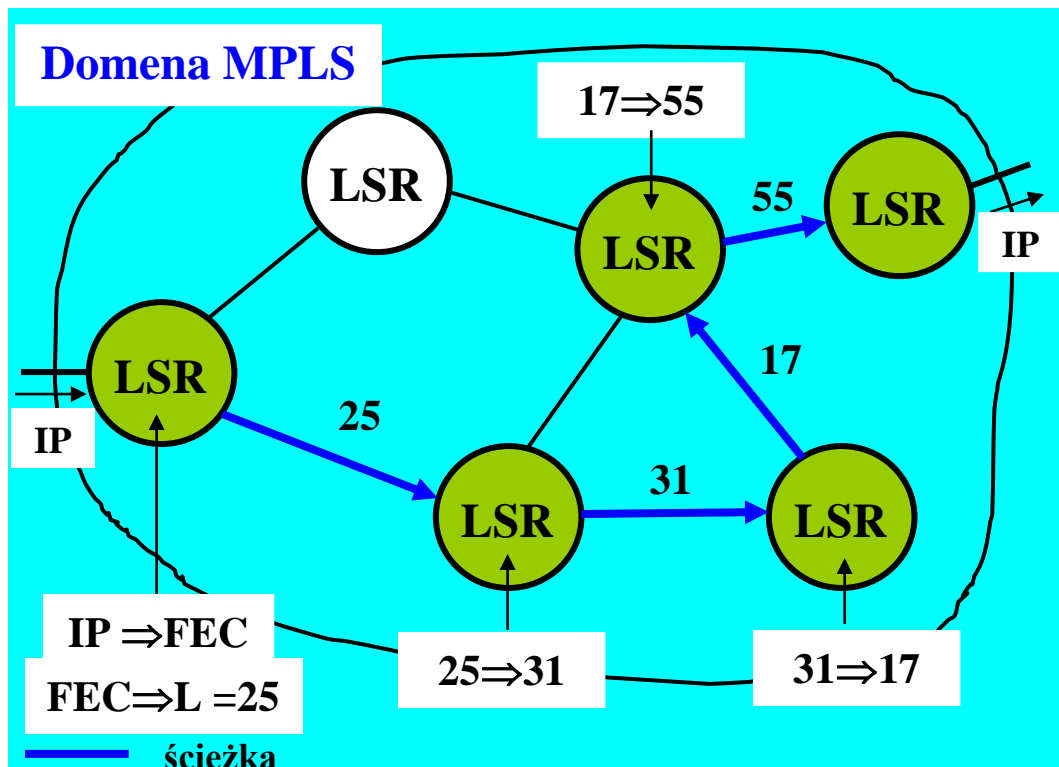
Wysłanie pakietu MPLS do następnego LSR przy wykorzystaniu protokołu warstwy drugiej.

W LSR odbiór pakietu MPLS i na podstawie etykiety L realizacja komutacji do następnego LSR z jednoczesną wymianą etykiety.

Powtarzanie ostatniej czynności aż pakiet MPLS osiągnie LSR, który będzie węzłem brzegowy (wyjściowy).

Przekazanie pakietu do warstwy trzeciej.

Aby można było zrealizować funkcję komutacji w węzłach LSR to w tablicach tych LSR musi być wcześniej zapisana informacja wiążąca etykiety między sobą aby w ten sposób była utworzona ścieżka LSP dla danego FEC.

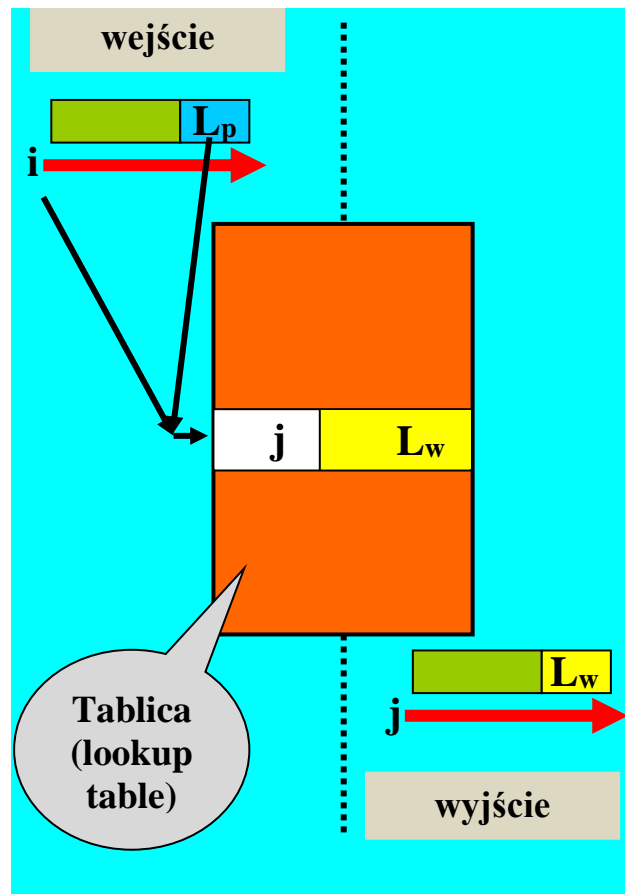


Ogólna idea tablicy dla realizacji funkcji komutacji MPLS jest następująca:

- Etykieta MPLS jest niewystarczająca aby można było zrealizować funkcję komutacji.
- W LSR musi być tablica(e), która zawiera adres wyjściowego łącza oraz nową wartość etykiety.
- Tablica ta może być przyporządkowana do wejściowego łącza lub być wspólna dla wielu takich łączy.
- Etykieta MPLS przybywającego pakietu oraz numer łącza są adresem (wejściem) do tej tablicy.
- Odczytana z tablicy wartość etykiety wyjściowej jest wstawiana w miejsce odebranej etykiety, a adres łącza wyjściowego jest wykorzystany do zrealizowania funkcji komutacji pakietu na to łącze.

Zasada pracy tablicy lookup table została pokazana na kolejnym rysunku.





### Czy i w czym tkwi istota różnic w stosunku do techniki ATM?

W technice MPLS pakiet ma dowolną długość i otrzymuje jednocześnie adres (etykietę), natomiast w technice ATM komórka ma ustaloną długość (53B) oraz dwuczęściowy adres składający się z VPI i VCI.

W technice MPLS unikalny ciąg etykiet L (ścieżka LSP) przyporządkowany jest do konkretnego FEC i pakiet, gdy należy do tego FEC niezależnie od tego kto go nadał otrzymuje etykietę L, natomiast w przypadku ATM z punktu widzenia połączenia abonenta otrzymuje ono indywidualny unikalny ciąg par (VPI,VCI).

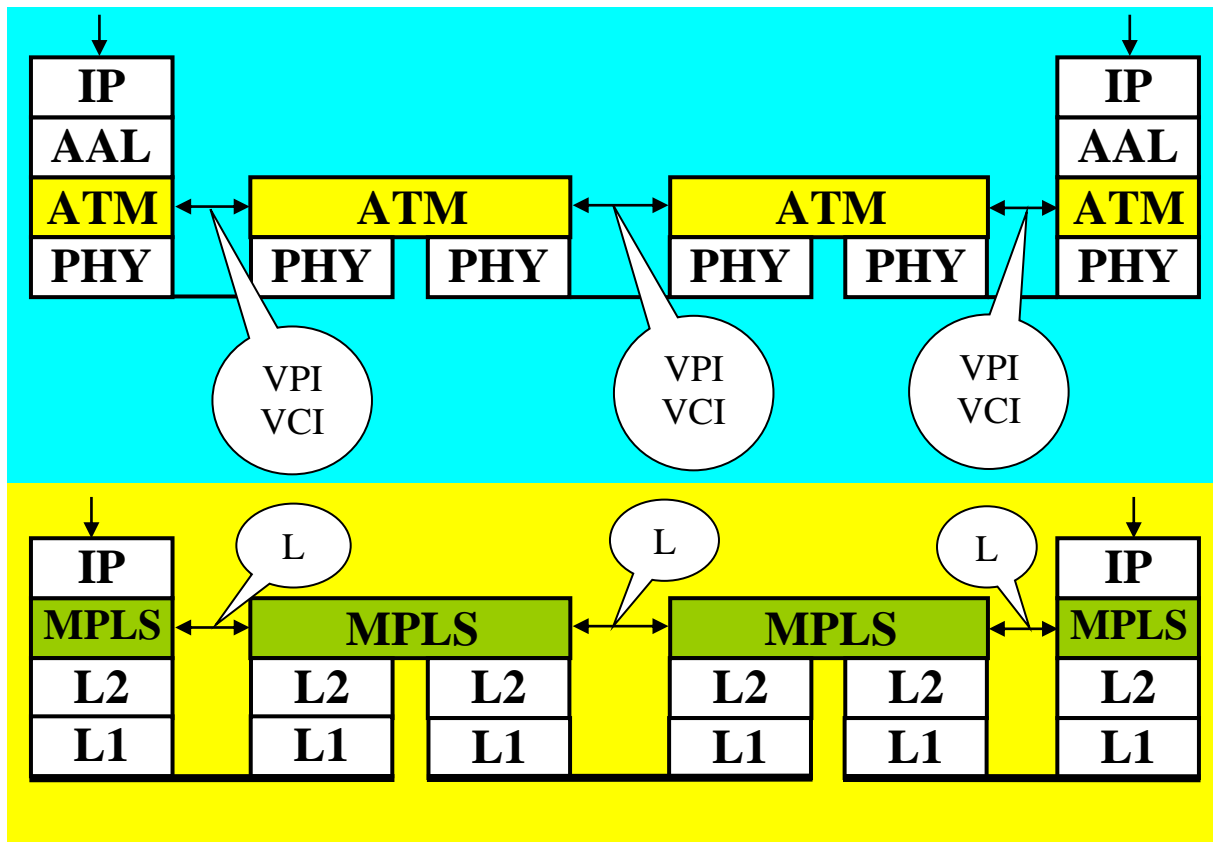
W technice MPLS nie można mówić o połączeniu z punktu widzenia abonenta, gdyż jest to technika bezpołączeniowa.

Zarówno w jednej jak i drugiej technice abonent nie ma bezpośredniego wpływu na przebieg drogi połączeniowej, mimo iż w technice ATM istnieje Faza I (wywołania, realizacji połączenia).

W technice MPLS istnienie ścieżki LSP odpowiada drodze określonej przez ciąg VPI w technice ATM.

Zarówno w jednej jak i w drugiej technice ścieżki te są ustalane przez niezależną od abonentów funkcję.

Na kolejnych dwóch rysunkach pokazano model warstwowy urządzeń w sieci dla obu technik.



**Jakie podstawowe problemy muszą być rozwiązane?**

Opis klas FEC, czyli określenie wielkości jakie należy brać pod uwagę dla utworzenia danej klasy aby uzyskać kompatybilność usługową w obrębie domeny lub kilku domen MPLS.

Wiązanie FEC z etykietą.

Określenie sposobu przeprowadzania powiązań etykiet, które to powiązania określają ścieżkę przelączanych etykiet (LSP).

Określenie sposobu rozprowadzania w sieci etykiet i ich powiązań.

Należy pamiętać, że technika MPLS ma wspierać IP QoS co powoduje, że praktyczne rozwiązanie tych problemów staje się trudniejsze!!!

Rozwiązanie podstawowych problemów wymaga realizacji następujących funkcji:

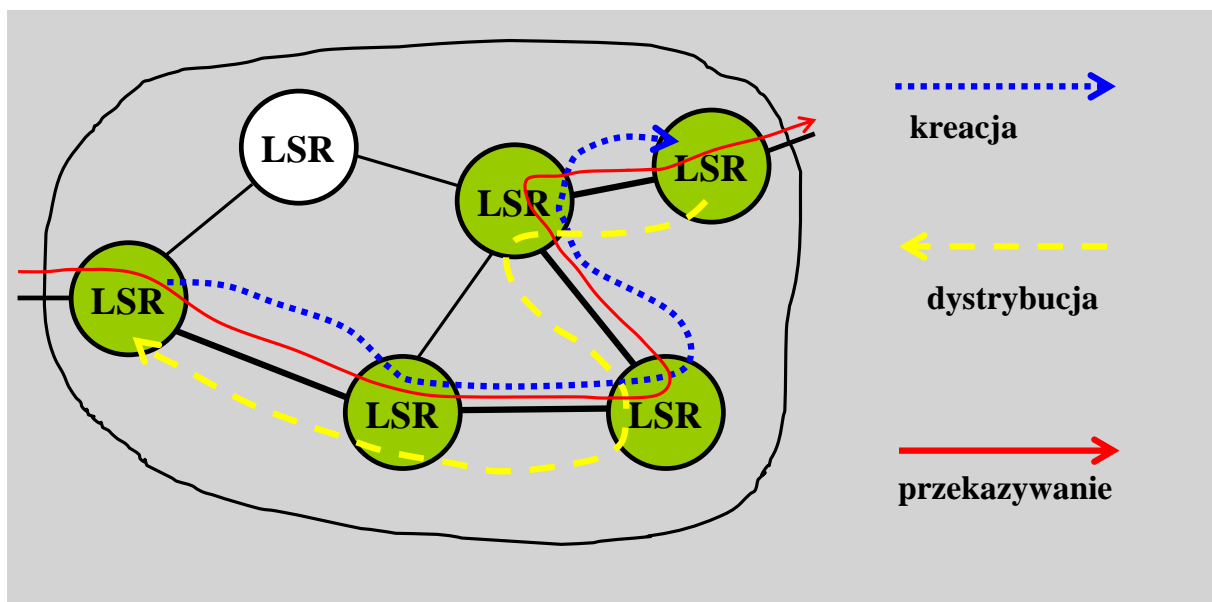
- kreacji i rozprowadzania (dystrybucja) etykiet,
- budowania odpowiednich baz informacji w każdym węźle (ruterze),
- tworzenia ścieżek przełączanych etykietami (komutowanych),
- wstawiania etykiet do tablic (lookup table) koniecznych dla realizacji funkcji komutacji w węźle (ruterze).

W konsekwencji zbiór tych funkcji umożliwia zrealizowanie sieci w technologii jaką jest

## Wieloprotokołowa Komutacja Etykietowa MPLS

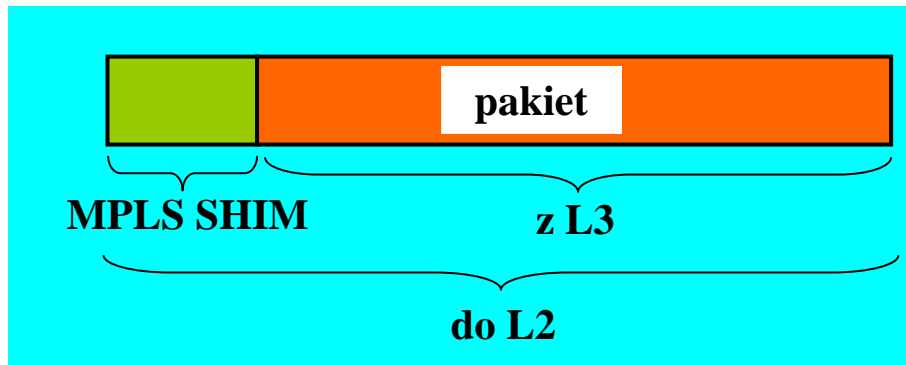
która gwarantuje transport pakietu od wejścia do wyjścia domeny MPLS zgodnie z właściwościami opisanymi przez FEC do której ten pakiet należy.

Poglądowa ogólna ilustracja działań w domenie MPLS została pokazana na kolejnym rysunku. Tymi działaniami są: kreacja etykiet, rozsyłanie (dystrybucja) etykiet, przekazywanie (przesyłanie) pakietów użytkowników.



## Format pakietu MPLS

Na rysunku pokazano format pakietu MPLS zaznaczając przynależność pól do warstw (pamiętamy, że MPLS został nazwany warstwą 2,5).



Uwaga: z angielskiego słowo „shim” to po polsku „klin”.

Pole MPLS SHIM ma długość będącą wielokrotnością 32 bitów (4 oktety).

W polu o długości 32 bitów zapisana jest między innymi etykieta L (stos etykiet L to wielokrotność 32 bitów).

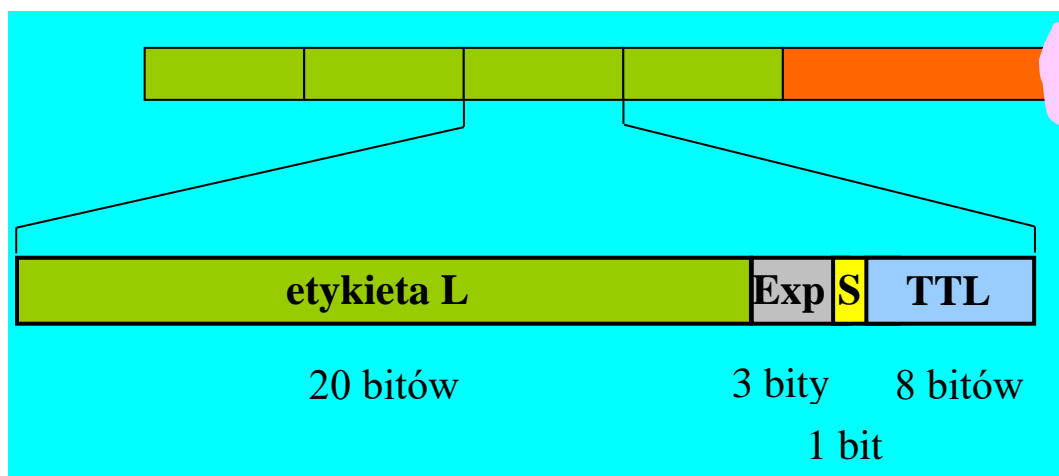
Pole to może tworzyć stos co umożliwia zagłębianie sieci MPLS.

Długość pakietu jest zależna od protokołu warstwy trzeciej.

Tak utworzony pakiet jest przenoszony przez protokół warstwy drugiej, przy czym sposób przenoszenia i odwzorowania tego pakietu jest zależny od warstwy drugiej.

## Struktura pola MPLS SHIM

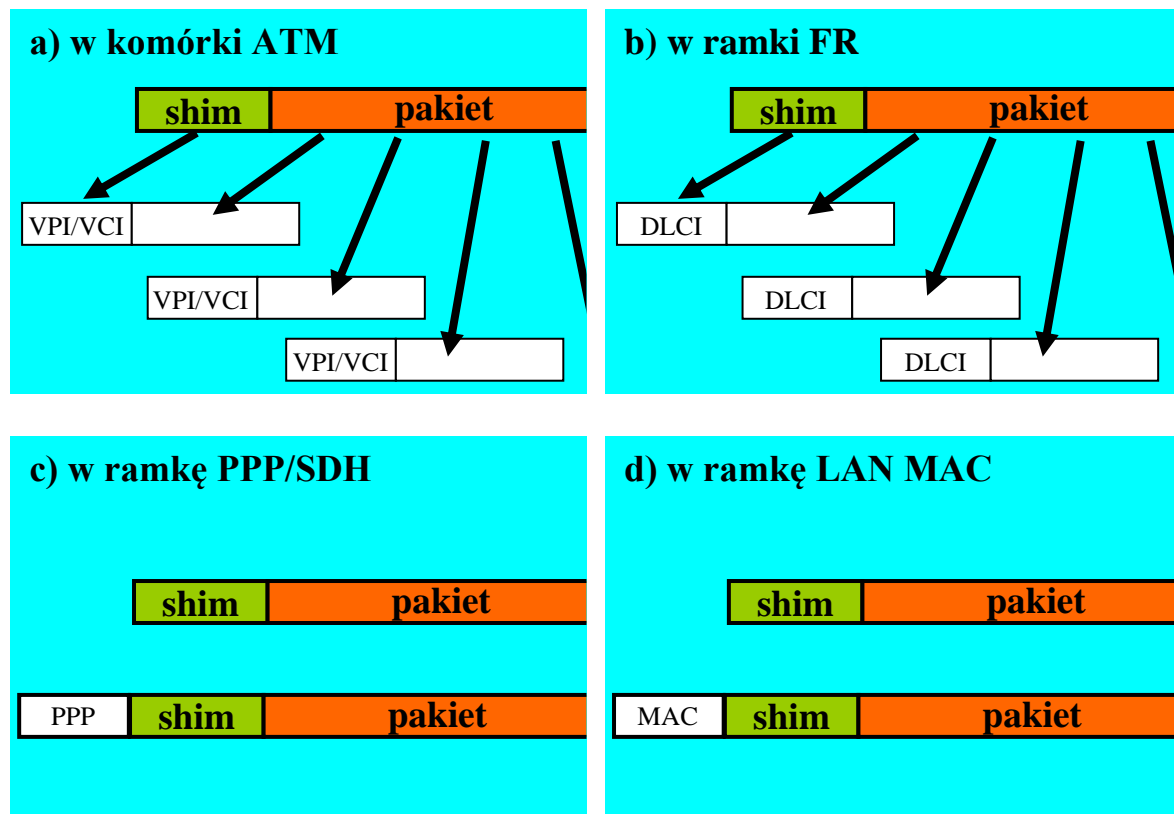
Na rysunku pokazano pole shim składające się z stosu o długości 4 oraz strukturę jednego elementu tego stosu. Góra stosu jest na początku (lewa strona), a dół na końcu tego pola.



Przeznaczenie poszczególnych pól jest następujące:

- **etykieta L** ma długość 20 bitów i zawiera kod etykiety,
- **Exp** jest przeznaczone dla celów eksperymentalnych i ma długość 3 bitów,
- **S** koduje spód stosu i ma długość 1 bitu (S=1 to dno stosu),
- **TTL** ma długość 8 bitów i koduje czas życia (Time to Live).

## Podstawowe odwzorowania MPLS SHIM w protokół warstwy drugiej



# GMPLS - Generalized MPLS

Duży obserwowany i przewidywany przyrost ilości przesyłanych danych w stosunku do mowy spowodował, że dotychczasowe podejście do rozwoju sieci telekomunikacyjnej musiało ulec modyfikacji, tym bardziej, gdy zaczęło brakować nitek światłowodowych.

To zintensyfikowało prace, które doprowadziły do koncepcji i opanowania nowej techniki zwielokrotnienia określanej skrótem Dense WDM (odstęp fal wynosi 0.8nm; w Coarse WDM wynosi on 20nm).

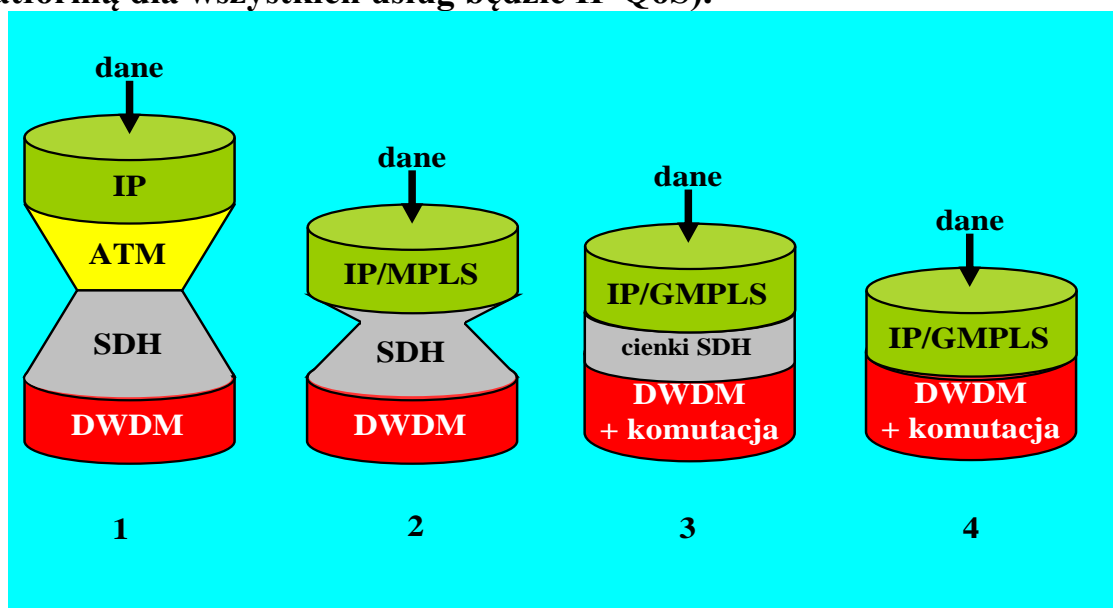
Z kolei technika DWDM spowodowała postęp w technologii rozwiązań urządzeń optycznych zarówno w transmisji jak i w komutacji.

Stwierdzono w związku z tym, że sieć telekomunikacyjna powinna w swej znacznej większości być zrealizowana w technologii optycznej.

Co więcej większość funkcji także powinna być realizowana po stronie optycznej a nie elektrycznej.

Powstał więc problem usuwania warstw elektrycznych w modelu warstwowym sieci telekomunikacyjnej i realizacji ich dotychczasowych funkcji w warstwach optycznych.

Przewidywana ewolucja sieci w kierunku fotoniki (przy założeniu, że platformą dla wszystkich usług będzie IP QoS).



dane: rozumie się przez to strumień obejmujące dowolne usługi.

Dla pokazanej ewolucji konieczne było więc uogólnienie koncepcji MPLS czyli GMPLS.

Ponieważ w swej pierwotnej postaci to uogólnienie dotyczyło tylko samej części optycznej, a dokładnie długości fali jako etykiety, to nazywane było ono **MPLambdaS** (MPλS).

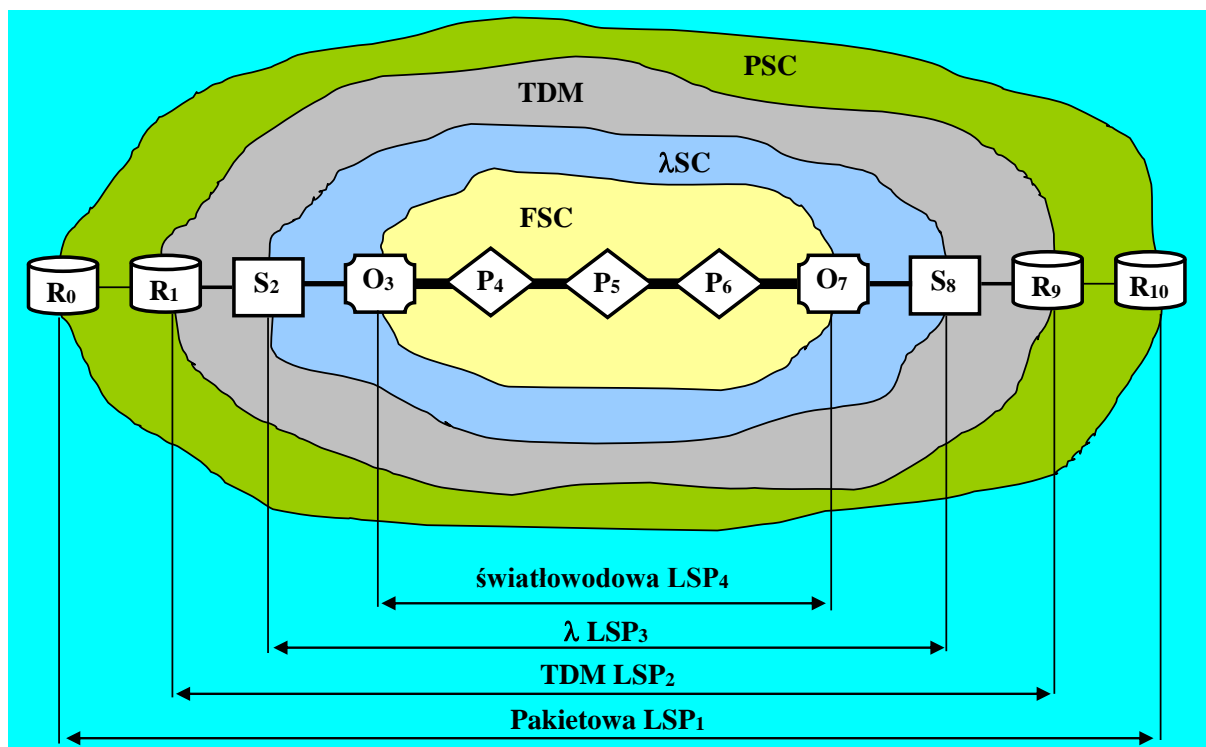
Aktualnie zakłada się, że w swej ostatecznej wersji sieć telekomunikacyjna będzie oparta tylko na technologiach: IP, MPLS i DWDM.

Konieczne było więc wprowadzenie do MPLS wielu rozszerzeń i uwzględnienie specyfiki DWDM.

Dotyczą one:

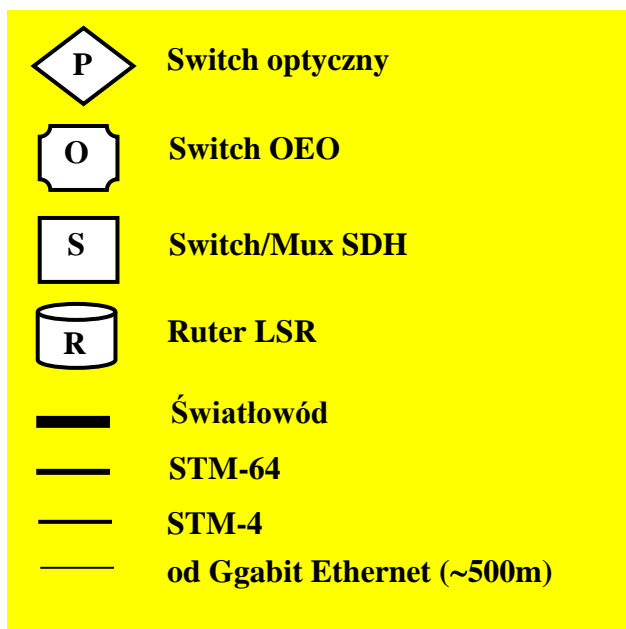
- rozszerzenia protokołów RSVP-TE i CR-LDP uwzględniające cechy zarówno sieci optycznych jak i innych rozwiązań,
- rozszerzenia protokołów OSPF i IS-IS uwzględniających atrybuty nowych technologii sieciowych (przede wszystkim optycznej),
- uwzględnienia faktu, że sieci optyczne są dwukierunkowe,
- wprowadzenie nowego protokołu zarządzania łączami optycznymi,
- uwzględnienia mechanizmów niezawodnościowych w tym także protekcji i odtwarzania,
- hierarchizacji sieci w odniesieniu do różnych technologii sieciowych (światłowodowej, długości fali, czasowej i pakietowej).

## Hierarchizacja GMPLS



Za IEEE Comm. Magazine

### Oznaczenia i skróty do rysunku Hierarchizacja GMPLS



**FSC - Fiber Switch Capable**  
 **$\lambda$ SC -  $\lambda$  Switch Capable**  
**TDM - Time Division Multiplexing**  
**PSC - Packet Switch Capable**  
**LSP - Label Switched Path**