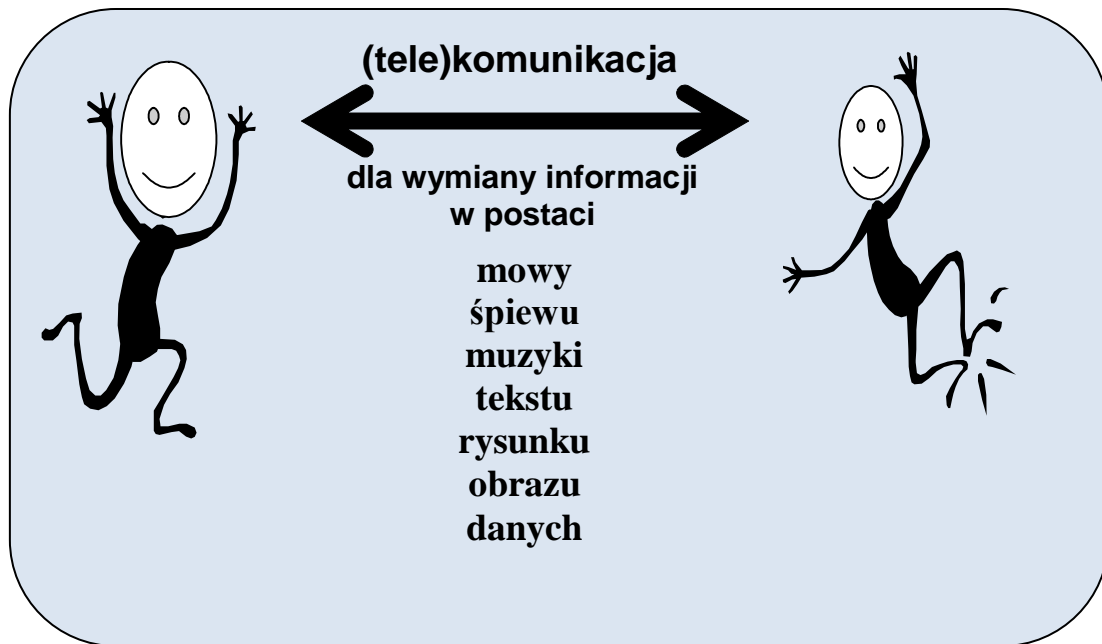


WYJAŚNIENIE NAZWY

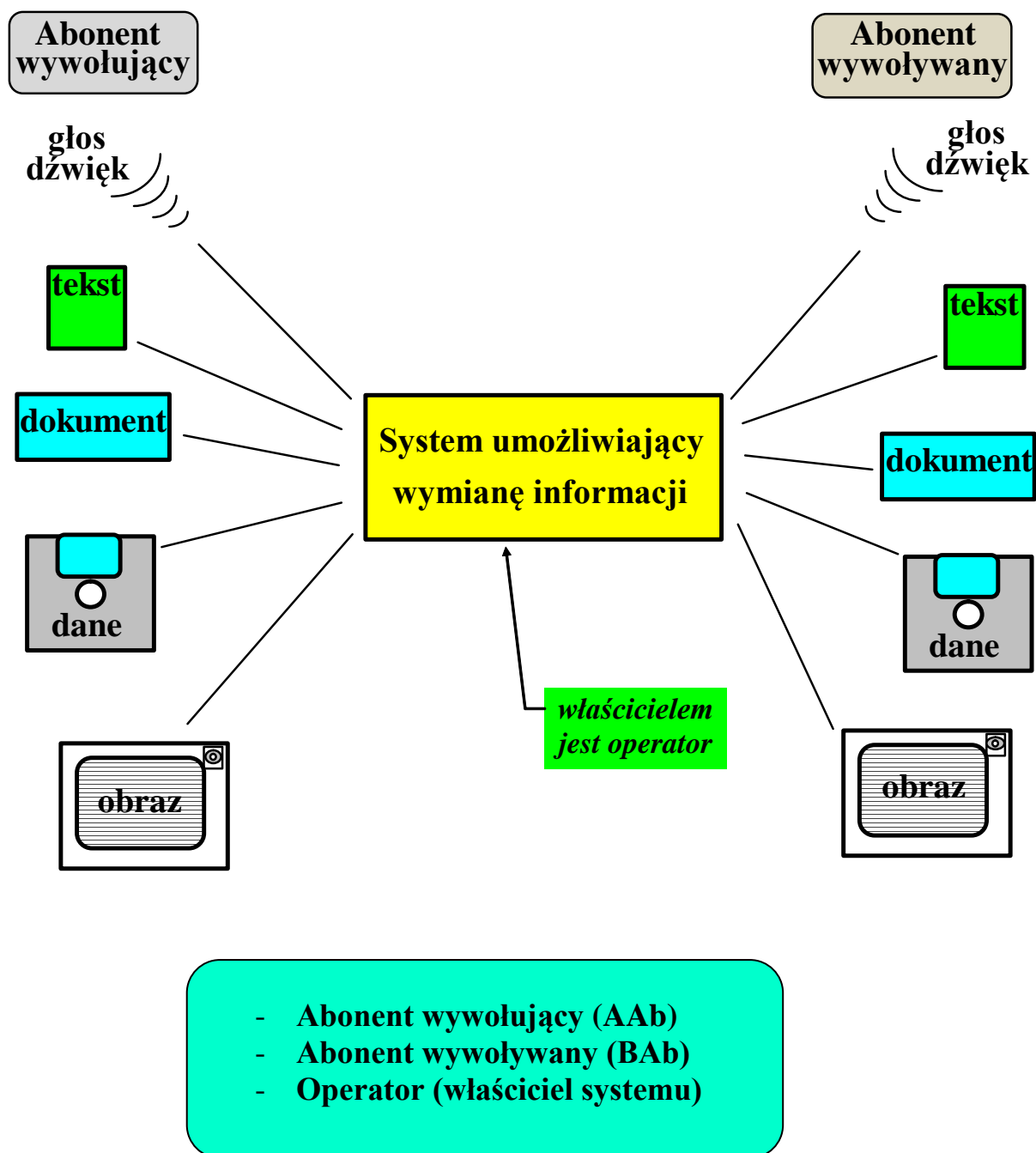


Środki dla realizacji **(tele)komunikacji** zmieniały się wraz z rozwojem technologii (techniki).

Początkowo stosowano np. posłańców, tamtamy, dym, światło, chorągiewki, itp.

Rewolucję w rozwoju środków dla realizacji **(tele)komunikacji** dokonało odkrycie **elektryczności** a w konsekwencji **elektromagnetyzmu**. Trwa ona do dnia dzisiejszego.

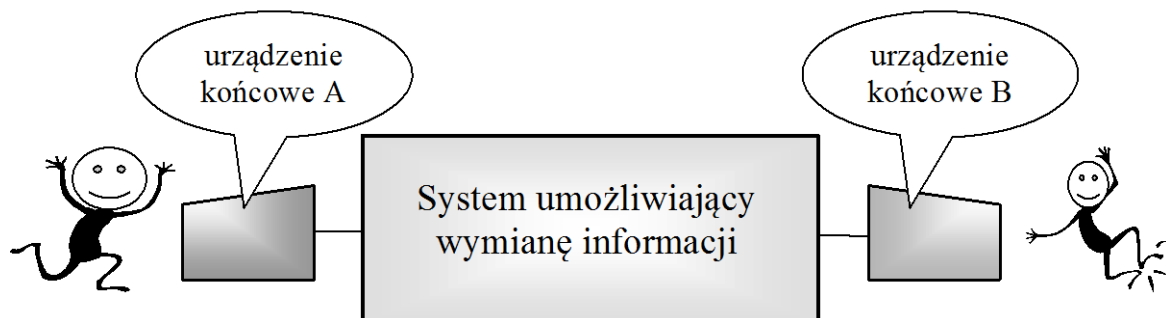
PODMIOTY PROCESU (TELE)KOMUNIKACJI



*Abonent - od abonuje usługi

Intuicyjne określenie pojęcia usługi

- **Abonent** (Klient) „widzi” i otrzymuje usługę poprzez **urządzenie końcowe** (aparat końcowy - terminal)
- To urządzenie przesłania (**ukrywa**) cały **System Wymiany Informacji** (SWI)



- Dla Abonenta to co on przekazuje lub odbiera ma określoną postać i formę, a więc:
 - słyszy i wytwarza jakiś **dźwięk**: mowa, śpiew, muzyka
 - **pisze** i **rysuje**: tekst, dokument
 - gromadzi i przetwarza **informacje**: dane, pliki
 - przekazuje i odbiera **obrazy**: obrazy stałe i ruchome
 - może w dowolny sposób **łączyć** wyżej wymienione składniki
 - może też wykorzystywać je do realizacji różnych celów nie tylko samego faktu przekazania lub odbioru informacji ale wiążącego się z tym faktem skutku, np. **kupna**, sprzedaży, pracy
- **Abonent przez usługę rozumie** właśnie przekazywanie tych zewnętrznych postaci i form informacji
- Dla inżyniera odpowiedzialnego za realizację SWI tak widziana przez Abonenta usługa jest zobowiązująca lecz musi być ona przedstawiona w **formie realizowalnej technicznie**, a to z kolei wynika z aktualnie dostępnych technologii

Stosowane technologie

Zastosowanie fali elektromagnetycznej lub fali optycznej (to też jest fala elektromagnetyczna ale z uwagi na istotne różnice w technologii dokonujemy rozróżnienia w nazewnictwie) jako nośnika informacji było i jest wykorzystywane w różny sposób.

Skutkuje to odmiennymi rozwiązaniami urządzeń w zależności od stanu technologii (techniki).

Uwzględniając różne **kryteria klasyfikacji** mamy więc w zależności od:

- **sposobu odwzorowania informacji** w fali elektromagnetycznej - technikę analogową lub cyfrową,
- **medium** w którym prowadzona jest fala - technikę elektroniczną lub optyczną,
- rozwiązań **elementów** wykonawczych oraz **sterowania** - technologie elektromechaniczne, elektroniczne, optyczne,
- **miejsca gromadzenia i przetwarzania informacji niezbędnych dla sterowania** zasobami w celu udostępnienia usługi - rozwiązania scentralizowane, zdecentralizowane, mieszane.

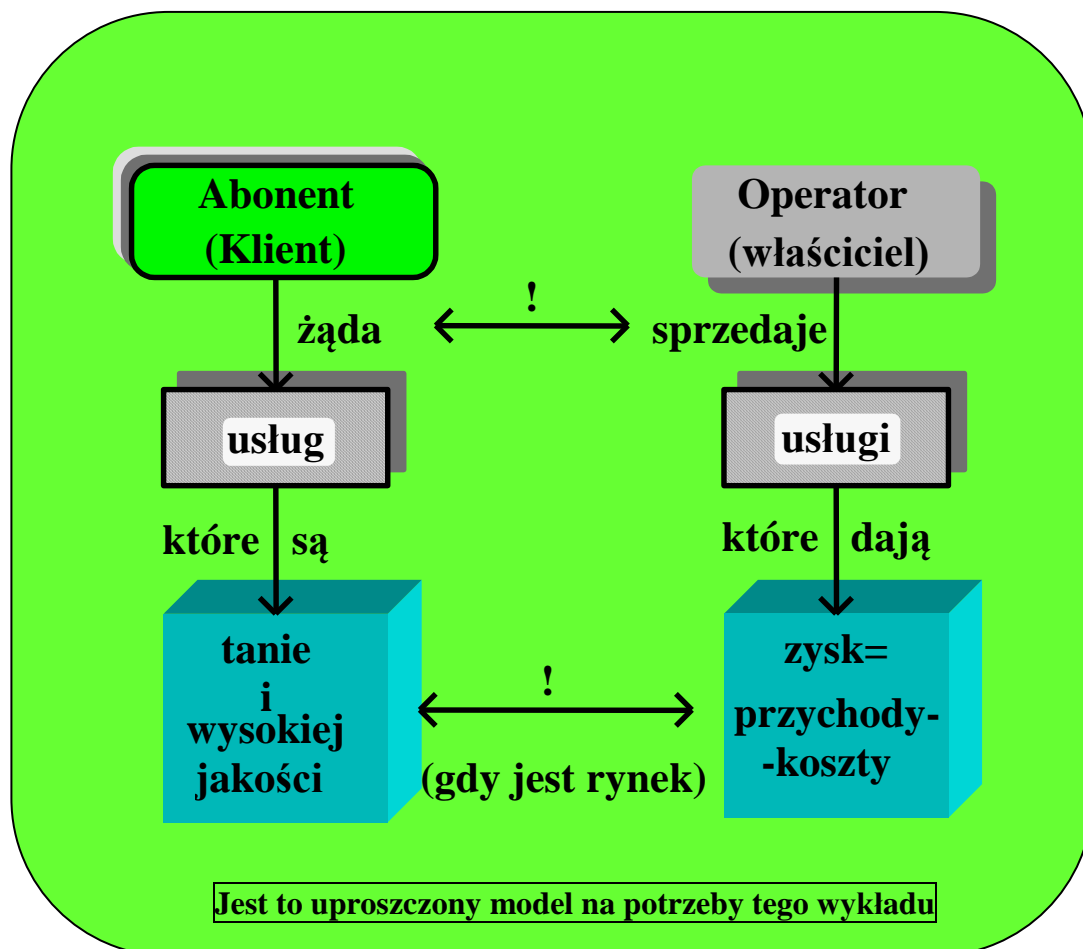
Wszystkie wyżej wymienione określenia zostaną we właściwym miejscu i czasie dokładnie wyjaśnione.

Abonent zainteresowany jest

dostępnością do usługi
jakością realizacji usługi
kosztem usługi
zakresem udostępnianych usług

Operator zainteresowany jest

przede wszystkich zyskiem



Przychody i koszty

Jest oczywiste, że **przychody wynikają z opłat** wnoszonych przez Klienta (Abonenta usług).

Na te **opłaty** składają się:

- opłaty **stałe**,
- opłaty **zmienne**.

Właściciel – **Operator** „Systemu Wymiany Informacji” ma wpływ na kształtowanie się zarówno opłat stałych i zmiennych, przy czym jego **wpływ** jest **ograniczony rynkiem**.

Zatem aby działalność sprzedaży usług była opłacalna (dochodowa) będzie starał się minimalizować swoje koszty.

Koszty te można ogólnie podzielić na koszty związane z:

- **zorganizowaniem** działalności firmy,
- sprzętem i utrzymaniem określonego stanu gotowości i sprawności **świadczenia usług**.

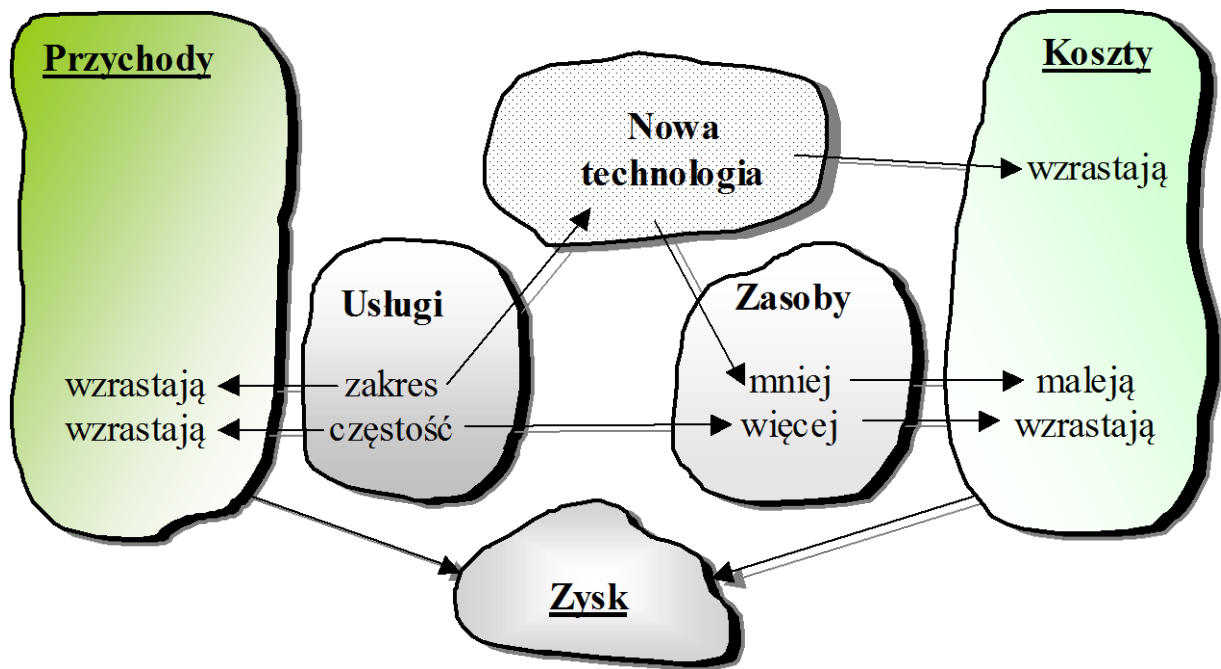
Każdy z tych składników **podlega optymalizacji** (minimalizacji).

Oczywiście nas **inżynierów** interesuje minimalizacja kosztów drugiego składnika, tzn. składnika uzależnionego od technologii (techniki) realizacji „Systemu Wymiany Informacji”.

Będziemy zatem **dążyli do minimalizacji zasobów** (ilości zainstalowanych urządzeń) umożliwiając **dostarczanie usług** Abonentowi w możliwie najszerszym zakresie przy **akceptowanym** przez tegoż Abonenta **poziomie i jakości usług** oraz **poziomie cen**.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że **zwiększanie zakresu usług** na ogół wiąże się z **wprowadzaniem nowej technologii** (techniki), czyli instalacji nowego „urządzenia” lub wymiany starego na nowy. Nie jest to tani proces. Przy czym przez „urządzenie” należy w ogólności rozumieć sprzęt plus oprogramowanie. W związku z tym nowe urządzenie w sensie jego możliwości możemy uzyskać np. tylko przez wymianę oprogramowania o czym należy pamiętać.

Możemy więc **czynniki** biorące udział w **powiększaniu zysku** (lub jego utrzymaniu) i **zmianie kosztów** powiązać następująco



Jak zwiększyć zysk?

typowo przez:

- realizację **zadań usług** akceptowanych przez abonentów **przy jak najmniejszej liczbie zasobów**; zmniejszam koszty - przy czym istnieje granica,
- **dołączanie nowych abonentów** czyli zwiększanie pojemności i tym samym sumarycznej częstości korzystania z usług; zwiększam koszty lecz także przychody za przyrost ruchu - tutaj także istnieje granica,

nietypowo przez:

- **zwiększenie intensywności zadań usług** od abonenta, a tym samym zwiększenie ruchu załatwionego co może spowodować konieczność zwiększenia zasobów ale na pewno zwiększy przychody.

Jak można zwiększyć intensywność zadań usług?

Można to uzyskać przez:

- wprowadzenie **udogodnień** jak np. budzenie, przenoszenie numeru, itp.,
- zwiększenie **zakresu usług** typu „*informacja*”,
- różnego **rodzaju usługi poprzez telefon**, oferowane abonentom indywidualnym i instytucjom,
- **zwiększenie zakresu** możliwości w **transporcie informacji** w jednym systemie sieci, np. nie tylko mowa ale także dane, tekst, obraz, itp.,
- otwarcie się na szybkie **wprowadzanie usług definiowanych** przez klienta (Abonenta),
- potraktowanie **systemu wymiany informacji jako platformy** na bazie której można dostarczać Abonentom **inne usługi** jak np. kupno, sprzedaż, operacje finansowe, zbieranie informacji na konkretny temat, konkursy, gry, telepraca, itp.

Kto bierze udział w tworzeniu „Systemu Wymiany Informacji”

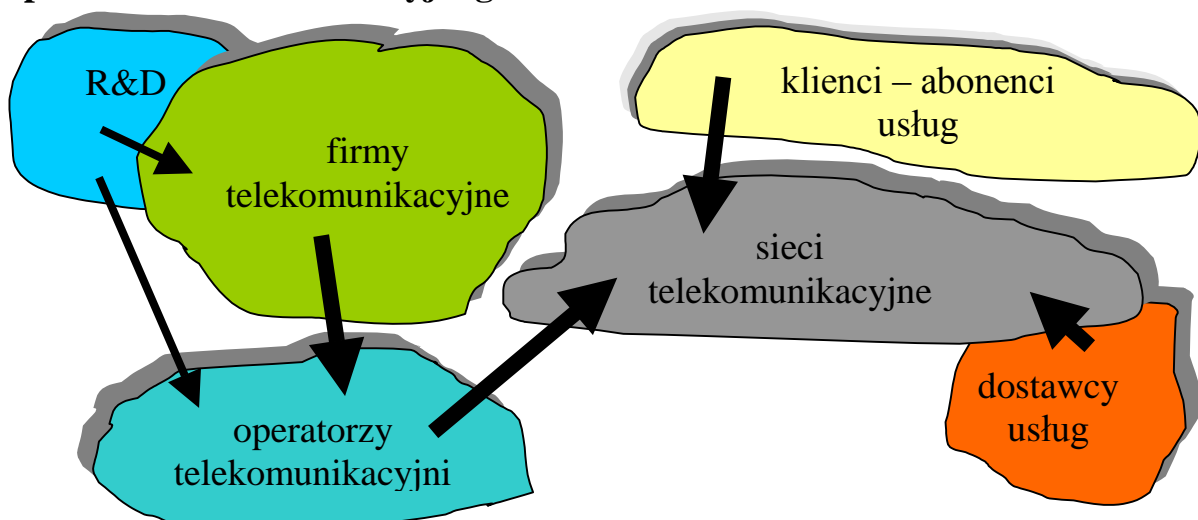
W tworzeniu tego Systemu bierze udział szereg uczestników (instytucji), których funkcje i zadania są ściśle określone. Tymi instytucjami są:

- ośrodki badawczo-rozwojowe, które prowadzą podstawowe prace badawczo-rozwojowe (R&D) nad nowymi technologiami (technikami), wyznaczając kierunki ich rozwoju na najbliższą przyszłość,
- firmy konstrukcyjno-produkcyjne (firmy telekomunikacyjne), które pomysły proponowane i przebadane przez poprzednią grupę zamieniają w konkretną realizację w efekcie której produkt finalny, w postaci urządzenia czy też systemu, znajduje się na rynku telekomunikacyjnym,
- operatorzy telekomunikacyjni, którzy nabywają produkty firm telekomunikacyjnych i budują „Systemy Wymiany Informacji” w celu sprzedaży usług swoim Klientom (Abonentom)

W szeroko rozumianym rynku usług wykorzystujących telekomunikację pojawia się kolejny uczestnik, tzw. **Dostawca Usług**.

Oczywiście w przypadku operatora telekomunikacyjnego jest on także dostawcą usług lecz nie musi to być jedyny dostawca.

Dostawca usługi nie musi być operatorem telekomunikacyjnym, np. dostawca (organizator) konkursu, ale korzysta on z usług dostarczanych przez operatora telekomunikacyjnego.



Podstawowe definicje

TELEKOMUNIKACJA - nauka, technika i inna działalność ludzka dotycząca **przekazywania** na **odległość** wiadomości (**informacji**) za pośrednictwem **sygnałów**.

Aktualnie sygnał w Systemie Wymiany Informacji jest tworzony na bazie fali elektromagnetycznej lub fali optycznej.

USŁUGA TELEKOMUNIKACYJNA - usługa świadczona każdorazowo przez telekomunikację - dzięki jej urządzeniom i organizacji - na rzecz jej użytkowników i na ich żądanie.

Jest to bardzo ogólna definicja, która nie mówi o sposobie realizacji usługi, a jedynie o samym fakcie (usługa) odbieranym przez Abonenta (użytkownika) w stosunku do szeroko rozumianego systemu (urządzenia i organizacja).

POŁĄCZENIE (TELEKOMUNIKACYJNE) - stan określonych urządzeń telekomunikacyjnych, umożliwiający świadczenie danej usługi telekomunikacyjnej.

Wyżej zdefiniowane pojęcie połączenia jest bardzo ogólnym i szerokim pojęciem. Nie mówi ono nic o tym jak jest realizowane to połączenie.

Z jednej strony ujmuje ono znaczenie fizyczności połączenia – określone fizyczne urządzenia biorą w nim udział, z drugiej strony ujmuje ono także sens logiczny przez fakt opisu – stanu urządzeń i możliwości świadczenia usługi.

Potoczne znaczenie słowa „połączenia” odnosi się jedynie do stwierdzenia, że dwa wyróżnione obiekty są bezpośrednio połączone ale to jeszcze nie oznacza, w naszym przypadku, że istnieje możliwość wymiany wiadomości (informacji) między tymi obiektami.

TELEKOMUNIKACJA - nauka, technika i inna działalność ludzka dotycząca przekazywania na odległość wiadomości (informacji) za pośrednictwem sygnałów.

INFORMATYKA - nauka, technika i inna działalność ludzka dotycząca gromadzenia, przechowywania, przetwarzania i wydawania danych, zwłaszcza przy użyciu maszyn cyfrowych.

TELEINFORMATYKA - dział informatyki i telekomunikacji dotyczący przetwarzania danych przy użyciu środków telekomunikacji.

USŁUGA TELEKOMUNIKACYJNA - usługa świadczona każdorazowo przez telekomunikację - dzięki jej urządzeniom i organizacji - na rzecz jej użytkowników i na ich żądanie.

POŁĄCZENIE (TELEKOMUNIKACYJNE) - stan określonych urządzeń telekomunikacyjnych, umożliwiający świadczenie danej usługi telekomunikacyjnej.

PROCES TELEKOMUNIKACYJNY - złożony proces charakterystyczny dla telekomunikacji, a niezbędny i wystarczający dla uzyskania połączenia telekomunikacyjnego, dla korzystania z niego, dla utrzymania tego połączenia przez określony przeciąg czasu i dla zlikwidowania go.

PROCES TELEKOMUNIKACYJNY ELEMENTARNY - proces będący częścią składową procesu telekomunikacyjnego.

KOMUTACJA (TELEKOMUNIKACYJNA) - proces telekomunikacyjny elementarny polegający na tworzeniu połączenia telekomunikacyjnego, a następnie na likwidacji tego połączenia stosownie do każdorazowej dyspozycji jego użytkowników lub zgodnie z ustalonym programem.

TRANSMISJA SYGNAŁU - proces telekomunikacyjny elementarny polegający na przesyłaniu sygnału na odległość.

TELEKOMUTACJA - dział telekomunikacji dotyczący tworzenia i likwidowania połączeń telekomunikacyjnych.

TELETRANSMISJA - dział telekomunikacji dotyczący przesyłania sygnałów na odległość przy użyciu środków technicznych.

TELEKOMUNIKACJA UŻYTKU POWSZECHNEGO - telekomunikacja, z której usług mogą korzystać wszyscy, którzy sobie tego życzą.

TELEKOMUNIKACJA UŻYTKU SZCZEGÓLNEGO - telekomunikacja, z której usług mogą korzystać tylko określone instytucje, przedsiębiorstwa, zakłady lub osoby i która w związku z tym jest dostosowana do ich specyficznych potrzeb.

Dla tego określenia w praktyce używa się zamiennie określenia: Telekomunikacja użytku prywatnego, Telekomunikacja korporacyjna.

TELEFONIA - rodzaj telekomunikacji dotyczący wymiany wiadomości wyrażanych mową.

TELEGRAFIA - rodzaj telekomunikacji dotyczący przekazywania wiadomości w postaci dokumentu zawierającego tekst drukowany albo w innej postaci.

SYMIOLOGRAFIA - rodzaj telekomunikacji dotyczący przekazywania wiadomości w postaci dokumentu graficznego geometrycznie podobnego do oryginału.

TELESKRYPCJA - rodzaj telekomunikacji dotyczący przekazywania wiadomości w postaci graficznej, ukazującej się po stronie odbiorczej na ekranie lub w inny sposób w miarę odręcznego pisanie lub rysowania po stronie nadawczej.

TELEDACJA - rodzaj telekomunikacji dotyczący przekazywania wiadomości pod postacią danych między urządzeniami służącymi do ich przetwarzania.

KOMUTACJA KANAŁÓW - jest to rodzaj komutacji, w którym zasoby dla realizacji połączenia są przydzielane na cały czas trwania tylko tego połączenia.

KOMUTACJA WIADOMOŚCI - jest to rodzaj komutacji, w którym dla realizacji połączenia zastosowano metodę "zapamiętaj i prześlij".

KOMUTACJA PAKIETÓW - jest to szczególny przypadek komutacji wiadomości, w której są ściśle określone wymagania na strukturę i organizację przesyłanych pakietów (wiadomość podzielona jest na pakiety).

Niektóre z pojęć i określeń zostaną w dalszej części dokładniej omówione. Wyżej podana lista będzie na bieżąco uzupełniana.

Cechy i wymagania środowiska w którym znajduje się „System Wymiany Informacji”

Rozważany System ma zapewnić wymianę informacji:

- z której może skorzystać **wielu abonentów**,
- abonenci są na ogół rozmieszczeni na **bardzo dużym obszarze**,
- wymiana informacji musi być możliwa **między dowolnymi abonentami**,
- momenty **żądania** usługi są **przypadkowe**,
- **czas korzystania** z usługi (połączenia) jest także **przypadkowy**,
- **poziom i jakość usług** musi spełniać określone **wymagania**.

Należy zauważyć, że rozważany System musi obsługiwać zapotrzebowania na usługi, które pojawiają się przypadkowo i ich czas trwania jest przypadkowy. Co więcej liczba tych zapotrzebowań w jednostce czasu jest duża.

W związku z powyższym możemy stwierdzić, że rozważany System jest „Systemem Masowej Obsługi”.

Jednocześnie wymagania na poziom usług narzucają graniczne czasy na rozpoczęcie realizacji usługi i są one tak dobrane aby abonent odnosił wrażenie, że jest obsługiwany na bieżąco co w języku opisu systemów określane jest mianem „Systemów Czasu Rzeczywistego”.

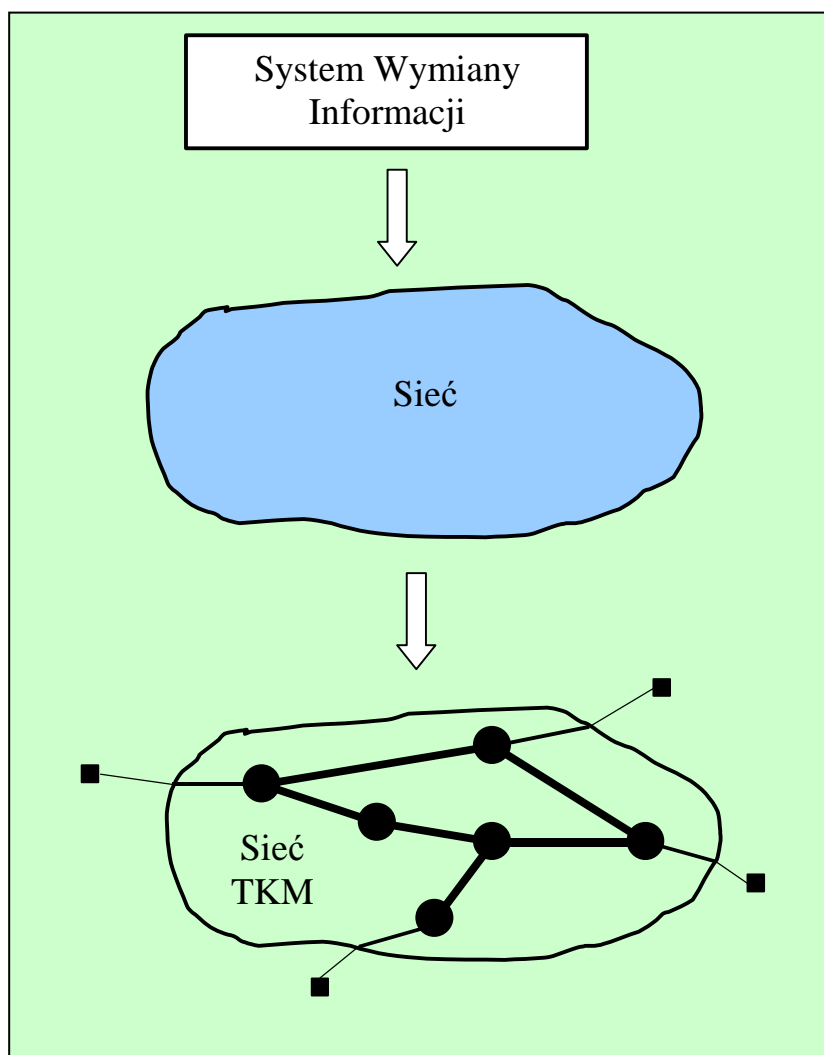
Z kolei tego typu **ograniczenia i wymagania** jak minimalizacja kosztów oraz duży obszar obsługiwany przez System powodują, że musi on być **realizowany w postaci Sieci**. Oczywiście z uwagi na to że ma ona dostarczać usług telekomunikacyjnych nosi ona nazwę Sieci Telekomunikacyjnej.

Z samej definicji Sieci wynika, że zbudowana jest ona z **dwóch elementów**:

- **węzłów (wierzchołki) sieci**,
- **krawędzi łączących węzły sieci**.

Sieć ta musi umożliwić otoczeniu, tzn. Abonentom, **korzystanie z jej usług** i dlatego do węzłów dostępowych (brzegowych) tej sieci **dołączane są urządzenia końcowe** przy zastosowaniu linii (łączy) abonenckich. Jest to **trzeci element** sieci telekomunikacyjnej jaki należy wyróżnić przy jej podstawowym opisie.

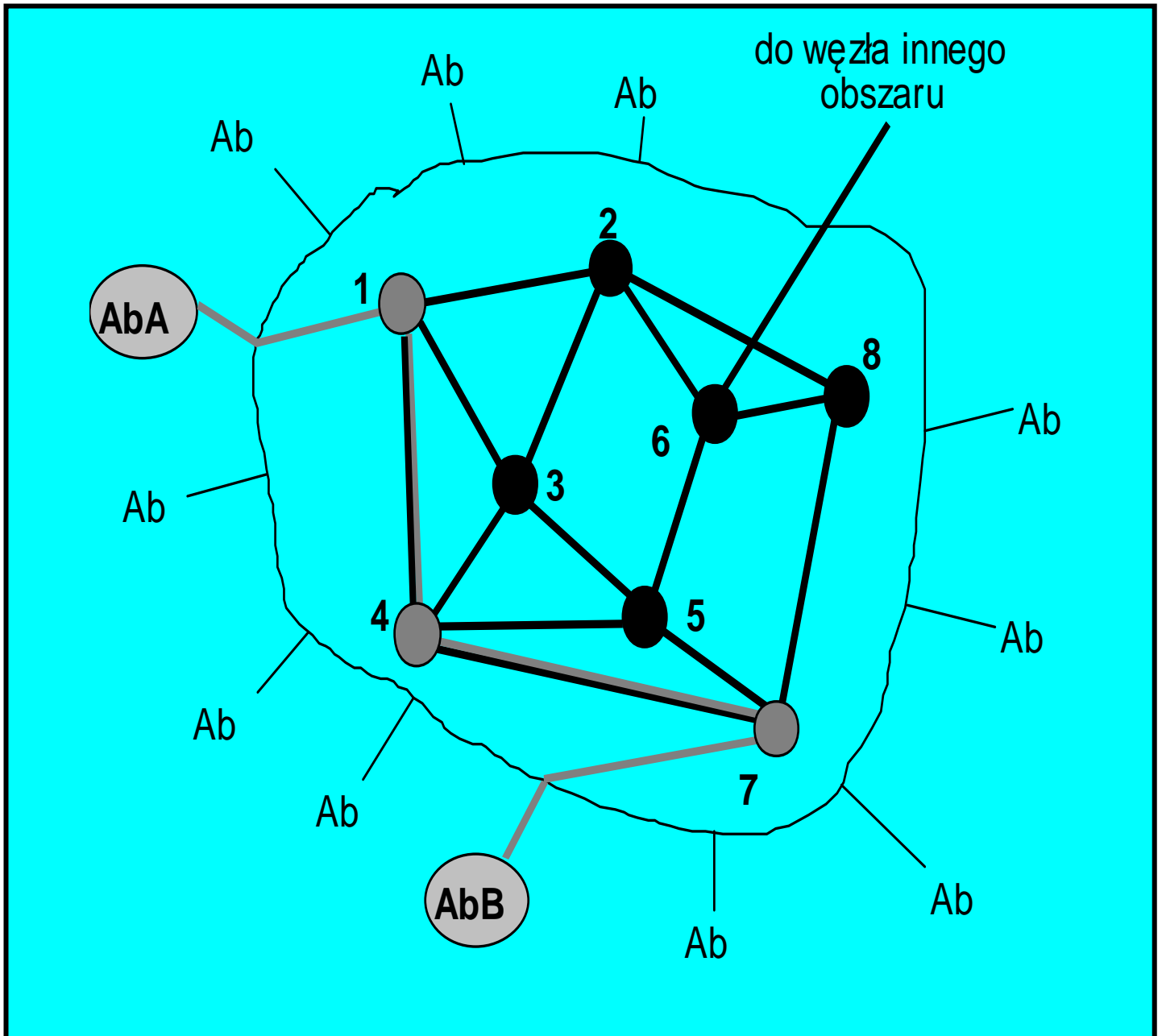
Do sieci telekomunikacyjnej **nie należą urządzenia końcowe** (aparat końcowy - terminale)!!!



- węzeł sieci
- łącza międzywęzłowe
- linia abonencka
- „sznur” urządzenia końcowego
- urządzenie końcowe (terminal)

SIEĆ TELEKOMUNIKACYJNA

(z punktu widzenia realizacji połączenia)



Podstawowe zasoby sieci TKM:

- węzły komutacyjne
- łącza międzywęzłowe
- linie abonenckie

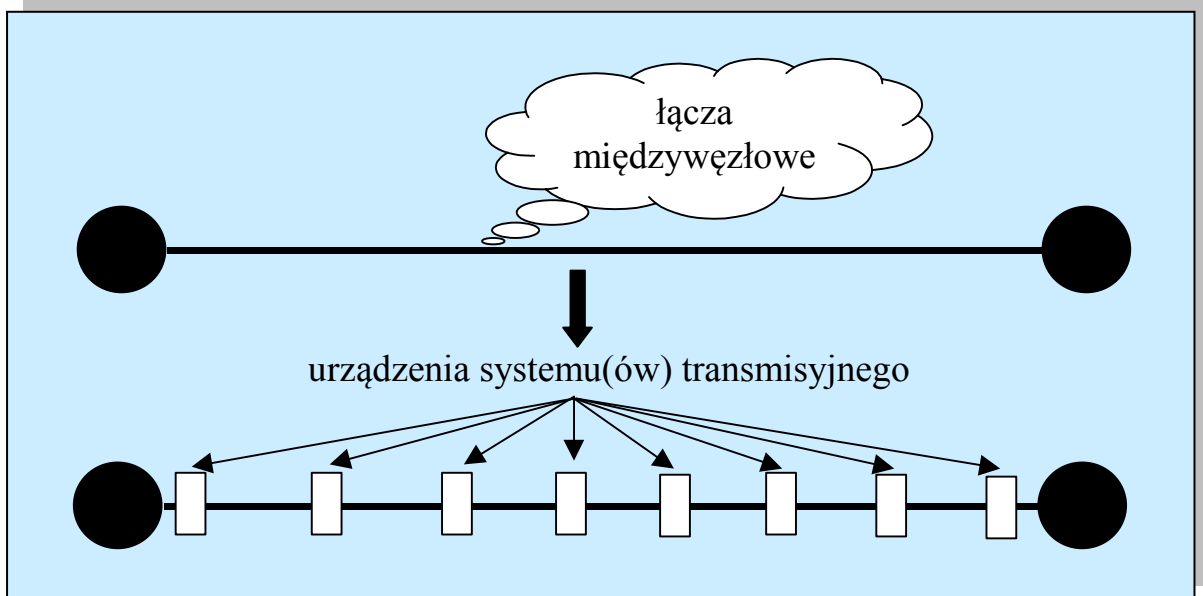
Podstawowe funkcje: transmisja, komutacja, multipleksacja

Dwie pierwsze funkcje wynikają z faktu, że nasz System Wymiany Informacji jest realizowany w postaci sieci.

Sieć ta zbudowana jest z łączy (linii) abonenckich i międzywęzłowych, których podstawowym zadaniem jest przenoszenie nadawanych sygnałów (transmisja) od urządzenia końcowego do węzła, między węzłami oraz od węzła do urządzenia końcowego.

Transmisja ta musi mieć tę cechę, że zachowuje kształt nadanego sygnału w takim stopniu iż po stronie odbiorczej można odtworzyć informację zawartą w tym sygnale.

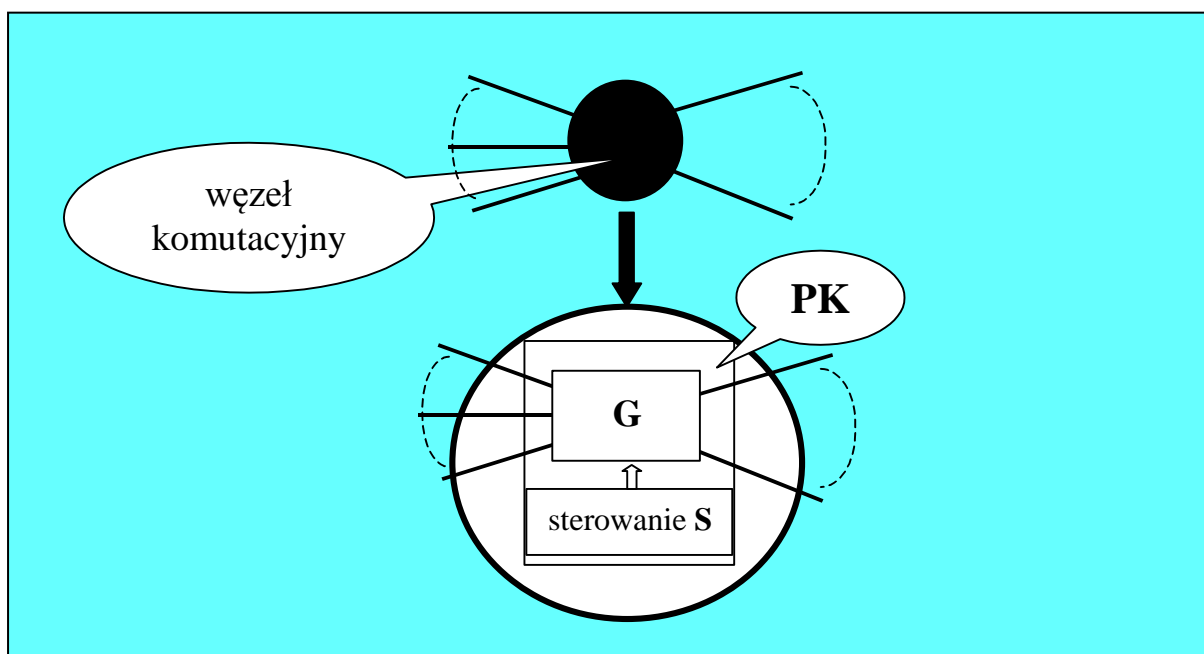
Podczas realizacji funkcji transmisji sygnał podlega zniekształceniom co ogranicza zasięg transmisji i tym samym wymaga odpowiednich technik dla pokonania tego ograniczenia. Wynika to z faktu znacznych odległości między elementem nadającym i odbierającym sygnał.



W zależności od stanu technologii każda z technik realizacji funkcji transmisji tworzyła specyficzne dla siebie systemy transmisyjne. O systemach tych dowiemy się na późniejszych wykładach.

Funkcja **komutacji** (**łączenia**) wynika z konieczności **tworzenia połączeń** między dowolnymi abonentami, którzy występują w dużej liczbie. Jest ona realizowana przez **węzły komutacyjne**, które dokonują połączeń między łączem wejściowym (przychodzącym) i łączem wyjściowym (wychodzącym) tego węzła komutacyjnego. Dzięki temu informacja (wiadomość) przychodząca po łączu do węzła komutacyjnego może być przekazana na łącze i nadana do następnego węzła znajdującego się na drodze prowadzącej do odbiorcy tej informacji (wiadomości).

Z uwagi na to że liczba takich połączeń jest znaczna i zmienia się dynamicznie w czasie, a jednocześnie musi być zapewniona realizacja warunku czasu rzeczywistego to do realizacji tej funkcji w węźle komutacyjnym został wydzielony specjalny **blok funkcjonalny** nazwany **polem komutacyjnym PK**.



Struktura G oraz możliwości łączeniowe PK są zależne od techniki i technologii realizacji węzła komutacyjnego. Najogólniej ujmując pole komutacyjne można zapisać jako uporządkowaną trójkę

$$PK = \langle G, S, T \rangle ,$$

gdzie $T = \langle X, Y \rangle$ jest typem selekcji, a X i Y są podziałem zbioru wejść i wyjść pola komutacyjnego, np. $T = \langle I, I \rangle$, $T = \langle I, G \rangle$, $T = \langle I, S \rangle$ (I - indywidualny, S - swobodny, G - grupowy).

Trzecia bardzo ważna funkcja realizowaną w sieci telekomunikacyjnej, wynikającą z minimalizacji zasobów i tym samym kosztów, jest **funkcja multipleksacji** i odwrotna do niej **funkcja demultipleksacji**.

Dotychczas wymienione zasoby wykorzystywane w sieci TKM są zasobami, które są dla nas oczywiste i zrozumiałe gdyż wyobrażamy je sobie i wydaje się nam, że **możemy je bezpośrednio stwierdzić poprzez zewnętrzny ogląd**. W tym sensie możemy więc mówić o tym, że zajmują one przestrzeń fizyczną, są więc zasobami przestrzennymi lub inaczej są postrzeganą materią zajmującą przestrzeń.

Np.

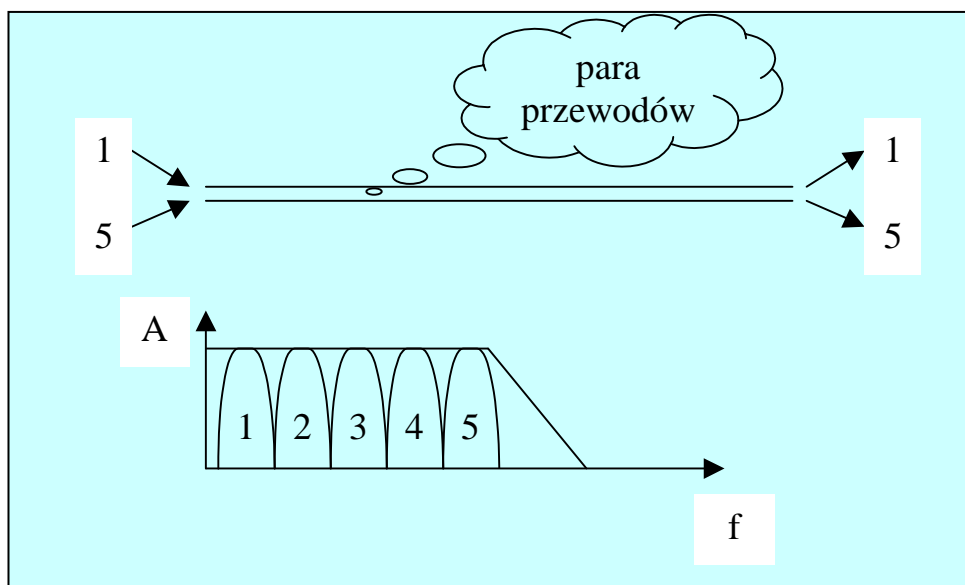
- **linia abonencka** typowo jest zrealizowana na parze przewodów znajdującej się w kablu (skrętka) (dla abonentów ruchomych jest to natomiast przestrzeń fal radiowych),
- **węzeł komutacyjny**, który jest zbiorem odpowiednio połączonych fizycznych bloków funkcjonalnych,
- **łącze międzywęzłowe**, które zrealizowane jest na medium (pary przewodów, nitki światłowodu, przestrzeń fal radiowych) oraz odpowiednich urządzeniach transmisyjnych.

W realizacji połączenia telekomunikacyjnego biorą udział wyżej wymienione zasoby. **Gdyby potraktować realizację połączenia tylko i wyłącznie w oparciu o zasoby przestrzenne**, to praktycznie oznaczałoby to, iż zasoby te byłyby tylko i wyłącznie **zajmowane przez konkretne połączenie na czas trwania tego połączenia**, tzn. linia abonencka byłaby całkowicie zajęta dla realizacji konkretnego połączenia, podobnie łącza międzywęzłowe tworzone byłyby przez pary przewodów i zajmowane byłyby na czas trwania połączenia, a także zespoły węzła komutacyjnego (np. elementy PK) byłyby na czas trwania połączenia zajmowane tylko i wyłącznie przez to połączenie. Okazałoby się wówczas, że **bylibyśmy bardzo rozrzutni** a tym samym **kosztowni** w dostarczaniu usług abonentowi. Praktycznie oznaczałoby to wyeliminowanie nas z rynku z uwagi na konkurencję.

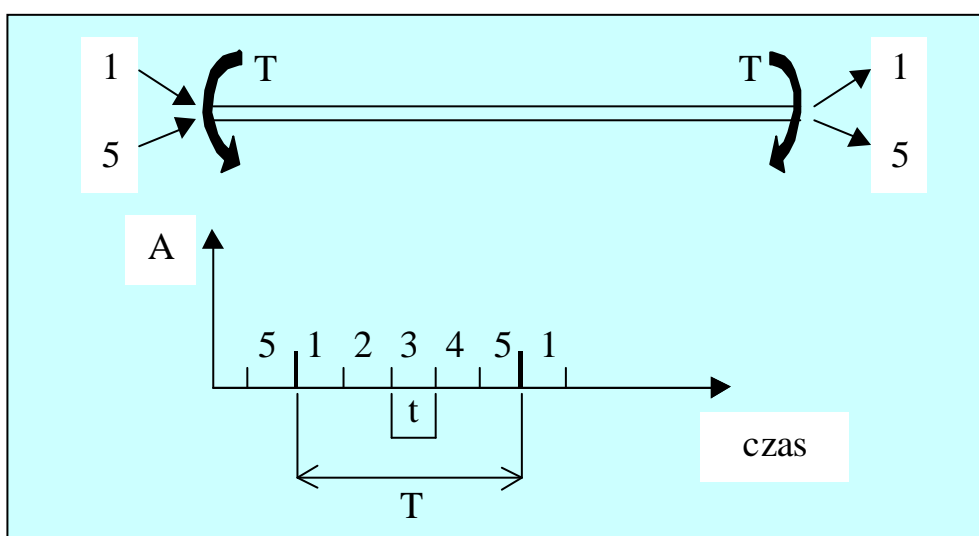
Aby **zmniejszyć te koszty**, przez lepsze wykorzystanie zasobów przestrzennych, dokonujemy **wtórnego podziału zasobu przestrzennego** w dziedzinie częstotliwości lub (i) czasu. Takie postępowanie jest uzasadnione, gdyż pamiętamy że nośnikiem informacji są sygnały, a te z kolei mają określone cechy w dziedzinie widma (częstotliwości) i czasu.

Weźmy np. **parę przewodów (skrętkę)** to w przypadku tylko przestrzennej realizacji połączenia możemy uzyskać na tej parze jedno połączenie. Jeżeli jednak pasmo częstotliwości, które może być zajęte przez sygnały, podzie-

limy na **rozłączne podpasma** i każde z nich przeznaczymy na inne połączenie to uzyskamy na tej parze przewodów **tyle połączeń ile będzie podpasm.**



Podobnie, jeżeli dokonamy **podziału dostępu do tej pary przewodów** tylko na określony czas t co okres T , to uzyskamy T/t połączeń na tej parze (T jest wielokrotnością t).



Oczywiście realizacja tych idei wymaga określonych technik i odpowiednio skonstruowanych urządzeń, które umożliwią poprawne przenoszenie informacji.

Podobnie możemy postąpić z zasobami przestrzennymi w węźle komutacyjnym jak i zasobami przestrzennymi dla tworzenia połączeń międzywęzłowych.

Podsumowując należy stwierdzić, że zasoby w sieci telekomunikacyjnej dla realizacji funkcji połączeniowych mogą być wykorzystywane w dziedzinie:

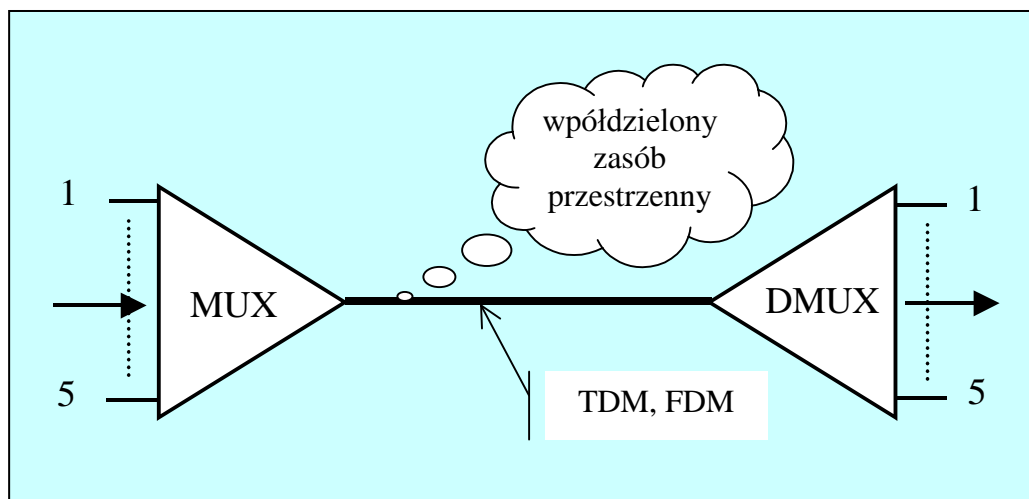
- przestrzeni,
- częstotliwości,
- czasu

oraz kombinacji tych sposobów podziału.

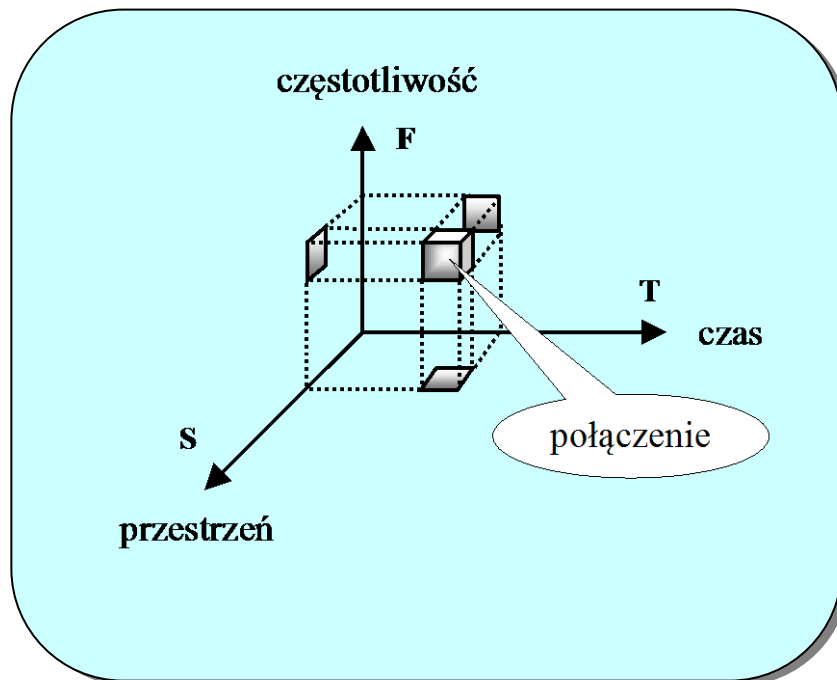
Przy okazji omawiania tego zagadnienia wprowadziliśmy pojęcie multipleksacji i demultipleksacji oraz dwie ich podstawowe metody, które mają swoje techniczne nazwy:

- w dziedzinie **częstotliwości** jest to FDM(A) – Frequency Division Multiplexing (Access), mające polskie tłumaczenie „(dostęp z) multipleksacja(ą) z podziałem częstotliwości”,
- w dziedzinie **czasu** jest to TDM(A) – Time Division Multiplexing (Access), mające polskie tłumaczenie „(dostęp z) multipleksacja(ą) z podziałem czasu”.

Symbolicznie (blokowo) przedstawiono to na poniższym rysunku.



Zatem w ogólności fakt wykorzystania przestrzeni, czasu i pasma częstotliwości dla realizacji połączenia możemy symbolicznie zobrazować w trójwymiarowej przestrzeni o osiach: przestrzeń (S – space), częstotliwość (F – Frequency) i czas (T – Time).

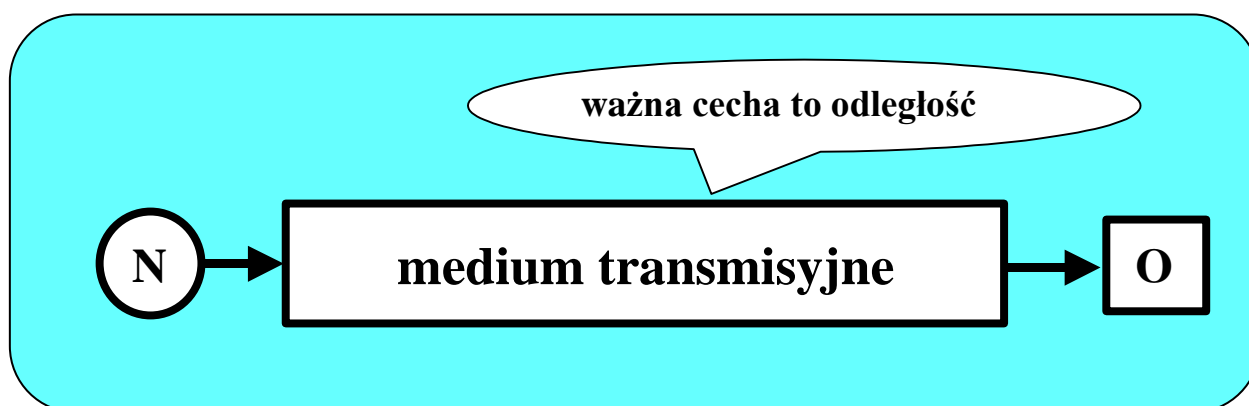


Nie są to jedyne sposoby zwielokrotnienia wykorzystania zasobów. Mamy jeszcze CDM(A) - [Code Division Multiplexing \(Access\)](#). W tym przypadku multipleksacji podlegają sygnały, które były poddane działaniu klucza kodowego i to tak, że każdy z sygnałów miał inny klucz kodowy. Aby odtworzyć określony sygnał po stronie odbiorczej trzeba mieć ten klucz. Mając do dyspozycji K takich kluczy można jednocześnie przesłać K sygnałów czyli utworzyć K połączeń. Więcej na ten temat powiemy sobie na późniejszym wykładzie.

Media transmisyjne i wielkości określające ich cechy

Z najprostszej definicji **TELEKOMUNIKACJI** wynika iż dla jej realizacji wykorzystujemy rozprzestrzeniającą się falę elektromagnetyczną (falę optyczną). Fala ta może rozprzestrzeniać się w różnych ośrodkach oraz w różnorodny sposób zrealizowanych strukturach prowadzących fale nazywanych **przewodnikami**.

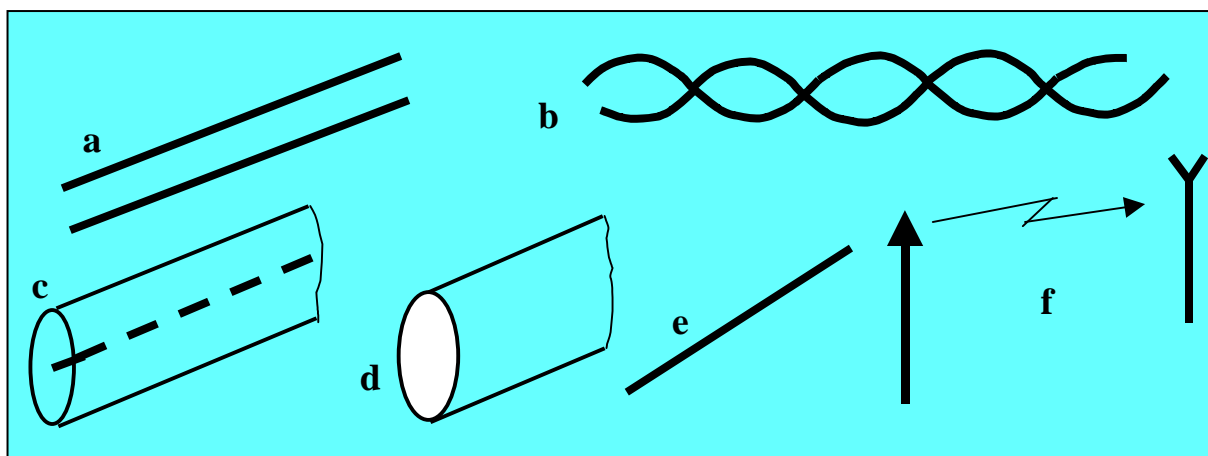
Ich zasadniczym przeznaczeniem jest **pośredniczenie** między **źródłem informacji** przekształconej w sygnał a **odbiorcą informacji**. Jest to zatem coś co **pośredniczy**, coś co jest pomiędzy. Stąd mówimy, że mamy **medium**. Z faktu nadawania informacji w postaci sygnału przenoszonego przez falę elektromagnetyczną czyli transmisji mówimy o medium transmisyjnym.



W telekomunikacji stosuje się różne **rodzaje mediów** transmisyjnych:

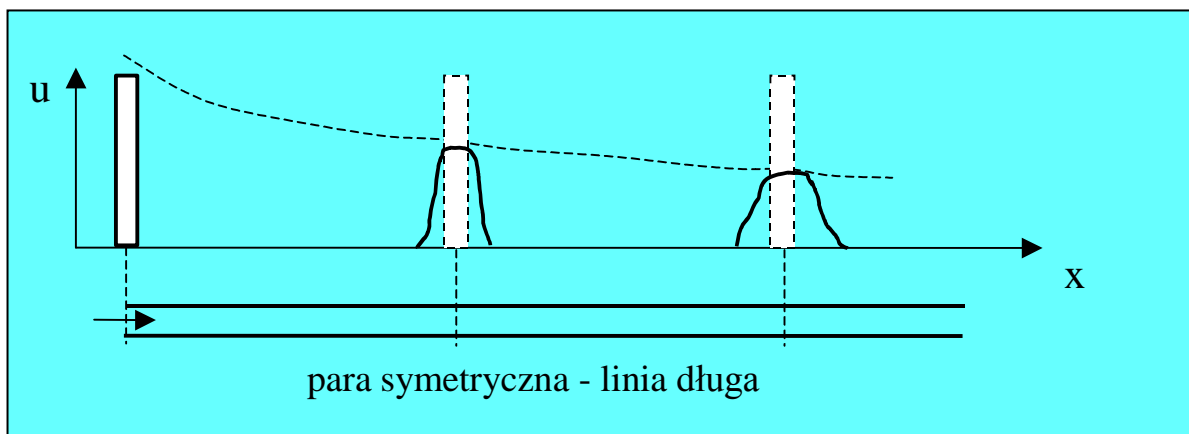
- a) **para symetryczna** - dwa równoległe przewody,
- b) **skrętka** - dwa izolowane przewody skrócone w odpowiedni sposób,
- c) **kabel współosiowy** - jeden przewód dokładnie otoczony przez odizolowany drugi przewód, np. w postaci siatki drucianej, rury,
- d) **falowód** - metalowa rura o różnorodnych przekrojach,
- e) **światłowód** - nić wykonana z kwarcu z odpowiednimi domieszkami,
- f) **wolna przestrzeń** – fale radiowe w wolnej przestrzeni.

Prowadnice te dzielimy na otwarte i zamknięte. Zamknięte tzn. takie, które są izolowane od otaczającej ich przestrzeni.



Chcemy opisać właściwości przewodnicy, która łączy dwa urządzenia - nadajnik i odbiornik. Opisać właściwości tzn. podać wyrażenia matematyczne, które umożliwiają określenie kształtów przebiegów napięcia i prądu (wektorów E i H pola) w dowolnym miejscu i w dowolnym czasie - jeżeli tylko znamy ich przebieg na wejściu przewodnicy.

Jako przykład weźmy parę symetryczną na której wejście podano impuls. Otóż **impuls ten po przejściu przez tę linię** będzie miał zmienioną **amplitudę** (na skutek **tłumienia**) oraz **kształt** (na skutek **dyspersji**).



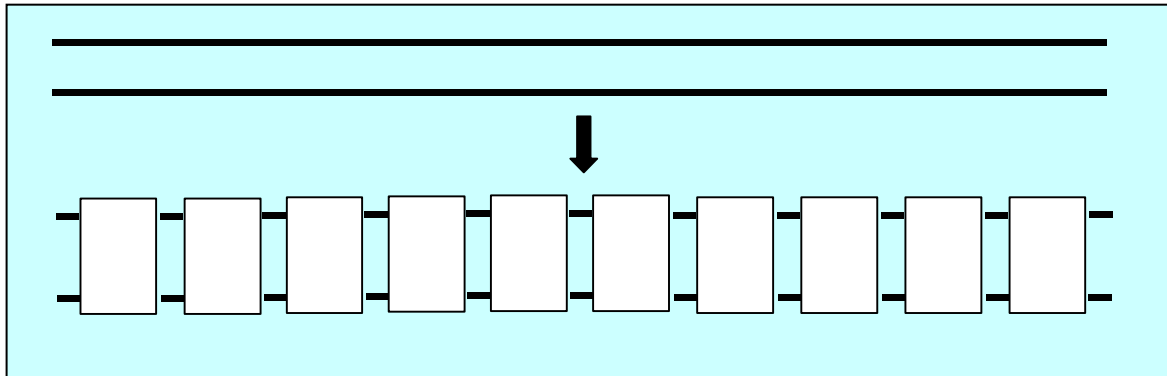
W **przypadku idealnej linii** amplituda i kształt w dowolnym punkcie są takie same.

Dla **linii stratnej** amplituda maleje w sposób **wykładniczy** a szerokość impulsu jest zachowana.

W przypadku **linii z dyspersją** następuje **rozmycie** kształtu impulsu.

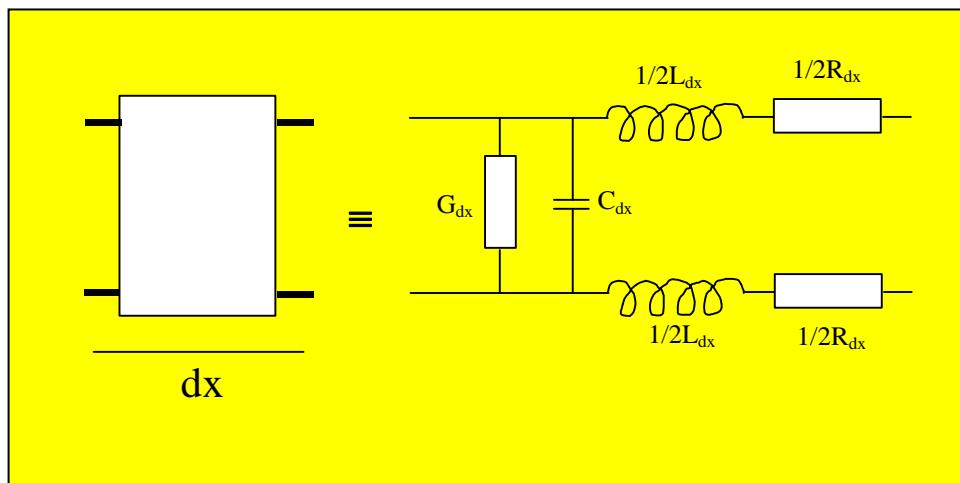
Na **ogół linie wykazują** straty oraz dyspersję i wówczas mamy sytuację przedstawioną na rysunku.

Chcąc opisać linię długą **tworzymy jej model** w postaci ciągu czwórników połączonych szeregowo.



Każdy z tych **czwórników** ma identyczny schemat **składający** się z **elementów skupionych**, tzn. indukcyjności L , pojemności C , rezystancji R i konduktancji G odcinka o długości dx .

Schemat czwórnika przedstawiono na rysunku.



Dla przypadku linii bezstratnej (G i R są równe zero) można napisać następujące równania na zmianę napięcia i prądu wzdłuż odcinka dx

$$\frac{\partial u}{\partial x} = L_1 \cdot \frac{\partial i}{\partial t},$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = C_1 \cdot \frac{\partial u}{\partial t},$$

gdzie L_1 i C_1 to indukcyjność i pojemność jednostkowa linii. Gdy z równań wyeliminujemy np. prąd to otrzymamy

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = L_1 C_1 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} ,$$

które pokazuje **współzależność zmian napięcia wzdłuż linii ze zmiennością w czasie**. Równanie to opisuje rozchodzenie się zaburzenia wzdłuż linii, a jego **prędkość** wynosi

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

Z kolei współczynnik proporcjonalności między zmianami napięcia i zmianami prądu nazywany **impedancją** dla linii długiej nazywa się **impedancją charakterystyczną** tej linii i wyrażony jest przez wzór

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$$

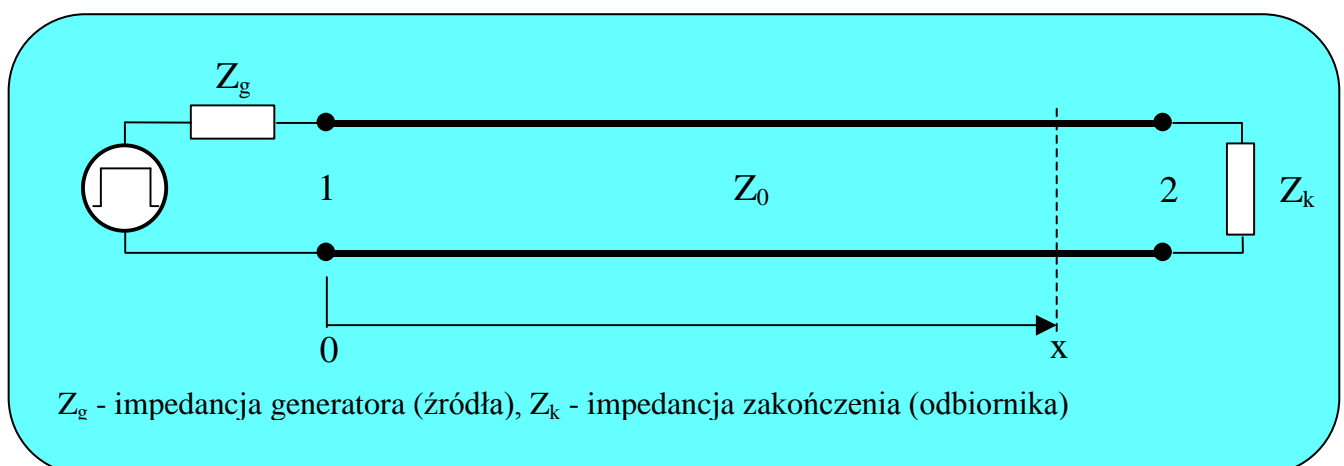
Typowe wartości Z_0 to 50, 75, 120, 150 i 600 Ω .

W **rzeczywistej linii** zarówno R jak i G nie są równe zero i wówczas mamy następujący wzór na impedancję charakterystyczną (dla sygnału sinusoidalnego, $\omega = 2\pi f$, gdzie f jest częstotliwością sygnału) określa wzór

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_1 + j\omega L_1}{G_1 + j\omega C_1}} .$$

Do opisu sygnału wzdłuż linii wykorzystuje się **stałą propagacji**

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R_1 + j\omega L_1) \cdot (G_1 + j\omega C_1)} .$$



Zmiany napięcia wzdłuż linii można zapisać następująco

$$U(x) = U(0) \cdot e^{-\gamma \cdot x} = U(0) \cdot e^{-\alpha \cdot x} \cdot e^{-j\beta \cdot x}$$

Parametr α (**stała tłumienia**) opisuje tłumienie amplitudy wzdłuż linii natomiast parametr β (**stała fazowa**) opisuje szybkość zmian fazy wzdłuż linii i jest związany z szybkością rozchodzenia się fali następującą zależnością (λ - długość fali)

$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Stale te wyraża się odpowiednio w neperach (decybelach) oraz radianach na jednostkę długości, którą najczęściej jest metr.

Neper [N] jest jednostką logarytmiczną, a tłumienie w neperach określa się z wzoru

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1} = \ln \frac{U_2}{U_1} [N],$$

natomiast decybel [dB] jest także jednostką logarytmiczną, a tłumienie oblicza się z wzoru

$$A = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 20 \log \frac{U_2}{U_1} [dB],$$

przy czym przy napięciach należy pamiętać, że porównywane napięcia występują na tych samych impedancjach.

Przykładowe wartości tłumienia:

- **kabel współosiowy do Ethernetu** o średnicy 4.65 mm:
3.24dB/100m dla 5MHz,
4.59dB/100m dla 10MHz,
22dB/100m dla 100MHz,
- **skrętka telekomunikacyjna**:
2.62dB/100m dla 1MHz,
6.7dB/100m dla 10MHz,
- **kabel CATV** 27dB/100m dla 900MHz.

Tłumienie jest funkcją częstotliwości i rośnie w przybliżeniu proporcjonalnie do pierwiastka z częstotliwości, a jego wartość zależy od konstrukcji przewodnicy falowej.

Podobnie impedancja charakterystyczna Z_0 zmienia się wraz z częstotliwością.

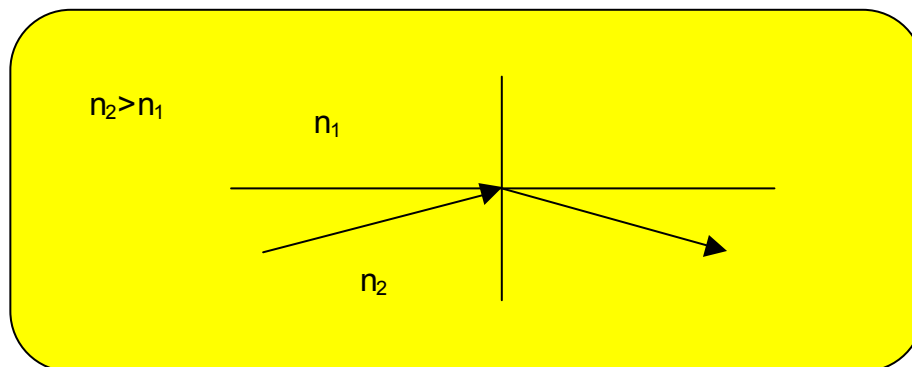
Typowe wartości parametrów jednostkowych linii długiej:

- **indukcyjność** - 0.4-0.8mH/km,
- **pojemność** - 20-40nF/km,
- **rezystancja** - 40-120Ω/km,
- **konduktancja** - 0.0001-0.7μS/km (silnie zależy od częstotliwości).

Uwaga!!!

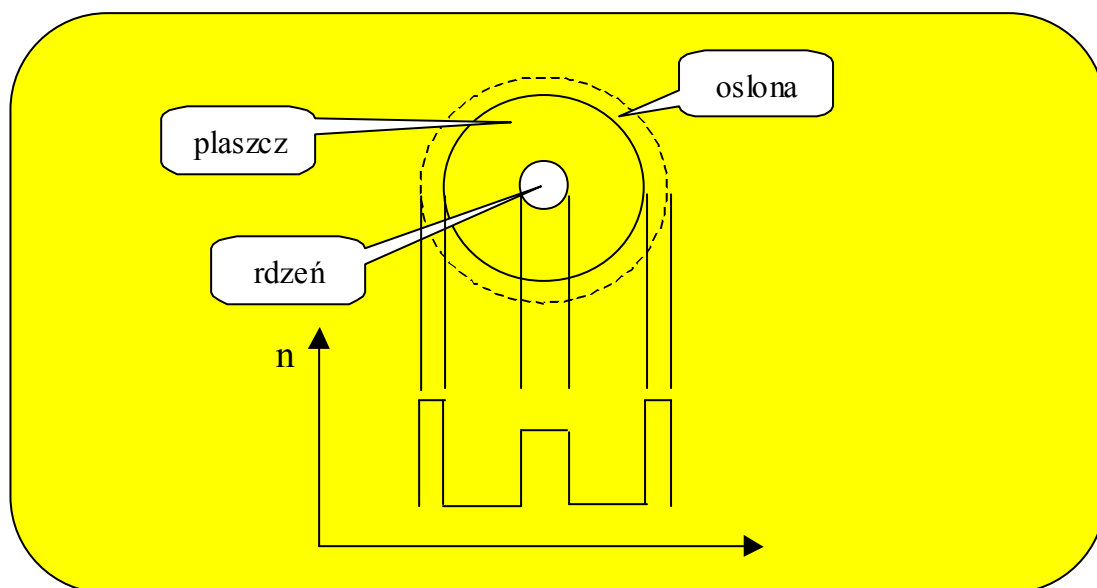
Do tego aby kierować przepływ energii fali elektromagnetycznej nie jest niezbędny metal.

Otóż fala elektromagnetyczna padająca na granicę dwóch dielektryków ulega odbiciu jeżeli będą spełnione określone warunki co do kąta padania i relacji współczynników załamania.



To zjawisko wykorzystano konstruując światłowód. Jest to nić z kwarcu z odpowiednimi domieszkami kształtującymi współczynnik załamania w przekroju tej nici.

Zewnętrzna średnica nici (płaszczka) wynosi 125μm.

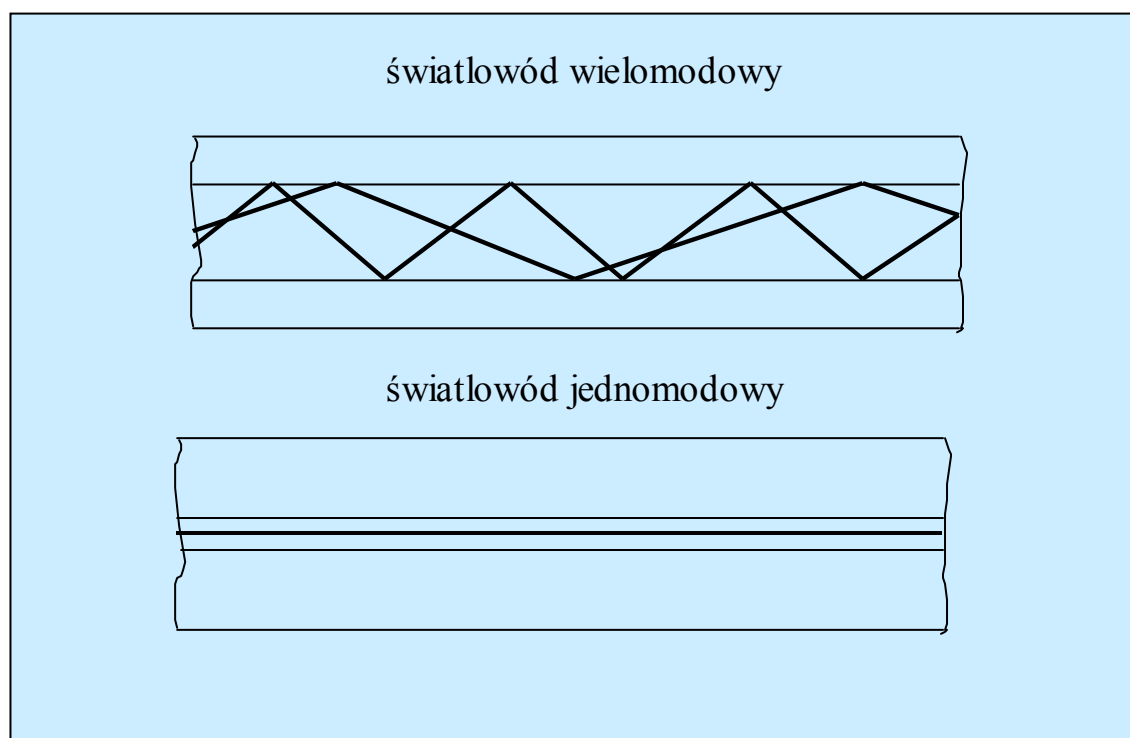


Profile współczynnika załamania mogą mieć różny kształt. Uzyskuje się wówczas różne cechy światłowodu.

Średnica **rdzenia** dla światłowodów:

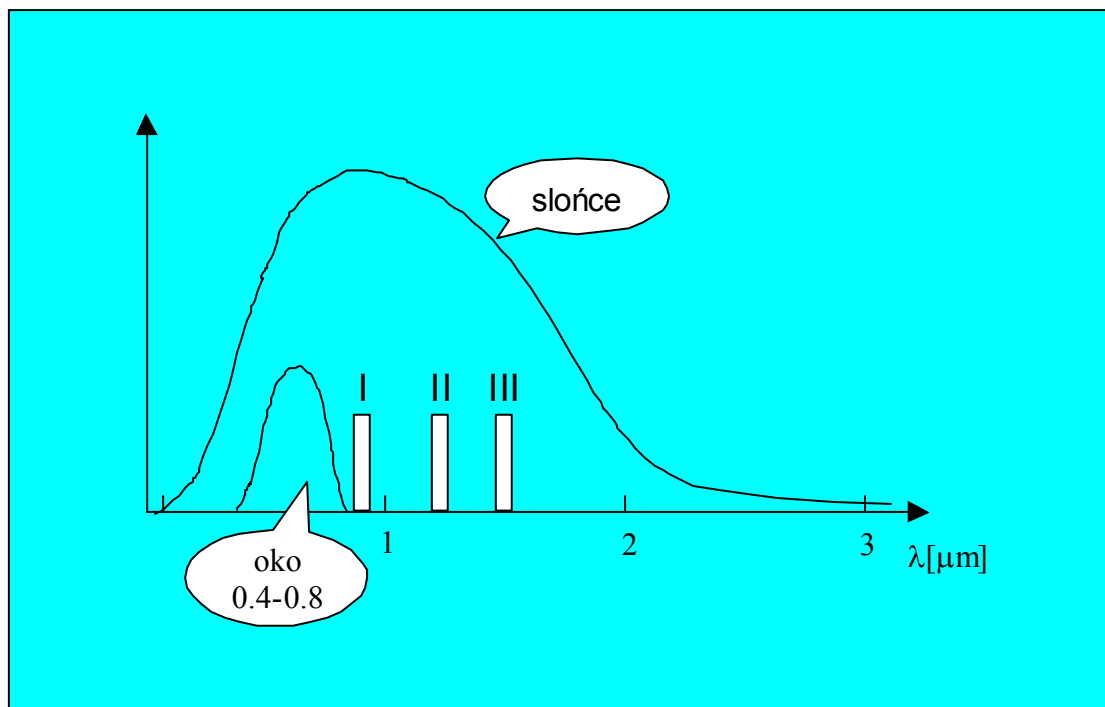
- **wielomodowych** wynosi 50, 62 lub 120 μm ,
- **jednomodowych** wynosi 8-10 μm .

Oprócz światłowodów kwarcowych stosuje się **światłowody plastikowe** (plastomerowe), które mają znacznie gorsze właściwości transmisyjne ale są za to tanie.



Właściwości transmisyjne tego medium są silnie zależne od długości fali i wykazują **minima tłumienia**. Stąd też wyróżnia i wykorzystuje się **trzy okna** nazwane w kolejności:

- **pierwszym oknem** w zakresie długości fal $0.85\mu\text{m}$ (850nm),
- **drugim oknem** w zakresie długości fal $1.31\mu\text{m}$ (1310nm),
- **trzecim oknem** w zakresie długości fal $1.55\mu\text{m}$ (1550nm).



Uzyskiwana **tłumienność** dla poszczególnych okien wynosi:

- w pierwszym jest mniejsze od **3dB/km**,
- w drugim jest mniejsze od **0.4dB/km**,
- w trzecim jest mniejsze od **0.2dB/km**.

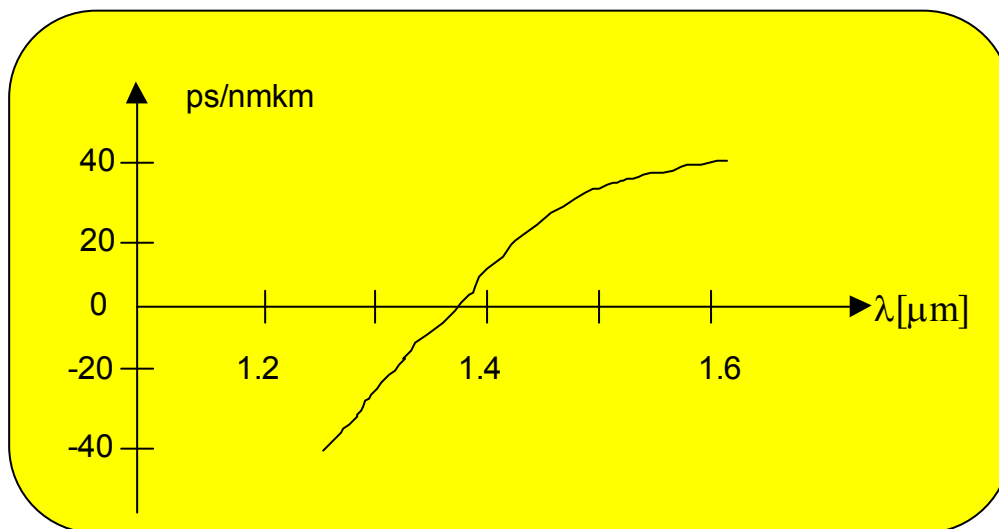
Tłumienność spawu światłowodu jest mniejsza od **0.1dB**, a **złącza** jest mniejsza od **1dB**. Konieczność spawania (lub klejenia) światłowodów wynika z faktu iż technologicznie produkuje się kable o długości do 2km.

W przypadku światłowodów **oprócz tłumienności** sygnału bardzo istotną rolę odgrywa **dyspersja**, która ma istotny wpływ na zasięg transmisji. Wpływ ten jest **tym większy im krótszy jest impuls (dlaczego?)**. Z tą sytuacją mamy do czynienia w przypadku techniki światłowodowej.

Zatem im większa jest przepływność systemu transmisyjnego tym większy wpływ na zasięg ma dyspersja i to ona głównie limituje zasięg systemu transmisyjnego.

Wartość i zmiany dyspersji w funkcji długości fali są zależne od profilu światłowodu i kształtowania współczynnika załamania.

Wartość dyspersji wyraża się ją w jednostce ps na nm na km – ps/nm km, a mówi ona nam o tym o ile ps zmieni się szerokość impuls na jednym km światłowodu jeśli szerokość linii widmowej światła wynosi jeden nm. Na wykresie przedstawiono przykładową krzywą dyspersji dla światłowodu skokowego.



Gdzie leży istota problemu w transmisji sygnału poprzez medium transmisyjne?

Oczywiście **podstawowe przyczyny** zasięgu transmisji poprzez medium transmisyjne zostały wymienione, a są to:

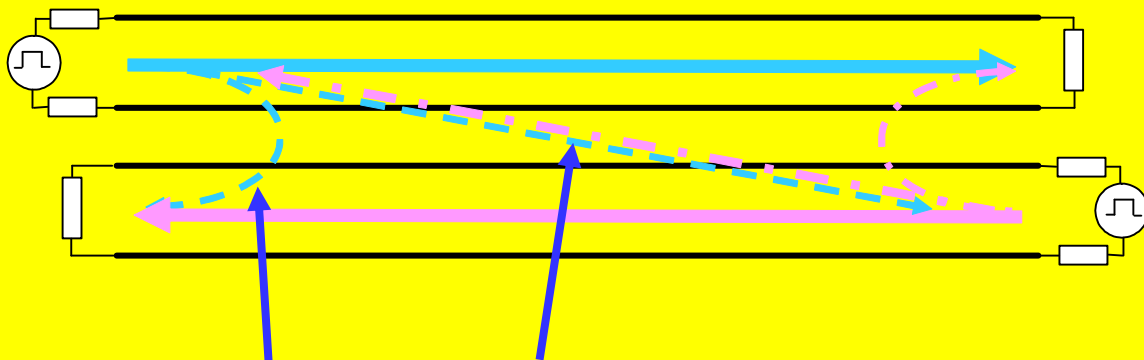
- **tlumiennosc**,
- **dyspersja**,

i wynikają one z właściwości samej przewodnicy.

Istnieją jednakże także inne przyczyny z których podstawowa to **obecność zakłóceń** generowanych w najbliższym otoczeniu przewodnicy. Ich znaczenie jest istotne w przypadku przewodnic otwartych.

Ich istota wynika z faktu, że chcemy jednocześnie realizować dużą liczbę połączeń i to poprzez media, które znajdują się w bezpośredniej bliskości, np. **kabel wieloparowy**. Wówczas okazuje się, że nie możemy zwiększyć energii sygnału tak aby był on na drugim końcu medium rozróżnialny spośród innych sygnałów przy założonej odległości nadajnika od odbiornika.

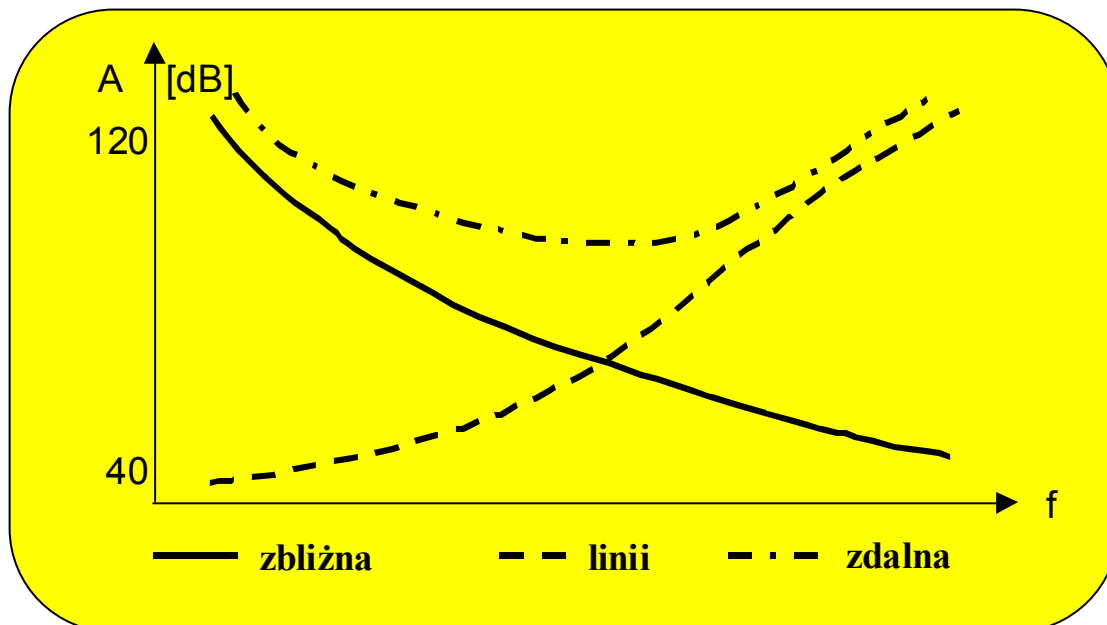
Jeżeli zatem rozważymy sytuację, że mamy dwie linie długie to wówczas na skutek tego, że pole elektromagnetyczne jednej linii jest na zewnątrz (nie zamierzone przez jej konstruktorów a wynikające z praw fizyki) a w bezpośredniej odległości znajduje się druga linia długa to energia tego pola przedostaje się do tej drugiej linii. To zjawisko ma miejsce na całej długości wzajemnie na siebie wpływających linii. Jeżeli tych linii jest więcej to takie wzajemne oddziaływanie jest między każdą parą linii. **Efekt końcowy jest taki, że w danej linii przenoszony jest nie tylko sygnał użyteczny ale także ten, który przeniknął do tej linii**. Jest to zjawisko niepożądane i powoduje ono w efekcie zmniejszenie zasięgu transmisji w medium transmisyjnym, gdyż zniekształca kształt sygnału użytecznego i jest traktowane jako zakłócenie.



Mamy tu przenik zbliżny i przenik zdalny.

Konstrukcja przewodnic powinna być taka **aby tłumienność** dla tych zjawisk była możliwie **duża**, tzn. przeniki były male.

Tłumienność przenikowa zależy od częstotliwości sygnału i jej przebieg został przedstawiony na wykresie.



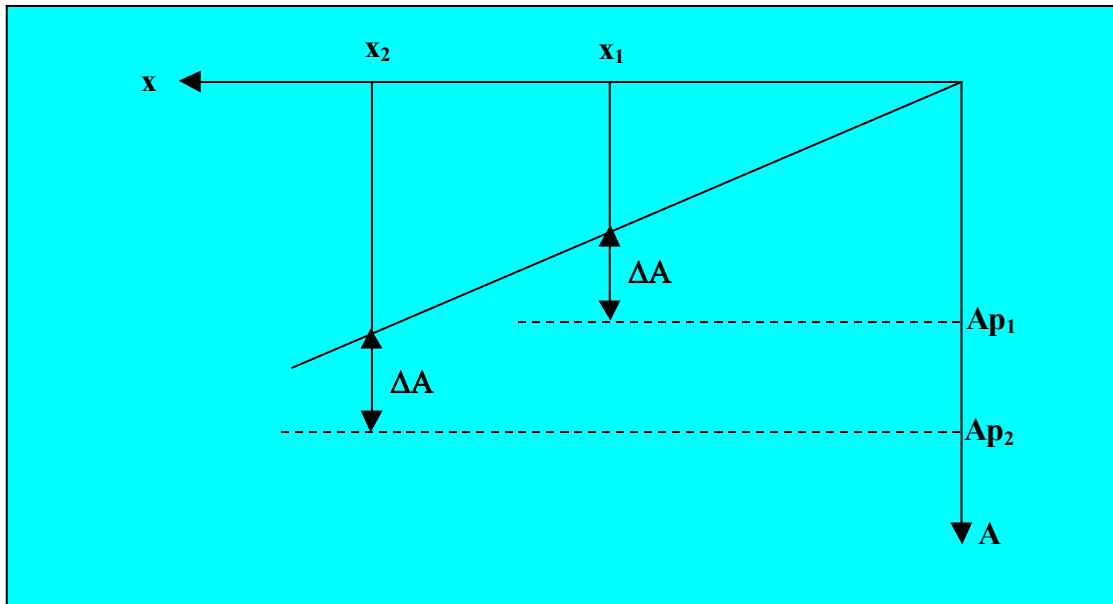
Dlaczego zjawisko przeniku a szczególnie zbliżnego jest tak istotne?

Otóż jeżeli rozważymy dwie linie, które w kablu znajdują się obok siebie i są wykorzystane tak jak to pokazano na poprzednim rysunku to **sygnał będący wynikiem przeniku zbliżnego powoduje znaczne obniżenie zasięgu transmisji.**

Wynika to z następujących faktów:

- **sygnał użyteczny** w linii 2 na swoim końcu **ma małą amplitudę** na skutek tłumienia wzdłuż linii,
- natomiast **sygnał przeniku zbliżnego ma stosunkowo dużą wartość** jak na sygnał zakłócający, szczególnie dla wyższych częstotliwości,
- aby poprawnie odtworzyć informację zawartą w sygnale użytecznym musi być **zachowana odpowiednia różnica między tymi sygnałami**,
- zatem **im większą wartość ma sygnał przeniku zbliżnego tym większą wartość musi mieć sygnał użyteczny** a to z kolei oznacza, że dopuszczalne tłumienie w linii dla sygnału użytecznego musi być mniejsze i tym samym przy danej stałej tłumienia α **długość linii czyli zasięg będzie mniejszy.**

Na kolejnym rysunku zobrazowano to zjawisko pokazując przebieg zmian tłumienia w linii 2 w funkcji odległości jednocześnie zaznaczając dwa przypadki wartości tłumienności przenikowej A_p . ΔA jest to dopuszczalna minimalna różnica między tymi tłumiennościami na końcu linii umożliwiającą poprawny odbiór informacji.

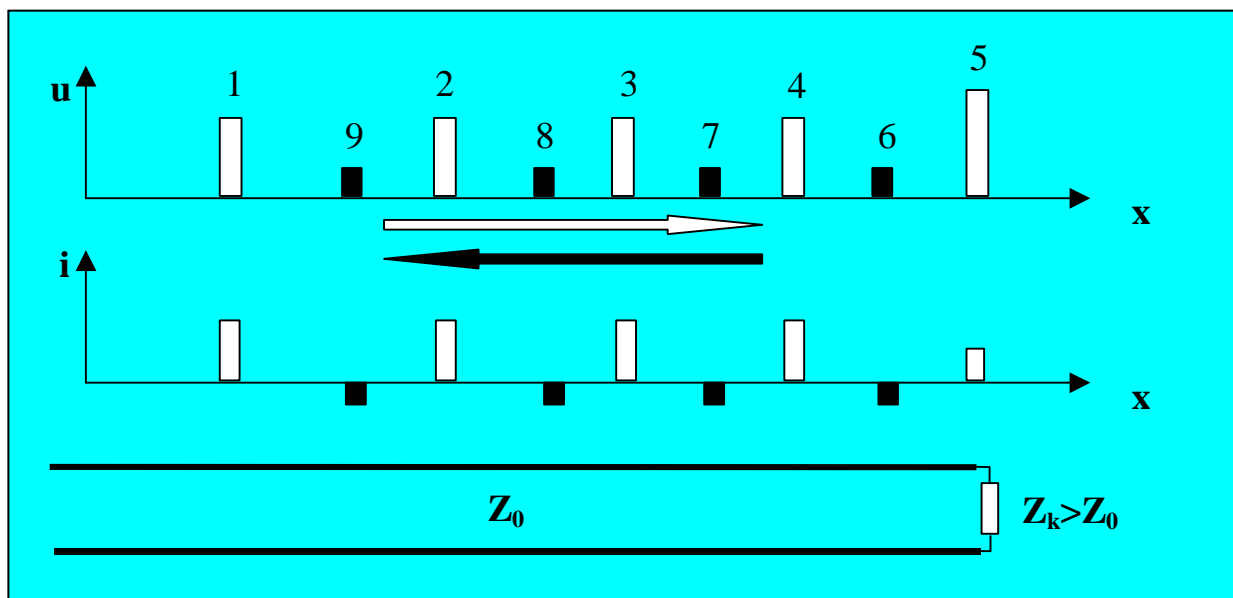


Innym niekorzystnym zjawiskiem jakie ma miejsce podczas transmisji sygnału w medium jest powstanie fali odbitej na skutek niedopasowania impedancji na końcach linii.

Fala która dociera do końca linii niesie jakąś energię. Stosunek napięcia i prądu (składowych E i H pola) w określonym punkcie przewodnicy zależy od impedancji w tym punkcie. Jeżeli fala dojdzie do punktu w którym z jednej strony mamy impedancję Z_0 a z drugiej strony impedancję Z_k to aby spełniony był ten warunek **powstaje fala odbita (wtórna) i to kosztem energii fali padającej (pierwotnej)**. Zatem nie cała energia zostanie przekazana odbiornikowi. Jest to równoważne dodatkowemu tłumieniu sygnału użytecznego. Fala odbita przemieszcza się w linii ale w kierunku przeciwnym i w każdym punkcie obie fale (pierwotna i wtórna) dają wypadkowe napięcie i prąd (składowe E i H pola). Jeżeli na wejściu linii także nie będzie dopasowanie impedancji to nastąpi kolejne odbicie i **w ten sposób w linii dojdzie do przemieszczania się kolejnych fal odbitych**, których amplitudy są coraz mniejsze.

Przedstawiony na kolejnym rysunku przebieg dotyczy przemieszczania się jednego impulsu (biały impuls jest pierwotnym a czarny odbitym obserwowanym w różnych punktach linii długiej). W przypadku, gdyby w linii przemieszczał się ciąg impulsów to miałyby miejsce ich nakładanie i two-

zenie wypadkowego sygnału. Dla przejrzystości na rysunku nie przedstawiono tej sytuacji.



Jeżeli przez U^+ i U^- (I^+ i I^-) oznaczmy odpowiednio napięcie (prąd) fali padającej i odbitej w konkretnym punkcie to muszą być spełnione następujące zależności

$$\frac{U^+}{I^+} = \frac{U^-}{I^-} = Z_0 \quad \text{oraz} \quad \frac{U_k^+ + U_k^-}{I_k^+ + I_k^-} = Z_k$$

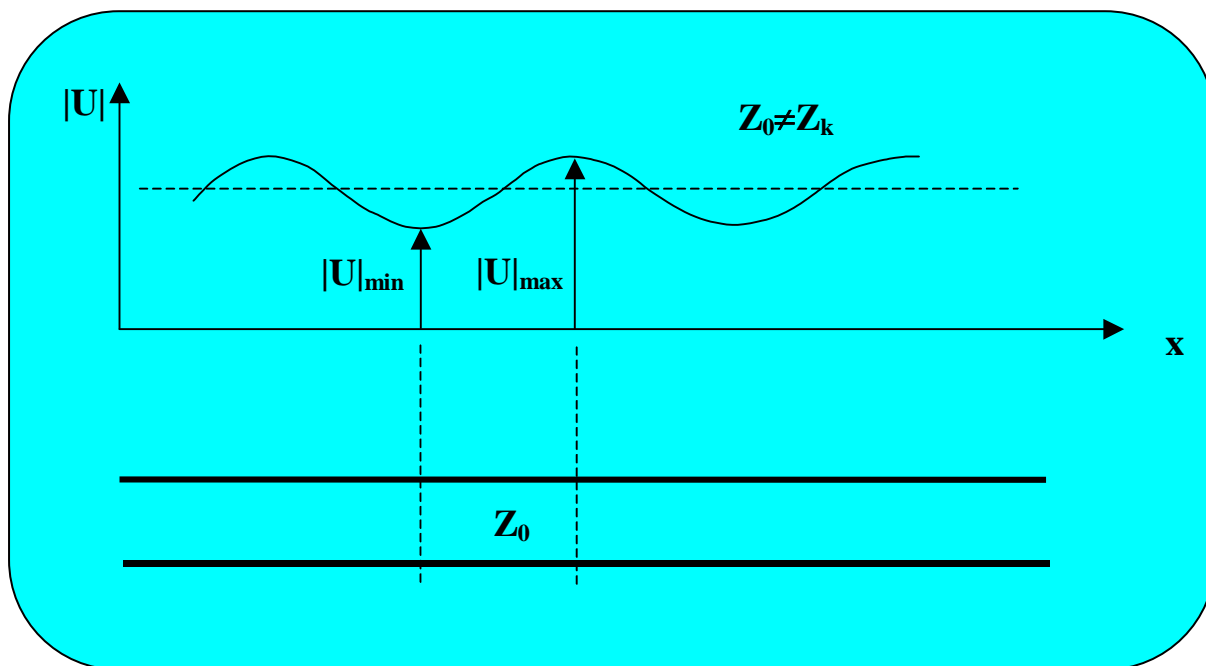
Dla opisu niedopasowania wprowadzono **współczynnik odbicia Γ** zdefiniowany następująco

$$\Gamma = \frac{U^-}{U^+} = \frac{Z_k - Z_0}{Z_k + Z_0}; \quad -1 \leq \Gamma \leq +1$$

Jeżeli przeprowadzimy podobne rozważania ale dla przypadku, gdy linia zostanie pobudzona sygnałem okresowym sinusoidalnym to, pomijając efekt początkowy, w linii będą sumowały się dwie fale - padająca i odbita.

W efekcie powstanie fala stojąca. W tej fali można wyróżnić maksimum i minimum amplitudy sygnału wypadkowego. Do opisu tej sytuacji wprowadzono pojęcie **współczynnika fali stojącej WFS** (oznaczanego także przez ρ).

$$\rho = \frac{|U|_{\max}}{|U|_{\min}} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

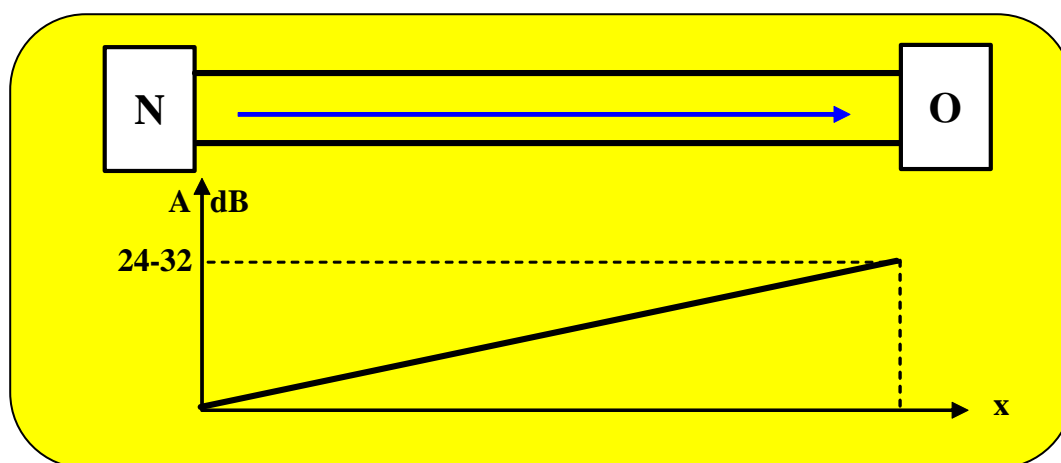


Ważną wielkością i jej wartością jest **dopuszczalne tłumienie sygnału w medium**. Otóż przyjęto jako **wartość odniesienia**:

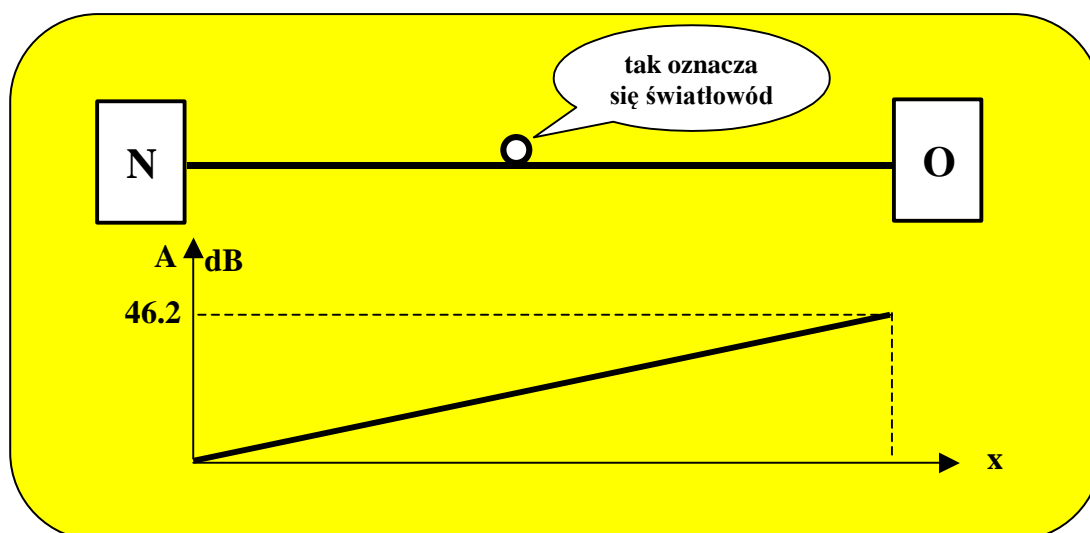
- moc sygnału równą 1 mW odbieraną na impedancji 600 Ω co odpowiada
- napięciu 775 mV i
- prądowi 1.29 mA.

Sygnałowi o tej mocy odpowiada **poziom 0dBm** i jest to poziom jaki posiada źródło mowy. Dodana do jednostki dB litera m czyli dBm właśnie informuje czytającego, że podany poziom odniesiony jest do mocy 1 mW.

W przypadku mediów opartych **na przewodach maksymalne dopuszczalne tłumienie wynosi 24 - 32 dB**. Proszę obliczyć jaka jest wówczas moc sygnału mowy.



W przypadku **linii światłowodowej dopuszczalne maksymalne tłumienie** wynika z poziomu mocy źródła światła i czułości fotodiody. Wartości te wynoszą typowo odpowiednio -0.3 dBm i -46.5 dBm. Zatem **tłumienie to wynosi 46.2 dB**. Należy jednak pamiętać o tym, że zasięg transmisji w przypadku światłowodu jest głównie limitowany przez dyspersję.

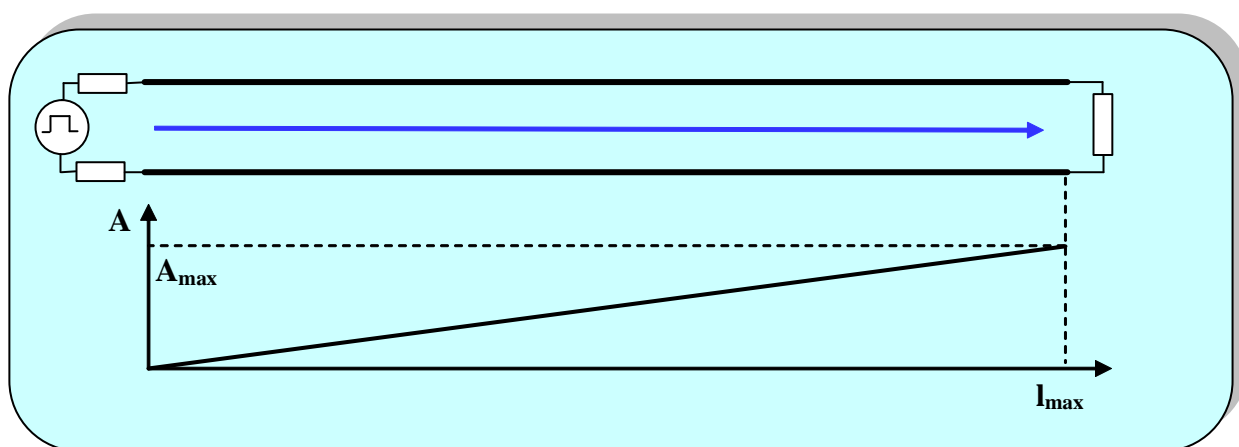


Technika analogowa a technika cyfrowa

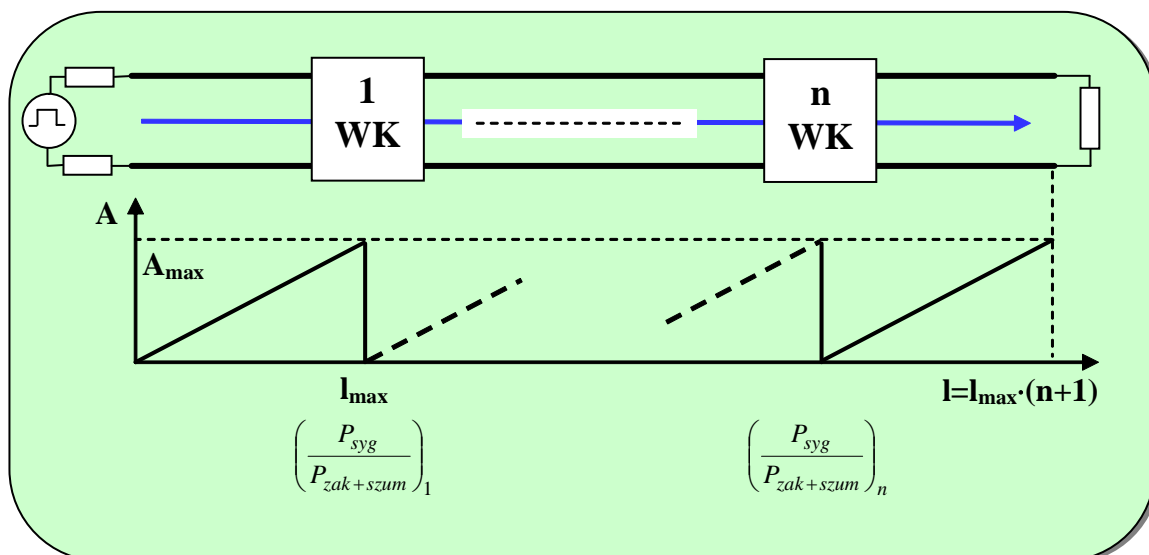
W technice analogowej postać i zapis informacji w sposób ciągły i bezpośredni jest odwzorowywana na parametr sygnału (parametry, np. amplituda, częstotliwość, faza), który jest nadawany. Dobrą ilustracją jest mowa dla której wypowiedź powoduje zmiany ciśnienia powietrza (drgania strun głosowych), które są przekształcane na sygnał a informacja o ciśnieniu zawarta jest w amplitudzie sygnału. Oczywiście po stronie odbiorczej chcemy z tej amplitudy sygnału odtworzyć wypowiedź poprzez jej zamianę na ciśnienie powietrza, która dotrze do naszego ucha.

Sygnał nadawany po stronie nadawczej ma określony poziom a po przejściu przez linię zostaje zniekształcony (działanie parametru $\gamma \neq 0$ na długości linii - przewodnicy) i aby mógł być poprawnie odebrany (odtworzony) to zniekształcenie nie może przekraczać określonych granicznych wartości.

Z tego faktu wynika, że długość linii musi być ograniczona. Na ogół jest tak, że ta długości jest mniejsza od odległości między nadajnikiem a odbiornikiem.



Zatem aby pokonać te ograniczenia konieczne jest wstawienie do linii (przewodnicy) elementu funkcjonalnego, który skompensuje zmiany wprowadzane przez linię długą. Elementem tym jest wzmacniak WK (wzmocniacz + korektor). Jest to element aktywny i jako taki wprowadza do linii szumy własne i ma tą cechę, że wzmacnia nie tylko sygnał użyteczny ale także każdy inny, który zostanie podany na jego wejście a tym samym wszystkie zakłócenia. Ta właściwość powoduje, że następuje pogorszenie stosunku mocy sygnału użytecznego do zakłóceń (w tym także szumu).



Z uwagi na wymienione cechy dla każdego \$i < j\$ zachodzi

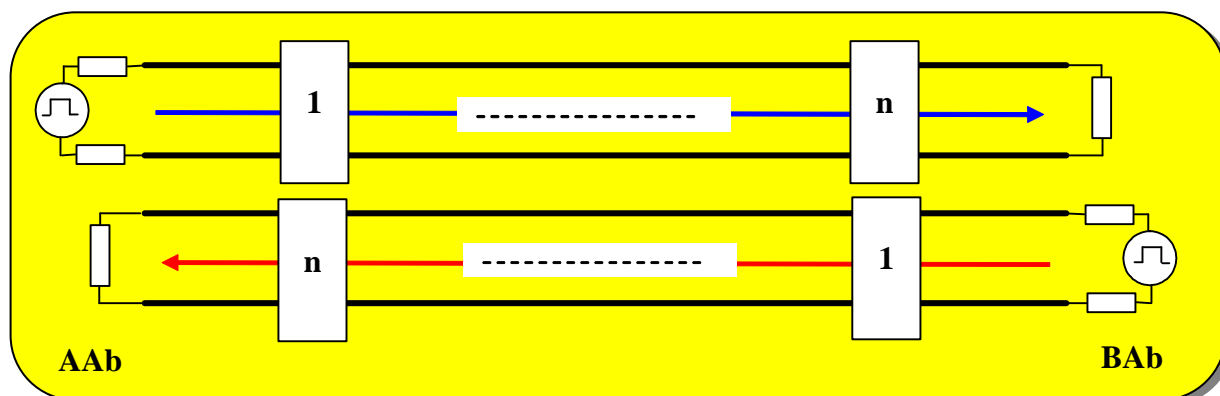
$$\left(\frac{P_{syg}}{P_{zak+szum}} \right)_i > \left(\frac{P_{syg}}{P_{zak+szum}} \right)_j$$

Aby można było odtworzyć informację przenoszoną przez sygnał to ten stosunek na odbiorniku nie może być mniejszy od określonej wartości.

Zatem liczba \$n\$ musi być skończona a to oznacza problemy z realizacją połączeń na duże odległości.

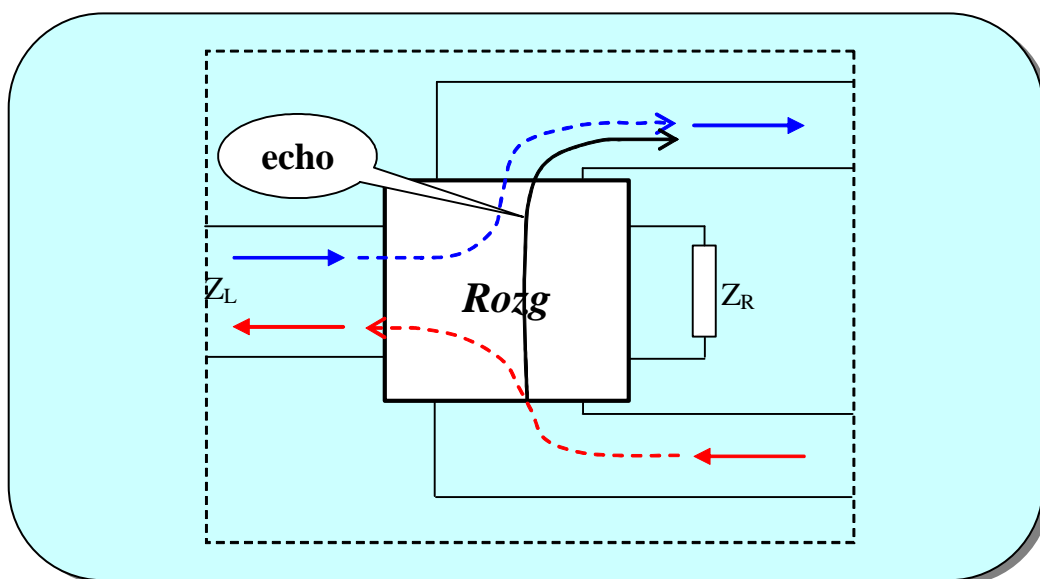
Uwaga:

Dla realizacji połączenia, np. dla usługi mowy konieczne jest **przesyłanie sygnału od abonenta A do abonenta B i odwrotnie**. Najprostszym rozwiązaniem to dwie linie (prowadnice) po jednej na każdy kierunek.



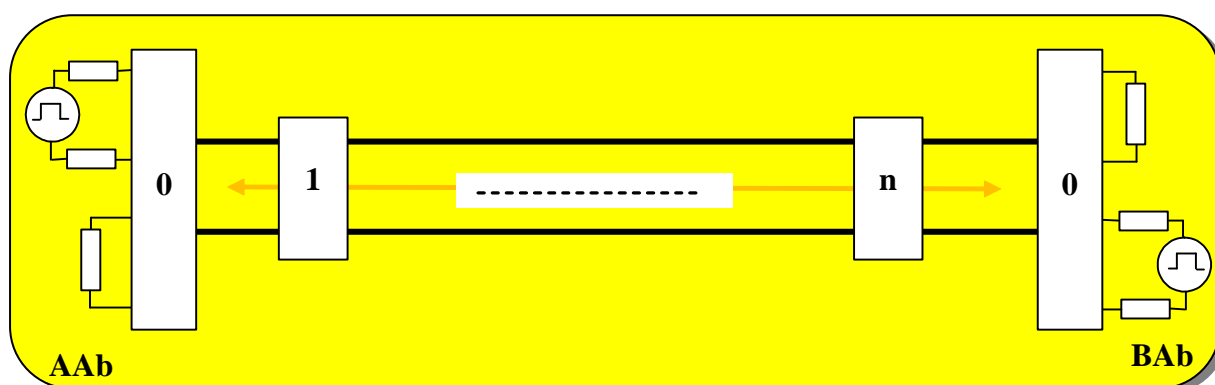
Jest to **rozwiązanie kosztowne**! Koszty można obniżyć stosując tylko jedną linię (prowadnicę) dla przesyłania sygnałów w obie strony. Jednakże należy

pamiętać, że wzmacniak jest elementem jednokierunkowym i konieczne jest **rozdzielenie sygnałów dla obu kierunków**. Elementem, który to realizuje jest rozgałęźnik **Rozg**.



Jeżeli rozgałęźnik nie będzie zrównoważony, tzn. $Z_L \neq Z_R$ to wówczas następuje przenik energii (sygnału) z jednego kierunku do drugiego kierunku nadawania sygnału **co jest źródłem powstawania echa**.

Jeżeli wykorzystamy równoważnik i wzmacniaki to poprzedni sposób realizacji wymiany informacji przy zastosowaniu dwóch linii można zastąpić jedną linią.



Jako **ćwiczenie domowe** proszę narysować strukturę blokową każdego z elementów oznaczonych numerami od 0 do n.

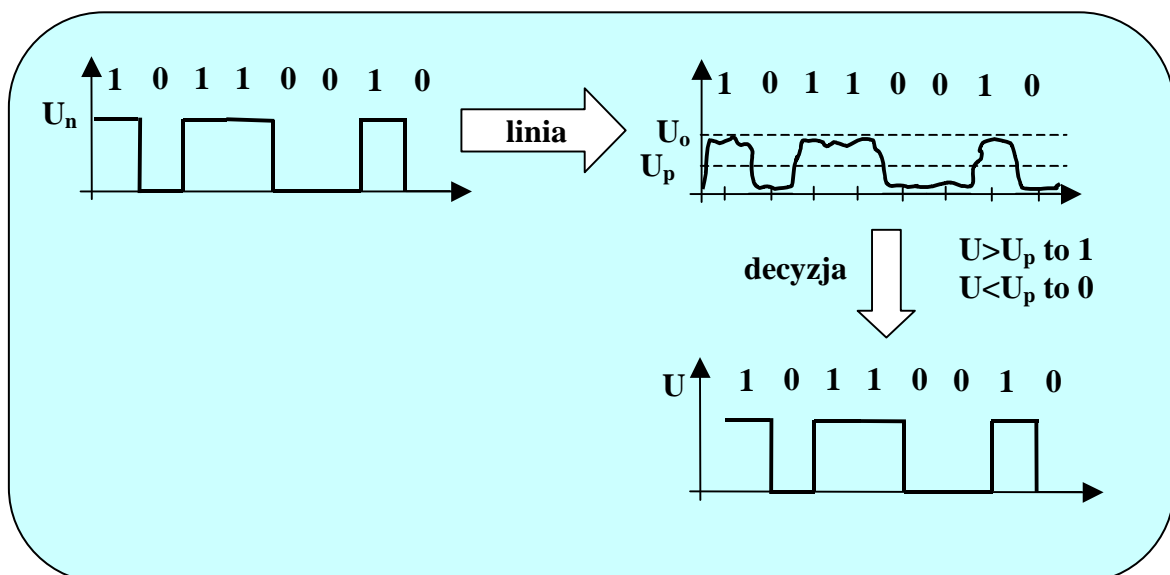
Podstawowa **wada techniki analogowej** przenoszenia informacji a mianowicie **addytywność zakłóceń i szumów** w łańcuchu telekomunikacyjnym (ciąg elementów sieci telekomunikacyjnej tworzących połączenie) wymagała radykalnego rozwiązania. **Należało opracować takie podejście aby szумы i zakłócenia można było odfiltrować.**

Rozwiązaniem okazała się technika cyfrowa przenoszenia informacji. Jej istota polega na tym, że każdą informację którą chcemy przesłać przesyłamy w postaci liczb.

Najprostszy sposób kodowania liczb to kodowanie binarne. Jeżeli bitowi o wartości jeden przyporządkujemy wartość napięcia o amplitudzie U a bitowi o wartości zero napięcie o amplitudzie zero to wówczas liczbie reprezentowanej jako ciąg bitów odpowiada sygnał w postaci ciągu impulsów.

Jeżeli ten ciąg impulsów nadamy w linię to zostanie on zniekształcony ze względu na parametr γ , zakłócenia i szумы. Z punktu widzenia sygnału linia nie rozróżnia faktu, że informacja jest w postaci analogowej czy też cyfrowej. To my i nasze urządzenia znamy tylko ten fakt i pracują w z góry zadany sposób.

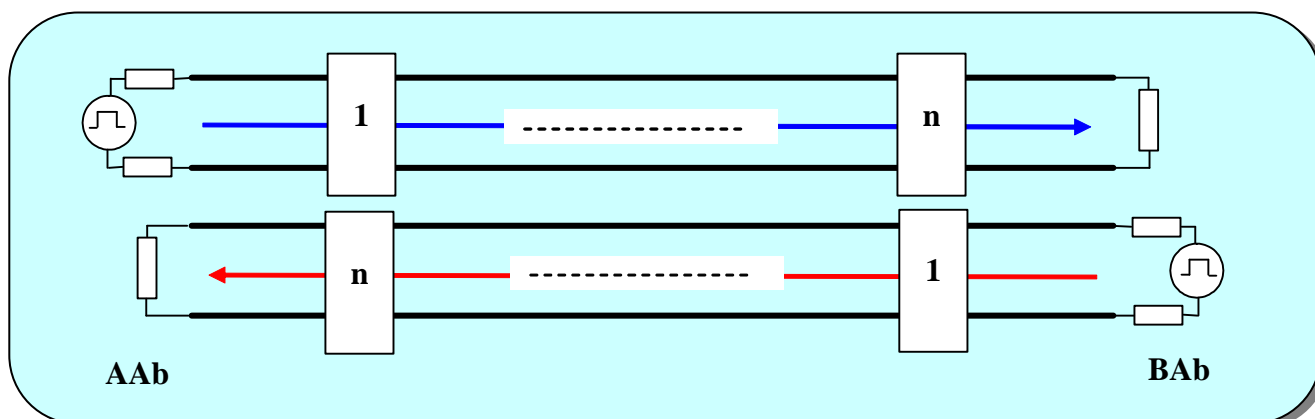
Oczywiście **nadal pozostaje problem zasięgu transmisji sygnału** ale teraz zadaniem układów, które wtrącimy do linii będzie odtworzenie informacji, która jest zapisana cyfrowo. **Mechanizm odtwarzania** jest w tym przypadku oparty na **podjęciu decyzji** "odebrany sygnał ma wartość logiczną zero albo jeden". Jest to zatem decyzja progowa, która gdy zostaje podjęta powoduje **całkowite odfiltrowanie zakłóceń i szumów**. Oczywiście z uwagi na zakłócenia i szумы może się zdarzyć, że decyzja może być podjęta błędnie wówczas **nastąpi błąd w informacji.**



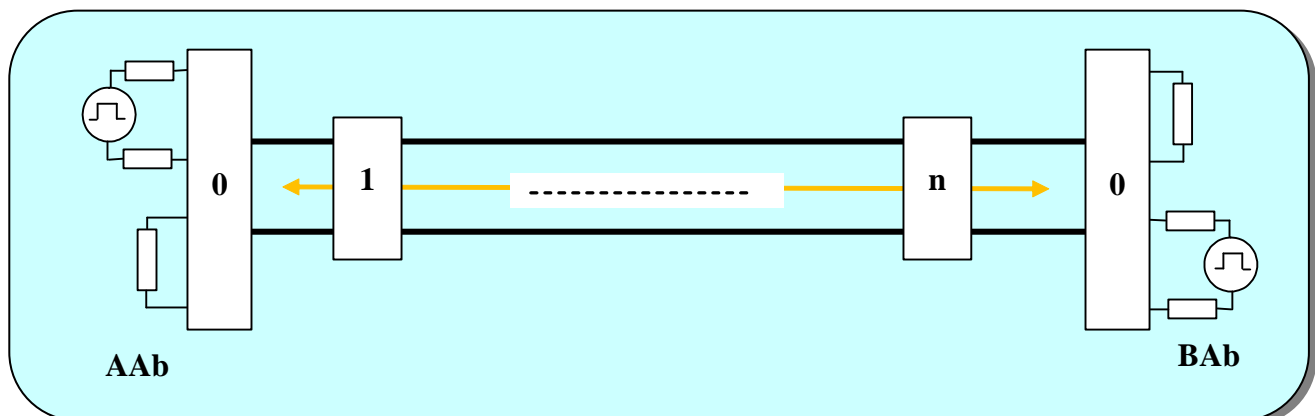
Proszę zauważyć, że taki algorytm postępowania odtworzył kształt nadanego sygnału i nie posiada on w ten sposób wady techniki analogowej. To odtworzenie kształtu może być zrealizowane dla tego przypadku przy maksymalnym dopuszczalnym poziomie zakłóceń (i szumów) mniejszym od połowy napięcia U_o . Przy przeliczeniu na decybele otrzymamy wartość 6dB. Mówimy, że dopuszczalny poziom sygnału do zakłóceń (szumów) wynosi 6dB. Obliczany jest on z zależności

$$\frac{S}{N} = 20 \log \frac{U_o}{0.5U_0} = 20 \log 2 \cong 6dB .$$

Taka metoda postępowania nazywa się **regeneracją sygnału**, a układ ją realizujący nazywany jest **regeneratorem**. Zatem rysunki przedstawione dla techniki analogowej można tu powtórzyć zastępując wzmacniaki WK regeneratorami R .



Oczywiście nasuwa się pytanie czy i w tym przypadku można zaoszczędzić na linii (prowadnicy)? Odpowiedź jest pozytywna ponieważ linia "nie wiem" czy wykorzystywana jest technika analogowa czy też technika cyfrowa. Zatem możemy stosując rozgałęźniki dwie linie zastąpić jedną linią.



Podobnie jak poprzednio jako **ćwiczenie domowe** proszę narysować strukturę każdego z elementów oznaczonych numerami od 0 do n.

Realizacja techniki cyfrowej **wymaga rozwiązania kilku podstawowych problemów** aby przedstawiony algorytm postępowania mógł być z powodzeniem zastosowany. Są to przede wszystkim:

- **odtworzenie zegara** sygnału nadawanego w oparciu o odebrany sygnał,
- ustalenie U_p **progu decyzji**,
- określenie **momentu podejmowania** decyzji.

Najtrudniejsze i wymagające wielu zabiegów jest zrealizowanie pierwszego zadania. Podamy tylko jeden powód, a nie jest to jedyny powód. Mianowicie niech informacja, którą chcemy nadać będzie ciągiem zer co przy przyjętej zasadzie oznacza brak napięcia w linii. Zatem w jaki sposób odtworzyć zegar strony nadającej?

Technika cyfrowa usunęła jedną z istotnych wad techniki analogowej jeżeli chodzi o zasięg transmisji. **Czy można zatem powiedzieć, że osiągnięty cel jest bezkosztowy**. Otóż nie. Zauważmy, że sygnał cyfrowy ma szersze pasmo zatem wymaga mediów o lepszych charakterystykach przenoszenia a przy podobnych mediach równoznaczne to jest potrzebą gęstszego umieszczania regeneratorów w linii. **Proszę odpowiedzieć dlaczego tak jest.**

Ponieważ naszym, tzn. telekomunikacji, podstawowym zadaniem jest przesyłanie informacji to nasuwa się kolejne pytanie. Która z technik przy tym samym medium umożliwia przesłanie większej ilości informacji?

Odpowiedź może być dla wielu zaskoczeniem ale w technice analogowej potencjalnie możliwe jest przesyłanie większej ilości informacji. **Proszę to także uzasadnić.**

Przetwarzanie informacji w sygnał telekomunikacyjny

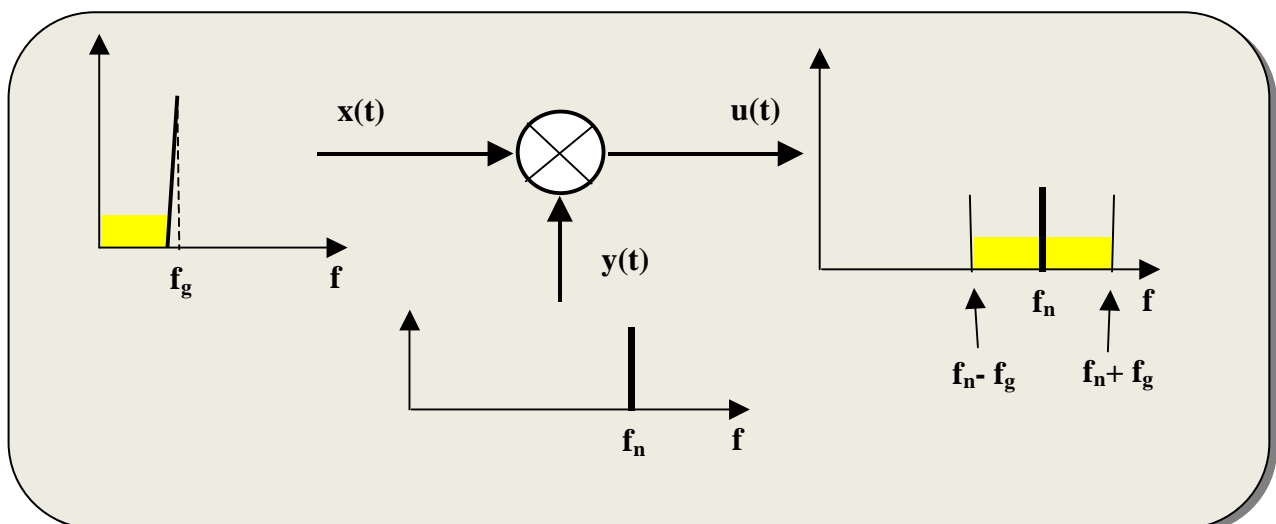
Źródło informacji może być różnej postaci i jak pamiętamy było to jedno z kryterium podziału usług udostępnianych abonentowi. Mianowicie mówiliśmy o usłudze mowa, dźwięk, tekst, rysunek i obraz (stały i ruchomy).

Aby można było zrealizować każdą z tych usług konieczne jest w pierwszej kolejności przetworzenie pierwotnej postaci informacji na pierwotny sygnał elektryczny. **Na ogół sygnał tej postaci jest analogowy i nie nadaje się do bezpośredniego przesyłania przez łańcuch telekomunikacyjny** (ciąg elementów tworzących połączenie w sieci telekomunikacyjnej). Są **dwa istotne powody** dla których musi on być **dodatkowo przetworzony**:

- **linia ma określone właściwości transmisyjne** i dla jak najlepszego jej wykorzystania należy sygnał ten tak przetworzyć aby te potencjalne możliwości wykorzystać w obecności zakłóceń i szumów (często mówi się o dopasowaniu sygnału do możliwości linii),
- **mamy dwie techniki** stosowane w realizacji elementów sieci telekomunikacyjnej a z tym związane jest przetwarzanie sygnału z jednej postaci na drugą (z analogowej na cyfrową i odwrotnie).

Przypomnijmy, że **jednym ze sposobów na lepsze wykorzystanie zasobów** jest multipleksacja, np. FDM. Aby można było ją zastosować konieczne jest przeniesienie widma sygnału pierwotnego w przydzielone (przyznane) pasmo sygnału nadawanego.

Funkcję tą realizuje się poprzez **modulację pasmowa** (passband modulation).



Proszę zauważyć, że sygnał wyjściowy jest nadmiarowy ponieważ widmo sygnału $x(t)$ występuje dwukrotnie – raz w górnej i raz dolnej wstędze wokół sygnału nośnego $y(t)$. W praktyce poprzez odfiltrowanie wykorzystuje się tylko jedną wstęgę i tylko ona zajmuje zasoby w medium. Oczywiście jeżeli chcemy umieścić obok siebie w dziedzinie widma (częstotliwości) w medium większą liczbę sygnałów $x(t)$ to z każdym z nich musimy przeprowadzić funkcję modulacji dla różnych częstotliwości f_n sygnałów nośnych.

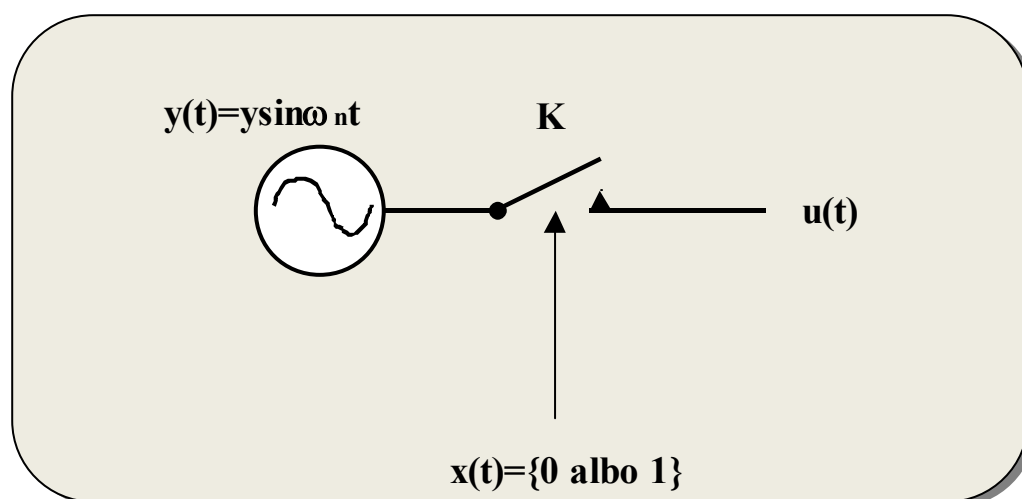
Przedstawiona metoda jest wykorzystywana zarówno dla techniki analogowej jak i techniki cyfrowej. Z punktu widzenia zasady pracy modulatora jest to nieistotne.

Niemniej **z uwagi na specyficzną postać sygnału cyfrowego**, ciąg bitów (strumień bitów) z których każdy bit zajmuje czas T_b , **scharakteryzujemy kilka wybranych rodzajów modulacji dla techniki cyfrowej**. Podział wynika między innymi z tego jaki(e) parametr(y) sygnału nośnego jest(są) modulowany(e) ciągiem bitów.

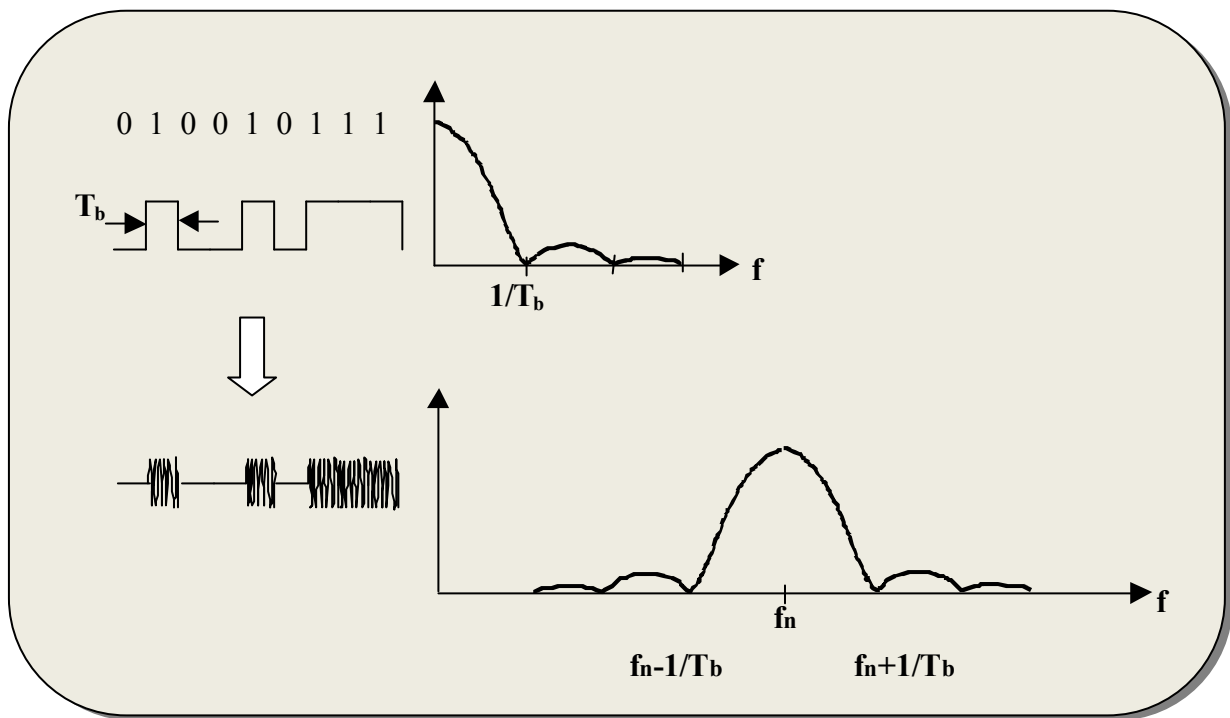
Do podstawowej grupy należą **modulacje binarne proste**:

- modulacja z kluczowaniem amplitudy **ASK** (Amplitude Shift Keying),
- modulacja z kluczowaniem częstotliwości **FSK** (Frequency Shift Keying),
- modulacja z kluczowaniem fazy **PSK** (Phase Shift Keying).

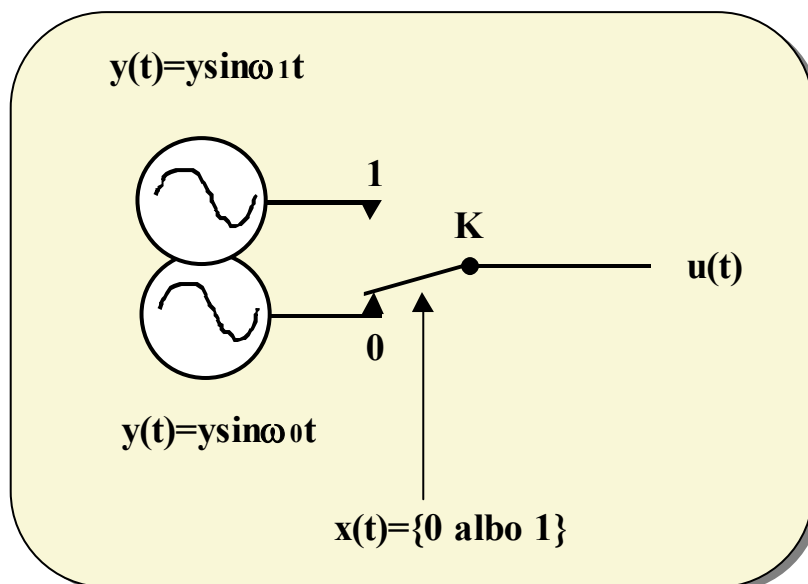
Istota modulacji ASK sprowadza się do tego, że sygnał nośny $y(t)=y\sin\omega_n t$ ma kluczowaną amplitudę, tzn. amplituda y jest mnożona przez wartość bitu z ciągu bitów (strumień binarny). Praktycznie oznacza to, że strumień bitów steruje pracą klucza K na wyjściu generatora sygnału nośnego $y(t)$.



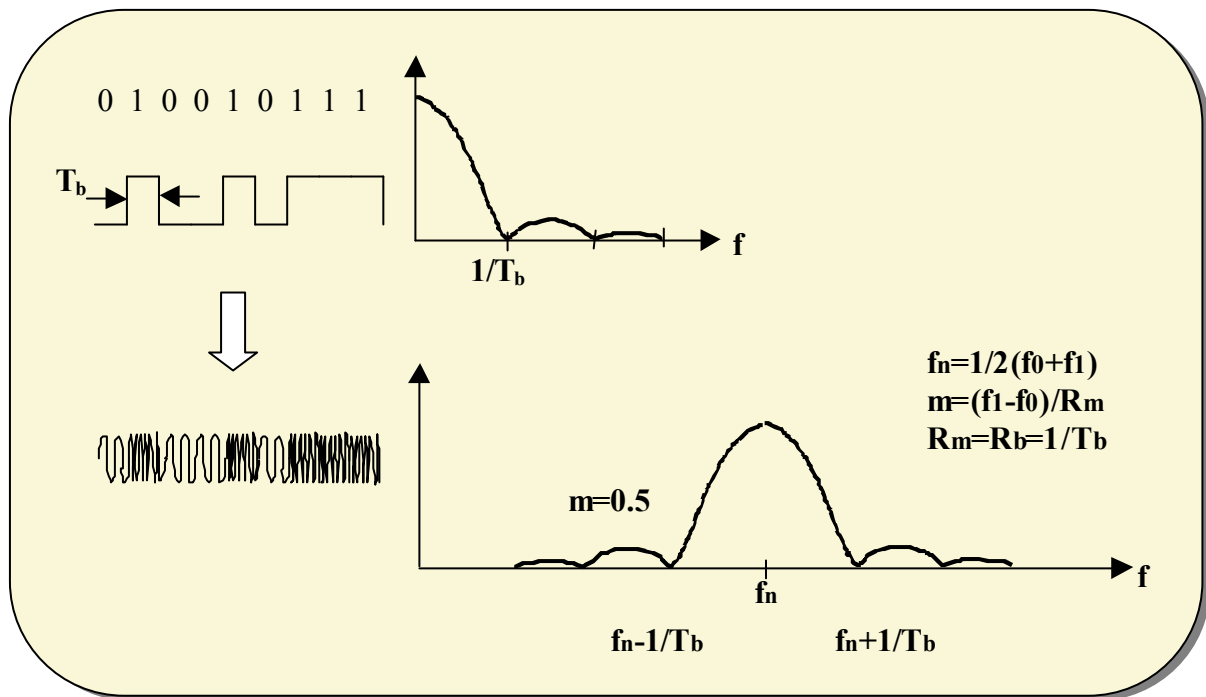
Dla $x(t)=0$ klucz jest otwarty a dla $x(t)=1$ klucz jest zamknięty ale może też być odwrotnie. Taka modulacja z uwagi na dwie wartości sygnału $x(t)$ nazywana jest też modulacją **BASK** od **Binary ASK**.



Przez analogię łatwo zauważyć, że **modulacja FSK kluczuje** częstotliwość sygnału nośnego. Praktyczna jej realizacja to dwa generatory o różnych częstotliwościach, np. f_0 i f_1 , które są dołączane do wyjścia kluczem sterowanym przez ciąg bitów (strumień binarny).

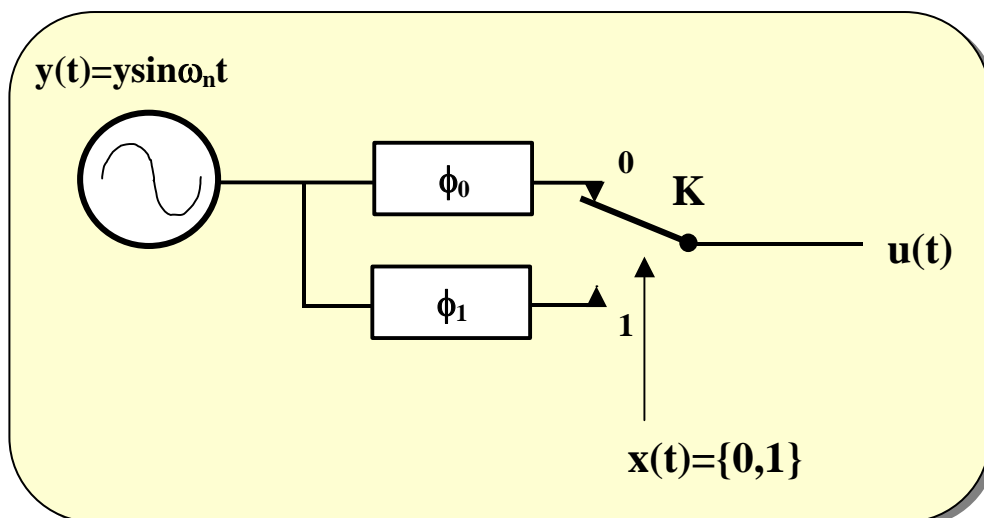


Dla $x(t)=0$ klucz jest w pozycji 0 a dla $x(t)=1$ klucz jest w pozycji 1. Taka modulacja z uwagi na dwie wartości sygnału $x(t)$ nazywana jest też modulacją **BFSK**. **Zaletą tej modulacji** jest jej **większa odporność** na zakłócenia impulsowe i zniekształcenia tłumieniowe i opóźnieniowe niż w przypadku modulacji BASK.

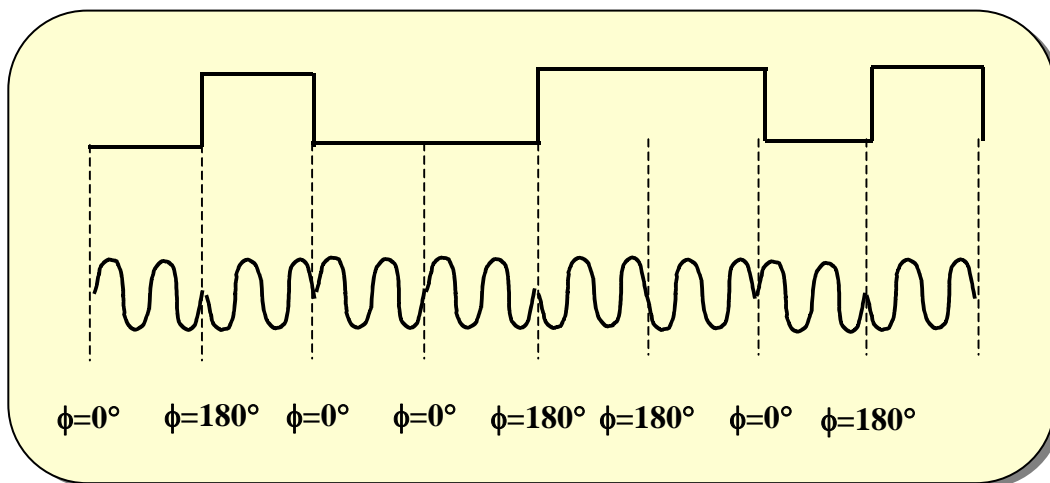


Kształt widma sygnału po modulacji zależy od wskaźnika modulacji m .

W **przypadku modulacji PSK** sygnał binarny zmienia w sposób skokowy fazę sygnału nośnego. Dla binarnej modulacji PSK elementom binarnym zero i jeden odpowiadają impulsy fali nośnej o częstotliwości f_n i fazach odpowiednio ϕ_0 i ϕ_1 .



Jeżeli **przykładowo fazy te wynoszą $\phi_0=0$ i $\phi_1=180^\circ$** to przebieg sygnału będzie taki jak to pokazano na kolejnym rysunku.



Do kolejnej grupy modulacji należą **modulacje wielowartościowe**. Otóż w dotychczas omówionej **modulacji binarnej prostej** parametr sygnału nośnego (amplituda albo częstotliwość albo faza) przyjmował jedną z dwu możliwych wartości a czas T trwania elementu sygnału zmodulowanego był równy czasowi T_b trwania elementu binarnego.

W przypadku modulacji wielowartościowych **na jeden element sygnału zmodulowanego przypada N bitów sygnału modulującego**, parametr modulowany przyjmuje jedną z $M=2^N$ możliwych wartości (**M nazywane jest wartościami modulacji**).

Takie podejście umożliwia **efektywniejsze wykorzystanie zasobów** - pasma, tzn. zwiększenie przepustowości (przepływności) ale jest to okupione pogorszeniem się odporności sygnału na szum i zakłócenia. **Proszę się zastanowić dlaczego?**

Szczególnie przydatne do modulacji wielowartościowych **są modulacje M-PSK**, w których dla N -tki bitów realizowane są skoki fazy wynoszące $360^\circ/M$. Z uwagi na pogorszenie się odporności na szum i zakłócenia w praktyce maksymalne $M=8$.

Dla wyższych wartości M wykorzystuje się **modulacje mieszane** w których najczęściej modulacji podlegają jednocześnie dwa parametry, np. faza i amplituda. Mówimy wówczas o modulacji PM-AM. Przykładem takiej modulacji jest QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

Wymienione modulacje nie wyczerpują typów modulacji pasmowej. Dążenie do uzyskania jak największej przepustowości i dobrej odporności na szumy i zakłócenia spowodowało opracowanie dużej liczby różnorodnych modulacji dla techniki cyfrowej.

Aby można było **porównywać modulacje** między sobą wprowadzono miary ich oceny.

Do **podstawowych miar** należą:

- **elementowa stopa błędów BER** (Bit Error Rate),
- **efektywność widmowa Γ** .

BER określa prawdopodobieństwo wystąpienia błędu (błędu elementu informacyjnego) dla danego stosunku mocy sygnału do mocy szumu (**SNR - Signal Noise Ratio**).

Γ określa ilość informacji w bit/s jaka może zostać przesłana przez jednostkę pasma w Hz.

Oblicza się ją ze wzoru:

$$\Gamma = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2 M}{BT} [\text{bit/s/Hz}],$$

gdzie R_b jest **szybkością transmisji** w bit/s (przepływnością strumienia bitów informacji), B to szerokość pasma w Hz zajmowanego przez sygnał zmodulowany, T to czas trwania elementu zmodulowanego, a M jest wartością modułacyjną.

Przykładowo parametr ten dla BPSK wynosi 1 a dla 8-PSK 3. Co równoważne jest stwierdzeniu, że dla uzyskania tej samej wartości przepływności R_b modulacja 8-PSK wymaga 3 razy mniejszego pasma niż modulacja BPSK.

Sygnał zmodulowany przez sygnał cyfrowy charakteryzuje się przez parametr nazywany **szybkością modulacji R_m** . Jego wartość liczbową informuje nas ile elementów zmodulowanych jest nadawanych w jednostce czasu. Obliczamy go z wzoru

$$R_m = \frac{1}{T} [\text{Bd}],$$

a jednostką jest bod [Bd]. Czasami mówi się o szybkości nadawania znaków lub symboli.

Dotychczas omówiony sposób kształtowania sygnału informacyjnego $x(t)$ dla dopasowania się do własności linii (prowadnicy) należał do modulacji pasmowych, tzn. takich w których widmo sygnału $x(t)$ zostawało przenieszone w inny zakres widma przy zastosowaniu modulacji.

Jeżeli jednak **linia** (prowadnica) ma być **wykorzystywana** w **dolnym paśmie przenoszenia sygnału** to wówczas wykorzystywane są inne techniki kształtowania sygnału informacyjnego. Sprowadzają się one do odpowiednio skonstruowanego kodowania cyfrowego sygnału informacyjnego $x(t)$. Kodowanie to nazywane jest **kodowaniem transmisyjnym** lub **kodowaniem liniowym**. Nazwa ta bezpośrednio oddaje sens i przeznaczenie stosowania tego typu kodowania.

Kodowanie to powinno **charakteryzować** się następującymi **cechami**:

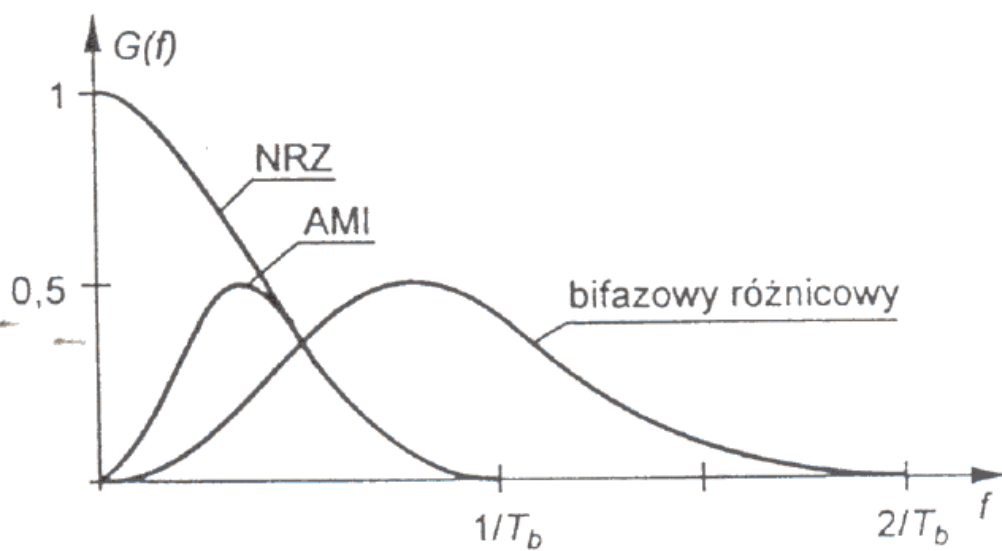
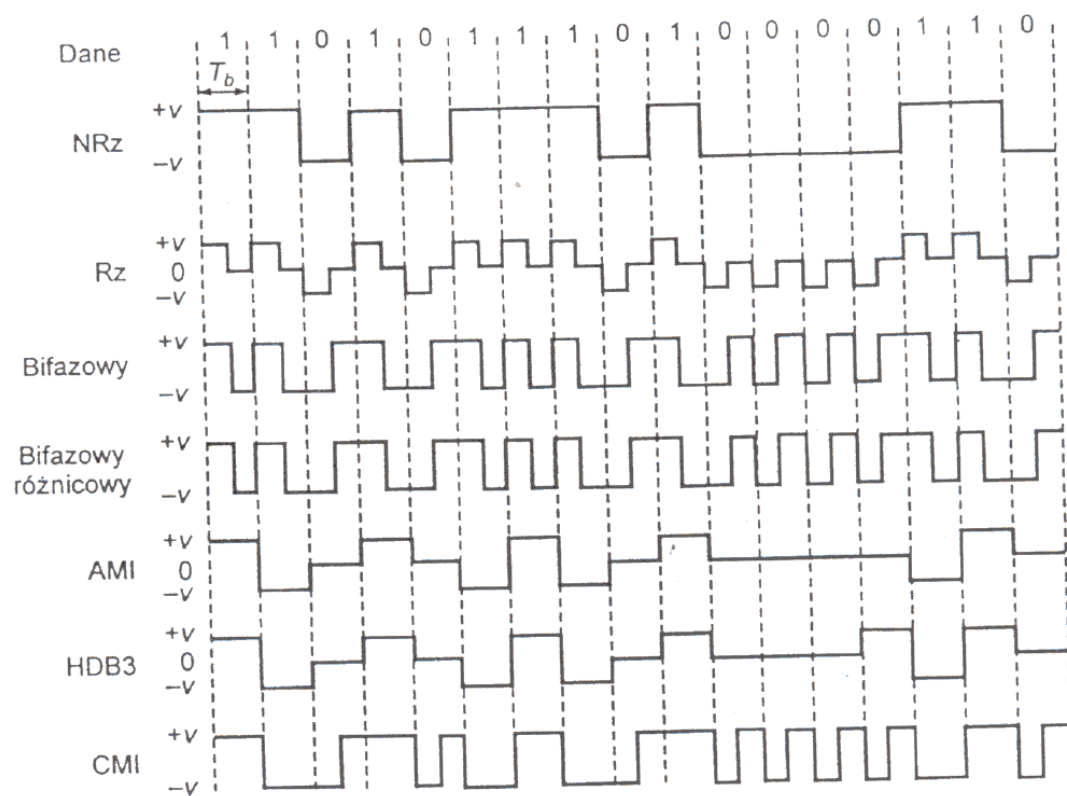
- w sygnale liniowym nie powinna występować **składowa stała**,
- widmo sygnału liniowego powinno mieć jak **najwyższe pasmo**,
- w odbiorniku musi istnieć możliwość łatwego **odtworzenia sygnału zębatkowego**,
- duża **odporność** na **zakłócenia**,
- powinna być możliwość **deteckcji błędów**.

Opracowano i stosuje się **wiele kodów liniowych**. Do najpopularniejszych należą:

- NRZ -Non-Return to Zero,
- RZ - Return to Zero,
- Bifazowy,
- Bifazowy różnicowy,
- AMI - Alternate Mark Inversion,
- HDB3 - High Density Bipolar 3,
- CMI - Coded Mark Inversion,
- nBmL - przykładami są tu 4B3T oraz 2B1Q,
- nBmB – szczególny przypadek nBmL ($L=B$, Binary) stosowany w światłowodach, np. w Polsce $n=5$ a $m=6$. Proszę się zastanowić dlaczego $n>m$ i do czego można to wykorzystać.

Kodowanie nBmL należy rozumieć w następujący sposób: n bitów cyfrowego sygnału informacyjnego $x(t)$ jest kodowanych w m sygnałów liniowych w którym każdy z nich ma jeden z L poziomów. Na przykład 2B1Q mówi nam, że 2 bity binarnego sygnału $x(t)$ jest kodowane w jeden sygnał liniowy, który ma jeden z czterech poziomów (Quaternary).

Na kolejnych dwóch rysunkach przedstawiono przebiegi czasowe dla wybranych rodzajów kodów liniowych oraz ich widmową gęstość mocy $G(f)$.

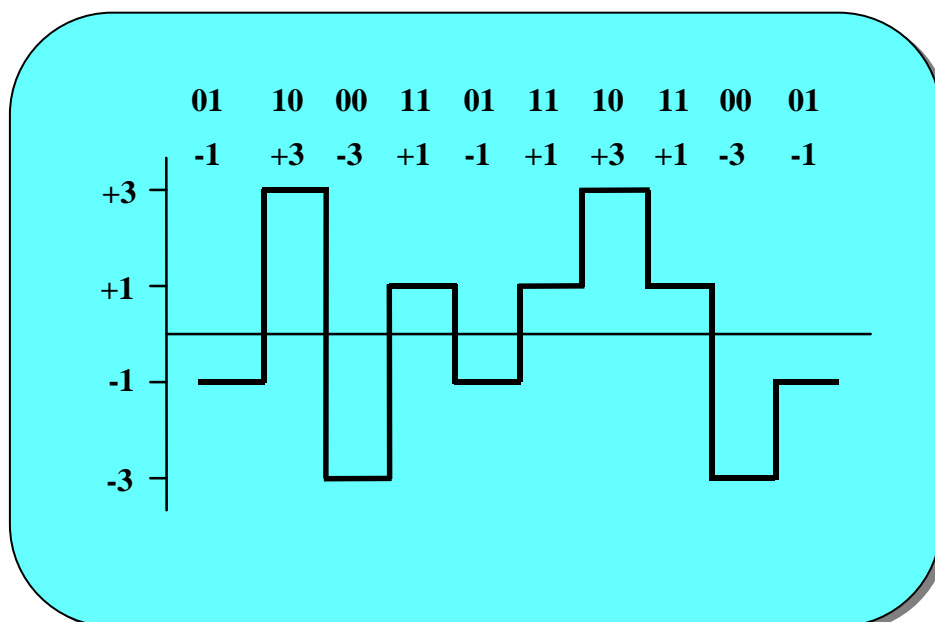


Kodowanie 2B1Q jest stosowane w Polsce (ale nie tylko) między innymi w abonenckich liniach obsługujących abonentów ISDN. Zasady kodowania i wartości napięć sygnałów zostały przedstawione na kolejnym rysunku.

1szy bit (znak)	2gi bit (poziom)	wartość poziomu	wartość napięcia
1	0	+3	2.5
1	1	+1	0.833
0	1	-1	-0.833
0	0	-3	-2.5

Przykład ciągu bitów sygnału informacyjnego $x(t)$ i kształt sygnału po zastosowaniu kodowania 2B1Q przedstawiono na kolejnym rysunku. Zauważmy, że odbiornik musi rozróżnić między sobą cztery poziomy sygnały. Zatem dla kodowania 2B1Q ma trzy progi decyzyjne.

Jako ćwiczenie proszę podać wartości tych progów oraz jaka jest dopuszczalna maksymalna amplituda zakłóceń i tym samym dopuszczalny stosunek sygnał do zakłóceń wyrażony w dB.

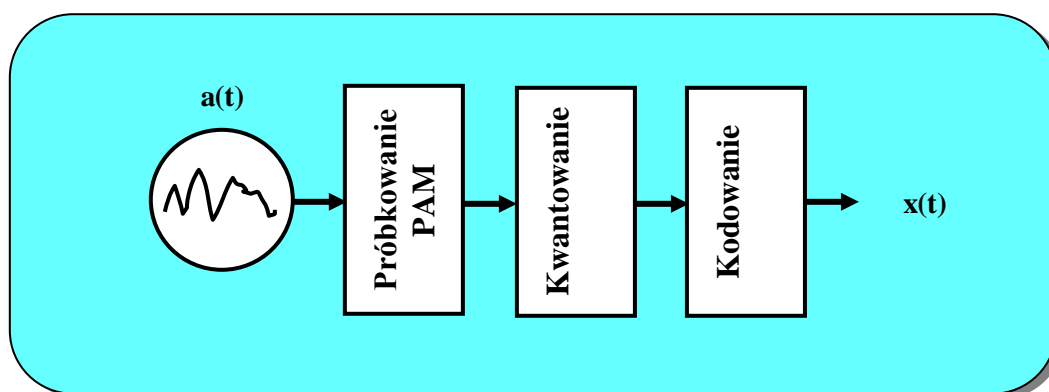


Dotychczas w naszych rozważaniach **zakładaliśmy**, że **mamy** do dyspozycji **cyfrowy sygnał** $x(t)$. Jednakże, często pierwotna postać sygnału nie jest cyfrowa a analogowa. Konieczne zatem jest **przetworzenie postaci analogowej na cyfrową**. Dla omówienia tego problemu jako przykładem posłużymy się najprostszą cyfryzacją sygnału mowy.

Sygnał mowy ma określone widmo, które ograniczone jest od dołu i od góry. Pasma tego sygnału z punktu widzenia realizacji usługi mowy jest zbyt duże i wymagałoby znacznych zasobów dla jego transmisji. Konieczne było ograniczenie od góry tego pasma do wystarczającej wartości. Jako kryterium przyjęto punkt widzenia rozmówcy, który wymaga zrozumiałości i rozróżnialności swojego współrozmówcy. Otóż okazało się że wystarczające jest pasmo do 3400Hz. Ze względów technicznych i historycznych od dołu sygnał mowy został ograniczony do 300Hz. Zatem **pasmo sygnału mowy** wynosi $3400-300=3100\text{Hz}$. Z uwagi na konieczność ograniczenia pasma i braku idealnych filtrów górna graniczna wartość częstotliwości tego pasma wynosi 4kHz.

Sygnał taki poddany jest trzem operacjom przy przetwarzaniu z postaci analogowej na cyfrową:

- **próbkowania**,
- **kwantyzacji**,
- **kodowania**.



Proces próbkowania powinien być bezstratny, tzn. z otrzymanych próbek musimy mieć możliwość dokładnego odtworzenia sygnału pierwotnego (próbkowanego). Nazywany jest on także impulsową modulacją amplitudy (PAM - Puls Amplitude Modulation). Z **twierdzenia Nyquista** wiadomo, że częstość próbkowania powinna wynosić **co najmniej podwojonej wartości** górnej częstotliwości pasma sygnału.

Zatem w naszym przypadku **częstość próbkowania** wynosi **8000** próbek na sekundę.

Następnym procesem jest **kwantyzacja amplitudy** każdej próbki czyli określenie przedziału (poziomu kwantyzacji) do którego amplituda tej próbki należy. Operacja ta wynika z faktu, że amplituda sygnału analogowego ma nieskończenie dużo wartości a my chcemy przedstawić tę amplitudę w postaci liczby ze skończonego zbioru liczb całkowitych. Zatem nieunikniona jest tu **strata informacji** o amplitudzie. Praktycznie oznacza to, że po tym procesie strona odbiorcza nie będzie w stanie dokładnie odtworzyć sygnał pierwotny. Ponieważ **niedokładność odtworzenia zmienia się od próbki do próbki** to przyjęło się mówić o **szumie kwantyzacji** (niedokładność jest deterministyczna). Zbiór liczb którym dysponujemy składa się z 256 liczb i do zapisu każdej z nich wystarcza 8 bitów.

Ostatnią czynnością jest **przyporządkowanie** przedziałom kwantyzacji jednej liczby ze zbioru 256 liczb. Proces ten **nazywany jest kodowaniem**. Najprostszym sposobem kodowania jest kodowanie liniowe. Jednakże ma ono tę cechę, że stosunek błędu (niedokładności) do sygnału pierwotnego jest duży dla małych amplitud a mały dla dużych amplitud. Ze względu na zrozumiałość chcielibyśmy aby ten stosunek był stały niezależnie od amplitudy sygnału pierwotnego. Spełnienie tego warunku gwarantuje kodowanie nieliniowe. Mówimy wówczas o kompresji sygnału.

Stosowane są **dwie krzywe kompresji**: według **prawa μ** (Stany Zjednoczone Ameryki Północnej) oraz według **prawa A** (Europa).

W przypadku krzywej kompresji **według prawa A przyjęto następującą zasadę**:

- sygnał może mieć **wartość dodatnią albo ujemną** (na zakodowanie przeznaczono 1 bit),
- maksymalna amplituda jest podzielona na **siedem segmentów**, ponumerowanych od 7 do 1 począwszy od większych do mniejszych amplitud (na zakodowanie przeznaczono 3 bity), n-ty segment, poza segmentem 1, ma długość $1/2^{8-n}$, segment 1 ma taką samą długość jak segment 2,
- w ramach segmentu **proces kwantyzacji i kodowania jest liniowy**,
- **liczba poziomów** (przedziałów) kwantyzacji **w ramach segmentu wynosi 16** poza segmentem o numerze 1 w którym wynosi ona 32 (praktycznie oznacza to, że segment 1 składa się z dwóch identycznych segmentów, którym można przyporządkować numer 1 i 0, a każdemu z nich przyporządkować po 16 poziomów) (na zakodowanie tych 16 poziomów kwantyzacji przeznaczono 4 bity).

Technologia jej realizacji przebiega w ten sposób, że poziomy kwantowania jest 4096 (2^{12}) i te poziomy są kodowane przy użyciu 256 liczb zgodnie z przytoczoną zasadą. To kodowanie jest wykonane na rejestrze przesuwным

lub tablicy kodującej. **Proszę się zastanowić i zaproponować rozwiązanie realizacji tego kodowania.**

W tabeli podano przyporządkowanie bitów w oktecie.

znak	segment			poziom w segmencie			
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8
1	1	1	1	1	1	1	1
						
				0	0	0	0
						
	0	0	0	1	1	1	1
						
				0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
						
				0	0	0	0
						
	0	0	0	1	1	1	1
						
				0	0	0	0

Możemy obliczyć jaka jest **przepływność strumienia bitów sygnału**, który poddany został cyfryzacji. Otóż mamy 8000 próbek na sekundę i każda próbka zapisana jest na ośmiu bitach (oktecie) co daje

$$8000 \text{ próbek/sek} \cdot 8 \text{ bitów} = 64\,000 \text{ bitów/sek} = 64 \text{ kbity/sek} = 64 \text{ kb/s.}$$

Na kolejnym rysunku pokazano proces kwantyzacji i kodowania próbek oraz proces odwrotny.

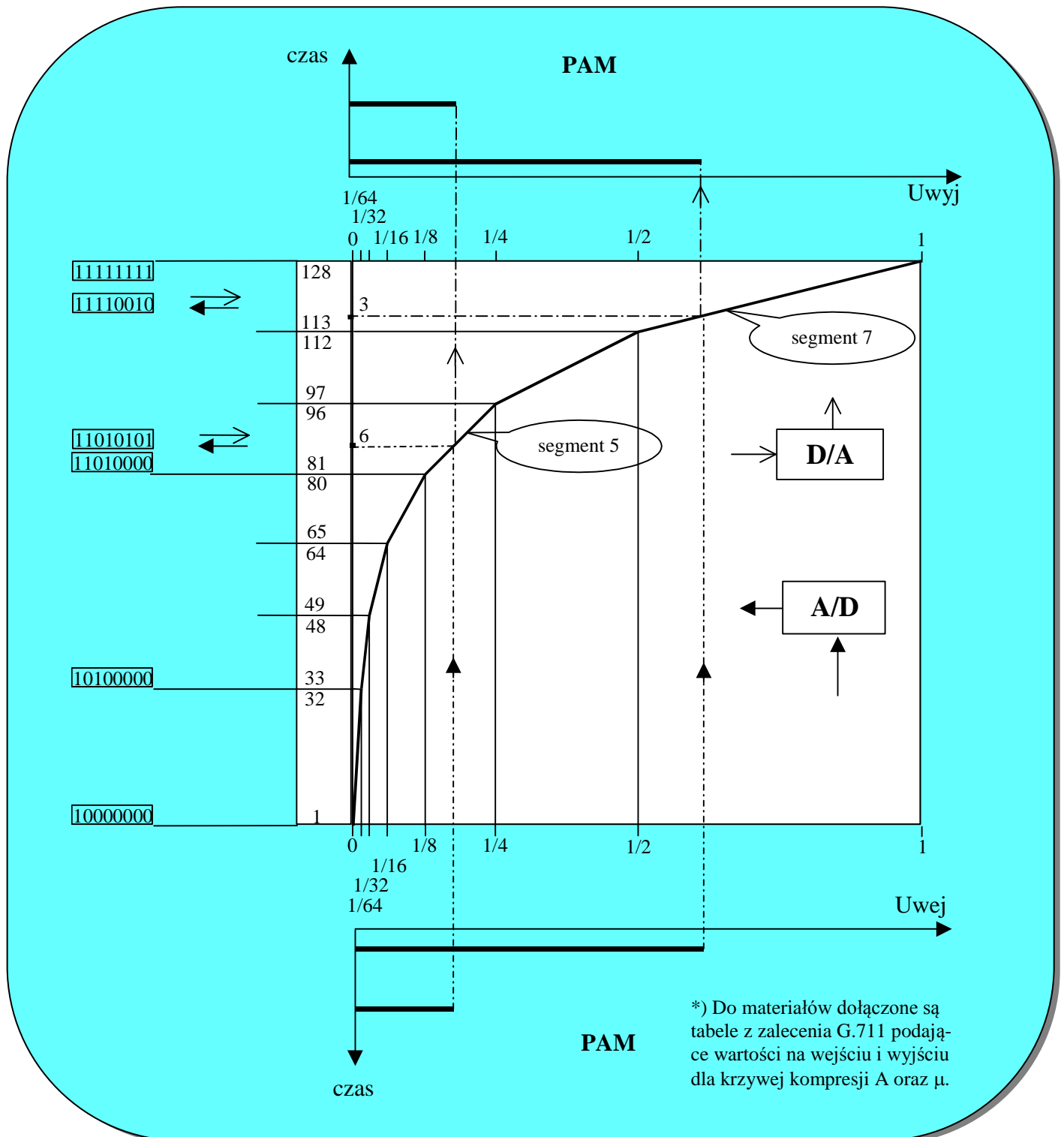
Przedstawiona metoda przetwarzania analogowego sygnału mowy na sygnał cyfrowy jest opisana w **zaleceniu G.711** i jest nazywana PCM (Puls Code Modulation). Oprócz tej metody przetwarzania stosowane są **inne metody ujęte w odpowiednich zaleceniach** i charakteryzujące się różnymi przepływnościami strumienia bitów:

- G.726, ADPCM (Adaptive Differential PCM) - 40, 32, 24 i 16 kb/s,
- G.728, LD-CELP (Low-Delay Code Excited Linear Prediction) - 16 kb/s,
- G.729, CS-ACELP (Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear Prediction) - 8 kb/s,

- G.723.1 - 5.3 i 6.3 kb/s,
- pełnokanałowy GSM - 13 kb/s,
- półkanałowy GSM - 6.5 kb/s.

Podobnie jak dla mowy tak i też **dla obrazów ruchomych mamy** określone standardy przetwarzania. Przykładowo są to:

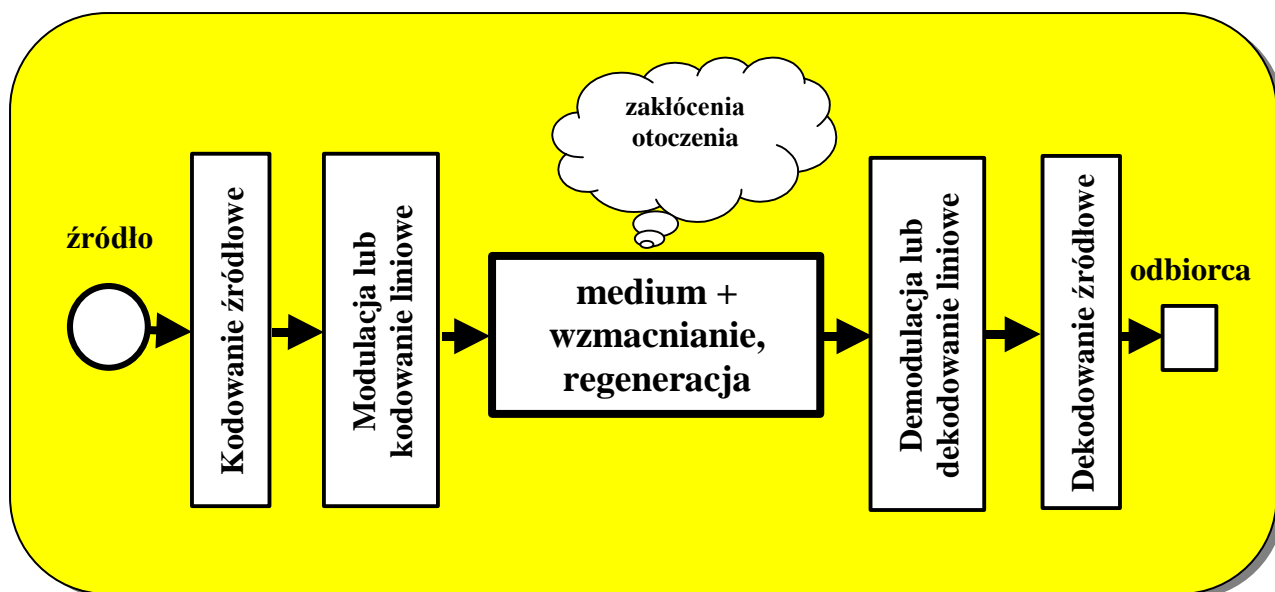
- H.261, usługi audiowizualne - n·64 kb/s,
- H.263, kodowanie obrazów - zmienny strumień bitów.



Zauważmy, że na poziomie sygnałów w procesie prowadzącym do przesłania informacji poprzez medium ze źródła do odbiorcy realizowanych jest szereg funkcji. Wymieniając je w kolejności od źródła do odbiorcy są to:

- przetwarzanie sygnału źródła na postać cyfrową; funkcja ta nazywana jest **kodowaniem źródłowym**,
- przed wysłaniem w medium stosuje się **modulację** albo **kodowanie liniowe**,
- transmisja sygnału w medium (z ewentualnym **wzmacnianiem** lub **regeneracją**),
- po odebraniu z medium **demodulacja** lub **dekodowanie liniowe**,
- a następnie **dekodowanie źródłowe**.

Funkcje te przedstawiono na kolejnym rysunku. Proszę zauważyć następujący fakt. Przy omawianiu zagadnień transmisji sygnałów przenoszących informację od źródła do odbiorcy **pominięto** całkowicie **funkcję komutacji** (łączenia) w węzłach komutacyjnych. W rozważaniach tych dla ich uproszczenia założono, że strona nadająca i odbierająca są połączone medium w którym mogą znajdować się co najwyżej elementy wzmacniające lub regenerujące sygnał. Takie podejście **jest uzasadnione jeżeli funkcja komutacji nie wpływa** w istotny sposób na transmisję sygnału przenoszącego informację. Założenie to nie musi być spełnione i zależne jest od stosowanej techniki i technologii realizacji funkcji komutacji.



Zagadnienie maksymalizacji wykorzystania mediów transmisyjnych

Pamiętamy, że **jednym z celów działalności operatora** telekomunikacyjnego jest **minimalizacja kosztów** w dostarczaniu usług telekomunikacyjnych. Dla techniki wynika z tego konieczność proponowania takich rozwiązań aby ilość zasobów w sieci telekomunikacyjnej była jak najmniejsza a **tym samym dążymy do maksymalizacji wykorzystania zasobów**.

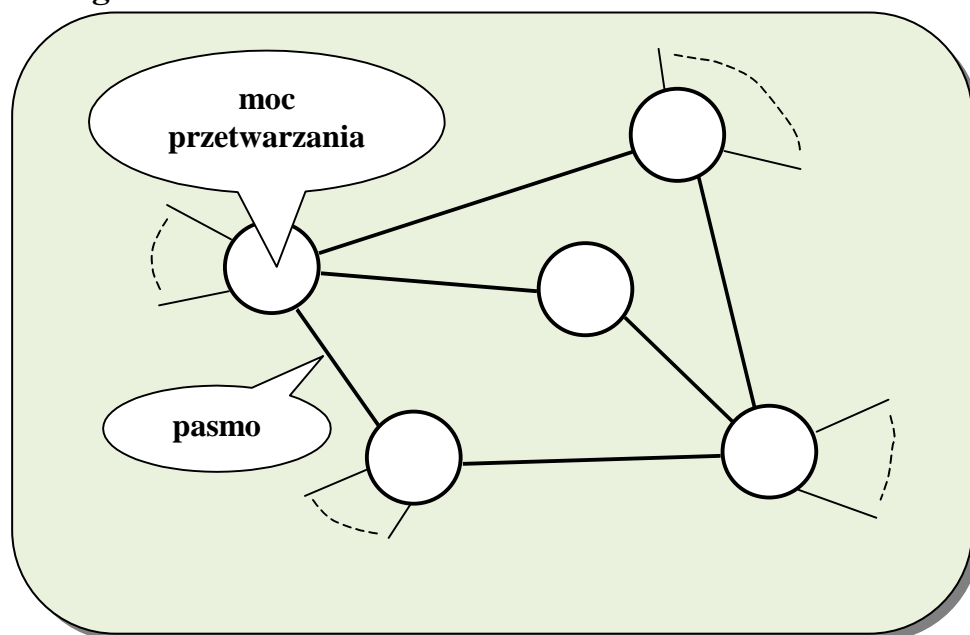
Ponieważ w sieci realizowane są **dwie podstawowe funkcje**, tzn. transmisja i komutacja (łączenie), to należy proponować takie rozwiązania aby **realizacja tych funkcji na poziomie sieci wymagała minimalnej ilości zasobów**.

Problem ten jest rozwiązywany na dwa uzupełniające się sposoby:

- **optymalizacja lokalna**; optymalizujemy realizację każdego z elementów funkcjonalnych, tzn. węzła komutacyjnego oraz systemu transmisyjnego realizującego łącza międzywęzłowe i łącza abonenckie,
- **optymalizacja globalna**; optymalizujemy sieć uwzględniając fakt iż jest ona systemem masowej obsługi, tzn. należy obsłużyć na określonym poziomie jakości zmieniające się w czasie zapotrzebowanie na usługi.

Zagadnienia te są zagadnieniami złożonymi i daleko wybiegającymi poza treść tego wykładu.

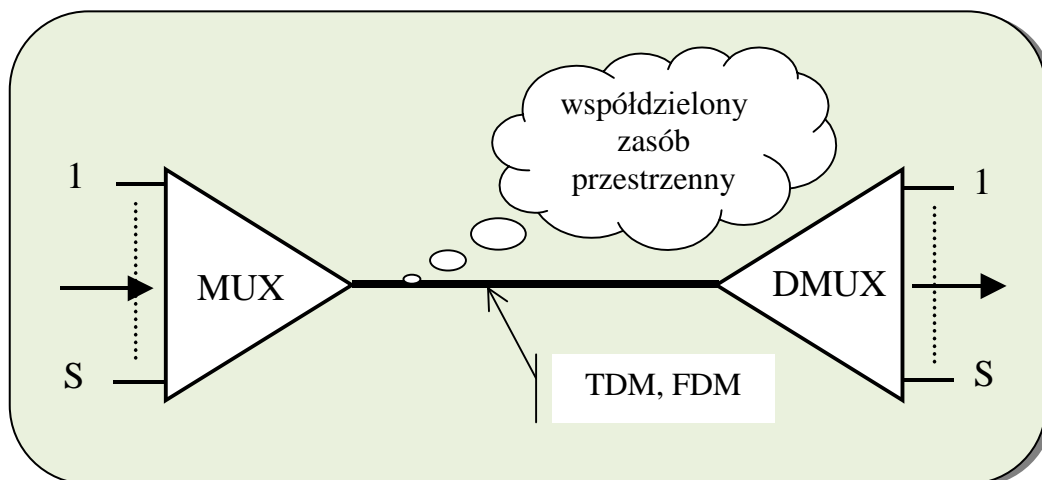
Najogólniej rzecz ujmując można stwierdzić, że **zasoby które podlegają ograniczeniom** w przypadku węzłów komutacyjnych to **moc przetwarzania**, a w przypadku transmisji to **pasmo**, które jest dostępne przy zastosowaniu określonego medium.



Dalsze nasze **rozważania ograniczymy to funkcji transmisji** i stąd wynikającego problemu maksymalizacji wykorzystania medium dla jej realizacji. Uzasadnione to jest tym iż telekomunikacja jako pierwszy z problemów jaki musi rozwiązywać to problem przesyłania na odległość sygnałów niosących informacje między dwoma bezpośrednio połączonymi punktami.

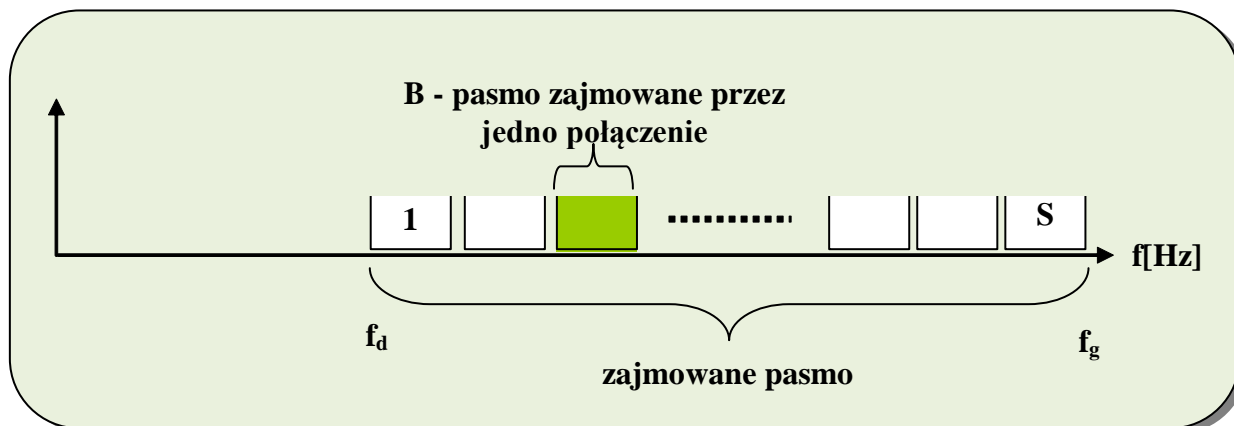
Otóż jak to już było podkreślone na wcześniejszych zajęciach każde medium transmisyjne ma specyficzne cechy określające możliwości przenoszenia sygnałów między wejściem do medium i wyjściem z tego medium. **Możliwości te są na ogół dużo większe niż potrzeby** dla realizacji **jednego połączenia** między dwoma abonentami.

To zrodziło **pomysł współdzielenia medium** między wieloma połączeniami i w ten sposób **wprowadzenia nowej funkcji** jaką jest **multipleksacja**. Jak już wiemy to współdzielenie może być realizowane w dziedzinie pasma (częstotliwości) oraz czasu co ma odzwierciedlenie w nazwach FDM i TDM. To współdzielenie zasobów przestrzennych przez wiele połączeń **powoduje zwiększenie wykorzystania tych zasobów**.



W **przypadku techniki FDM stosując modulację nośnych** sygnałem o ograniczonym paśmie **B tworzymy obok siebie w dziedzinie częstotliwości łącza** z których każde obsługuje w danej chwili czasu **jedno połączenie** źródła z odbiorcą informacji. Na kolejnym rysunku pokazano przykład dla **S** takich połączeń z których każde ma do dyspozycji pasmo o szerokości **B**.

Jako ćwiczenie proszę na tym rysunku zaznaczyć częstotliwości nośne. Ile ich jest i gdzie?



Było to rozwiązanie, które **w telekomunikacji zostało zastosowane jako pierwsze**. W oparciu o tą zasadę budowano analogowe systemy transmisyjne, które umożliwiały początkowo realizację 12/24 a później aż 2700 połączeń. Zauważmy, że **im większa jest liczba S** tym większe jest zajmowane pasmo. To oznacza, że sygnały o wyższych częstotliwościach są bardziej tłumione w przypadku linii miedzianych (patrz parametr *alfa* i jego zależność od częstotliwości). To z kolei **wymaga gęstszego umieszczania wzmacniaków z wszystkimi tego konsekwencjami**.

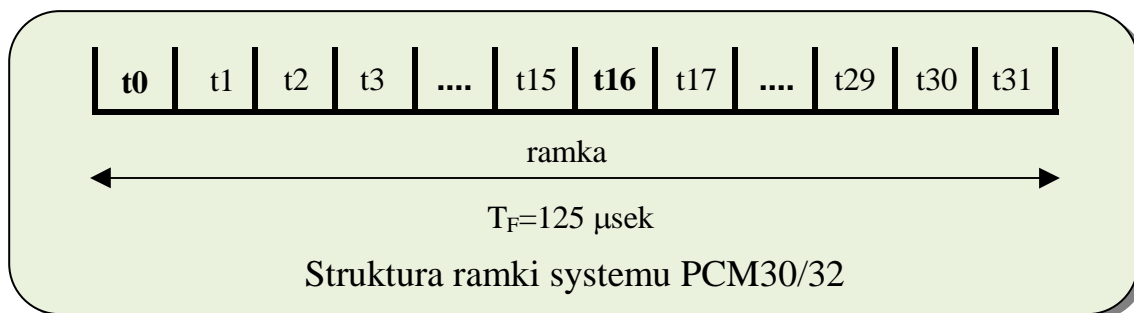
Jak pamiętamy **technika analogowa miała swoje wady i ograniczenia**, które **usunęła technika cyfrowa** wprowadzając jednocześnie inny sposób współdzielenia zasobów oparty na TDM. **To rozwiązanie jest obecnie dominujące** w maksymalizacji wykorzystania pasma udostępnianego przez medium. Dlatego też **zostanie ono omówione bardziej szczegółowo**.

Ponieważ pierwszą propozycją kodowania było PCM to ono wyznaczyło zasady multipleksacji z podziałem czasowym. Pojawiły się dwa standardy TDM, pierwszy w **Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej nazwany PCM24** oraz drugi w kolejności **europejski PCM30/32**. Przy współdzieleniu zasobu przestrzennego przy podziale czasowym jedno połączenie otrzymuje ten zasób na ściśle określony czas i proces ten musi być powtarzany co stały okres. **Konieczne jest zatem utworzenie ramki czasowej, której długość wynika z tego okresu i równa się 125μs**. Wartość ta jest konsekwencją twierdzenia Nyquista i szerokości pasma dla sygnału mowy, którego górna częstotliwość po uwzględnieniu braku idealnych filtrów wynosi 4000Hz. Samo pasmo sygnału mowy jest od 300Hz do 3400Hz (ciekawe że od 300Hz a dlaczego nie niżej?).

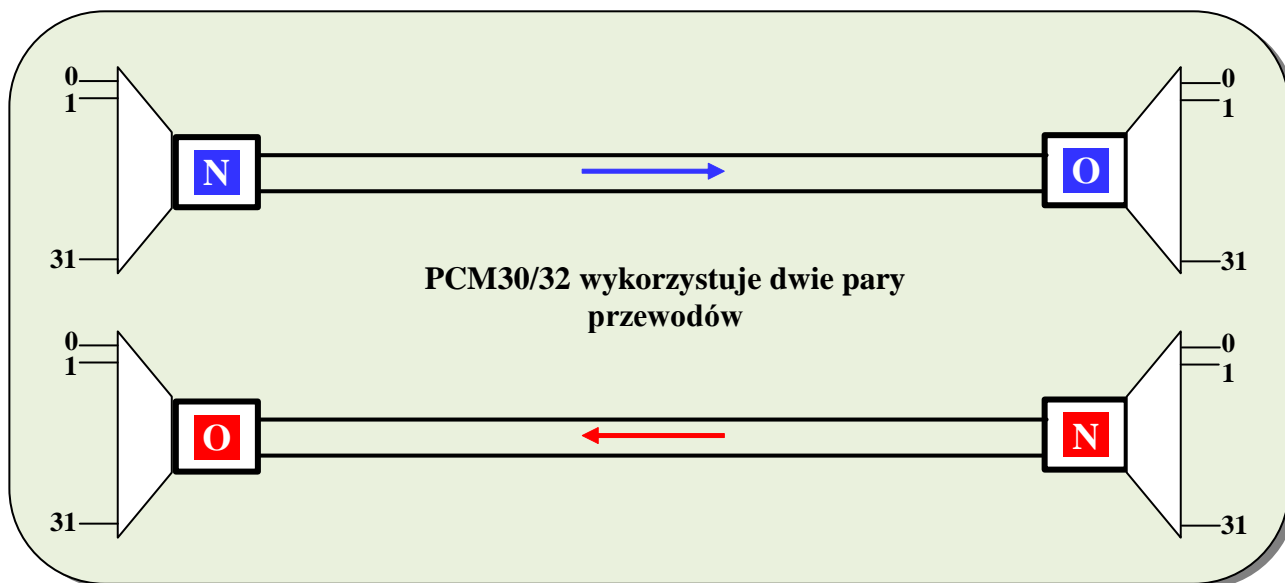
Odcinek czasu o długości 125μs został dla systemu europejskiego podzielony na 32 szczeliny czasowe ponumerowane od 0 do 31, a każda szczelina składa się z ośmiu bitów. Liczba bitów wynika z zasady tworzenia sygnału PCM.

Czy wszystkie szczeliny mogą być użyte na realizację połączeń?

Odpowiedź brzmi nie. Gdybyśmy tak postąpili to po stronie odbiorczej nie byłoby możliwe wydzielenie bitów należących do konkretnej szczeliny czasowej (dlaczego?). Jest to warunkiem koniecznym poprawnego przesłania informacji od źródła do odbiorcy. Zatem jedną szczelinę czasową (zerową) należy przeznaczyć na **rozpoznanie początku ramki czasowej** poprzez wstawianie tam ustalonego wzorca ramkowania postaci **C0011011** (C może przyjmować wartość 0 albo 1) do co drugiej ramki. Proces znajdowania wzorca (słowa) ramkowania nazywany jest **synchronizacją**. Z pozostałych 31 szczelin tylko 30 jest przeznaczonych dla realizacji połączeń użytkowych (między źródłem i odbiorcą). **Szczelina szesnasta** (t16) została przeznaczona do **wymiany informacji sterującej** między dwoma węzłami komutacyjnymi. **Stąd też nazwa tego systemu PCM30/32** - bo 30 szczelin użytkowych spośród wszystkich 32 szczelin czasowych.



Standard tego systemu oparty jest na medium miedzianym i rozdzieleniu obu kierunków przesyłania sygnałów na osobne pary przewodów.



Możemy **obliczyć przepływność bitowa** tego sposobu multipleksacji. Otóż ramka o długości $125\mu s$ ma 32 szczeliny czasowe z których każda zawiera 8 bitów co daje

$$32 \cdot 8 / 125\mu s = 2048 \text{ kb/s} = 2.049 \text{ Mb/s}$$

i dlatego używa się określenia, że PCM30/32 to system o przepływności 2Mbitowej. Proszę zauważyć, że **faktycznie ma on dwa takie strumienie po jednym na kierunek**.

Zastanówmy się czy można ten strumień binarny (zero - jedynkowy) przesyłać bezpośrednio przez linię. Z już wcześniej przeprowadzonych rozważań wynika, że nie (proszę sobie przypomnieć, gdzie i w związku z czym były te rozważania prowadzone). **Konieczne jest zatem zastosowanie do tego strumienia kodowania liniowego (transmisyjnego) i jest to kodowanie HDB3**. Zasada tego kodowania została pokazana na kolejnym rysunku.

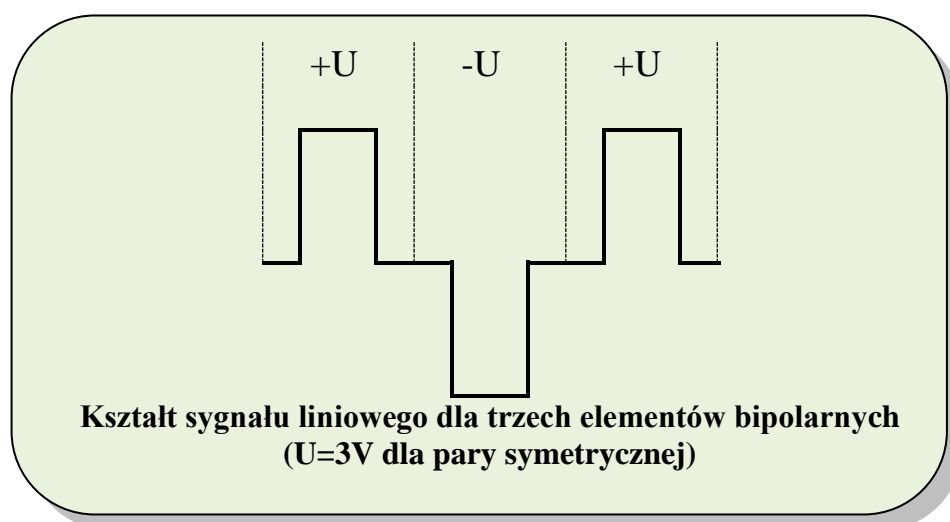
Zasada kodowania HDB3

ciąg binarny	ciąg HDB3	warunki wyboru
0000	000V	jeżeli za ostatnim elementem V w ciągu HDB3 wystąpiła nieparzysta liczba elementów B
	B00V	jeżeli za ostatnim elementem V w ciągu HDB3 wystąpiła parzysta liczba elementów B

Element V ma amplitudę U i znak łamiący zasadę kodowania AMI, natomiast element B jest elementem bipolarnym ($+U$ lub $-U$).

Przykład kodowania ciągu binarnego według zasady AMI i HDB3

Binary Representation of a Single Character: 'W' using ASCII = 01010111																											
BIN	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	
AMI	+	-			+					-		+							-	+					-	+	
	U	0	U	0	0	U	0	0	0	0	U	0	0	U	0	0	0	0	U	U	0	0	0	0	U	U	
HDB3	+	-			+					+	-		+	-					-	+	-	+			+	-	+
	U	0	U	0	0	U	0	0	0	U	U	0	0	U	U	0	0	U	U	U	U	0	0	U	U	U	



To kodowanie liniowe ma dwie podstawowe cechy wymagane dla kodów liniowych stosowanych w dolnym paśmie przenoszenia medium (dlaczego takie wymagania?):

- składowa stała jest równa zeru,
- w sygnale liniowym występują co najwyżej trzy symbole kodujące zero (napięcie równe zero).

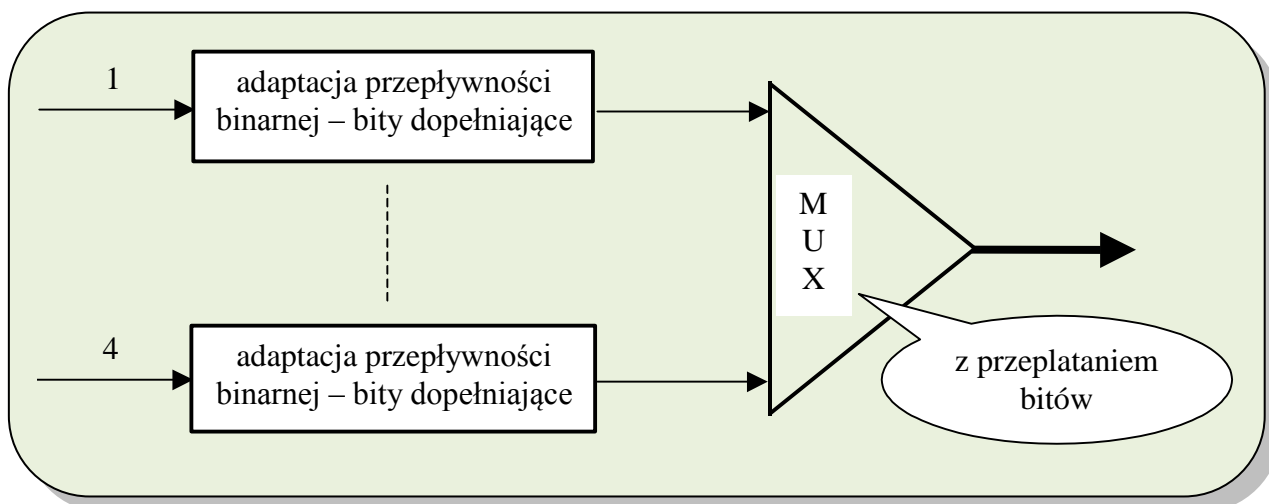
Zasadę multipleksacji można zastosować do strumieni 2Mb/s i w ten sposób maksymalizować wykorzystanie medium do przenoszenia sygnałów umożliwiając jednocześnie zwiększenie liczby realizowanych połączeń. Ponieważ widmo sygnału jest coraz większe (impuls jest coraz krótszy) konieczne jest stosowanie specjalnie skonstruowanych kabli symetrycznych lub niesymetrycznych oraz gęstsze wstawianie elementów aktywnych służących do regeneracji sygnałów. Kable niesymetryczne mają tę cechę, że są przewodnikami zamkniętymi i tym samym lepiej izolują od otoczenia co jak już wiemy nie jest bez znaczenia dla zasięgu transmisji (patrz wpływ przeników).

Bazując na strumieniu 2Mb/s utworzono hierarchiczny system multipleksacji i zastosowano współczynnik multipleksacji równy cztery.

W wyniku multipleksacji otrzymuje się następujące strumienie:

- $4 \times 2\text{Mb/s} = 8\text{Mb/s}$,
- $4 \times 8 = 4 \times 4 \times 2 = 34\text{Mb/s}$ (to nie jest pomyłka!),
- $4 \times 34 = 4 \times 4 \times 4 \times 2 = 140\text{Mb/s}$ (to też nie jest pomyłka!).

Ten system multipleksacji i realizacji transmisji nazwano **PDH (Plejo-chronous Digital Hierarchy)**. Przy czym nie jest to proste zwielokrotnienie a zwielokrotnienie w którym z uwagi na nieznaczące różnice w zegarach każdego 2Mb/s strumienia składowego (wejściowego) stosuje się bity dopełniające, a następnie tak wyrównane strumienie poddawane są **multipleksacji z przeplataniem bitów** (co to znaczy przeplatanie bitów?).

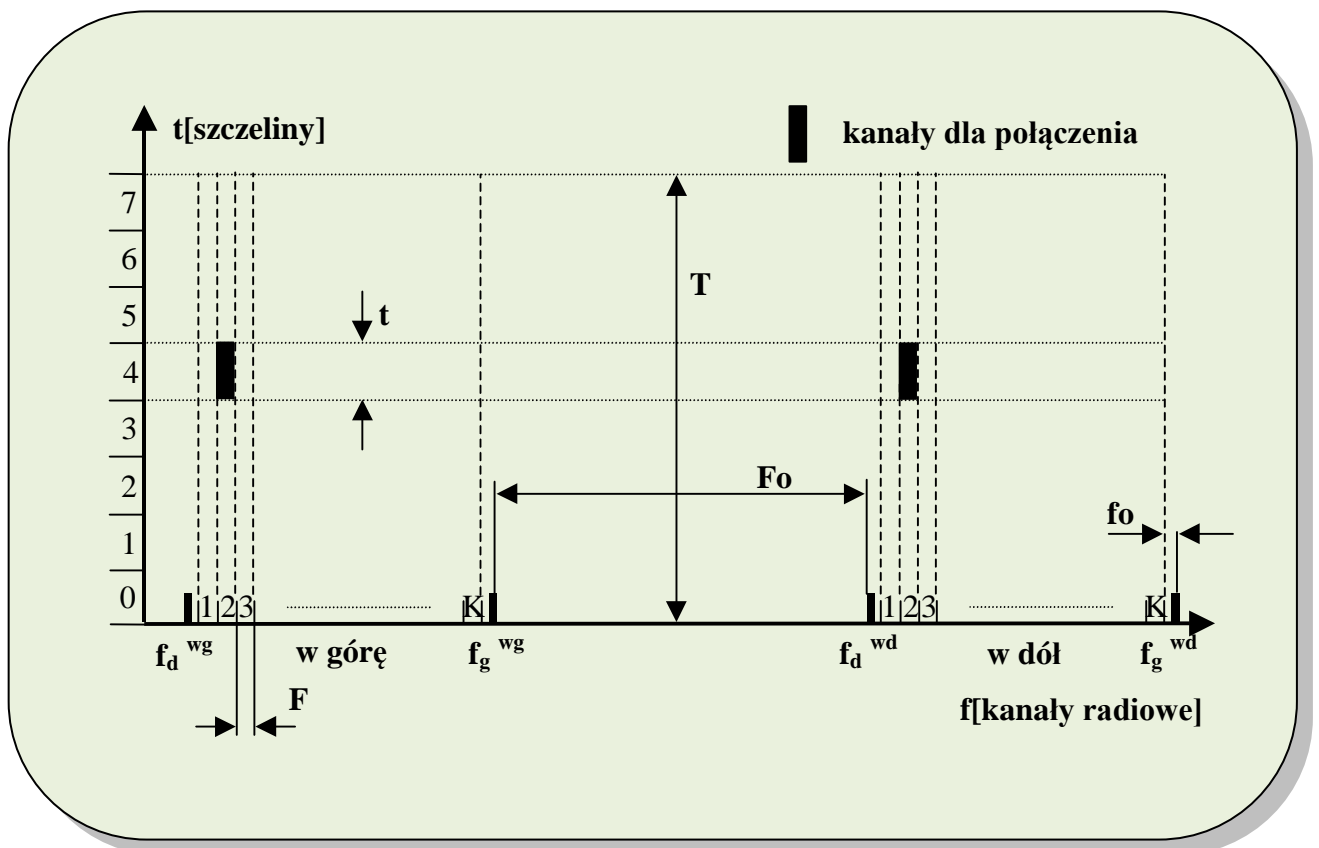


Wadą tego rozwiązania jest to, że jeżeli mamy sygnał na jakimś poziomie hierarchii to aby wydobyć sygnał składowy muszą przejść wszystkie poziomy demultipleksacji (proces odwrotny do multipleksacji), gdyż lokalizacja tego sygnału jest dostępna na najniższym poziomie tej hierarchii. Jest tak z uwagi na bity uzupełniające i przeplot bitowy. Zorganizowanie takiego systemu wymaga dodatkowych przepływności co objawia się tym, że z punktu widzenia przepływności nie jest to proste mnożenie przepływności strumienia 2Mb/s.

W przypadku **medium w postaci przestrzeni radiowej**, które jest wykorzystywane w dostępie abonentów ruchomych do sieci to z uwagi na ściśle określone i wąskie pasmo przydzielone dla realizacji połączeń radiowych **zastosowano jednocześnie współdzielenie tego pasma w częstotliwości i czasie** (FDM i TDM). Dzięki temu można było utworzyć większą liczbę łączy.

Ogólne zasady podziału zasobów są następujące:

- **pasmo radiowe** przyznane dla systemu podzielone jest na dwie części:
 - **w górę** (od Mobile Station MS do Base Transceiver Station BTS),
 - **w dół** (od BTS do MS),
- każdą z nich **podzielono na K kanałów** (pasm) radiowych,
- **dostęp do kanału** (pasma) radiowego jest **z podziałem czasowym** (TDMA), a liczba szczelin czasowych wynosi 8.



System	f_d^{wg} [MHz]	f_g^{wg} [MHz]	f_d^{wd} [MHz]	f_g^{wd} [MHz]	F [kHz]	F ₀ [MHz]	f ₀ [kHz]	t [μsek]	T [msek]	K
GSM 900	890	915	935	960	200	20	100	577 (15/26)	4.615	124
DCS 1800	1710	1785	1805	1880	200	20	100	577 (15/26)	4.615	374

Z chwilą wprowadzenia jako **medium światłowodów** opracowano dwa systemy wykorzystujące technikę TDM - **SONET** (Synchronous Optical Network) opracowany w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej oraz **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy), który jest systemem europejskim.

W odróżnieniu od PDH są to systemy synchroniczne co wymaga zegarów o dużej stabilności i ich rozprowadzania po sieci. Ale dzięki temu i zastosowaniu **przeplotu bajtowego** nie ma on wad PDH.

Zdefiniowano następujące przepływności podstawowe w SDH:

- STM-1 – 155,520 Mbit/s, popularnie nazywany SDH 155 Mbit/s,
- STM-4 – 622,080 Mbit/s, popularnie nazywany SDH 622 Mbit/s,
- STM-16 – 2,488320 Gbit/s, popularnie nazywany SDH 2,5 Gbit/s,
- STM-64 – 9,95328 Gbit/s, popularnie nazywany SDH 10 Gbit/s,
- STM-256 - 39,81312 Gbit/s, popularnie nazywany SDH 40 Gbit/s.

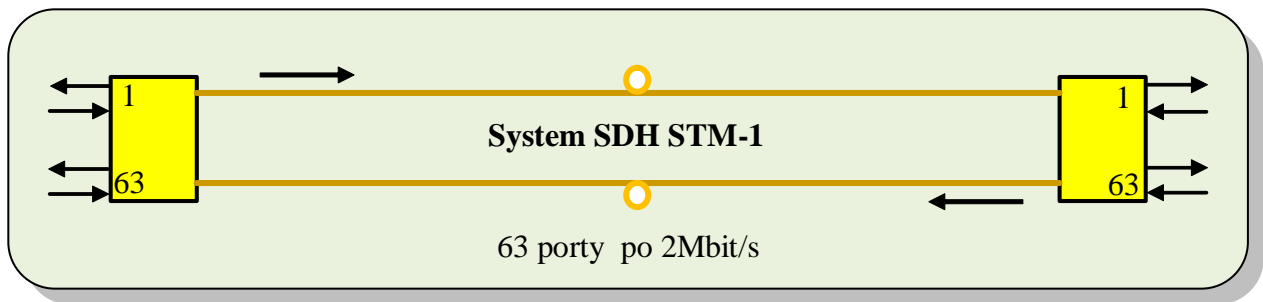
STM (Synchronous Transport Module) to skrót określający synchroniczny moduł transportowy. Oprócz tych przepływności przyjęła się przepływność

- STM-0 – 51,84 Mbit/s.

Dzięki zastosowaniu przeplotu bajtowego, istnieje możliwość bezpośredniego dostępu do strumienia podstawowego (składowego). Rozbudowano także mechanizmy kontroli jakości transmisji oraz przewidziano strumienie dla organizacji zarządzania tym systemem.

Dla realizacji zwielokrotnienia (**multipleksacji**), uzyskiwania strumienia wyższego rzędu w postaci modułu transportowego, zastosowano podejście oparte na koncepcji kontenerów.

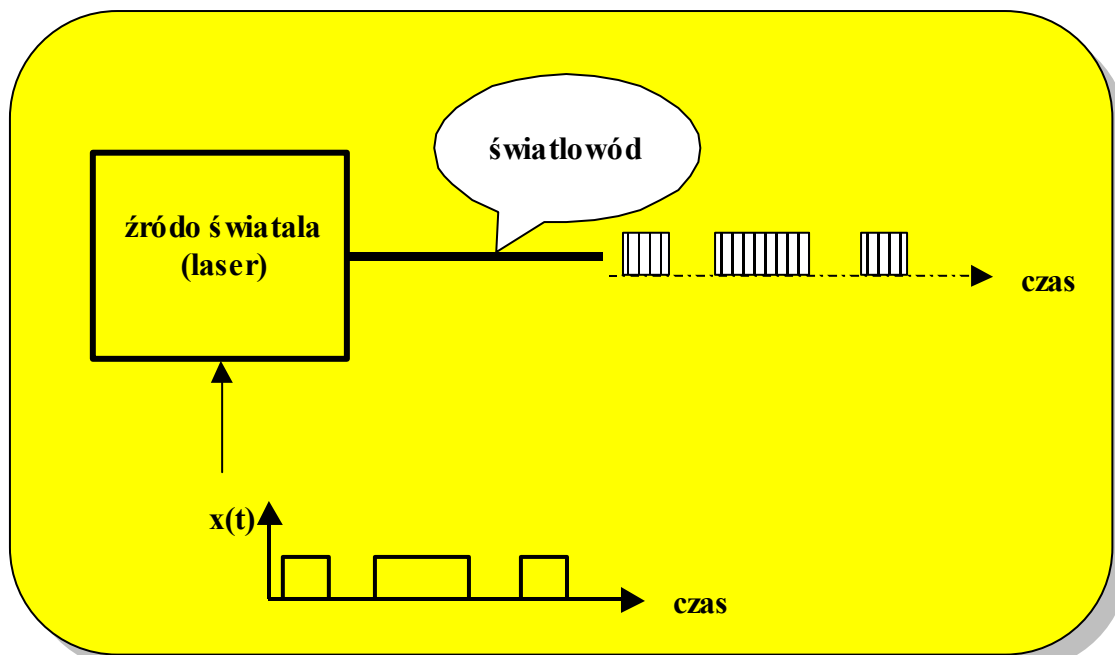
Na przykład system SDH z STM-1 **umożliwia przeniesienie 63 strumieni systemu PCM 30/32**, czyli strumieni 2Mbit/s. Strumień ten jest umieszczony w kontenerze C-2, który podlega dalszym przekształceniom (odwzorowanie, dopasowanie, zwielokrotnienie). W standardzie są także inne typy kontenerów.



Ramka czasowa dla systemu SDH wynosi $125\mu s$ i dla STM-1 składa się z 270 kolumn i 9 wierszy. Każdy element tej ramki to oktet (8 bitów czyli bajt). 9 pierwszych kolumn to nagłówek ramki przeznaczony na cele organizacyjne. Dla uzmysłowienia sobie jakie problemy musiano rozwiązać podajmy czasy trwania bajtu, który jest równy $51.44ns$ a bitu - $6.43ns$. W przypadku wyższych krotności systemu czasy te są znacznie krótsze i wynikają z dzielenia przez krotność (proszę obliczyć te czasy!).

Ponieważ pasmo dostępne w każdym z okien jest znacznie większe niż wymaga tego strumień binarny w związku z tym zastosowano kodowanie transmisyjne nBmB i w Polsce $n=5$ a $m=6$. Proszę zauważyć, że przepływność strumienia elementów (symboli) w linii jest większa niż strumienia binarnego. Jest to sytuacja odwrotna niż stosowana w przypadku linii miedzianych. Tą nadmiarowość wykorzystuje się do detekcji błędów podczas transmisji.

Amplituda źródła sygnału świetlnego o danej długości fali jest modulowana sygnałem $x(t)$ źródła informacji. W tym przypadku mamy kluczowanie amplitudy sygnału świetlnego czyli modulację ASK i jest to najczęściej stosowany rodzaj modulacji.

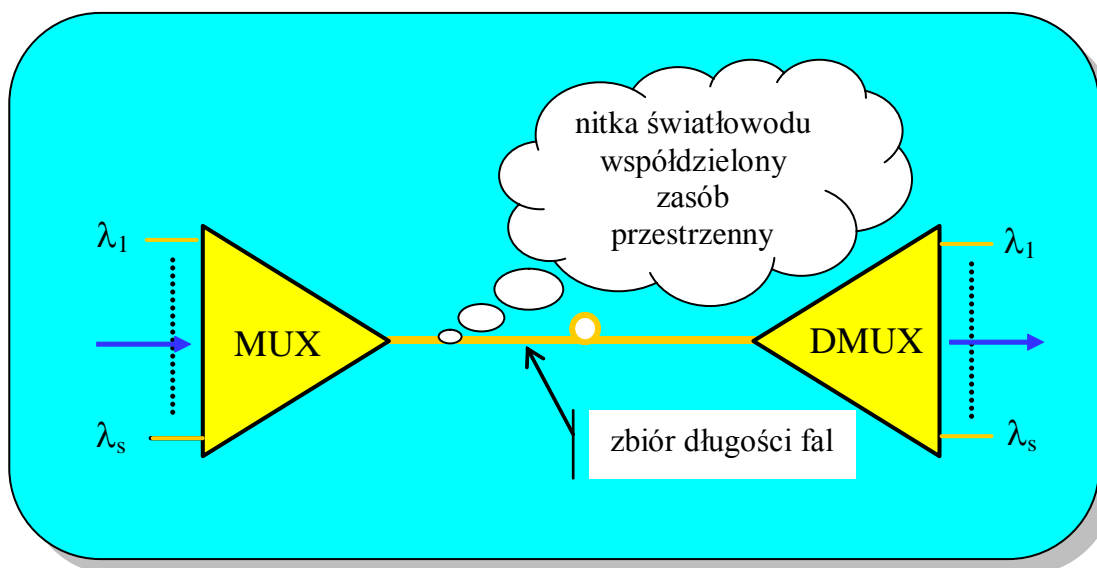


Możliwości lepszego wykorzystania medium jakim jest światłowód, tzn. zwiększenia liczby łączy ponad te o których dotychczas mówiliśmy daje technologia **WDM** (Wavelength Division Multiplexing) i jej rozszerzenie nazywane **DWDM** (Dense WDM) czyli gęste WDM.

W przypadku WDM **odstęp między długościami fal** wynosi od 4 do 6 nm, natomiast dla DWDM wynosi 0.4 nm. Dzięki tym technologiom do jednej nitki światłowodu można wprowadzić od kilku (**DWM do 8 fal**) do kilkuset (**DWDM aktualnie do 320 fal**) długości fal i na każdej z nich umieścić np. system SDH STM-N.

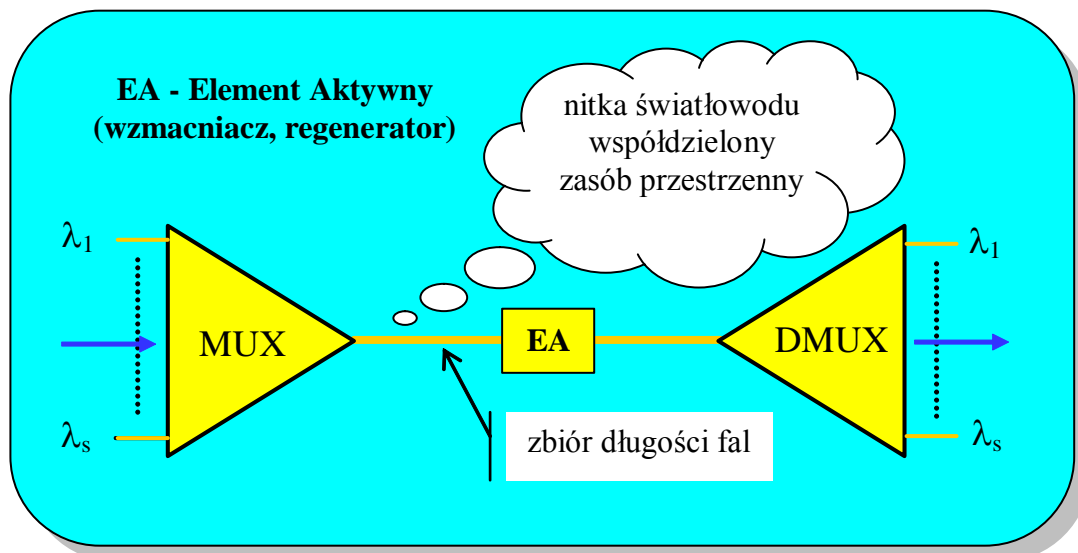
W związku z tym, że mamy cały zbiór długości fal prowadzonych w światłowodzie to bardzo często mówi się o **kolorowych światłowodach**. Należy jednak pamiętać, że nie ma to nic wspólnego z kolorami rozróżnianymi przez ludzkie oko (proszę porównać, gdzie znajdują się okna wykorzystywane w światłowodzie a gdzie jest zakres światła widzialnego).

Na przykład jeżeli liczba długości fal wynosi 80 i na każdej z nich umieszczono strumień STM-64 to sumaryczna przepływność strumienia binarnego wynosi **$80 \times 10 \text{ Gb/s} = 800 \text{ Gb/s} = 0.8 \text{ Tb/s}$** .



Z uwagi na **tłumienność** ale przede wszystkim na **dyspersję** konieczne jest przy znacznych odległościach stosowanie elementów aktywnych, których zadaniem jest odtworzenie kształtu nadanego sygnału. Mamy tu dwa sposoby realizacji tej funkcji:

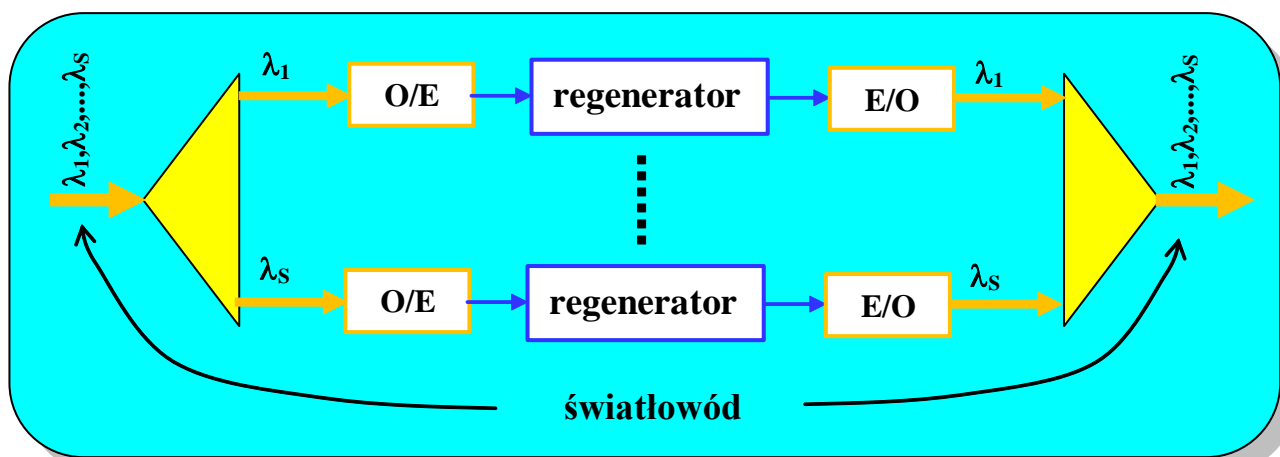
- **wzmacniania** sygnału optycznego lub
- **regeneracji**.



Aktualnie w optyce można zrealizować **wzmacniacze optyczne**. Rozwiązanie to ma dokładnie te same wady jak stosowanie wzmacniaczy w technice analogowej FDM z wykorzystaniem przewodów miedzianych (**problem addytywności szumów i zakłóceń**). **Wzmacniacze** pracują w zakresie od 1530 do 1565 nm czyli mają **pasmo 35 nm**. Z uwagi na to, że światłowód jest przewodniczą zamkniętą to problem zakłóceń z otoczenia światłowodu nie istnieje. Natomiast pojawia się nowy problem wynikający z faktu istnienia **zjawisk liniowych** (brak dobrych filtrów optycznych – dlaczego to ma wpływ?) oraz **zjawiska nieliniowości** światłowodu i jego skutków w przypadku DWDM. W tym ostatnim przypadku (nieliniowości) następuje podczas transmisji światła przenikanie energii z jednej do drugiej długości fali na skutek mieszania się długości fal (**mieszanie czterofalowe**).

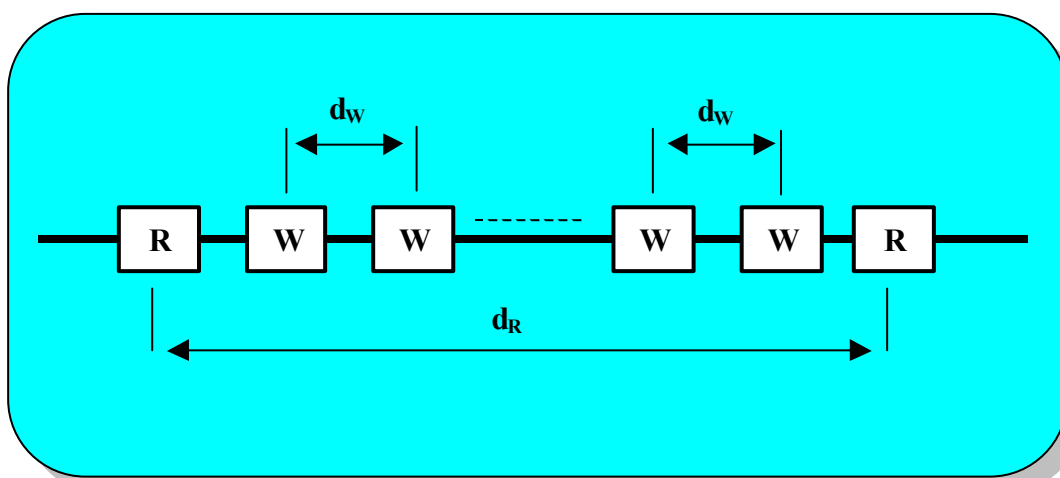
Dotychczas nie udało się zrealizować **regeneratorów optycznych** (ale prace trwają).

Dlatego **aby przeprowadzić regenerację** sygnału optycznego musimy najpierw wydzielić każdą z długości fali i **przejsć na sygnał elektryczny** (O/E), a następnie dokonać regeneracji i znowu **przejsć na sygnał optyczny** (E/O).



Aktualnie **odległości d_w** między wzmacniaczami wynoszą **około 100 km** dla WDM i **od 100 do 200 km** dla DWDM.

Natomiast regeneratory umieszcza się w **odległościach d_R od 1500 do 5000 km**. Oczywiście między regeneratorami znajdują się wzmacniacze (**proszę odpowiedzieć dlaczego tak postępujemy?**)



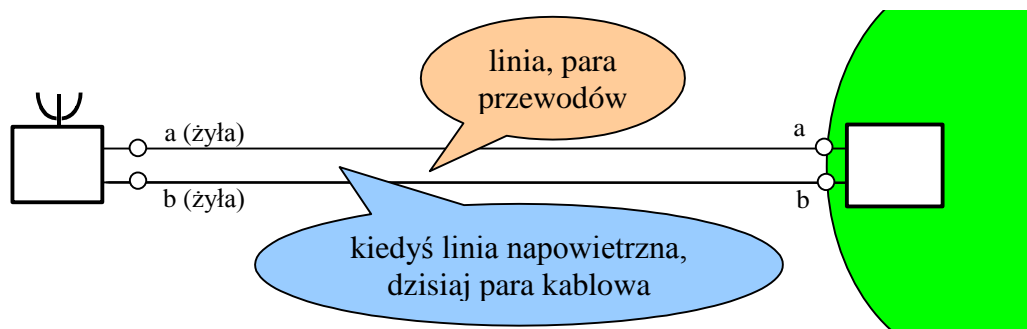
Kanał, łącze, system transmisyjny

W **dotychczasowych** naszych rozważaniach **używaliśmy** w sposób intuicyjny i potocznie zrozumiaily **określeń kanał, linia, łącze czy też system transmisyjny**. Zauważmy, że każde z nich jest bezpośrednio związane z transmisją sygnałów na odległość.

Nasuwa się pytanie **czy określenia te są synonimami** a jeżeli nie to co należy rozumieć używając każdego z nich w opisie rozwiązań technicznych. Można też zadać pytanie czy używając któregoś z tych określeń używamy go dla jednoznacznego czy wieloznacznego opisu rozwiązania.

Spróbujemy zatem teraz te nazwy nieco dokładniej sprecyzować i pokazać wzajemne związki oraz wskazać sytuacje, gdy ich użycie może być wieloznaczne jeżeli nie uwzględni się kontekstu w którym one występują.

Zacznijmy od określenia linii, które wydaje się być najprostsze i pierwotne. Otóż w sposób naturalny określenie to wiąże się bezpośrednio z materialną postacią przewodnicy energii fali elektromagnetycznej, która łączy ze sobą dwa elementy wymieniające informację. Linie tą tworzą dwa przewody, które pierwotnie były linią napowietrzną a obecnie są parą kablową. Aktualnie w sieci telekomunikacyjnej określenie to jest zarezerwowane dla fizycznego połączenia terminala abonenta z wyposażeniem abonenckim znajdującym się w elemencie sieci telekomunikacyjnej - węźle. Zakłada się, że linia ta tworzy połączenie dla przenoszenia sygnałów analogowych dla telefonii czyli usługi mowy o paśmie 3.1kHz. Na linii tej przenoszone są także sygnały informujące o stanach terminala abonenckiego, informacje wybiercze oraz sygnały informujące o stanach wyposażenia abonenckiego (stanach węzła). **Możemy zatem powiedzieć**, że słowo linia odzwierciedla zasoby przestrzenne umieszczone między terminalem abonenckim a wyposażeniem abonenckim dla usługi mowa realizowanej na tej linii w technice analogowej. I w takim sensie było to słowo używane przy omawianiu sieci telekomunikacyjnej.



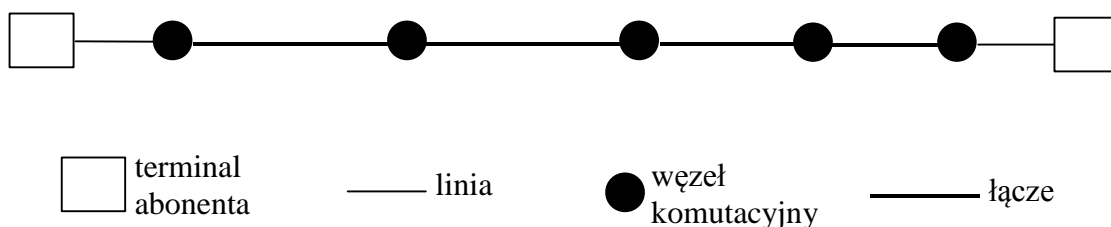
Jednakże przypomnijmy, że użyliśmy także tego określenia w kontekście modelu przewodnicy falowej w postaci linii długiej. Tutaj też słowo to użyto w kontekście dwóch przewodów będących linią.

Należy jednak jeszcze raz wyraźnie podkreślić, że określenie linia jest pojęciem pierwotnym dla telekomunikacji i zostało ono wprowadzone na samym początku drogi rozwoju telekomunikacji, gdy mieliśmy do czynienia tylko z techniką analogową.

W dotychczasowych rozważaniach używaliśmy określenia łącza mając na myśli to „coś” co łączy dwa węzły komutacyjne i umożliwia utworzenie połączenia między abonentami. Zastanówmy się zatem jeszcze raz nad tym co to jest łącze i co za słowem łącze kryje się.

Z punktu widzenia udostępniania usług łącze bierze udział w zapewnieniu zrealizowania połączenia i łącze to w dotychczasowych naszych rozważaniach zlokalizowane jest między węzłami komutacyjnymi. Zatem dla realizacji łącza wykorzystane są zasoby w postaci medium transmisyjnego (linie, pary kablowe, nitki światłowodowe) oraz urządzeń transmisyjnych (wzmacniaki, wzmacniacze, regeneratory). Na ogół zasoby te nie są wykorzystywane tylko i wyłącznie do zrealizowania tego jednego konkretnego połączenia lecz dzięki wykorzystaniu multipleksacji na tych zasobach może być zrealizowanych więcej połączeń. Zatem pytanie o łącze w tym kontekście pozostaje nadal otwarte.

Niech zatem na tym etapie rozważań naszym wyznacznikiem dla określenia łącza będzie jedno konkretne połączenie dla realizacji żądanej usługi. Możemy wówczas narysować łańcuch elementów tworzący to połączenie.

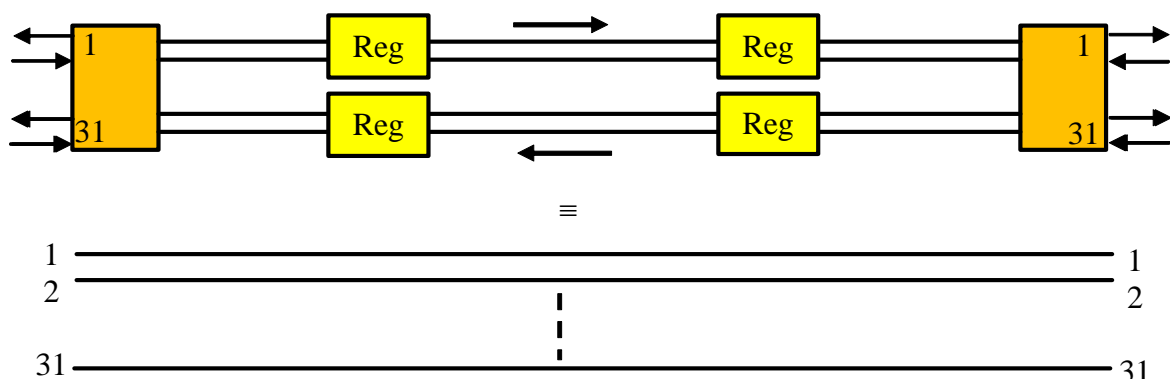


Zauważmy, że łańcuch ten jest tworzony od strony żądającego usługi (AAb) w kierunku tego który ma uczestniczyć w tej usłudze (BAb). Łącze w tym łańcuchu musi spełniać określone wymagania i poddane jest określonym działaniom.

Otóż musi być zapewnione **przenoszenie informacji** (wiadomości) w obu kierunkach (rozpatrujemy najprostszą usługę mowa). Te **dwa kierunki** mogą być realizowane na tym samym lub na oddzielnych mediach transmisyjnych. Na ogół są to oddzielne media, tzn. kierunki są rozdzielone przestrzennie. Są to więc dwie linie, dwie pary kablowe, dwie nitki światłowodowe. Te zasoby przestrzenne są współdzielone przez wiele połączeń czyli tworzonych jest na nich wiele łączy. Wykorzystuje się do tego celu podział np. w dziedzinie czasu TDM, częstotliwości FDM lub długości fali DWDM. Przez łączy przenoszone są sygnały niosące informację, dlatego też musi być wzajemne dopasowanie właściwości sygnałów i łączy aby proces przenoszenia informacji był optymalny ze względu na wybrane kryteria. W związku z tym, ale nie tylko, w łączy muszą być realizowane odpowiednie procesy na poziomie sygnału. W połączeniu łączy ma początek i koniec, które określają kierunek w którym łączy jest zajmowane i w którym będzie ono następnie zwalniane. Zajmowanie i zwalnianie łączy wymaga przenoszenia między jego punktami, początkowym i końcowym, dodatkowych informacji przyporządkowujących to łączy do konkretnego połączenia.

Wyżej przedstawiona definicja łączy jest definicją opisową mówiącą co to łączy realizuje i co do tej realizacji jest wykorzystywane w kontekście realizacji konkretnego połączenia dla żądanej usługi.

Przykładem najprostszego łączy w technice cyfrowej jest łączy w systemie PCM30/32 zrealizowanym na dwóch parach kablowych. Dla usługi mowa łączyem jest tu para szczelin czasowych po jednej w każdym kierunku zapewniająca przepływność 64kbit/s dla każdego kierunku transmisji. Zatem medium transmisyjne w postaci dwóch par kablowych i regeneratorów umożliwia utworzenie 31 takich łączy.



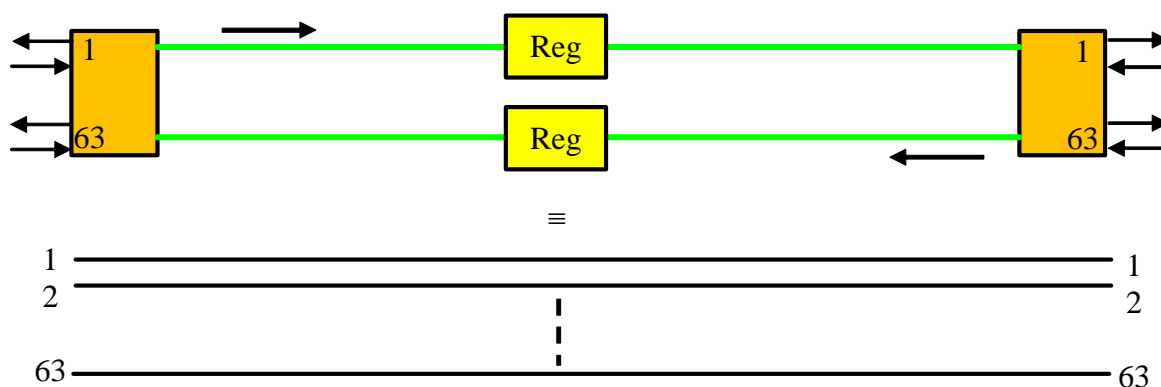
Należy zatem stwierdzić, że w tym przypadku tzn. realizacji połączenia pojęcie łączy jest bardziej pojęciem funkcjonalno - logicznym dla którego można podać realizację w określonej technologii.

Czy może być inny kontekst używania określenia łącza?

Rozważmy sytuację, gdy mamy **system SDH STM-1** to możemy na ten system spojrzeć jako system, który przenosi strumień 2Mbit/s. Zatem różniamy strumień, z których każdy bierze udział w realizacji wielu połączeń. **Czy jest zatem różnica w stosunku do poprzedniego rozważania dotyczącego określenia łącza?**

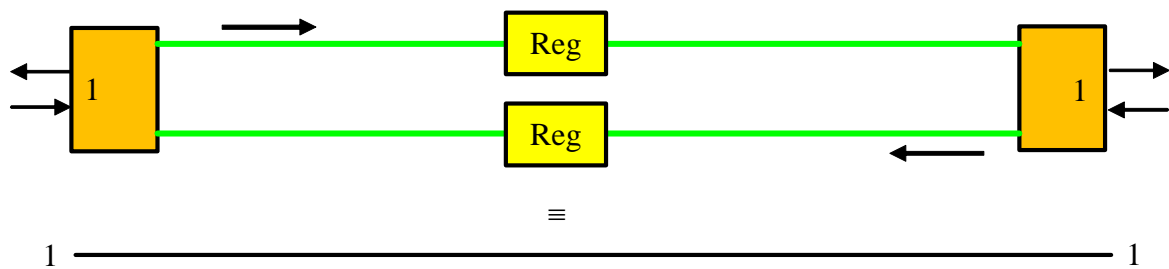
Otóż różnica wynika tylko i wyłącznie z poziomu rozróżnienia szczegółowości na której możemy operować. W tym przypadku rozróżniamy strumień i mówimy, że mamy łącza dla strumieni. Możliwa więc jest obsługa każdego strumienia, ponieważ dla każdego z nich w tym celu **utworzona jest funkcjonalno – logiczna jednostka** nazywana **łączem**.

Wróćmy więc do naszego przykładu, gdzie mamy dwie nitki światłowodu po jednej na kierunek, na których zrealizowano system SDH 155Mbit/s, a podstawową jednostką jest strumień 2Mbit/s i na niej możemy operować. Wówczas taki system udostępnia nam 63 łącza 2Mbit/s. Jeżeli tym systemem połączymy dwa węzły to możemy powiedzieć, że są one połączone 63 łączami o przepływności 2Mbit/s (dla każdego kierunku transmisji).



Oczywiście łącza te są zrealizowane na bazie określonego medium transmisyjnego (**światłowody**) oraz urządzeń transmisyjnych (**regeneratory, multiplexery**) według określonej technologii.

W skrajnym przypadku może być tak, że na medium transmisyjnym wraz z urządzeniami zrealizowane jest jedno łącze. W powyższym przykładzie może to być jeden strumień 155Mbit/s.



W poprzednim przykładzie był to jeden strumień PCM 2Mbit/s. W tym przypadku łącze może być utożsamiane z medium transmisyjnym wraz z urządzeniami transmisyjnymi. Lecz nie jest to równoważność, gdyż należy pamiętać o funkcjach jakie muszą być realizowane aby można było mówić o łączu.

Przy takim ujęciu pojęcia łącza, rozważane wcześniej pojęcie linii abonentkiej jest też łączem, które zrealizowane jest wyłącznie z medium transmisyjnego oraz zakończenia (wyposażenia) w węźle.

Podsumowując

możemy powiedzieć, że przez łącze między dwoma węzłami (elementami) sieci telekomunikacyjnej będziemy rozumieli jednostkę funkcjonalno – logiczną, która może być wykorzystana do zrealizowania jednego połączenia tych dwóch elementów oraz może być indywidualnie sterowana i zarządzana.

Cechy tego łącza decydują o tym z jakim połączeniem mamy do czynienia. Zatem znaczenie tego pojęcia jest zależne od kontekstu i miejsca w którym jest stosowane i dopiero to daje pełne znaczenie tego pojęcia.

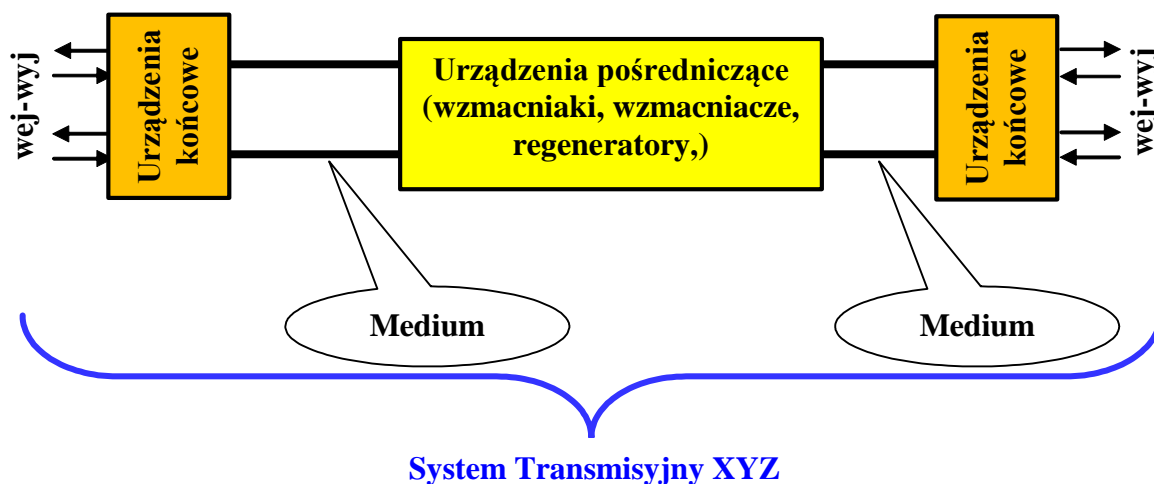
Jeżeli dodatkowo uwzględnimy określone cechy to możemy wyróżnić różne rodzaje (typy) łącz. Na przykład:

- **w zależności od medium** jakie wykorzystujemy dla realizacji łącza mówimy o łączach: radiowych, przewodowych (miedzianych, metalicznych), światłowodowych, satelitarnych,
- **w zależności od techniki** mamy łącza: analogowe i cyfrowe,
- **w zależności od kierunku zajmowania łącza** mamy łącza: jednokierunkowe (może być zajmowane tylko z jednego końca), dwukierunkowe (może być zajmowane z obu końców),
- itp.

Proszę zauważyć, że nawet przy omawianiu określenia łącza używaliśmy określenia **system transmisyjny**. Zatem mimo woli nasuwa się pytanie co należy pod tym określeniem rozumieć aby nie popełnić błędu niejedno-

znaczności. Otóż powiedzieliśmy, że dla zrealizowania połączenia między dwoma punktami konieczne jest łącze. Do tego celu niezbędne jest medium i urządzenia, które zapewnią poprawne przekazywanie informacji przy pomocy sygnałów. Potrzeba minimalizacji kosztów i tym samym maksymalizacji wykorzystania zasobów spowodowała wprowadzenie rozwiązań technicznych i technologicznych umożliwiających realizację większej liczby łączy. Rozwiązania te mogą różnić się między sobą w zależności od tego jakie zastosowano medium, jak współdzielili się zasoby medium, jaką zastosowaną technikę, itd.

Zatem proszę zauważyć, że dokładniejszy (bardziej szczegółowy opis) zawiera znacznie więcej informacji dotyczących realizacji określonego rozwiązania niż słowo linia czy słowo łącze. To **wszystko razem** wzięte wraz z wymienionymi szczegółami określa się mianem **systemu transmisyjnego**.



Przypomnijmy **przykłady** systemów transmisyjnych:

- system PCM30/32,
- system PDH,
- system SDH, np. STM1, STM4, itd.,
- system WDM,
- system DWDM.

Zatem mówiąc o **systemie transmisyjnym** mamy na myśli **całościowe ujęcie** zagadnień i rozwiązań obejmujących transmisję (przenoszenie) sygnałów telekomunikacyjnych między dwoma punktami połączonymi systemem transmisyjnym (jego urządzeniami i medium).

Oczywiście w praktyce system transmisyjny może być projektowany i produkowany przez różne firmy w postaci urządzeń łączonych poprzez medium. Produkty różnych firm tego samego systemu transmisyjnego to ten

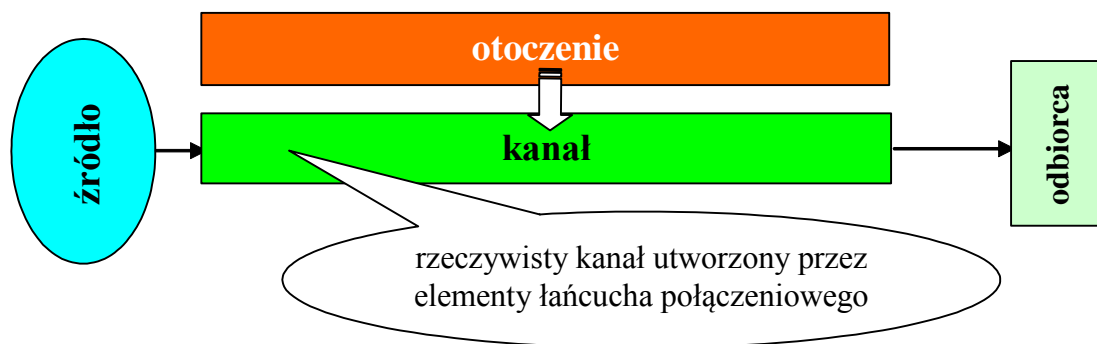
sam system transmisyjny, np. system SDH STM1 firmy Siemens oraz firmy Alcatel to po prostu system SDH STM1.

Co więcej produkty różnych firm tego samego systemu transmisyjnego muszą ze sobą współpracować. Dlatego w telekomunikacji tak ważny jest problem standaryzacji.

Kolejnym określeniem używanym w telekomunikacji jest kanal. Słowo to używane jest w różnych kontekstach, np. bardzo często mówimy, że szczelina czasowa w systemie PCM30/32 jest kanałem, albo w systemie GSM mamy kanał radiowy a tak naprawdę w tym kanale radiowym mamy multipleksację FDM i TDM a jednocześnie każdą ze szczelin też nazywamy kanałem, itp. **Zatem co to jest kanał?**

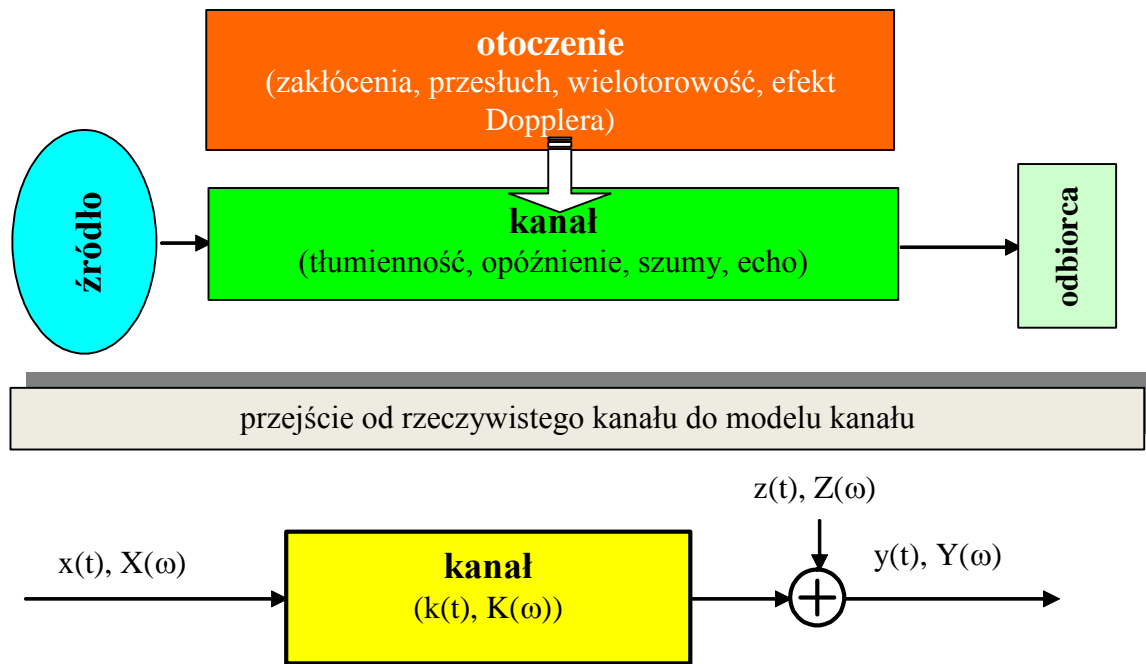
Mówimy, że zasadniczym celem realizacji połączenia jest utworzenie kanału(ów) między terminalami (źródłem i odbiorcą informacji) o właściwościach dostosowanych do potrzeb usługi telekomunikacyjnej. Jeżeli przypomnimy sobie definicję usługi i telekomunikacji to z tych definicji wynika, że to dostosowanie dotyczy sygnałów i kanału(ów).

Jest to zatem opis i charakterystyka na poziomie sygnałów czyli na poziomie fizycznym.



Oczywiście kanal ten jest realizowany w oparciu o zasoby sieci telekomunikacyjnej (elementy sieci) takie jak np.: linie, łącza czy węzły, tworzące łańcuch połączeniowy. W elementach tych są wykonywane różne operacje (funkcje) na sygnale pochodzącym ze źródła, który musi dotrzeć do odbiorcy i przenieść informację wygenerowaną w źródle w obecności otoczenia kanału. Pojęcie to wprowadzono także dlatego aby można było opisać analitycznie zjawiska związane z przenoszeniem sygnałów poprzez różne elementy łańcucha połączeniowego.

Zatem słowa kanał używa się w dwóch znaczeniach: rzeczywistym i teoretycznym.



W pierwszym przypadku jest to opis wykorzystanych zasobów do jego utworzenia oraz wynikających stąd własności sygnałowych, natomiast w drugim przypadku jest to model teoretyczny mający wystarczająco dobrze odzwierciedlać własności sygnałowe w celu analitycznego opisu (ilościowo - jakościowego) przenoszenia sygnału.

Tworzone są więc modele kanału w zależności od tego jakie mamy medium transmisyjne, jakie mamy otoczenie, jakie mamy systemy transmisyjne oraz jaki wpływ mają także węzły.

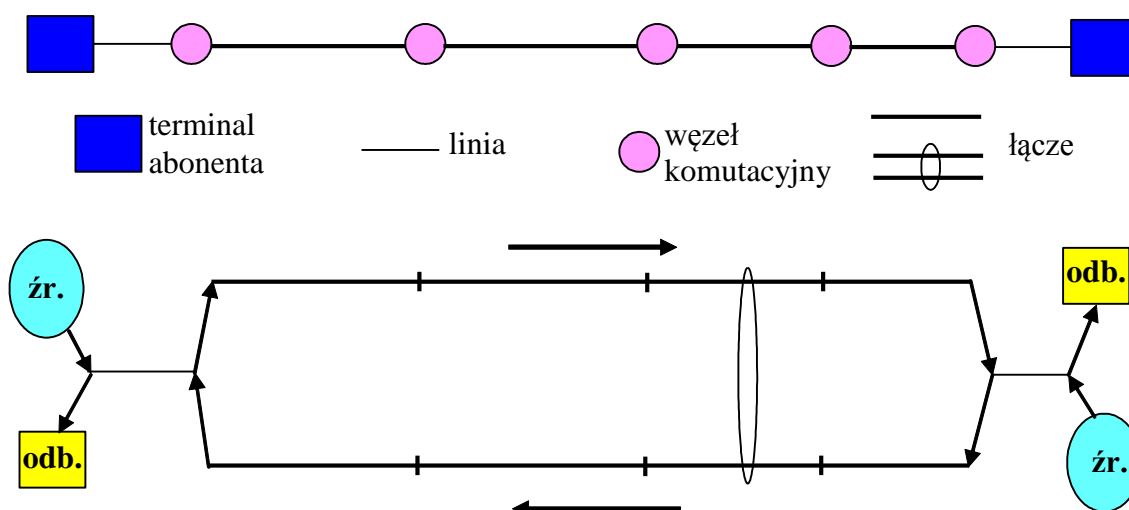
Podaliśmy więc bardzo ogólną definicję kanału w odniesieniu do realizacji usługi telekomunikacyjnej ale jest ona słuszna dla dowolnego połączenia źródła informacji z jej odbiorcą.

Jeżeli spojrzymy na kanał w rozważanym przypadku to na ten kanał składa się szereg zasobów tworzących połączenie. Każdy z elementów tego szeregu (łańcucha) można rozpatrywać jako kanał cząstkowy. Na przykład linia abonencka jest też kanałem w którym źródłem informacji jest terminal abonenta, a jej odbiornikiem jest wyposażenie abonenckie w węźle. Podobnie każde łącze biorące udział w tworzeniu drogi połączeniowej jest też kanałem. Dla łącza źródłem informacji jest wyposażenie będące na początku łącza a odbiorcą jest wyposażenie będące na końcu łącza.

Zauważmy dodatkowo, że łącza mogą być zrealizowane w różnej technolo-

gii co oznacza, że kanały cząstkowe (składowe) mogą mieć różne właściwości, a właściwości kanału między terminalami obu abonentów są wypadkową właściwości tych kanałów cząstkowych.

Pozostaje jeszcze ustosunkowanie się co do wpływu i udziału węzła na właściwości kanału. Otóż aktualne rozwiązania tych węzłów są takie, że z praktycznego punktu widzenia węzły te (poza optycznymi) nie wnoszą lub dokładniej mówiąc nie degradują w istotny sposób właściwości kanału (jedynie funkcja buforowania w węźle wpływa na czas opóźnienia). Dlatego też węzły w rozważaniach teoretycznych (modelach kanału) nie są brane pod uwagę. Możemy więc przedstawić z punktu widzenia kanału następujące odwzorowanie zasobów na kanał. Przy czym należy pamiętać, że kanał z samej definicji jest jednokierunkowy, a połączenia są na ogół dwukierunkowe. Zatem dla opisu połączenia musimy rozważać dwa kanały, po jednym w każdym kierunku. Kanały te mogą mieć oddzielne, częściowo wspólne lub wspólne zasoby. Zależy to od praktycznej realizacji łączy i węzłów (patrz rozważania na poprzednich zajęciach).



Podobnie jak przy łączach tak i tu w zależności od wykorzystanego medium możemy mówić o kanał: przewodowych, radiowych, światłowodowych, naziemnych, satelitarnych. W praktyce dla realizacji połączenia kanał jest tworzony przy wykorzystaniu różnych mediów, urządzeń transmisyjnych i węzłów. Zatem jest on złożeniem różnych rodzajów (typów) kanałów cząstkowych.

Przykładowe kanały i ich podstawowy parametr - pasmo lub przepływność:

- kanał **telefonii analogowej** (usługa mowa) – 3.1kHz (300-3400Hz),
- kanał **telefonii cyfrowej** – 64kbit/s (kanał B),
- kanał **telewizyjny** – 5MHz, 6.5MHz, 11MHz,
- port **szeregowy komputera** – 1200, 2400,...,19600, 115000kbit/s.

Widoczny jest tu jeszcze jeden podział kanałów, wynikający z zastosowanej techniki, na kanały analogowe i kanały cyfrowe.

Dla każdego z nich obowiązuje jedna prosta zasada:

- szerokość pasma przenoszenia kanału analogowego nie może być mniejsza od szerokości widma przesyłanego sygnału,
- przepustowość C kanału cyfrowego nie może być mniejsza od szybkości generowania R_b informacji (strumienia binarnego) ze źródła sygnału cyfrowego.

Innym wymaganiem (wielkością opisującą kanał) jakie musi spełniać kanał jest:

- odpowiednio wysoki stosunek mocy sygnału do mocy szumu i zakłóceń S/N (SNR) na końcu kanału analogowego,
- odpowiednio niska stopa błędów BER (przekłamanych bitów) kanału cyfrowego.

Typowe wartości dla tych wielkości to:

- odstęp od zakłóceń dla kanału telefonii analogowej - > 25 dB (proszę obliczyć moc sygnału szumu i zakłóceń zakładając, że poziom sygnału powinien wynosić 0dBm),
- dopuszczalna stopa błędów BER w kanale telefonicznym – 10^{-3} (który z elementów realizujących kanał tak mocno degraduje ten parametr?).

Dla przykładu osiągnięta stopa błędów BER w łączy światłowodowym wynosi 10^{-9} (dlaczego tu jest tak mała?).

Problem maksymalnej przepływności w kanale Twierdzenie Shannon'a - Hartleya

W latach czterdziestych dwudziestego wieku Shannon prowadził prace dotyczące maksymalnej przepływności binarnych jakie można uzyskać w rzeczywistych kanałach, tzn. z szumami i zakłóceniami. Tymi zagadnieniami zajmuje się Teoria Informacji. Teoria ta, przy przyjętych założeniach co do modeli szumów i zakłóceń, określa wartości graniczne przepływności. Jednakże teoria ta nie podaje zasad konstrukcji i realizacji takich systemów, które osiągałyby te graniczne wartości. Jest zatem pewnym punktem granicznym do którego można odnosić rzeczywiste systemy.

Otóż zgodnie z twierdzeniem Shannon'a - Hartleya w idealnym kanale o paśmie przenoszenia B [Hz], w którym jedyną przyczyną degradacji sygna-

Iu jest szum gaussowski, przepływność C [bit/s] kanału określa zależność

$$C = B \cdot \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right] \quad [\text{bit/s}]$$

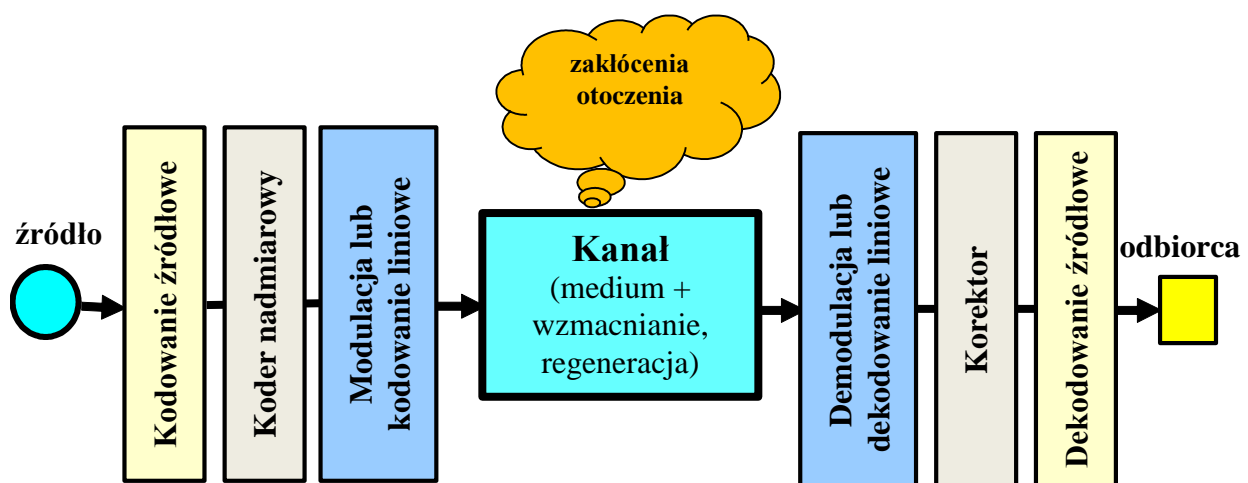
gdzie S/N jest stosunkiem mocy sygnału do szumu na wejściu odbiornika.

Należy tu jednak podkreślić, że w kanale tym teoretycznie możliwa jest bezbłędna transmisja z szybkością C przy zastosowaniu kodowania nadmiarowego.

Zatem w praktyce nie unikniemy błędów i te błędy wyrażamy poprzez BER. Ponieważ zależne jest ono od S/N to wartość BER podajemy dla S/N wyrażonej w dB, np. $\text{BER}=10^{-4}$ przy $S/N=21\text{dB}$ (jeżeli w tym przykładzie S/N wzrośnie do 25dB to co się stanie z BER?).

Zauważmy zatem, że w kanale o określonych właściwościach możemy obniżyć wartość BER lub zmniejszyć S/N stosując odpowiednio dobrane kodowanie nadmiarowe. Oczywiście nie jest to za darmo. Zwiększamy w ten sposób przepływność strumienia, który będzie transmitowany, ponieważ do strumienia źródła dodajemy dodatkowe bity (ten dodatkowy ciąg bitów jest wzajemnie jednoznacznie przyporządkowywany do ciągu ze źródła). Są one po stronie odbiorczej wykorzystywane do wykrywania i korygowania błędów, które miały miejsce podczas transmisji.

Możemy więc zmodyfikować dotychczas określony modelowy zbiór funkcji (patrz poprzednie wykłady) jakie są realizowane pomiędzy źródłem i odbiorcą informacji.



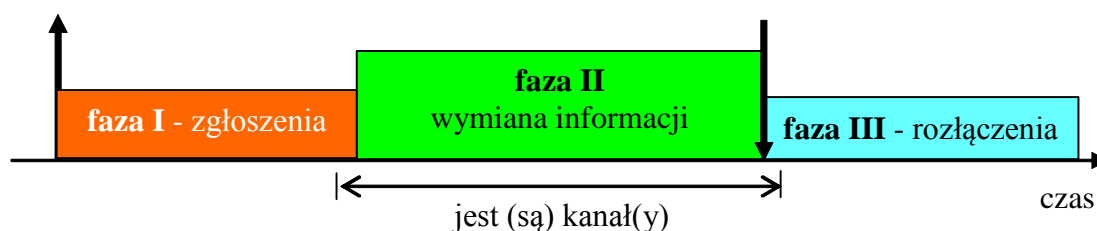
Połączenie telekomunikacyjne

Systemy **zorientowane połączeniowo**
oraz
systemy **zorientowane bezpołączeniowo**

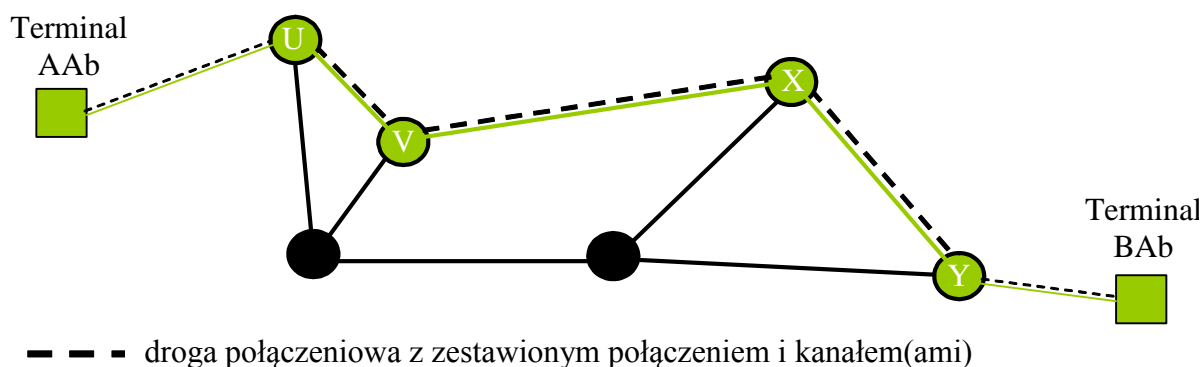
Abonent żąda usługi, którą ma udostępnić sieć TKM. Aby to było możliwe to sieć powinna, jeżeli tylko są zasoby w sieci, zestawić połączenie, które jak już wiemy tworzy kanał(y) między terminalami abonenta żądającego i żądanego. Po zakończeniu wymiany informacji (wiadomości) musi nastąpić likwidacja kanału(ów) czyli zwolnienie zasobów, które mogą być natychmiast wykorzystane do realizacji następnych nowych połączeń.

Ten ogólny opis **przebiegu obsługi** abonenta żądającego usługi pozwala na wyróżnienie **trzech faz** obsługi:

- faza I – zgłoszenia, żądania usługi i jej sprecyzowania, utworzenia połączenia od końca do końca (kanał(y) od końca do końca),
- faza II – połączenia, wymiany informacji,
- faza III – rozłączenia, zwolnienia zasobów.



nie zachowano proporcji czasowych poszczególnych faz
na ogół zachodzi: $\text{czas}(\text{faza II}) \gg \text{czas}(\text{faza I}) \gg \text{czas}(\text{faza III})$

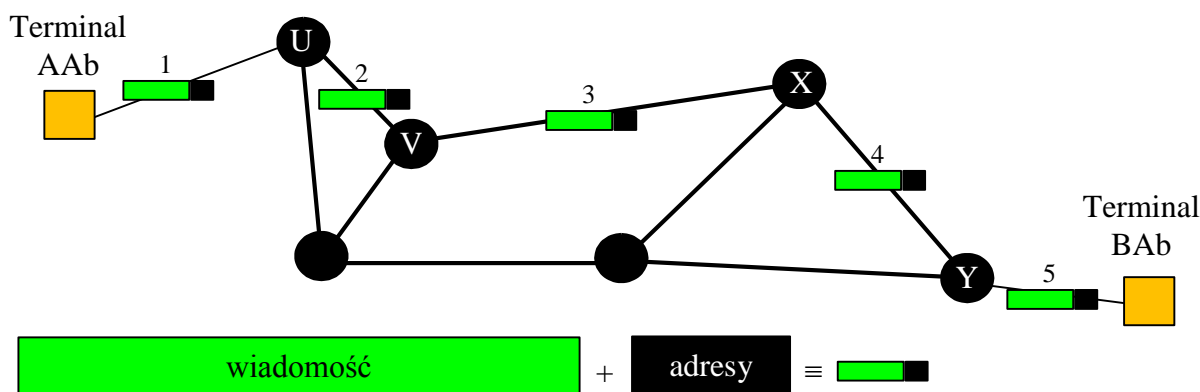


Ten sposób obsługi, udostępniania usługi, nazywany jest sposobem zorientowanym połączeniowo, a sieć która to realizuje siecią zorientowaną połączeniowo (connection oriented). Połączenie musi być zrealizowane od końca do końca, zanim rozpocznie się wymiana informacji. **Co więcej** aby można było przejść do fazy drugiej musi nastąpić zgłoszenie się terminala abonenta żadanego i potwierdzenie udziału w wymianie informacji.

Taki sposób postępowania został podyktowany tym iż sieć telekomunikacyjna dostarcza usług czasu rzeczywistego, a to wymaga jednoczesnej obecności w stanie aktywnym obu terminali biorących udział w połączeniu.

W dotychczas przeprowadzonych rozważaniach zakładaliśmy, że mamy do czynienia z tego typu siecią telekomunikacyjną. Jednakże nie jest to jedyny sposób realizacji wymiany informacji (wiadomości) między terminalami abonentów poprzez sieć.

Innym przeciwnym podejściem jest sposób, który wzoruje się na rozwiązaniu stosowanym przez pocztę, tzn. przesyłaniu listów. Abonent na swoim urządzeniu końcowym (terminalu) przygotowuje wiadomość, zaopatrzuje w adres sieciowy abonenta żadanego oraz umieszcza także swój adres sieciowy, a następnie wysyła tak przygotowaną wiadomość. Wiadomość ta poprzez linię (łącze) dostępu do węzła dostępowego (pierwszy węzeł w drodze) dociera do tego węzła. W węźle tym następuje odbiór i zapamiętanie wiadomości a następnie analiza adresu i określenie kolejnego węzła (a tym zbioru łączy) do którego należy wysłać tą wiadomość aby mogła ona dotrzeć do adresata. Czynności te powtarzane są kolejno w każdym węźle na drodze do adresata. W ostatnim węźle następuje przekazanie, jeżeli jest to możliwe, wiadomości do urządzenia końcowego (terminala). Gdy nie jest to możliwe wiadomość ta jest pamiętana w węźle końcowym i abonent będzie mógł ją w odpowiednim dla siebie czasie odczytać (odebrać) tą wiadomość. W ten sposób pracująca sieć nazywana jest siecią (systemem) zorientowaną bezpołączeniowo (connectionless oriented), a udostępniane usługi usługami bezpołączeniowymi. Jak widać **mamy tu tylko fazę wymiany wiadomości** między węzłami sieci. Zauważmy, że ten sposób realizacji wymiany informacji zajmuje dany zasób tylko w chwili, gdy na nim jest aktualnie realizowane przesyłanie informacji (wiadomości). Zatem jest znacznie lepsze wykorzystanie zasobów niż w przypadku sieci zorientowanej połączeniowo w której zasoby są zajęte na cały czas trwania połączenia, niezależnie od tego czy przesyłamy czy też nie przesyłamy informację (wiadomości).



Jak to pokazano na rysunku informacja (wiadomość) między terminalami jest przesyłana w pięciu etapach:

1. z Terminal AAb do węzła U,
2. z węzła U do węzła V,
3. z węzła V do węzła X,
4. z węzła X do węzła Y,
5. z węzła Y do Terminal BAb,

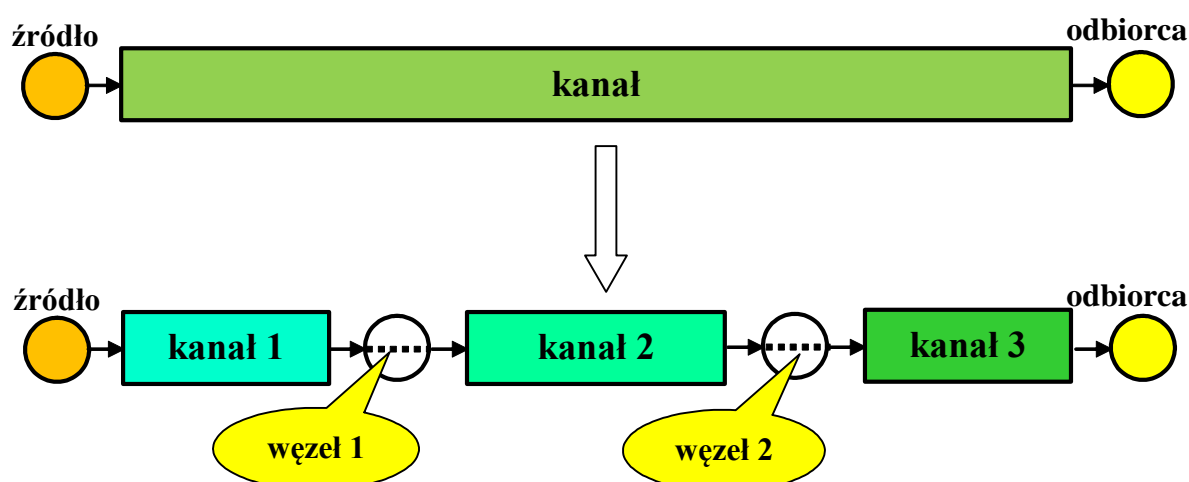
przy czym łącze w każdym z tych etapów jest zajmowane tylko podczas przesyłania informacji (wiadomości). Na przykład w czasie, gdy jest realizowany etap 3 to na łączu między węzłem U i V, na którym była przesyłana informacja (wiadomość), która jest teraz na etapie 3, może być przesyłana inna informacja (wiadomość).

Ponieważ nie ma zestawiania połączenia to tym samym brak jest rozłączenia połączenia. Nie ma więc rezerwacji zasobów (łączy) i są one współużywalne przez przesyłane wiadomości. **Konieczna** jest więc realizacja **funkcji buforowania** wiadomości w węzłach sieci aby zmniejszyć prawdopodobieństwo jej straty (dlaczego to zjawisko może mieć miejsce?). Oczywiście buforowanie wprowadza **dodatkowe opóźnienie** w przenoszeniu wiadomości przez sieć. Jest to koszt jaki ponosimy za **lepsze wykorzystanie zasobów** sieci, w tym przypadku łączy, rezygnując jednocześnie być może z cechy czasu rzeczywistego tej sieci.

Komutacja kanałów, wiadomości i pakietów

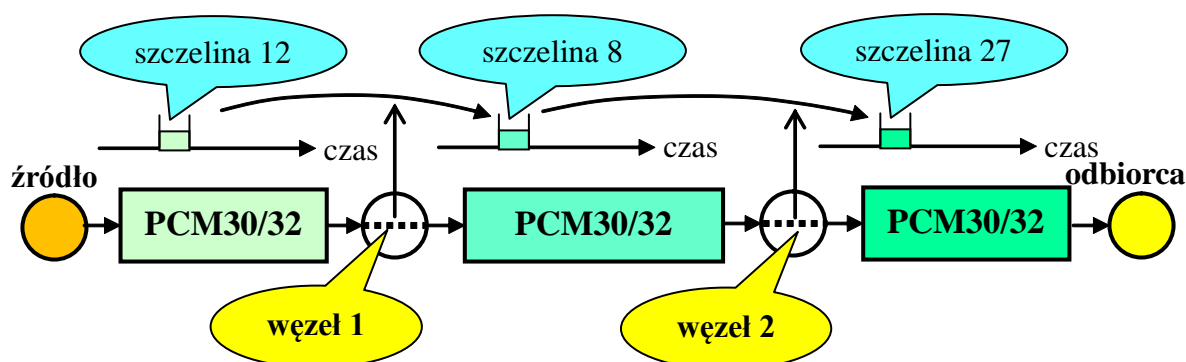
Przy charakteryzowaniu połączenia telekomunikacyjnego skupiliśmy uwagę na tym jak zasoby sieci (jej elementy) są brane do jego realizacji na drodze od terminala abonenta żądającego usługi do terminala abonenta żądanego. Charakteryzuje ona połączenie na poziomie sieci. Uzyskana klasyfikacja jest ogólna i nie uwzględnia techniki wykorzystywanej do samego przekazu informacji od jednego do drugiego punktu sieci. Samo **przekazywanie informacji** w postaci sygnału **odbywa się w kanale**. A ten **kanal może być zrealizowany na różne sposoby** patrząc z punktu widzenia pary terminal - terminal czyli inaczej mówiąc od końca do końca.

Przypomnijmy sobie, że **kanal tworzą elementy łańcucha połączeniowego i są nimi łącza i węzły**. Z punktu widzenia przekazywania informacji z jednego terminala do drugiego terminala musimy mieć kanał jako całość. Jednakże uwzględniając fakt istnienia elementów łańcucha możemy powiedzieć, że funkcja przesyłania sygnałów niosących informację odbywa się w łączach. Zatem z tego punktu widzenia węzeł jest elementem pośredniczącym realizującym **funkcję łączenia między tymi łączami**. Ta funkcja łączenia **może być realizowana na różne sposoby w zależności od zastosowanej techniki jej realizacji**. Jednocześnie ta technika może powodować, że nasz kanał zostanie faktycznie zrealizowany jako łańcuch kanałów składowych (kanałów cząstkowych).



Jeżeli węzeł dokonuje komutacji (łączenia) na poziomie sygnałów a nie informacji i zasoby są przydzielane tylko na użytek tego połączenia i na czas trwania połączenia to mówimy o komutacji kanałów (z ang. circuit switching i dlatego czasami mówi się w języku polskim o komutacji obwodów ale poprawna nazwa to komutacja kanałów). Taki sposób komutacji stosowany

jest w klasycznej (tradycyjnej) sieci telekomunikacyjnej stosującej STM (Synchronous Transfer Mode). Na **przykład** weźmy jako sposób realizacji kanału **system PCM30/32 i węzły**, które potrafią komutować dowolne szczeliny tego systemu na swoim wejściu z dowolnymi szczelinami systemu na wyjściu. Wówczas poprzedni rysunek możemy przerysować następująco.



Na cały czas trwania połączenia, tzn. fazy drugiej, **zajęte są następujące zasoby**: szczelina 12 w systemie PCM30/32, komutacja w węźle 1 szczeliny 12 wejściowego systemu PCM30/32 z szczeliną 8 wyjściowego systemu PCM30/32, szczelina 8 w systemie PCM30/32, komutacja w węźle 2 szczeliny 8 wejściowego systemu PCM30/32 z szczeliną 27 wyjściowego systemu PCM30/32, szczelina 27 w systemie PCM30/32. Zasoby te zostały zajęte i połączone w fazie pierwszej. Są one dostępne tylko i wyłącznie dla tego połączenia tak długo jak długo trwa faza druga. Zostaną rozłączone i zwolnione w fazie trzeciej.

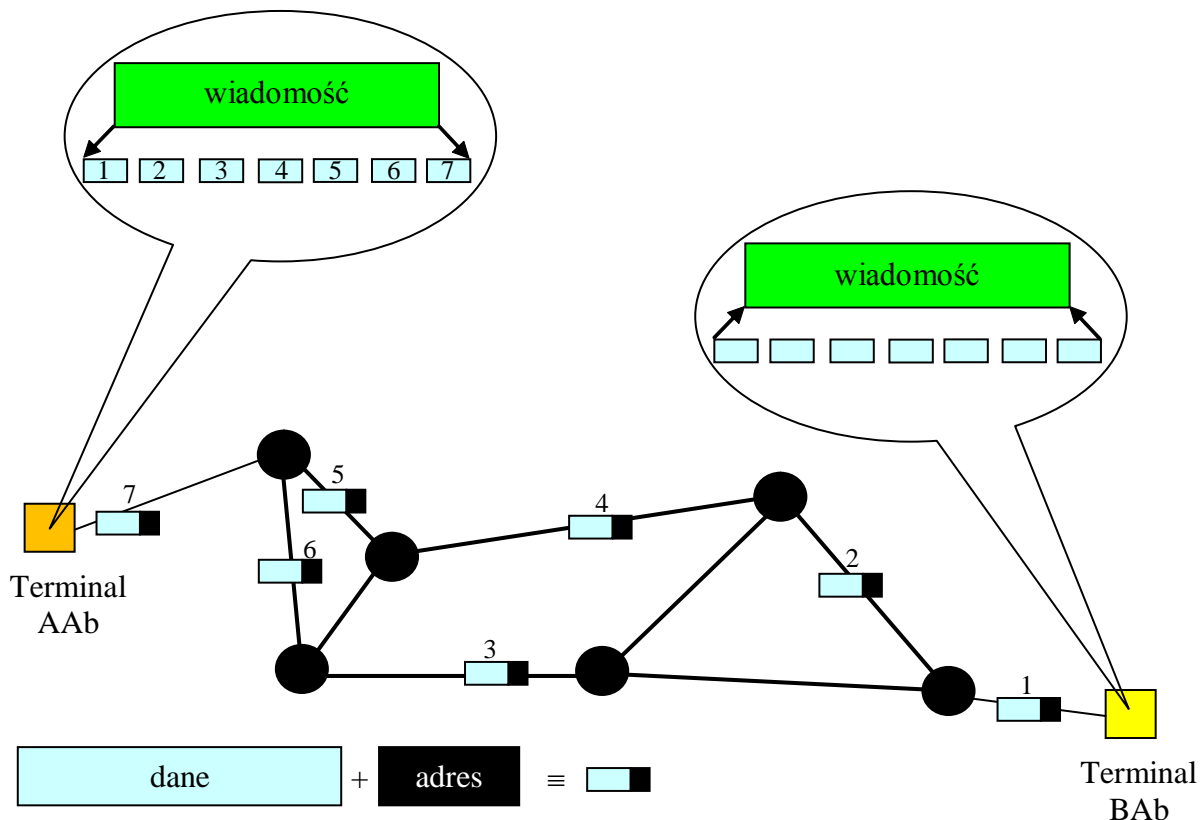
Zauważmy, że **zasoby realizują swoje funkcje niezależnie od tego czy źródło wysyła czy też nie wysyła informacji**. Zatem ich stopień wykorzystania jest zależny od źródła informacji. Jest to cecha komutacji kanałów, która nieodłącznie jest związana z sieciami zorientowanymi połączeniowo.

Tą cechę komutacji kanałów można usunąć przez wprowadzenie **komutacji wiadomości**, która to z kolei jest związana z sieciami zorientowanymi bezpołączeniowo. W ten sposób unika się zajmowania zasobów w całej drodze prowadzącej od źródła informacji do jej odbiorcy, a jedynie **zajmuje się zasoby na sam czas przesyłania informacji w łączy lub czas jej gromadzenia (buforowania) w węźle**. Jakie są skutki błędów w kanale (łączy) dla tego rodzaju komutacji i jak można je ograniczyć?

Istota tej komutacji została wytłumaczona przy omawianiu systemów (sieci) zorientowanych bezpołączeniowo. **Czy ten typ komutacji spełnia wymagania jakie muszą spełniać lub jakich się oczekuje od sieci telekomunikacyjnej?**

Wiadomości mogą mieć różną długość zależną od nadawcy tej wiadomości. Z punktu widzenia pracy sieci i węzłów sytuacja ta jest niekorzystna ponieważ uniemożliwia maksymalizację wykorzystania zasobów sieci i ich optymalne sterowanie (dlaczego tak jest?).

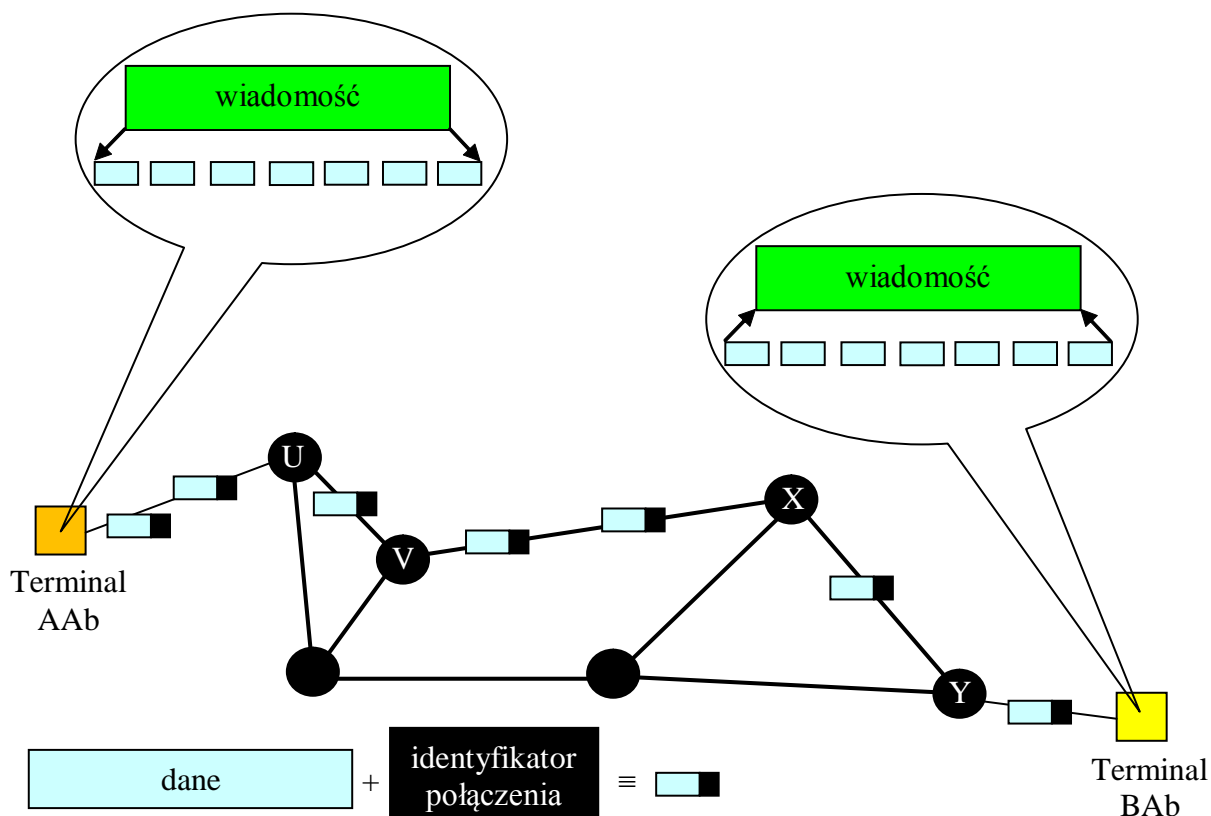
Z tego to powodu została wprowadzona komutacja pakietów w której wiadomość dzielona jest na mniejsze części o jednakowej długości nazywane pakietami i każdy pakiet w sieci traktowany jest jako niezależny i obsługiwany w ten sposób aby dotarł do odbiorcy informacji. Podział różnych wiadomości w różnych miejscach sieci na pakiety może tworzyć pakiety różnej długości. Oczywiście takie podejście rodzi nowe problemy związane z podziałem wiadomości na pakiety i składaniem pakietów w wiadomość, kolejnością dostarczania pakietów przez sieć do odbiorcy (dlaczego występuje ten problem?), stratą pakietu w sieci (co jest przyczyną straty?), błędami informacji w pakiecie (co jest przyczyną?), itp.



Informacja (wiadomość) jest dzielona na pakiety o stałej długości, a każdy pakiet otrzymuje adres, który jest wykorzystywany przez węzły do kierowania pakietu na odpowiednie łącze międzywęzłowe. W ten sposób pakiety docierają do odbiorcy u którego składane są w kompletną informację (wiadomość). Pakiety mogą być przesyłane różnymi drogami. Zatem jest to sieć (system) zorientowana bezpołączeniowo, podobnie jak komutacja wiadomości.

Przesyłanie pakietów różnymi drogami czyni ten rodzaj komutacji i sieci lepiej dostosowanym do dynamiki zapotrzebowania na zasoby. Ale jest to okupione dużo bardziej złożonymi algorytmami sterowania i tym samym potrzebą większej mocy przetwarzania w węzłach komutacyjnych.

Można uprościć działanie sieci jeżeli zrealizuje się komutację pakietów ale w sieci zorientowanej połączeniowo. Wówczas w pierwszej fazie określana jest droga po której będą przesyłane pakiety i rezerwuje się ale nie zajmuje zasoby. Zasoby zajmowane są tylko podczas przesyłania pakietu. Następuje także przydzielenie identyfikatora połączenia, który będzie dołączany do pakietu (identyfikator na każdym łączu jest inny, zatem węzeł podczas realizacji funkcji komutacji musi także wymienić identyfikator połączenia). Przy czym w odróżnieniu od komutacji kanałów tutaj zasoby nie są przydzielane tylko i wyłącznie do wykorzystania (użytkowania) przez konkretne połączenie, a są współużywalne przez wszystkie połączenia zestawione na tych zasobach.



Proszę zauważyć, że komutacja pakietów w sieci zorientowanej połączeniowo rozwiązuje problem kolejności pakietów. Dla tego typu komutacji oczywiście po fazie drugiej, tzn. wymiany pakietów, ma miejsce **faza trzecia czyli rozłączenia w której zwalniane są zasoby i identyfikatory połączeń**. Jak

zatem należy rozumieć zwalnianie zasobów – czyli wcześniej, tzn. w pierwszej fazie było ich zajmowanie a dokładnie mówiąc ich rezerwowanie - przy współużywalności?

Jedną z nowszych [odmian komutacji pakietów](#) w sieci zorientowanej połączeniowo opracowaną i wdrożoną w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku jest [komutacja komórek](#) ([cell switching](#)), stosowana w technice ATM (Asynchronous Transfer Mode). Komórka ma stałą długość wynoszącą 53 bajty z czego 5 bajtów tworzy nagłówek wykorzystywany dla celów sterowania (między innymi tam zawarty jest identyfikator połączenia określany jako VPI – Virtual Path Identifier i VCI - Virtual Channel Identifier). Technika ta w odróżnieniu od typowej komutacji pakietów jest uniwersalną platformą dla wszelkiego rodzaju usług szerokopasmowych i gwarantuje dowolną jakość usług.

Struktura sieci telekomunikacyjnej i adresacja

Dotychczas rozważaliśmy sieć telekomunikacyjną jako system wymiany informacji między abonentami tej sieci telekomunikacyjnej. Stwierdziliśmy, że sieć ta musi spełniać określone wymagania stawiane przez abonentów i oczekiwane przez operatora sieci. To narzuca z kolei grupy funkcji, które muszą być realizowane przez elementy tworzące tą sieć telekomunikacyjną. Elementy te są ze sobą powiązane tworząc strukturę sieci. Pewne cechy tej struktury już zostały omówione w kontekście wyjaśniania zagadnienia minimalizacji kosztów sieci, a dokładnie mówiąc przy maksymalizacji wykorzystania mediów transmisyjnych. Pozostał tu jeszcze problem minimalizacji kosztów związany z węzłami komutacyjnymi i realizacją połączeń. Ale o tym będziemy mówili w innym miejscu wykładanego materiału.

Jak już **zdażyliśmy się zorientować** sieć telekomunikacyjna jest bardzo dużym systemem, tzn. posiada dużą liczbę abonentów, jest na dużym obszarze przestrzennym, zbudowana jest z dużej liczby elementów sieciowych.

Fakt ten rodzi pytanie: Jaka powinna być struktura tej sieci?

Otóż odpowiedź na to pytanie została ugruntowana przez fakt iż jest to bardzo duży system czasu rzeczywistego oraz w wyniku takiego a nie innego rozwoju historycznego sieci telekomunikacyjnej.

W sposób naturalny została narzucona struktura hierarchiczna sieci telekomunikacyjnej w której wyróżniono trzy płaszczyzny:

- miejscowa – realizująca połączenia między abonentami w obrębie bliskich sobie miejscowości; nazywana jest też płaszczyzną strefową,
- miedzymiastowa – wykorzystywana do realizacji połączeń między abonentami należącymi do różnych obszarów pierwszej płaszczyzny,
- miedzynarodowa – wykorzystywana do realizacji połączeń między abonentami znajdującymi się w obrębie różnych krajów.

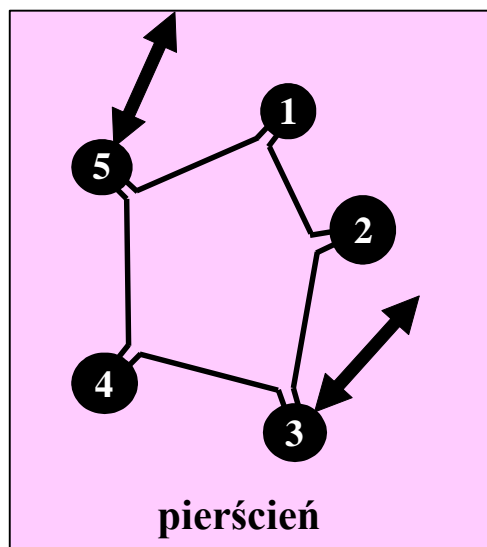
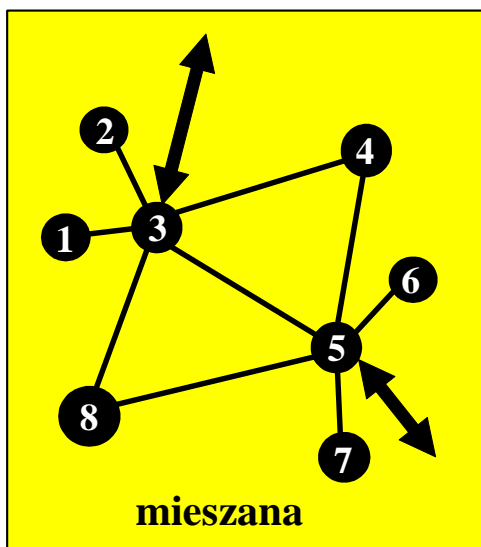
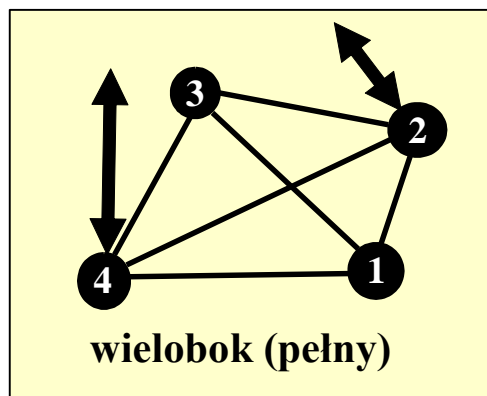
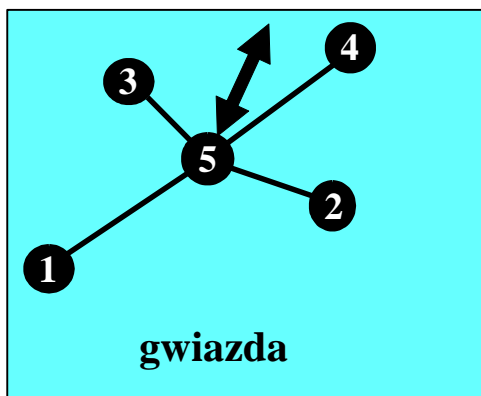
Obszar(y) sieci w każdej z tych płaszczyzn ma(ją) na ogół strukturę płaską (niehierarchiczną). Struktura połączeń w ramach obszaru może być różnego typu i wpływ na to ma szereg czynników, jak np.:

- historia rozwoju sieci,
- struktura rozmieszczenia ludności,
- warunki ekonomiczne,
- struktura zapotrzebowania na usługi,
- plany rozwoju.

Typowymi strukturami sieci w ramach obszaru (płaszczyzny) są:

- ✓ gwiazda,
- ✓ wielobok (niepełny, pełny),
- ✓ mieszana,
- ✓ pierścień.

Przedstawiono je na kolejnych rysunkach. Przy czym zaznaczono tylko strukturę na poziomie węzłów komutacyjnych i łączy międzywęzłowych.



↔ łączy do innych obszarów, płaszczyzn

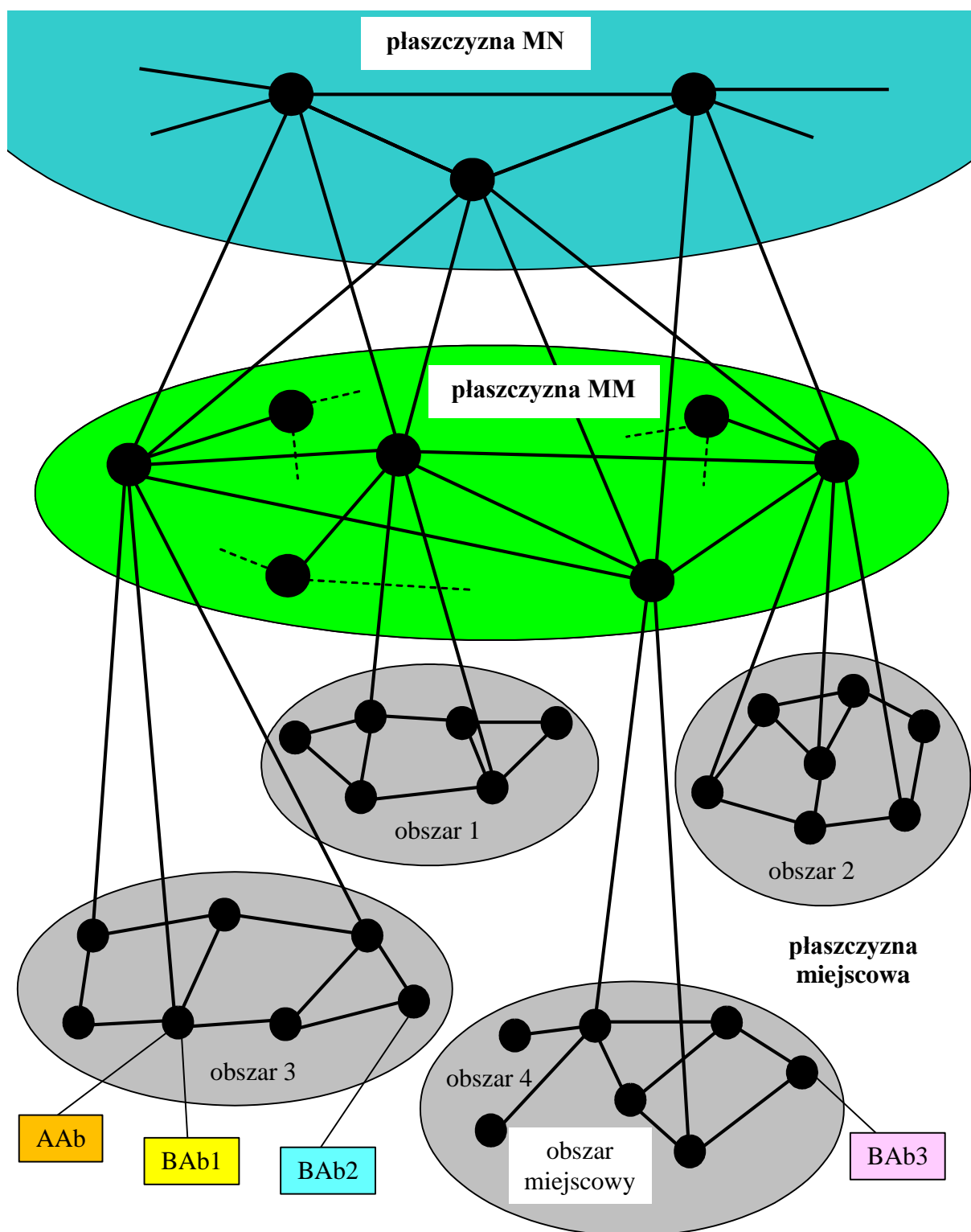
Na kolejnym rysunku przedstawiono przykładową sieć telekomunikacyjną z jej trzema płaszczyznami: miejscowa (cztery obszary), międzymiastowa (MM) i międzynarodowa (MN).

Oczywiście płaszczyzny te są wydzielone ze względu na elementy, które tworzą te płaszczyzny. Przestrzennie elementy te znajdują się na określonych obszarach. I tak każdy z węzłów płaszczyzny międzymiastowej znajduje się na obszarze płaszczyzny miejscowej do której należy i obsługuje. Podobnie jest w przypadku węzłów płaszczyzny międzynarodowej. Na ogół każdy z węzłów międzynarodowych jest zlokalizowany przy jakimś węźle międzymiastowym. Rysunek natomiast został tak wykonany aby można było wyróżnić te płaszczyzny. Faktycznie powinien to być rysunek płaski.

Na rysunku tym pokazano zakończenia abonenckie dla czterech abonentów aby wyjaśnić rodzaje połączeń między abonentami wynikający z hierarchicznej struktury sieci telekomunikacyjnej. Są to terminale abonenckie oznaczone przez AAb, BAb1, BAb2 i BAb3. AAb jest abonentem inicjującym połączenie do pozostałych abonentów. W zależności od tego, gdzie znajduje się abonent wywoływany czyli B abonent (stąd skrót BAb) wyróżniamy trzy podstawowe rodzaje połączeń między abonentami sieci telekomunikacyjnej (proszę mieć na uwadze fakt, że ten podział dotyczy sieci abonentów stacjonarnych a nie sieci abonentów ruchomych o której będziemy mówili na jednym z późniejszych wykładów).

Są to połączenia:

- **miejscowe**:
 - lokalne – AAb z BAb1, obaj abonenci należą do tego samego węzła komutacyjnego,
 - strefowe – AAb z BAb2, obaj abonenci należą do tego samego obszaru miejscowego ale różnych węzłów komutacyjnych w tym obszarze,
- **międzymiastowe** – AAb z BAb3,
- **międzynarodowe** - AAb z nie pokazanym na tym rysunku abonentem B znajdującym się w innym kraju.



Abonent żądający usługi uzyskuje połączenie z innym ściśle określonym abonentem. Sieć telekomunikacyjna musi zatem w jakiś sposób "identyfikować abonentów". Ta "identyfikacja" musi być jednoznaczna i niezależna od struktury każdej z płaszczyzn sieci, stosowanego sprzętu oraz rozwiązań sieciowych.

W związku z tym została wprowadzona numeracja abonentów, a właściwie linii (łącza(y)) do których dołączone są terminale abonenckie, tzn. numer nie jest przypisany abonentowi a linii abonenckiej do której dołączone jest urządzenie końcowe (terminal abonencki). Jest to bardzo ważne bo to oznacza, że węzeł komutacyjny nie jest w stanie rozróżnić czy terminal dołączony do linii abonenckiej jest wykorzystywany przez właściwego abonenta. Konsekwencje takiego rozwiązania są daleko idące z uwagi na możliwość podszywania się i uzyskiwania połączeń na cudze konto.

Takie rozwiązanie jest niedopuszczalne w przypadku sieci abonentów ruchomych w której łącze abonenckie jest zrealizowane w technice radiowej (dlaczego to jest niedopuszczalne w sieci abonentów ruchomych a jest dopuszczalne w sieci abonentów stałych?).

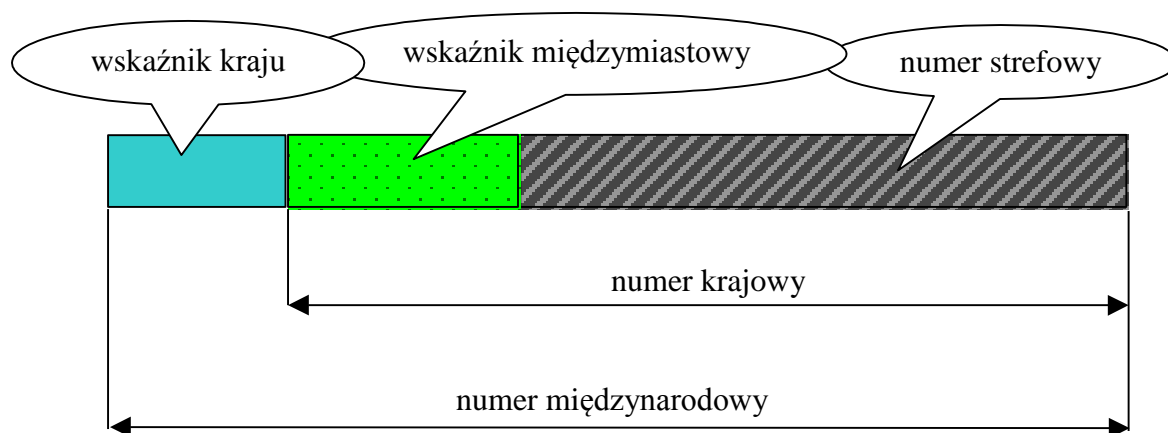
Numeracja ta jest zgodna z zaleceniami ITU-T o numerach E.163 i E.164. System numeracji nazywany jest planem numeracji. Jest on dopasowany do wcześniej omówionej płaszczyznowej i hierarchicznej struktury sieci telekomunikacyjnej.

Abonentowi należącemu do określonego obszaru w płaszczyźnie miejscowej, nazywanego ze względu na numerację strefą numeracyjną, przyporządkowany jest unikalny numer w tej strefie (obszarze) nazywany numerem strefowym. Każda strefa numeracyjna (obszar) ma przypisany wskaźnik międzymiastowy. Wskaźniki te opisują płaszczyznę międzymiastową. Na dzień dzisiejszy numer strefowy i wskaźnik międzymiastowy zostały scalone w jeden numer i jest to numer abonenta. Każdy kraj ma wskaźnik międzynarodowy, zatem opisują one płaszczyznę międzynarodową.

Pełny numer abonenta składa się więc z trzech części, przy czym numer strefowy i wskaźnik międzymiastowy tworzą całość i tworzą obecnie numer abonenta:

- ✓ wskaźnika kraju,
- ✓ wskaźnika międzymiastowego,
- ✓ numeru strefowego.

Proszę zauważyć, że mówimy o numerze a nie adresie. Pojęcie adresu jest szersze niż numeru i obejmuje numer oraz podnumer (podadres). Zostało ono wprowadzone wraz z siecią ISDN. O tym powiemy przy omawianiu sieci ISDN.



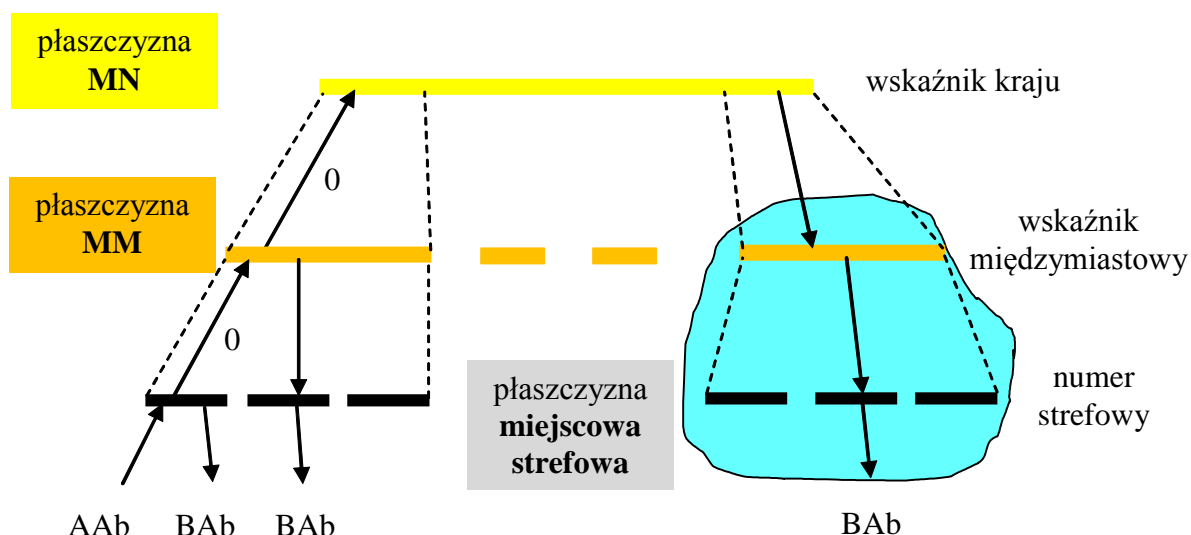
Numery są rozpoznawane i analizowane przez węzły komutacyjne realizujące połączenia między terminalami abonentów. Aby za każdym razem abonent nie musiał podawać pełnego numeru abonenta żadanego, na przykład w sytuacji, gdy obaj abonenci należą do tej samej strefy numeracyjnej lub do tego samego kraju, wprowadzono dodatkowe prefiksy. Informują one o rodzaju połączenia (strefowe, międzymiastowe i międzynarodowe) i tym samym informują jakie części pełnego numeru abonenta zawiera podawany numer.

Kiedyś dla połączeń abonentów należących do tej samej strefy numeracyjnej ten dodatkowy prefiks nie występował.

Z kolei dla połączeń międzymiastowych, tzn. abonentów należących do różnych stref numeracyjnych mieliśmy dodatkowy prefiks „0”,

natomiast dla połączeń międzynarodowych mieliśmy dodatkowy prefiks „0~0”, gdzie ~ oznacza drugi sygnał zgłoszenia. Te dodatkowe prefiksy powodowały kierowanie połączenia do odpowiedniej płaszczyzny sieci telekomunikacyjnej.

Dzisiaj pozostał tylko prefiks międzynarodowy ponieważ prefiks międzymiastowy został scalony z numerem strefowym i tworzy praktycznie numer abonenta.



Zgodnie z obowiązującym planem numeracji w węzłach komutacyjnych pracujących w polskiej sieci telekomunikacyjnej powinny być uwzględnione między innymi następujące rodzaje numerów:

- numery strefowe abonenckie,
- numery strefowe dostępu do służb AUS (Abonenckie Usługi Specjalne) 3 lub 4 cyfrowe w postaci 9XY lub 96XY oraz 112,
- numery krajowe 9 cyfr, składające się z wskaźnika międzymiastowego i numeru strefowego,
- numery międzynarodowe o długości do 15 cyfr, składające się z wskaźnika międzynarodowego i numeru krajowego, poprzedzone prefiksem międzynarodowym „0”.

Przykłady:

- numer strefowy (miejscowy) – 347 27 67; nie jest używany
- numer krajowy – 58 347 27 67
- numer międzynarodowy – 0 48 58 347 27 67

Oczywiście w tym momencie zapytacie Państwo a co to jest prefiks operatora postaci 10XX i jaką rolę pełni on w numeracji abonentów?

Otóż przypomnijmy sobie, że numer abonenta składa się z trzech części które identyfikują go jednoznacznie. Prefiksy 0 wprowadzono w celu uproszczenia skrócenia wybierania.

Nastąpiła demonopolizacja rynku telekomunikacyjnego i w płaszczyźnie międzymiastowej dopuszczono kilku operatorów i każdy abonent ma prawo wyboru sieci na poziomie międzymiastowej. To spowodowało konieczność

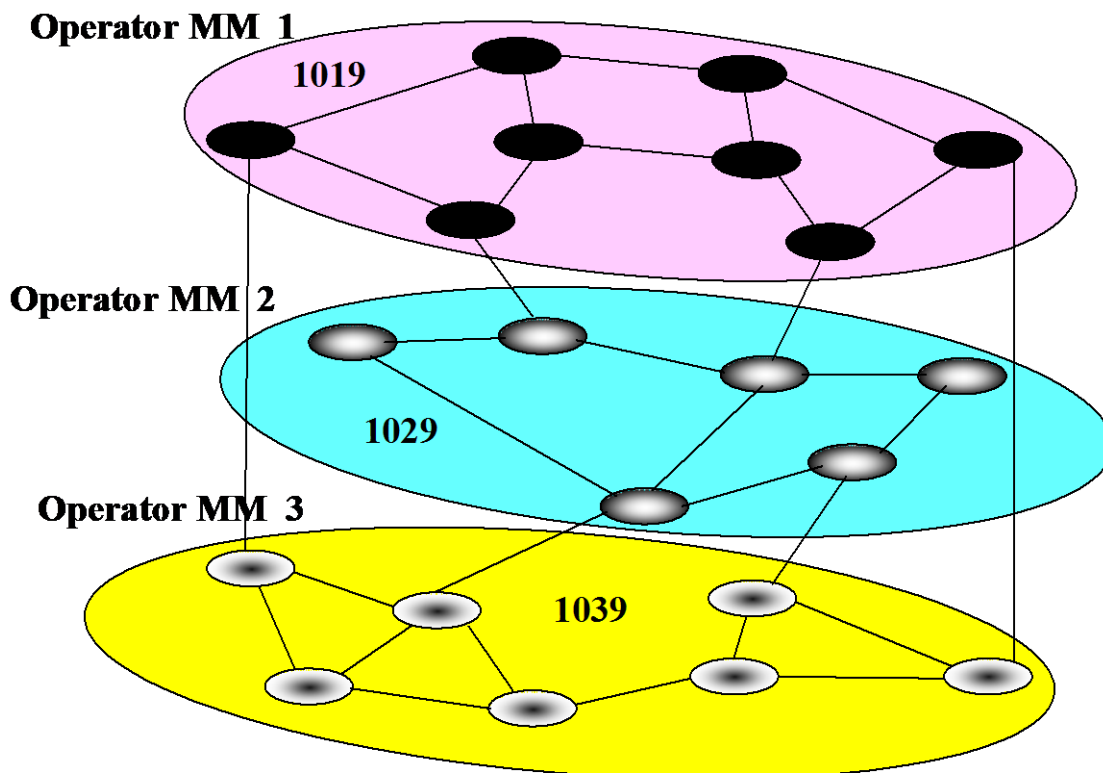
wprowadzenia dodatkowego prefiksu umożliwiającego wybór dowolnej płaszczyzny międzymiastowej. Stąd pojawił się prefiks 10XX.

(Ponieważ w płaszczyźnie miejscowej już wcześniej mogli prowadzić działalność inni operatorzy to proszę się zastanowić jaki to miało wpływ na numerację i strukturę sieci telekomunikacyjnej.)

Zatem ten dodatkowy prefiks, podobnie jak prefiks 0, nie należą do numeru abonenta. Te prefiksy umożliwiają abonentowi poruszanie się po odpowiednich fragmentach sieci należących do różnych operatorów sieci. Zatem poprzedni rysunek sieci telekomunikacyjnej w płaszczyźnie międzymiastowej musi być uzupełniony o sieć każdego z operatorów międzymiastowych, które muszą być między sobą połączone. Jednakże z punktu widzenia samej sieci telekomunikacyjnej nie wnosi to istotnych zmian do tej sieci. Oczywiście sterowanie węzłów komutacyjnych tej płaszczyzny musi być uzupełnione o dodatkowe dane aby mogło, po analizie prefiksu operatora MM, właściwie kierować połączeniami międzymiastowymi w tej płaszczyźnie.

Przedstawiając obrazowo tą sytuację można powiedzieć, że płaszczyzna międzymiastowa uległa rozwarstwieniu i mamy tyle warstw ilu jest operatorów międzymiastowych. Warstwy te muszą mieć między sobą styk(i) czyli połączenia. Proszę jednocześnie zauważyć, że fakt bycia operatorem międzymiastowym nie narzuca obowiązku posiadania płaszczyzny miejscowej, czyli posiadania własnych abonentów.

Na kolejnym rysunku pokazano to rozwarstwienie płaszczyzny międzymiastowej.



Czy z takiego rozwiązania wynika jednoznacznie miejsce lokalizacji prefiksu przy wybieraniu? Proszę się zastanowić także nad kosztami połączenia i rozliczeniami między operatorami za realizowane połączenie a liczbą i miejscem styków między sieciami operatorów międzymiastowych.

Podobną sytuacja z rozwarstwieniem będzie [w płaszczyźnie międzynarodowej](#) z chwilą większej liczby operatorów międzynarodowych czyli demopolizacji rynku usług międzynarodowych.

Sterowanie połączeniem na poziomie sieci i węzła

Aby można było zrealizować przekazywanie - przenoszenie informacji między stykami sieci telekomunikacyjnej konieczne jest zrealizowanie połączenia, poprzez wykorzystanie elementów tworzących sieć telekomunikacyjną. W najogólniejszym ujęciu elementami tymi są: linie (łącza) abonenckie, łącza międzywęzłowe oraz węzły. Elementy te znajdują się na określonej drodze połączeniowej DP. Mówimy także, że ciąg tych elementów tworzy tak zwany łańcuch połączeniowy. Zauważmy, że między dwoma stykami sieci może być więcej niż jedna droga połączeniowa a co więcej w ramach tej samej drogi dla realizacji konkretnego połączenia możemy dokonać wyboru z większej liczby elementów. Na przykład między bezpośrednio połączonymi i -tym i j -tym węzłem mamy zbiór łączy z którego wybieramy jedno łącze.

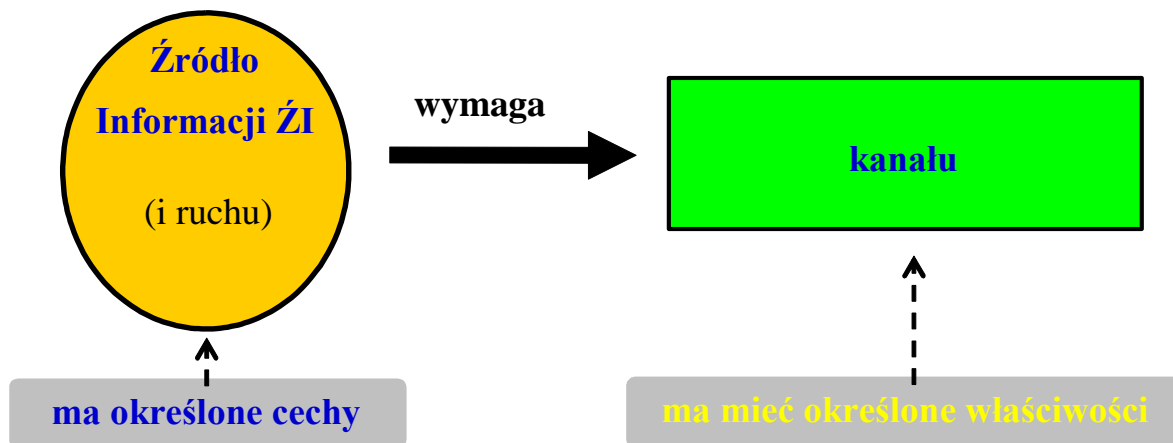
Wybrane na drodze połączeniowej zasoby tworzą kanał(y) dla przenoszenia informacji między stykami sieci telekomunikacyjnej od źródła do odbiorcy informacji.

Dla zestawienia połączenia czyli wyboru drogi połączeniowej a w niej elementów tworzących połączenie konieczna jest funkcja sterowania. Jej realizacja wymaga także przenoszenia informacji sterujących między węzłami komutacyjnymi. W tym przypadku jest to informacja niezbędna dla realizacji funkcji sterowania.

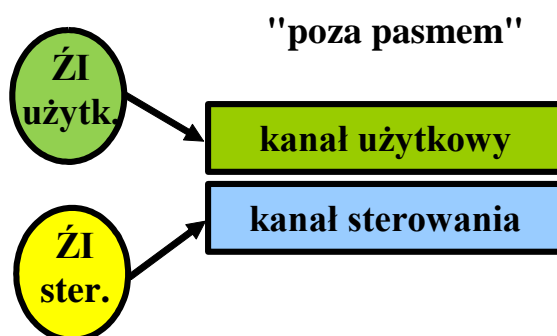
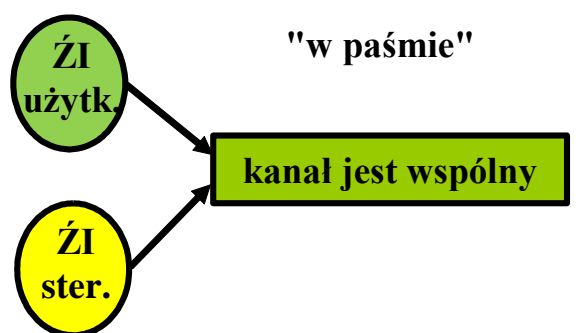
Aby zatem udostępnić abonentowi usługę musimy zapewnić przenoszenie dla dwóch strumieni informacji:

- użytkowej, tzn. tej którą chce jeden abonent przekazać drugiemu abonentowi,
- sterującej, tzn. tej która jest konieczna dla utworzenia kanału(ów) umożliwiającego(ych) przenoszenie informacji użytkowej.

Źródło każdej z tych informacji ma określone cechy i wymaga kanału o określonych właściwościach dla jej poprawnego przenoszenia.



Kanały dla tych dwóch strumieni informacji mogą być wspólne lub rozdzielone. W pierwszym przypadku mówimy, że informacja sterująca jest przesyłana "w paśmie" a w drugim przypadku, że jest przesyłana "poza pasmem". Oczywiście słowo pasmo dotyczy pasma informacji użytkowej i ma ono tu odniesienie zarówno do techniki analogowej, gdzie pasmo to ma znaczenie pierwotne czyli opisuje sygnał w dziedzinie częstotliwości, jak i techniki cyfrowej, gdzie odnosi się do przepływności.



Proszę zauważyć, że nie mówimy tu jak kanał jest zrealizowany, tzn. z jakich elementów funkcjonalnych jest utworzony, w jakiej technice i technologii oraz jakie systemy zostały zastosowane.

Użyte wcześniej określenie, że "musimy zrealizować połączenie aby można było przenieść informację między stykami sieci" może dotyczyć dwóch rodzajów sieci - zorientowanych połączeniowo albo zorientowanych bezpołączeniowo. Jak wiemy praca każdej z nich jest inna a tym samym funkcja sterowania przynajmniej na poziomie sieci jest także inna.

W przypadku **sieci zorientowanych połączeniowo** sterowanie musi w pierwszej fazie (fazie połączenia) doprowadzić do utworzenia kanału - jeżeli informacja użytkowa jest przesyłana tylko w jedną stronę (od AAb do BAb) lub dwóch kanałów, gdy informacja użytkowa musi być przesyłana w obu kierunkach. Aby to zrealizować **sterowanie musi** wykonać następujące niezbędne zadania:

- **stwierdzić żądanie** określonej usługi przez terminal abonenta,
- **określić drogę** połączeniową umożliwiającą osiągnięcie terminala abonenta żadanego,
- **stwierdzić** czy terminal żadanego abonenta jest w stanie brać udział w wymianie informacji,
- **wybrać zasoby** na tej drodze umożliwiające zestawienie kanału(ów) o wymaganych właściwości dla kanału(ów) użytkowego(ych),
- **zestawić kanał(y)** czyli połączyć i poinformować o tym fakcie terminal żadanego abonenta,
- **stwierdzić zgłoszenie się** terminala żadanego abonenta.

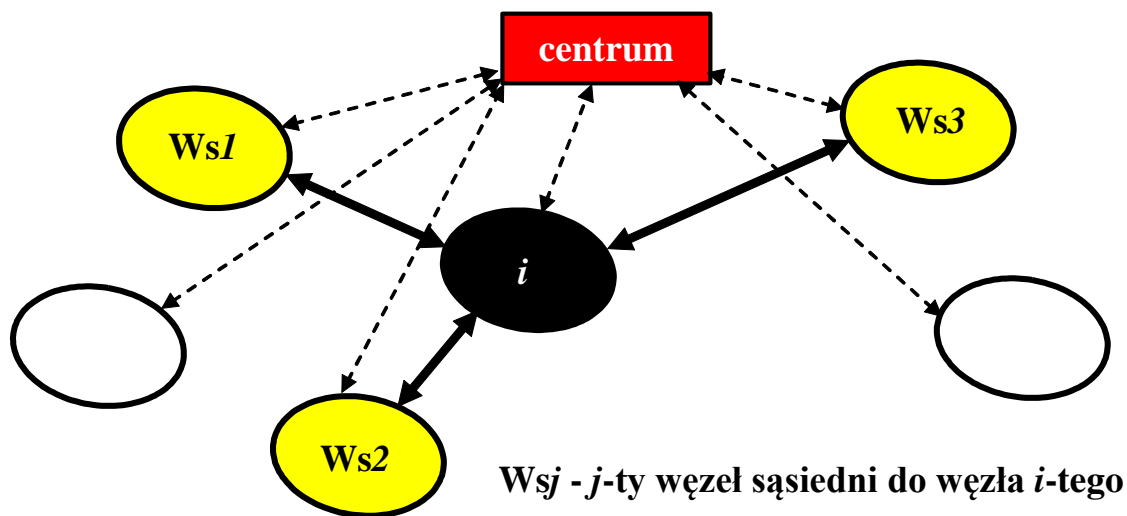
Sterowanie musi także wykonywać określone zadania zarówno w fazie połączenia (druga faza) jak i rozłączenia (trzecia faza). Aby nie komplikować naszych rozważań na razie nie będziemy ich omawiali. Zostanie to uczynione w innym miejscu.

Oczywiście pierwsze pytanie jakie się tu nasuwa to **kto (co) ma te zadania realizować**. Teoretycznie może być wiele rozwiązań. Ale my skupimy uwagę na tych które są w praktyce stosowane. Historyczny rozwój techniki i technologii spowodował, że **zadania te zostały ułożone** w węzłach komutacyjnych.

Jeżeli tak jest to z tego wynika, że **węzeł komutacyjny musi mieć dane** konieczne do realizacji wymienionych zadań. Dane te węzeł może pozyskać na dwa skrajnie odmienne sposoby:

- **lokalnie** od swoich sąsiednich węzłów, tzn. węzłów z którymi jest bezpośrednio połączony,

- **centralnie** od specjalnie do tego celu przeznaczonych elementów funkcjonalnego znajdującego się np. w centrum zarządzania.



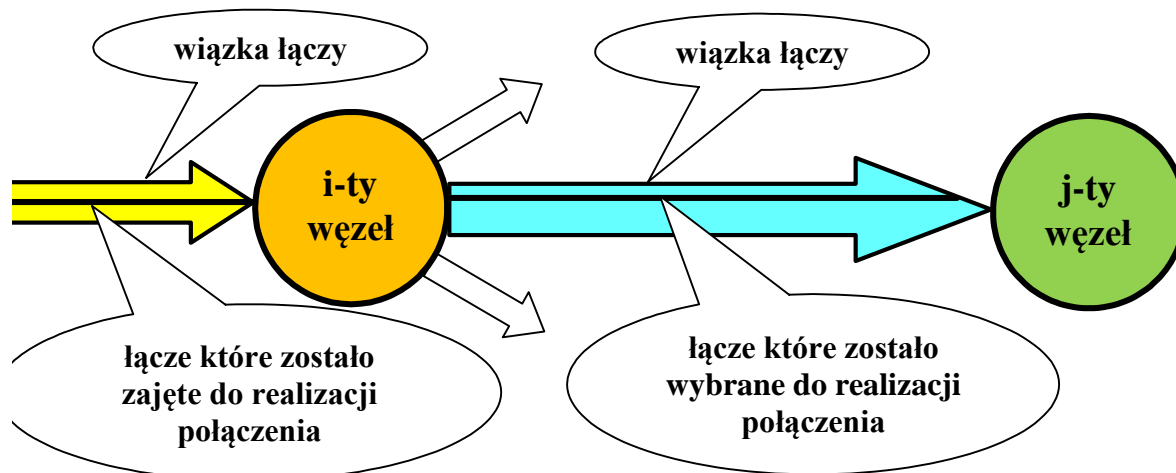
Podstawowe dane to informacja o tym jak osiągnąć terminal żądanego abonenta, tzn. jak poruszać się w sieci aby dotrzeć do tego terminala. Dobrze byłoby aby to dotarcie i użyte zasoby na realizację kanału(ów) użytkowych było optymalizowane (proszę się zastanowić co to znaczy?). Jest to zatem problem optymalizacji wyboru drogi połączeniowej. Ta optymalizacja może być realizowana lokalnie, tzn. z punktu widzenia konkretnego węzła lub globalnie, tzn. z punktu widzenia całej sieci. To zagadnienie i jego rozwiązanie jest samo w sobie skomplikowane.

W sieci telekomunikacyjnej przyjęto **jako podstawową metodę określania drogi połączeniowej** (nie jest to jedyna) w której droga ta jest określana według **zasady "hop-by-hop"**. Sprowadza się ona do tego iż kolejny ostatnio wyznaczony węzeł będący w drodze połączeniowej wyznacza następny węzeł, który będzie brał udział w tworzeniu połączenia.

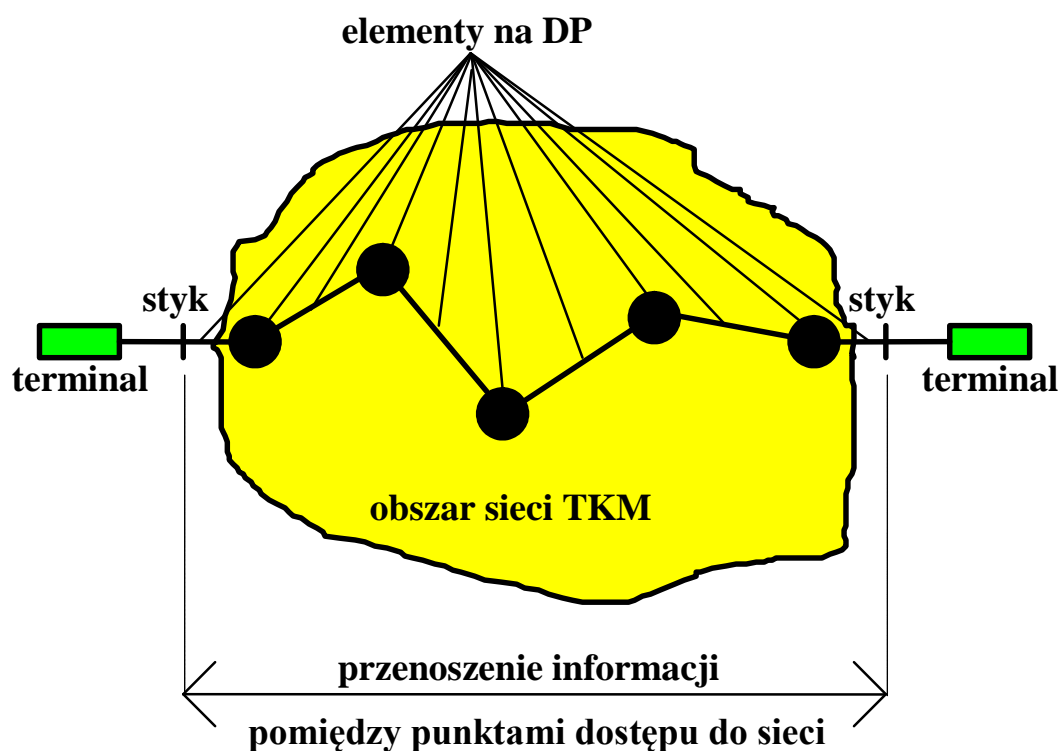
Jeżeli *i*-ty węzeł wybierze *j*-ty węzeł jako kolejny w drodze połączeniowej to musi, w ramach dostępnych wolnych zasobów (łączy dla komutacji kanałów; zastanowić się jak to może być rozwiązane w przypadku komutacji pakietów lub komórek), **wybrać łącze i zająć je, a następnie zestawić w węźle połączenie pomiędzy łączem przychodzącym i wybranym łączem wychodzącym do *j*-tego węzła.**

Następnie *i*-ty węzeł **przekazuje niezbędne informacje** do *j*-tego węzła (**po-przez kanał sterowania** nazywany też kanałem sygnalizacji), który to węzeł z kolei powtarza wymienione czynności.

Zadania te są realizowane skokami od węzła do węzła aż zostanie osiągnięty węzeł do którego dołączony jest terminal żadanego abonenta.



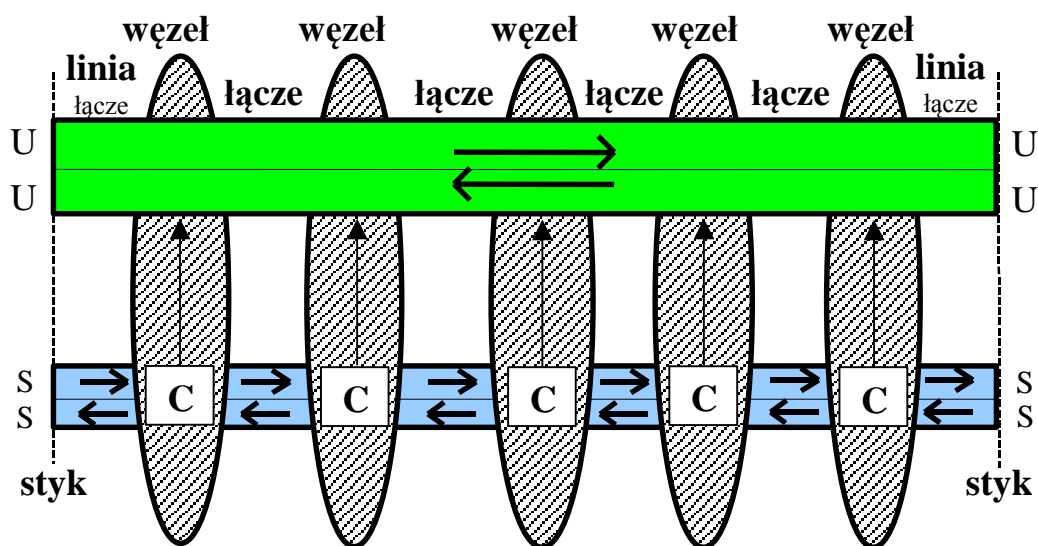
Na kolejnym rysunku zaznaczono elementy na drodze połączeniowej nie wnikając w istotę techniki i technologii ich realizacji.



terminal=urządzenie końcowe,
aparat,
stacja abonencka.

Miedzy dwoma węzłami komutacyjnymi mamy łącza, bo są one konieczne do realizacji połączenia, i na przykład jeżeli zastosujemy łącza zrealizowane w systemie PCM30/32 to tych łączy mamy 30. Do realizacji połączenia wykorzystamy tylko **jedno łącze** jeżeli potrzebna będzie nam **przepływność 64kbit/s** i wówczas tym sposobem zrealizujemy jeden kanał "tam" (od AAb do BAb) oraz drugi kanał "powrót" (od BAb do AAb), każdy o przepływności 64kbit/s. Natomiast jeżeli potrzebna będzie nam dla realizacji połączenia **przepływność 128kbit/s** wówczas wykorzystamy **dwa łącza** każde po 64kbit/s i te dwa łącza utworzą kanały po 128kbit/s dla obu kierunków. Z punktu widzenia połączenia terminali abonentów te dwa łącza tworzą jedno łącze chociaż technicznie są rozróżnialne jako dwa łącza (proszę wrócić do wykładu co to jest kanał i łącze!!!).

W wyniku realizacji pierwszej fazy obsługi realizacji żądanej usługi mamy sytuację przedstawioną ogólnie na kolejnym rysunku. Rysunek dotyczy sytuacji, gdy informacja użytkowa i informacja sterująca mają swoje własne kanały. Proszę zwrócić na istotną różnicę między rysunkiem **kanału użytkowego** i **kanału sterującego** wynikającą bezpośrednio z przeznaczenia obu rodzajów kanałów. Jeden służy do wymiany informacji między terminalami obu abonentów, drugi natomiast do wymiany informacji między elementami sterującymi oznaczonymi ogólnie przez C (Control - Sterowanie).



U - kanał Użytkowy

C – Control (sterowanie)

S - kanał Sterowania (Sygnalizacji)

Dotychczas omówione zagadnienie sterowania połączeniem obejmuje poziom sieciowy chociaż w jednym fragmencie wnika już w poziom węzła, tzn. wówczas gdy mówi się o połączeniu łącza wejściowego z łączem wyjściowym

węzła. Proszę jednak zwrócić uwagę na fakt, że w tu przedstawionym sterowaniu połączeniem na poziomie sieci zajmuje się także węzeł komutacyjny a dokładnie mówiąc określone funkcje zrealizowane w postaci programów znajdujących się w sterowaniu.

Aby omówić sterowanie połączeniem na poziomie węzła, tzn. między łączem wejściowym i łączem wyjściowym, konieczne jest chociaż w bardzo ogólnym stopniu przybliżyć strukturę takiego węzła komutacyjnego. Domyślamy się że jest ona w dużym stopniu uzależniona od konstruktorów i producenta tego węzła. Niemniej można podać wyabstrahowaną blokowo-funkcjonalną strukturę takiego węzła.

Węzeł komutacyjny ma kontakt z otoczeniem poprzez linie (łącza abonenckie) i łącza międzywęzłowe. Oba te elementy sieci wymagają w węźle zakończeń, które obsługują te elementy. Są to wyposażenia końcowe, które z uwagi na technologiczność są pogrupowane w moduły wyposażzeń końcowych (to pogrupowanie nie zostało zaznaczone na rysunku). Oczywiście w rozważanym ogólnym przypadku będziemy mieli dwa typy takich wyposażzeń: liniowe (abonenckie) i łączy (międzywęzłowe). Dla zrealizowania funkcji łączenia tych wyposażzeń między sobą konieczny jest blok komutacji SN, nazywany połem komutacyjnym PK. Z kolei realizacja określonego algorytmu obsługi żądania usługi wymaga bloku sterowania CC. Także z uwagi na konieczność wymiany informacji sterującej między sterowaniem poszczególnych węzłów wydzielono blok dla obsługi wymiany tej informacji nazywany blokiem sygnalizacji międzywęzłowej CCS. Taka struktura modelu węzła komutacyjnego została przedstawiona na kolejnym rysunku.

Użyte na tym rysunku skróty mają następujące znaczenie:

LT/ET – Line Termination/Exchange Termination (ZL/ZC – zakończenie liniowe / zakończenie centralowe),

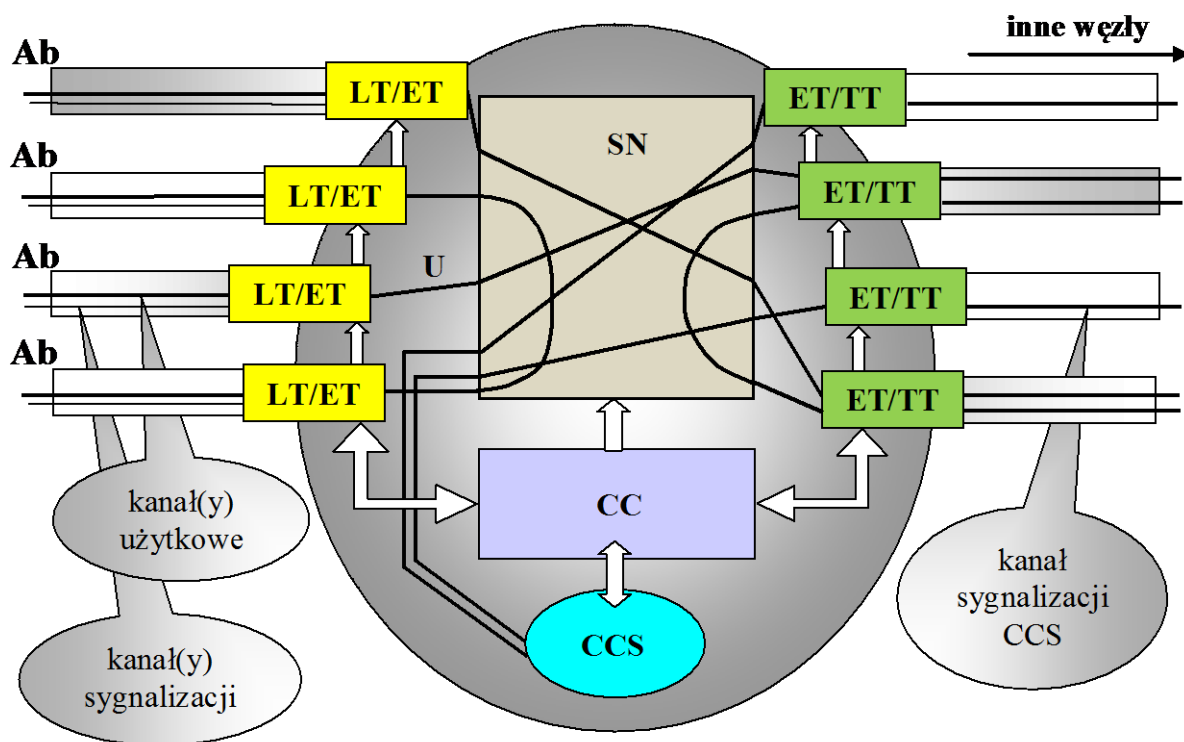
TT/ET - Trunk Termination/ Exchange Termination (ZŁ/ZC - zakończenie łącza międzywęzłowego/zakończenie centralowe),

SN – Switching Network (PK – pole komutacyjne),

CC – Call Control (BS – blok sterowania, obsługa wywołania, obsługa żądania usługi),

CCS – Common Channel Signalling.

Rozróżnienie ZL i ZŁ oraz ZC wynika z faktu rozdzielenia funkcji transmisyjnych (ZL i ZŁ) i funkcji komutacyjnych (ZC). Oczywiście realizacja każdej z tych funkcji jest zależna od typu linii (łącza abonenckiego) lub łącza międzywęzłowego oraz od typu zastosowanego systemu wymiany informacji sterującej, nazywanych sygnalizacją abonencką lub sygnalizacją międzywęzłową.



LT/ET – Line Termination / Exchange Termination

TT/ET – Trunk Termination / Exchange Termination

CC – Call Control **CCS** – Common Channel Signalling

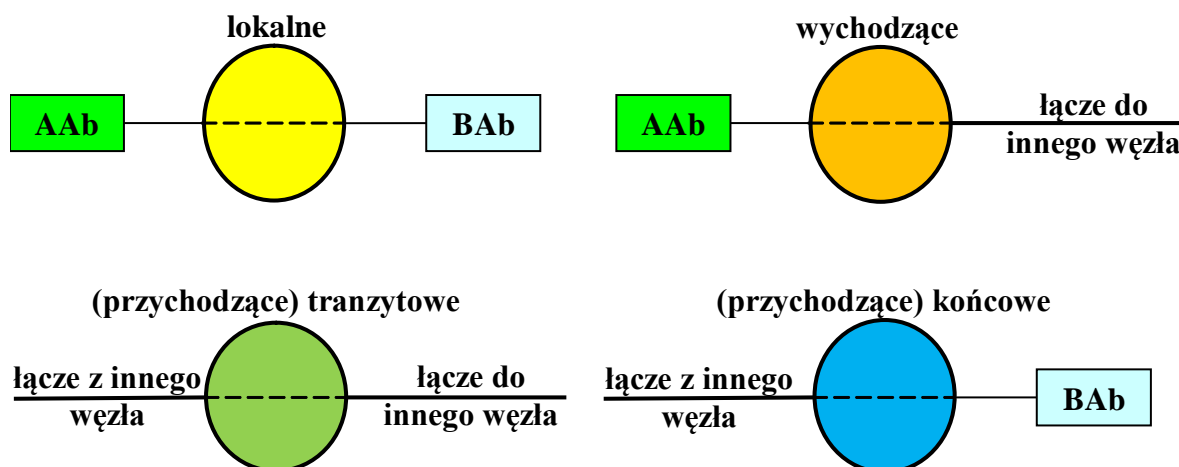
SN – Switching Network

U – kanał(y) użytkowe

Z punktu widzenia realizacji połączenia w węźle komutacyjnym możemy wyróżnić kilka przypadków:

- ✓ połączenie lokalne – obaj abonenci należą do tego samego węzła komutacyjnego,
- ✓ połączenie wychodzące – abonent żądający usługi należy do rozważanego węzła komutacyjnego, natomiast abonent żądany należy do innego węzła komutacyjnego,
- ✓ połączenie (przychodzące) tranzytowe – obaj abonenci nie należą do rozważanego węzła komutacyjnego,
- ✓ połączenie (przychodzące) końcowe – abonent żądający usługi należy do innego węzła komutacyjnego a abonent żądany należy do rozważanego węzła komutacyjnego.

Wymienione sytuacje zobrazowano na kolejnym rysunku.



W **fazie I (wywołania)** muszą być zrealizowane następujące podstawowe funkcje (**zadania**):

- przypadek **gdy abonent żądający** usługę dołączony jest do analizowanego węzła:
 - wykrycie wywołania na linii (żądania usługi),
 - identyfikacja linii abonenckiej i jej uprawnień,
 - poinformowanie abonenta o gotowości przyjęcia żądania usługi,
 - odbiór cyfr numeru abonenta żądanego (BAb); to zadanie może być połączone z poprzednimi zadaniami (gdy łącze jest cyfrowe),
 - analiza prefiksu (decyzja: połączenie lokalne, połączenie wychodzące),
- ◆ **połączenie lokalne:**
 - stwierdzenie czy abonent żądany jest wolny,
 - przeliczenie numeru abonenta na numer wyposażenie końcowego,
 - zestawienie połączenia przez pole komutacyjne między wyposażeniami końcowymi węzła,
 - zawiadomienie abonenta żądanego o połączeniu (dzwonienie),
 - po zgłoszeniu (rozpoczęcie fazy II) naliczanie opłaty w postaci impulsów licznikowych.
- ◆ **połączenie wychodzące:**
 - ruting (wybór następnego węzła),
 - wybór łącza do tego węzła,
 - zestawienie połączenia przez pole komutacyjne między wyposażeniami końcowymi węzła,
 - poinformowanie sąsiedniego węzła o połączeniu przychodzącym (minimum informacji to: numer łącza, numer abonenta żądanego),

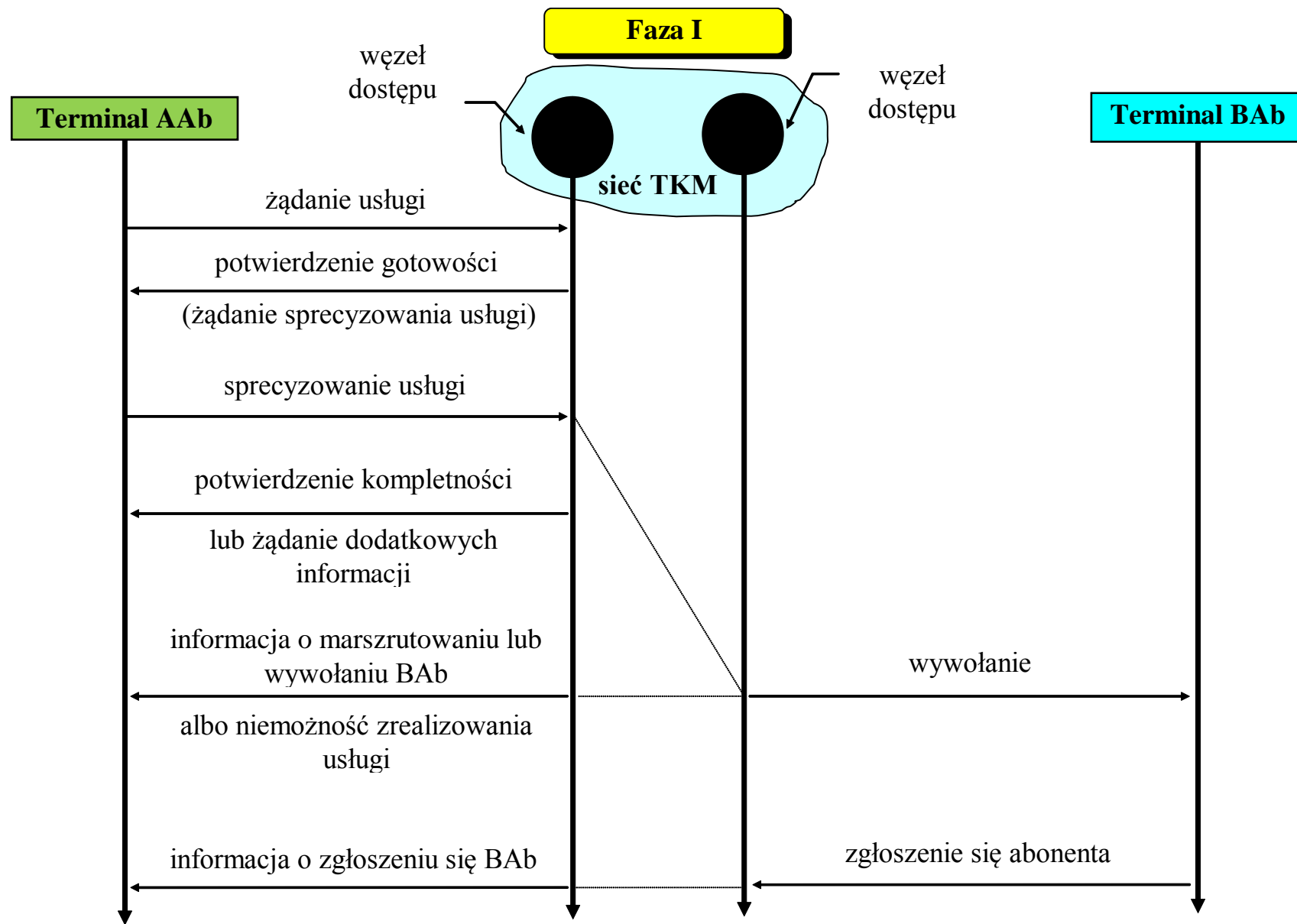
- oczekiwanie na potwierdzenie z sąsiedniego węzła, że połączenie zostało zrealizowane,
 - po otrzymaniu potwierdzenia o zgłoszeniu się abonenta żadanego (rozpoczęcie fazy II) naliczanie opłaty w postaci impulsów licznikowych.
- przypadek gdy połączenie jest **połączeniem przychodzącym** z innego węzła:
- odbiór informacji o połączeniu przychodzącym (minimum informacji to: numer łącza, numer abonenta żadanego),
 - analiza prefiksu (połączenie końcowe, połączenie wychodzące tranzytowe),
 - ◆ **połączenie przychodzące końcowe** (abonent żądany należy do tego węzła):
 - stwierdzenie czy abonent żądany jest wolny,
 - przeliczenie numeru abonenta na numer wyposażenie końcowego,
 - zestawienie połączenia przez pole komutacyjne między wyposażeniami końcowymi węzła,
 - zawiadomienie abonenta żadanego o połączeniu (dzwonienie) oraz poinformowanie o tym fakcie poprzedniego węzła,
 - po zgłoszeniu się abonenta żadanego (rozpoczęcie fazy II) poinformowanie o tym fakcie poprzedniego węzła.
 - ◆ **połączenie przychodzące tranzytowe**:
 - ruting (wybór następnego węzła),
 - wybór łącza do tego węzła,
 - zestawienie połączenia przez pole komutacyjne między wyposażeniami końcowymi węzła,
 - poinformowanie sąsiedniego węzła o połączeniu przychodzącym (minimum informacji to: numer łącza, numer abonenta żadanego),
 - oczekiwanie na potwierdzenie z sąsiedniego węzła, że połączenie zostało zrealizowane,
 - po otrzymaniu potwierdzenia (rozpoczęcie fazy II) powiadomienie o tym fakcie poprzedniego węzła.

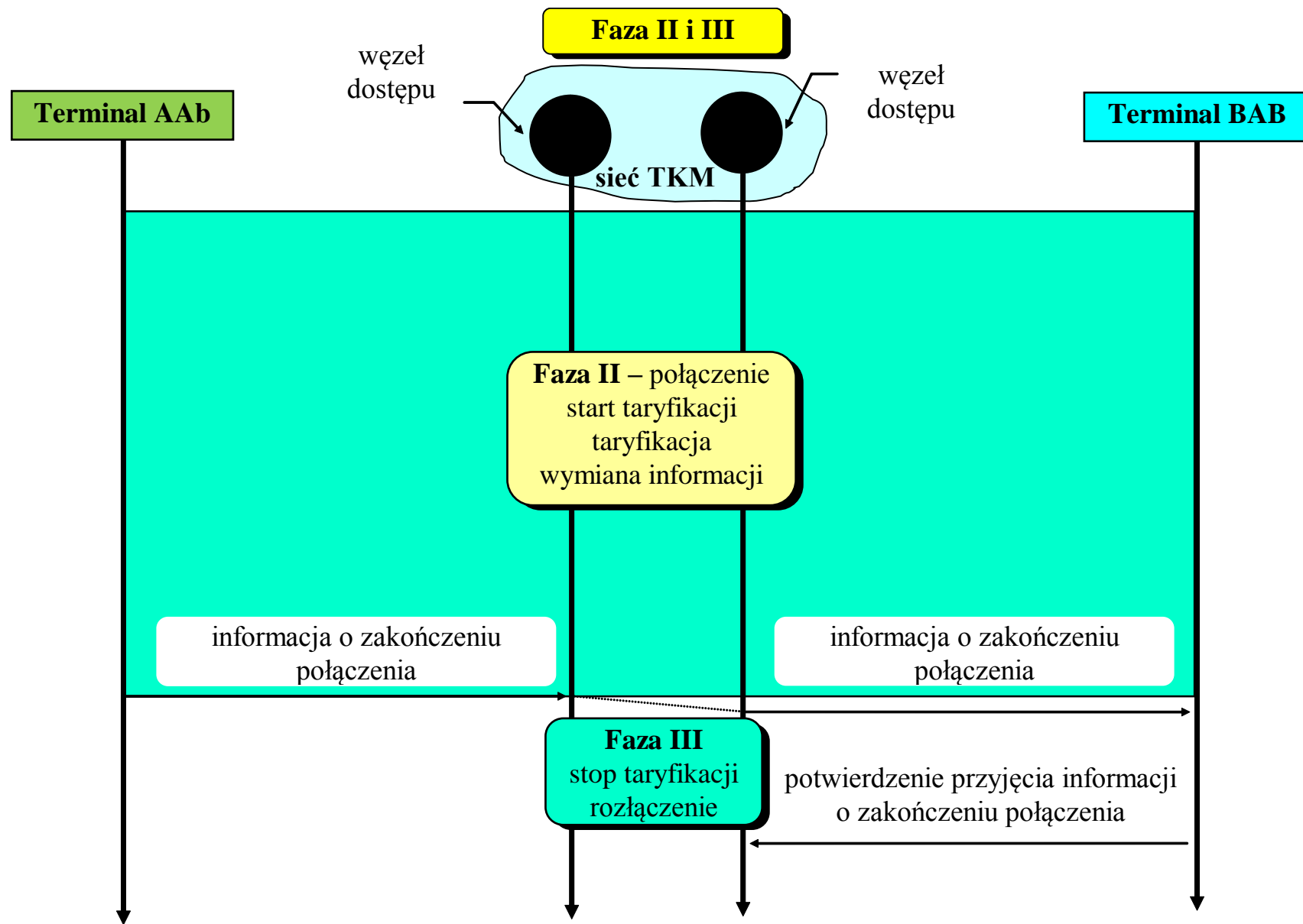
W **fazie II (połączenia czyli wymiany informacji)** w wyposażeniach końcowych węzłów biorących udział w łańcuchu połączeniowym realizowana jest funkcja nadzoru, której głównym celem jest wykrycie informacji o zakończeniu połączenia. Powoduje to w węźle początkowym zakończenie naliczania impulsów taryfikacyjnych i dopisanie ich do konta abonenta oraz przejście do **fazy III (rozłączenia)**. Przy zwalnianiu zasobów, pomijając szczegóły, przyjęto zasadę, że zwolnić zasoby może tylko ten kto je zajął. Pozostali uczestnicy tego procesu mogą jedynie prosić o zwolnienie zasobów.

Na kolejnych rysunkach w ogólnej formie pokazano wymianę informacji dla tych trzech faz, która ma miejsce tylko na liniach (łączach) abonentkich. Pominięto wymianę informacji sterującej (sygnalizacyjnej - jest to stos protokołów) między węzłami. Jest to zagadnienie zbyt złożone jak na ten poziom omawiania procesów łączenia w sieci telekomunikacyjnej.

Oczywiście wymienione wyżej funkcje nie wyczerpują zagadnienia opisu procesu łączenia (komutacji), a tylko definiują płaszczyznę dalszego szczegółowego omawiania tej problematyki, którą my na tym wykładzie kończymy na przedstawionym poziomie szczegółowości.

Należy także zwrócić uwagę na fakt, że przy opisie algorytmów obsługi pojawiają się funkcje (zadania), które dotyczą nie tylko poziomu węzła komutacyjnego ale także poziomu sieci. Jest to oczywiste, gdyż w omówionym rozwiązaniu, które jest stosowane jako podstawowe rozwiązanie, węzeł komutacyjny bierze czynny udział w realizacji połączenia na poziomie sieci.





Dotychczas przedstawiona struktura węzła komutacyjnego uwiadamiała elementy funkcjonalne tego węzła na bardzo ogólnym poziomie. Z praktycznego punktu widzenia elementy te są pogrupowane lub tworzą bloki albo moduły funkcjonalne i konstrukcyjne. Takie **podejście do konstrukcji węzła komutacyjnego** podyktowane jest względami:

- funkcjonalnymi,
- technologicznymi,
- niezawodnościowymi
- i eksploatacji.

Struktura węzła komutacyjnego z podziałem na moduły została przedstawiona na kolejnym rysunku. Pokazano w nim:

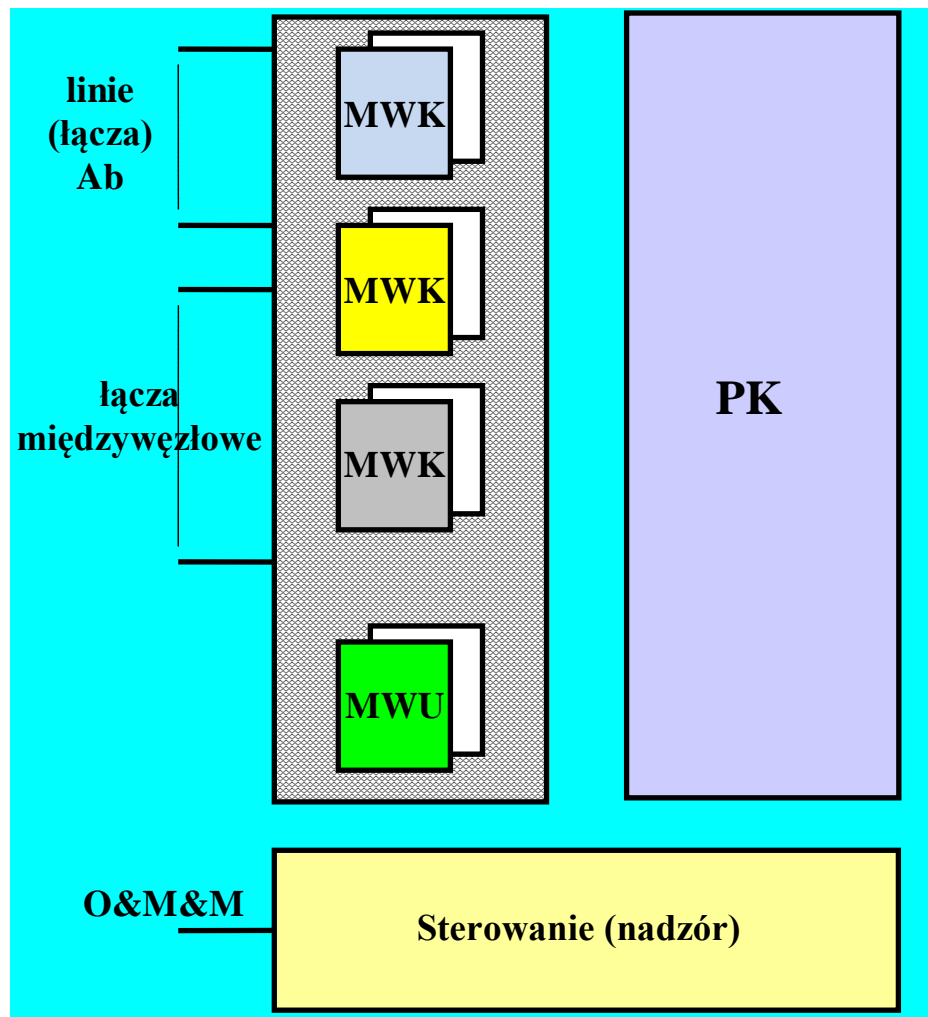
- **moduły wyposażenia końcowych** (MWK) w których można wyróżnić:
 - moduły zakończeń linii (łączy) abonenckich (maksymalnie od 128 do około 4000 abonentów na moduł),
 - moduły zakończeń łączy międzywęzłowych (standardowy styk to PCM30/32) (maksymalnie od 1 do 16 2Mbit/s łączy na moduł),
- **moduły wyposażenia usługowych** (MWU), jak np.:
 - moduły odbiorników cyfr DTMF (OC DTMF),
 - moduły sygnalizacji (SS7 z ISUP, R2, MF),
 - moduły konferencji,
- **moduł (blok) nadzoru i sterowania węzła**, który ma styk do centrum O&M&M (Operation, Maintenance, Management)
- **moduł (blok) pola komutacyjnego** (PK).

Proszę pamiętać, że **w konkretnym rozwiązaniu** węzła komutacyjnego znajdują się tylko te moduły, które są konieczne i wynikają z potrzeb i lokalizacji węzła w sieci telekomunikacyjnej.

Liczność oraz pojemność poszczególnych typów modułów, liczona w obsługiwanych **portach** (np. linia abonencka to jest jeden port, system PCM30/32 to też jeden port), uzależniona jest od **pojemności** węzła komutacyjnego (liczba abonentów, liczba łączy międzywęzłowych), wymaganej **mocy przetwarzania** (**BHCA** - Busy Hour Call Attempts, jest to maksymalna liczba żądań usług którą sterowanie węzła jest w stanie obsłużyć w godzinie największego ruchu) oraz konkretnego rozwiązania (producenta) węzła. W ramach poszczególnych typów modułów mogą być różne wersje i odmiany modułów.

Należy pamiętać, że **moduły zakończeń linii (łączy) abonenckich** w większości **są wyniesione** poza część centralną węzła (nazywana jest ona **Host'em**). Mówimy wówczas o modułach wyniesionych, które powinny być możliwie blisko abonenta. Podyktowane to jest czynnikiem ekonomicznym (kosztami). **Proszę** na podstawie posiadanej wiedzy spróbować **uzasadnić**, że wów-

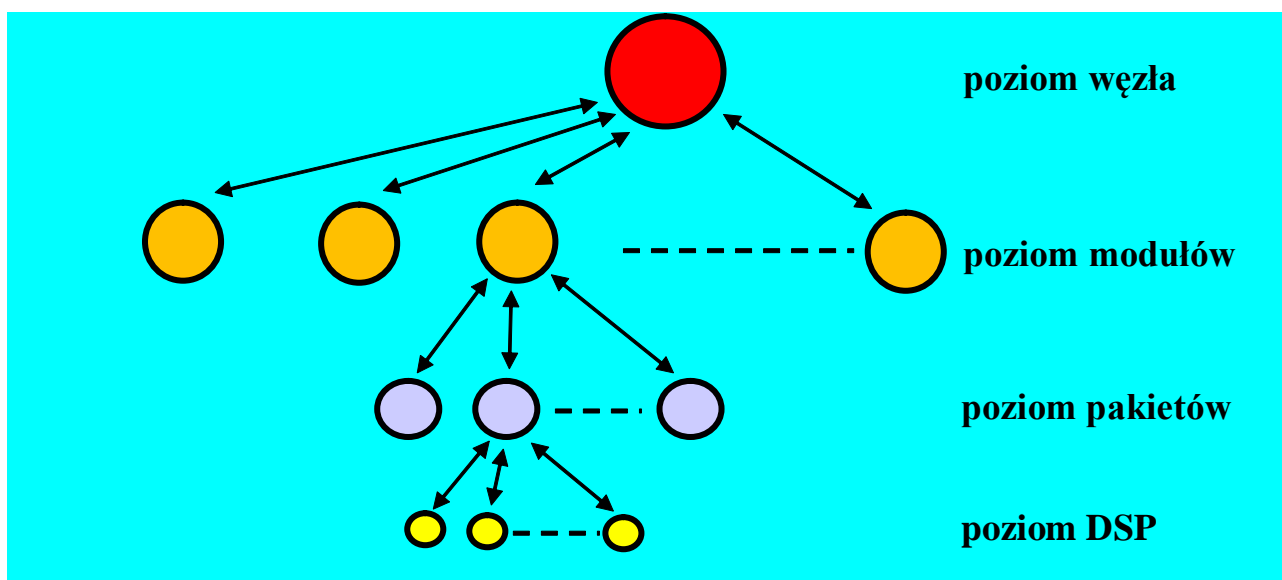
czas uzyskamy niższe koszty realizacji obsługi abonentów węzła komutacyjnego.



Każdy z modułów ma co najmniej jeden komputer sterujący, a blok sterowania (nadzoru) jest realizowany jako system wielokomputerowy lub komputer wieloprocesorowy. W przypadku modułów abonenckich oprócz komputera sterującego modulem na każdych 16 abonentów daje się jeden mikrokomputer jednomodułowy. Jednocześnie jeżeli moduł obsługuje abonentów analogowych (usługa POTS) to na jednego do czterech abonentów przypada jeden procesor sygnałowy DSP. Proszę także pamiętać o bardzo dużej niezawodności węzła komutacyjnego. Musi on dostarczać usług przez 24 godziny na dobę i to przez długi okres czasu eksploatacji liczony w latach (aktualnie powyżej 10 lat). Z tego punktu widzenia sterowanie jest bardzo czułym elementem funkcjonalnym (dlaczego tak jest?) dlatego wymaga specjalnych metod zwiększania niezawodności pracy, np. przez gorącą rezerwę komputerów, przejmowanie funkcji uszkodzonego komputera przez pozostałe komputery, automatyczne rekonfigurowanie sterowania.

Wszystkie elementy sterujące w postaci komputerów (mikrokomputerów) tworzą hierarchiczną sieć sterowanie węzła komutacyjnego, która składa się z czterech poziomów:

- sterowanie węzła (nadzór) - systemy wielokomputerowe lub wieloprocesorowe,
- sterowanie modułów - systemy wielokomputerowe,
- sterowanie pakietów - system jednokomputerowy jednomodułowy,
- procesory sygnałowe DSP.



Komunikacja między tymi komputerami zrealizowana jest w postaci sieci komputerowej, która może przybierać różne struktury w zależności od rozwiązania i producenta węzła komutacyjnego. Proszę dla przykładu **obliczyć liczbę komputerów** dla każdego z poziomów jeżeli węzeł ma pojemność 50000 abonentów i 1000 łączy 2Mbit/s (PCM30/32), a wykonany jest z modułów abonenckich o pojemności 1000 abonentów i modułów łączy PCM30/32 o pojemności 4.

Oprogramowanie realizowane jest w języku C++ lub w specjalnym języku dedykowanym dla telekomunikacji o nazwie CHILL oraz nowsze np. Erlang. Są to języki, które gwarantują współbieżność i komunikację procesów uruchamianych i obsługiwanych w systemach operacyjnych czasu rzeczywistego. Oprogramowanie to specyfikują i realizują setki specjalistów z telekomunikacji i informatyki. Jest ono utrzymywane, uzupełniane i modyfikowane przez cały czas eksploatacji danego węzła komutacyjnego. O możliwościach usługowych węzła komutacyjnego i tym samym sieci telekomunikacyjnej decyduje to oprogramowanie. Można bez wymiany sprzętu - jego części twardej - nadać nowe cechy i właściwości usługowe widziane przez abonenta danej sieci telekomunikacyjnej jedynie tylko przez wymianę oprogramowania czyli części miękkiej.

Oprócz oprogramowania, które jest odpowiedzialne za sterowanie połączeniami musi być także wykorzystywane oprogramowanie potrzebne operatorowi dla zapewnienia właściwej realizacji funkcji eksploatacji posiadanej sieci telekomunikacyjnej i dostarczanych usług. O tych funkcjach powiemy w innym miejscu realizacji materiału tego przedmiotu.

Dotychczas omówione sterowanie na poziomie sieci i węzła komutacyjnego dotyczyły, jak sobie to na początku powiedzieliśmy, sieci zorientowanych połączeniowo. Spróbujmy krótko omówić to zagadnienie dla sieci zorientowanych bezpołączeniowo przedstawiając istotne różnice w obu rozwiązaniach.

Podstawowa istotna różnica wynika z tego że jest tylko jedna faza realizacji połączenia, tzn. wymiana informacji. Zatem nie ma funkcji zestawiania połączenia od końca do końca, tzn. od terminala do terminala czyli nie ma też tworzenia kanału od terminala do terminala.

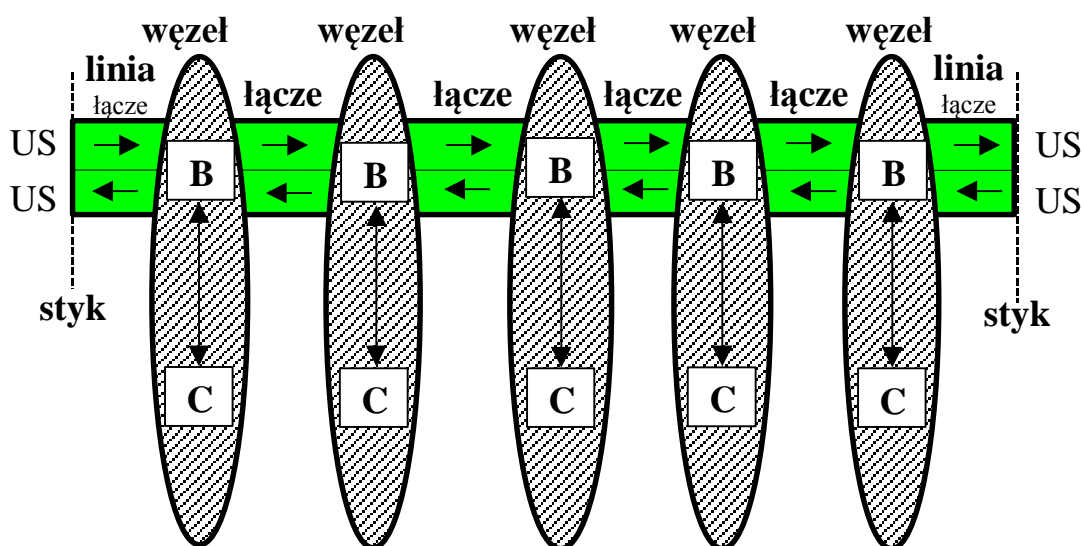
Z tego od razu wynika, że można uprościć problem wymiany informacji sterującej. Co więcej nie potrzeba dla niej dodatkowych kanałów sterujących, przynajmniej dla tych prostych rozwiązań, które aktualnie w większości przypadków się stosuje. Informacja użytkowa zostaje uzupełniona o informacje niezbędne dla realizacji funkcji sterowania (adresy) i jest przekazywana wraz z nią od terminala do węzła a następnie od węzła do węzła.

Węzeł w oparciu o tą informację sterującą i posiadane dane o sieci, które uzyskuje w identyczny sposób jak w poprzedniego typu sieci, określa następny węzeł do którego należy wysłać informację użytkową i wybiera łącze którym wyśle tą informację użytkową. Przy czym w danej chwili łącze to nie musi być wolne, gdyż zakłada się możliwość buforowania informacji w węźle komutacyjnym. Proszę zauważyć, że dzięki takiemu podejściu zwiększa się stopień wykorzystania zasobów w stosunku do poprzedniego rozwiązania sieci, tzn. sieci zorientowanej połączeniowo. Czy jest to uzyskiwane "za darmo", jeżeli nie to kosztem czego?

Funkcja buforowania jest wpisana jako zasada pracy tego typu sieci telekomunikacyjnej. Jest to konieczne z dwóch powodów:

- z odebranej informacji sterowanie musi wydobyć adresy aby mogło określić następny węzeł do którego zostanie odebrana informacja wysłana,
- zasoby w kierunku tego węzła mogą być aktualnie zajęte a to oznacza konieczność buforowania odebranej informacji.

Zatem poprzedni rysunek obrazujący realizację połączenia będzie teraz przedstawiał się następująco.



US - kanał Użytkowy i Sterowania

B – Buforowanie

C – Control (sterowanie)

Węzły komutacyjne dla tego typu sieci nie mają tak dużej liczby portów jak w przypadku poprzednio omówionego typu sieci, a ich **pojemności są znacznie mniejsze**. Także z uwagi na uproszczenie sterowania połączeniem sterowanie tych węzłów jest znacznie prostsze. **Pojemność węzłów** dla tych sieci określa się poprzez **przepływność** jaką są w stanie obsłużyć. Proszę zauważyć, że parametr ten może być mylący z uwagi na to, że są to na ogół sieci pakietowe w których pakiety mogą mieć różną długość. Węzeł komutacyjny i jego sterowanie jest w stanie obsłużyć określoną liczbę pakietów w jednostce czasu. Zatem jeżeli pakiety będą długie to węzeł jest w stanie obsłużyć większy strumień bitów, a jeżeli będą krótkie to obsłuży mniejszy strumień bitów.

Zauważmy, że **fakt buforowania** umożliwia wprowadzenie dodatkowych **mechanizmów zmniejszających błędy** w przekazywaniu informacji, na przykład poprzez funkcję przechowywania wysłanej informacji przez określony czas lub do momentu potwierdzenia jej poprawnego albo błędnego odbioru. W tym ostatnim przypadku węzeł nadaje ponownie informację. Oczywiście taki mechanizm nie może być stosowany w przypadku usług mających ograniczenia czasowe czyli usług czas rzeczywistego. Proszę zastanowić się dlaczego to ograniczenie wyklucza stosowanie tego mechanizmu zmniejszania stopy błędów.

Potrzeba istnienia sygnalizacji (model warstwowy)

Z dotychczasowych rozważań wynika, że w sieci telekomunikacyjnej przekazywane są dwa rodzaje informacji wynikające bezpośrednio z ich różnego przeznaczenia. Podstawowym rodzajem informacji jest informacja wymieniana między użytkownikami (abonentami) nazywana informacją użytkową oraz drugi rodzaj informacji wynikający z konieczności realizacji sterowania w sieci telekomunikacyjnej tak aby informacja użytkowa od jej źródła została dostarczona do odbiorcy. Ten rodzaj informacji jest informacją przeznaczoną dla sterowania i w telekomunikacji nazwany został informacją sygnalizacyjną.

Z uwagi na dwa rodzaje sieci telekomunikacyjnych, zorientowanych połączeniowo oraz bezpołączeniowo, sposób tworzenia i przekazywania informacji dla sterowania dla tych sieci jest różny.

W przypadku sieci zorientowanych bezpołączeniowo informacja ta dolączana jest w ściśle określonej formie do informacji użytkowej. Sterowanie węzłów komutacyjnych w oparciu o tą informację i posiadane dane (które musi w jakiś sposób pozyskać!) określa dalszą drogę którą ma być przesyłana informacja użytkowa (łącznie z informacją dla sterowania). Zatem można powiedzieć, że w tym przypadku nie ma osobnych zasobów wykorzystywanych dla wymiany informacji dla sterowania. I dlatego nie używa się tu określenia sygnalizacji, gdyż w telekomunikacji zostało one zarezerwowane dla przypadku, gdy dla ich przesłania przeznacza się wydzielone zasoby lub wyraźnie wyróżnia się informację sterującą od informacji użytkowej.

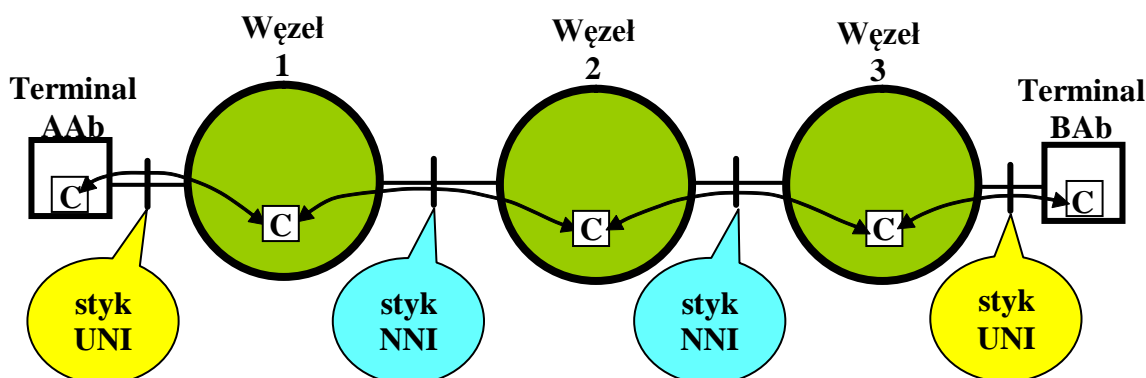
Sytuacja ta ma miejsce w sieci zorientowanej połączeniowo. W związku z tym ograniczymy się, z uwagi na czas przeznaczony na omówienie tego zagadnienia, do rozważań dotyczących sieci zorientowanych połączeniowo.

Zauważmy, że informację dla sterowania muszą wymieniać między sobą:

- terminal abonenta A z węzłem dostępu (pierwszy węzeł w sieci z którym ma połączenie terminal),
- węzeł z węzłem,
- węzeł dostępu z terminalem abonenta B.

Charakter i przeznaczenie informacji sterującej na styku terminal - sieć telekomunikacyjna oraz styku węzeł - węzeł jest inne. Stąd domyślamy się że organizacja zasad wymiany informacji sterującej i jej struktura będą

inne dla każdego z tych styków (wprowadza się pojęcie styku szeroko wykorzystywane w telekomunikacji). W pierwszym przypadku mówimy o styku użytkownik - sieć ([User Network Interface](#) - UNI), a w drugim mówimy o styku węzeł - węzeł ([Node Node Interface](#) - NNI). Należy podkreślić, że samo pojęcie styku dotyczy zarówno wymiany informacji użytkowej jak i sterującej i opisuje ono wszystkie cechy tego styku (nie tylko sygnałowe i transmisyjne co postaramy się wykazać w dalszej części materiału).

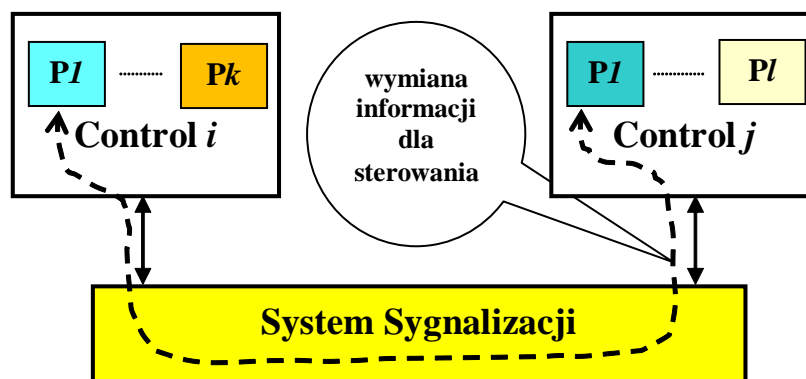


Z punktu widzenia wymiany informacji przeznaczonej dla sterowania (C - Control) możemy mówić o konieczności współpracy dwóch urządzeń C-C wchodzących w skład węzłów, które znajdują się w znacznej odległości od siebie połączonych systemem transmisyjnym (proszę rozrysować taki styk NNI, gdy jako system transmisyjny zastosujemy system PCM30/32).

Ponieważ informacja sterująca jest bardzo ważna dla obsługi żądań realizacji usług na odpowiednim poziomie usług (zastanowić się i uzasadnić dlaczego to stwierdzenie jest słuszne) to powstaje problem jak należy zorganizować współpracę tych dwóch urządzeń.

W telekomunikacji [dla obsługi wymiany informacji sterującej](#) skierowanej na obsługę żądań realizacji usług utworzono [systemy sygnalizacji](#), które zmieniały się wraz z rozwojem techniki i technologii.

Użytkownikiem (niejako abonentem chociaż nic nie abonuje) tych systemów sygnalizacji jest sterowanie C, które w danej chwili może obsługiwać dużą liczbę połączeń i dla każdego z nich istnieje potrzeba wymiany informacji sterującej. Można to ogólnie zobrazować następującym rysunkiem.



Na rysunku tym sterowanie *i*-tego węzła obsługuje połączenie *PI* w kierunku *j*-tego węzła, którego sterowanie musi dysponować informacjami z *i*-tego węzła aby mogło obsłużyć to połączenie oznaczone dla uproszczenia także przez *PI*. Oczywiście wymiana informacji odbywa się w obu kierunkach (uzasadnić dlaczego), tzn. także z *j*-tego do *i*-tego węzła. Do realizacji tej funkcji stosuje się właśnie system sygnalizacji.

Zastanówmy się i wymienimy cechy jakie powinien mieć system sygnalizacji. Otóż do podstawowych cech należy zaliczyć to że:

- umożliwia wymianę wiadomości sygnalizacyjnych,
- wiadomości muszą być wymieniane w czasie rzeczywistym (dlaczego?),
- wiadomości muszą być wymieniane na znacznych odległościach,
- wiadomości muszą być dostarczane w sposób pewny (dlaczego?),
- system musi obsługiwać wymianę wiadomości od wielu jednocześnie obsługiwanych połączeń (dotyczących wielu połączeń),
- musi obsługiwać urządzenia (sterujące) niezależnie od tego kto je zrealizował (czyli od różnych producentów sprzętu telekomunikacyjnego),
- musi być zorientowany na obsługę połączeń,
- do przesyłania wiadomości wykorzystują tą samą technikę i technologię transmisyjną, która jest zastosowana dla wymiany informacji użytkowej (dlaczego?).

Z tego wynika, że systemy sygnalizacji są systemami masowej obsługi zorientowanymi bezpołączeniowo z małymi i kontrolowanymi opóźnieniami dostarczania wiadomości.

Ponieważ elementy funkcjonalne (urządzenia) wchodzące w skład systemu sygnalizacji muszą realizować szereg funkcji to dla przejrzystości i otwartości funkcjonalnej w urządzeniach tych wprowadzono podział tych funkcji na poziomy (warstwy). Ich liczba wynika z podziału funkcji na grupy, które są logicznie uzasadnione. Podział ten wsparty jest standaryzowanym warstwowym modelem odniesienia dla współpracujących ze sobą urządzeń przekazujących dane. Wyróżnia się w nim siedem warstw, przy czym w na-

szym tu omawianym przypadku ważne są tylko trzy dolne warstwy (pozostałe warstwy są na ogół puste). Te trzy warstwy to warstwa:

- **fizyczna** PL - Physical Layer,
- **łącza** (danych) LL (DLL) - Link Layer (Data Link Layer),
- **sieciowa** NL - Network Layer.

Warstwa fizyczna

Jest to najniższa warstwa modelu, która jest odpowiedzialna za aktywację, utrzymanie i deaktywację fizycznych obwodów oraz udostępnienie sygnałów zegarowych. Ma ostatecznie za zadanie po stronie nadawczej przekształcenie ciągu bitów na sygnały, a następnie po stronie odbiorczej rozpoznanie sygnałów i przedstawienie ich jako ciągu zer i jedynek (ciągu bitów). W warstwie tej znajduje się system transmisyjny ale nie tylko.

Warstwa łącza (danych)

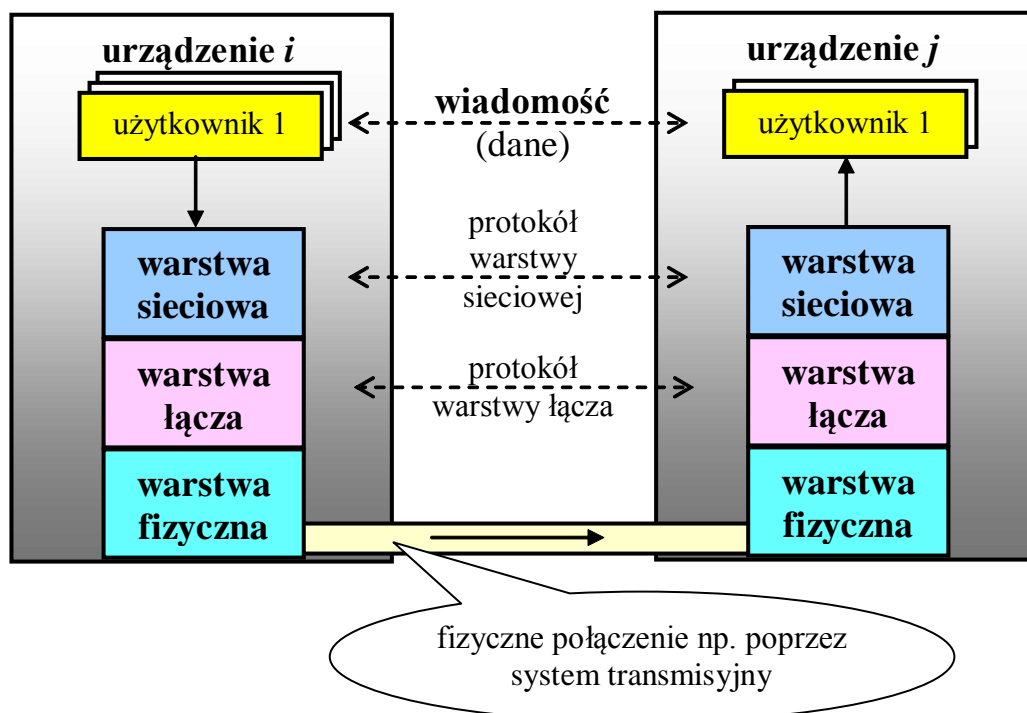
Jest odpowiedzialna za przekazywanie danych przez łącze (nowe znaczenie słowa łącze, dotychczas używane odnosiło się do warstwy fizycznej a tu jest użyte w sensie łącza logicznego). Określa granice strumienia bitów z warstwy fizycznej, umożliwiając identyfikację bitów w jednostce danych (np. pakiet, wiadomość). Steruje przepływem strumienia danych. Przeprowadza detekcję błędów transmisji i udostępnia mechanizmy odzyskiwania straconych jednostek danych, usuwania jednostek danych zduplikowanych lub błędnych.

Warstwa sieciowa

Warstwa ta wynika z faktu iż informacja ma być przekazywana między użytkownikami dołączonymi do sieci. Odpowiada więc za kierowanie przepływem informacji w sieci a także za komunikację między sieciami.

Podane definicje funkcjonalne odnoszą się do każdego systemu, który ma za zadanie przekazywać dane w sieci a nie tylko dla danych systemu sygnalizacji.

Na kolejnym rysunku pokazano bardzo ogólną zasadę podziału na warstwy w odniesieniu do systemu sygnalizacji (tylko trzy dolne warstwy; więcej szczegółów będzie przy omawianiu sieci sygnalizacyjnej), przy czym dla uproszczenia przepływ informacji zaznaczano tylko w jedną stronę.



Protokół każdej z warstw określa zasady współpracy odpowiadających sobie warstw i jest standaryzowany. Dla każdej z warstw istnieje wiele różnych standardów. Natomiast między warstwami tego samego urządzenia nie ma standardów (proszę zastanowić się dlaczego tak jest). **Na organizację protokołów potrzebne są dodatkowe informacje**, które muszą być dołączane w postaci **nagłówka** do danych przekazywanych przez użytkownika. Powoduje to wydłużenie pierwotnej długości danych. Przedstawiono to na kolejnym rysunku dla dwóch sąsiednich warstw.

Stos protokołów tworzy system sygnalizacji. System ten jest różny na styku UNI oraz NNI. Przykładowo dla styku UNI mamy system sygnalizacji DSS1 (**Digital Subscriber Signalling number 1**) dla abonenta ISDN (Integrated Services Digital Network) oraz DSS2 (**Digital Subscriber Signalling number 2**) dla abonenta B-ISDN (Broadband ISDN), natomiast dla styku NNI mamy odpowiednio system sygnalizacji SS7 ISUP (**Signalling System number 7** **whit ISUP**, więcej na ten temat w następnym temacie) oraz SS7 B-ISUP.

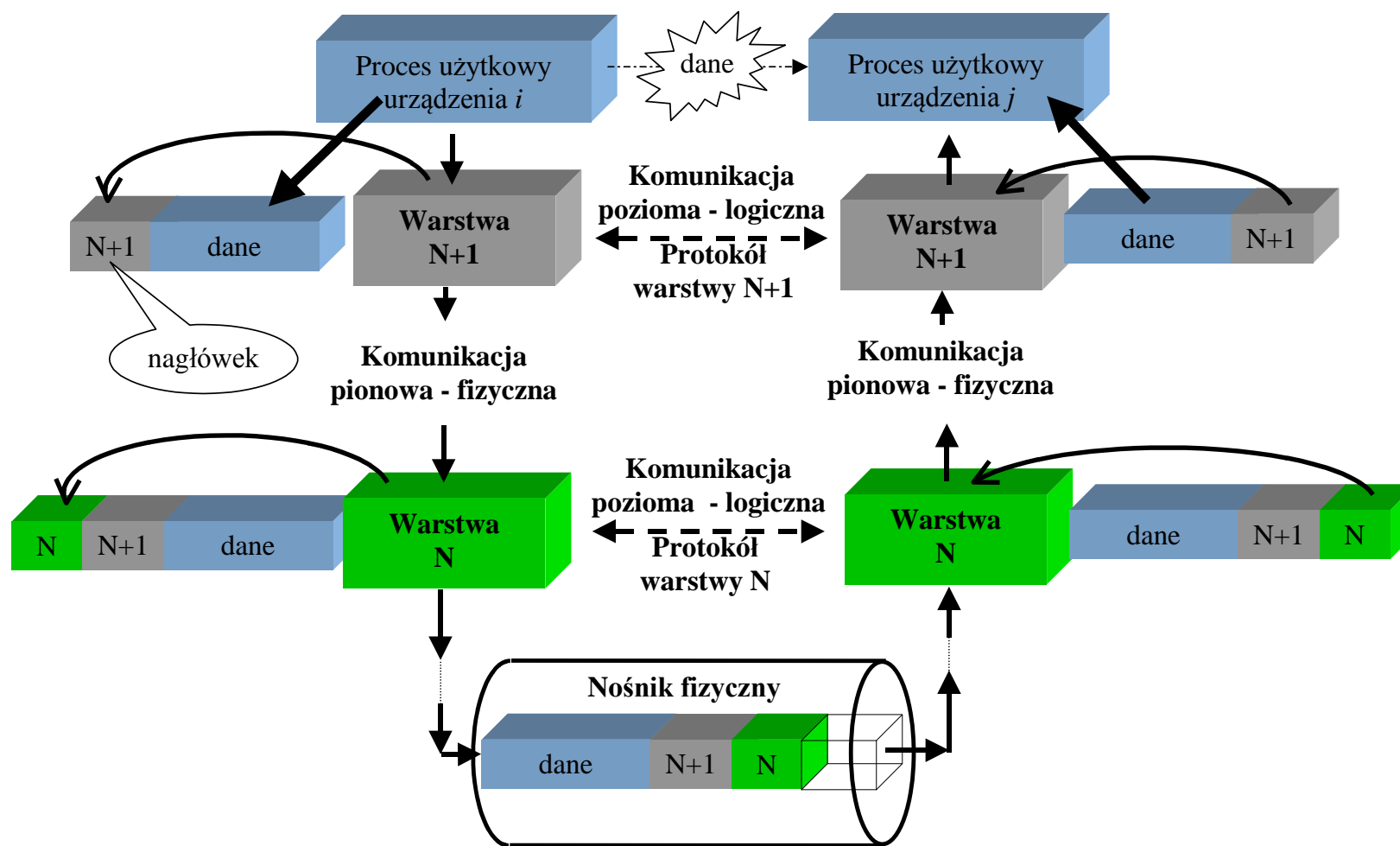
Zauważmy, że z punktu widzenia wymiany informacji sygnalizacyjnej połączenie w systemie sygnalizacji wymaga łącza, tzn. **mam bezpośrednio połączyć Control jednego węzła z Control drugiego węzła** dla węzłów, które są bezpośrednio połączone łączami dla przesyłania informacji użytkowej. Gdyby wprost zrealizować taki sposób połączeń dla wymiany informacji sygnalizacyjnej to okazałby się on kosztowny i mało elastyczny do potrzeb wynikających z zasady działania systemu sygnalizacji. Dlatego w przypadku wymiany informacji między węzłami dla potrzeb sterowania (informacji

sygnalizacyjnej) dla zoptymalizowania procesu przekazywania wiadomości można w ramach sieci telekomunikacyjnej zrealizować dodatkową sieć sygnalizacyjną. Sieć ta rządzi się swoimi zasadami wynikającymi z faktu, że realizuje komutację wiadomości. Proces jej projektowania (struktura i zasady) odbywa się według zasad stosowanych dla komutacji wiadomości i pakietów.

Na temat tej sieci sygnalizacyjnej powiemy nieco więcej w dalszym materiale.

Spostrzeżenie:

Przedstawiony tu sposób realizacji systemu sygnalizacji należy do rozwiązań, które bazuje na rozwiązaniu stosowanym w sieciach zorientowanych bezpołączeniowo. Przy czym na ogół wykorzystują one więcej niż trzy najniższe warstwy.



Uwaga: na rysunku pokazano przepływ danych tylko w jednym kierunku – od urządzenia *i* do urządzenia *j*.

Sieć sygnalizacyjna

Jak to już było wcześniej powiedziane dla wymiany informacji sygnalizacyjnej między węzłami sieci telekomunikacyjnej wyróżniono w niej sieć sygnalizacyjną. Uzasadnione jest to optymalizacją kosztów wymiany informacji i zapewnieniem odpowiedniego poziomu obsługi abonentów żądających usług.

Zatem należy się zastanowić jak taka sieć powinna być zorganizowana, tzn. jaka jest jej struktura oraz jakie funkcje i jaką strukturę mają jej elementy funkcjonalne, a dokładnie mówiąc jej węzły ponieważ łączy w warstwie fizycznej dla tej sieci są tak samo zrealizowane jak dla sieci telekomunikacyjnej przenoszące informacje użytkowe.

Nasze dalsze rozważania ograniczymy do konkretnego rozwiązania, które jest szeroko stosowane w sieciach telekomunikacyjnych i jest na tyle ogólne, że pokazuje zasady realizacji sygnalizacji i odpowiada ogólnej poprzednio przedstawionej idei. Jest to system sygnalizacji SS7 ISUP.

Przypomnijmy, że aby dwa węzły komutacyjne połączone wiązką łączy mogły zestawieć połączenie między sobą muszą wymieniać informację konieczną do obsługi tego połączenia. Jeden z nich jest węzłem inicjującym, tzn. węzłem z którego połączenie wychodzi, drugi natomiast jest węzłem przyjmującym połączenie, tzn. węzłem do którego połączenie przychodzi.

Co musi przekazać węzeł inicjujący do węzła przyjmującego? Otóż podstawowa informacja która jest niezbędna to:

- numer łącza w tej wiązce które zostało wybrane do zrealizowania połączenia,
- numer abonenta żądanego (wywołanego) z którym ma być zestawione połączenie,
- atrybuty opisujące usługę, która ma być na tym łączu zrealizowana.

Oczywiście wymieniamy tu tylko minimalne wymagania na przekazywaną informację. W ogólności tych informacji może być więcej.

Kolejne pytanie na które należy odpowiedzieć to w jakim formacie ta informacja będzie przekazana? Jest to konieczne dlatego żeby strona odbierająca mogła w poprawny sposób rozpoznać i zinterpretować informację.

Następny problem to pytanie o zasady współpracy obu stron przy wymianie informacji oraz wzajemne informowanie o stanie realizacji połączenia. Tu-

taj jedynym rozwiązaniem jest odpowiednio dobrany protokół, który uwzględnia zarówno wcześniej wymienione potrzeby (format danych i ich wartości) jak i fakt, że mamy obsługiwać realizację połączenia nie tylko między tymi dwoma węzłami ale w całej sieci telekomunikacyjnej. Taki protokół został opracowany i w przypadku sieci ISDN nosi on nazwę ISDN User Part co daje skrót ISUP. Protokół ten generuje określone sekwencje wiadomości, które są wymieniane między oprogramowaniem realizującym ten protokół w obu węzłach, w oparciu o informacje dostarczane przez oprogramowanie sterujące (Control) tych węzłów.

Pozostaje jeszcze problem rozwiązania niezawodnego dostarczenia tych wiadomości do odbiorcy. Sposób realizacji tego zadania i jego uzasadnienie zostało omówione i przedstawione w poprzednim punkcie (temacie) tego materiału. Zatem do przekazywania tej informacji powinna być wydzielona sieć transportowa (transferowa). Sieć taka jest rzeczywiście zrealizowana i nosi ona nazwę sieci sygnalizacyjnej ze względu na to, że przenosi wiadomości sygnalizacyjne.

Sieć ta jest logicznie wydzielona w sieci telekomunikacyjnej chociaż jest zrealizowana w tych samych elementach co sieć telekomunikacyjna.

Sieć SS7 składa się z węzłów sygnalizacyjnych nazywanych punktami sygnalizacyjnymi SP (Signalling Point) oraz łączy łączących te węzły sygnalizacyjne.

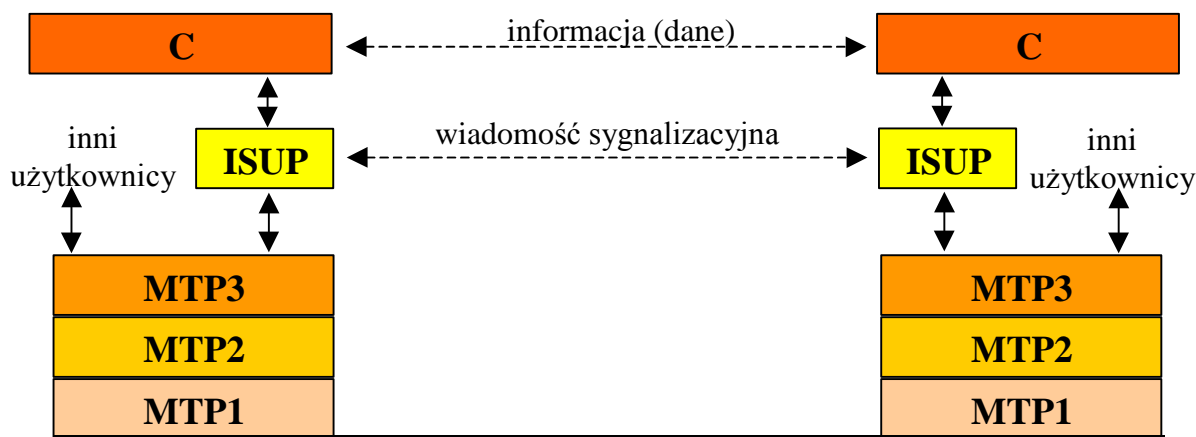
Bezpośrednim użytkownikiem tej sieci jest ISUP z którego usług korzysta program sterujący (Control - C) węzła komutacyjnego.

W związku z takim rozwiązaniem nasuwa się kolejne pytanie: jak powinien być zorganizowany punkt sygnalizacyjny oraz jakie powinien realizować funkcje?

Odpowiedź jest w miarę prosta i wynika z założenia niezawodnego przekazywania danych (wiadomości sygnalizacyjnych) w sieci sygnalizacyjnej między określonymi użytkownikami. A przypomnijmy, że użytkownikami są ISUP'y. Ponieważ punkty sygnalizacyjne wraz z łączami tworzą sieć sygnalizacyjną to w punktach sygnalizacyjnych muszą być realizowane funkcje dotyczące (patrz poprzedni temat): warstwy fizycznej w której utworzony jest kanał sygnalizacyjny, warstwy łącza danych dla zapewnienia niezawodnego dostarczania wiadomości od punktu do punktu sygnalizacyjnego oraz funkcje warstwy sieciowej dla zrealizowania dostarczenia wiadomości od początkowego punktu sygnalizacyjnego OSP (Originating SP) do końcowego punktu sygnalizacyjnego DSP (Destination SP).

W odróżnieniu od warstwowego modelu odniesienia tutaj, zamiast określenia warstwa, używa się określenia poziom co ma swoje uzasadnienie ale nie będzie ono tu rozwijane. I tak mamy poziom pierwszy – fizyczny, poziom drugi – łącza danych oraz poziom trzeci – sieci. Te trzy poziomy razem wzięte nazywane są Message Transfer Part (MTP). Dla każdego z poziomów używa się też skrótu odpowiednio: MTP1, MTP2 i MTP3. Wprowadzono także pojęcie łącza sygnalizacyjnego SL (Signalling Link), które obejmuje MTP2 – MTP1 – MTP2. Między dwoma punktami sygnalizacyjnymi może być większa liczba łączy sygnalizacyjnych (co najmniej dwa ze względów niezawodnościowych, a jeżeli więcej to dlaczego?). Zbiór tych łączy nazywamy wiązką sygnalizacyjną.

Na rysunku pokazano wzajemne relacje wymienionych elementów funkcjonalnych w postaci ogólnego modelu dla dwóch połączonych punktów sygnalizacyjnych (proszę to porównać z ogólnymi rozważaniami przeprowadzonymi w poprzednim temacie i znaleźć odpowiedniki!!!).



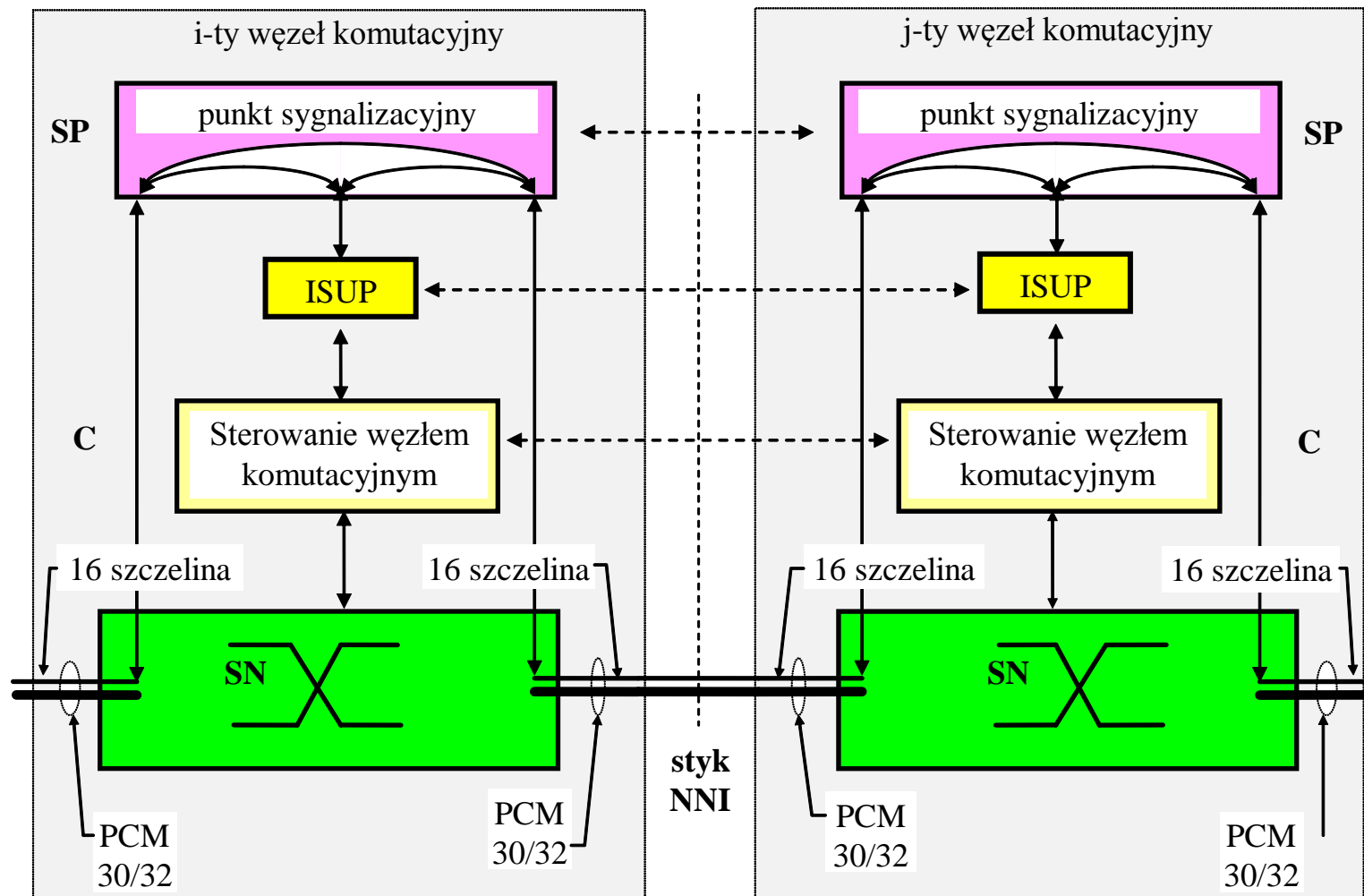
Na kolejnym rysunku pokazano strukturę funkcjonalną dwóch węzłów komutacyjnych, połączonych standardowym systemem transmisyjnym PCM30/32, z uwzględnieniem obecności punktu sygnalizacyjnego SP w każdym z nich. Zaznaczono na nim także możliwe sytuacje przepływu wiadomości sygnalizacyjnych w punkcie sygnalizacyjnym SP.

Najogólniej mówiąc MTP1 jest zrealizowane na 16-tej szczelinie systemu PCM30/32 oraz elementach węzła komutacyjnego (SN – Switching Network, PK - Pole Komutacyjne) i w ten sposób uzyskany kanał ma przepływność 64kbit/sek. Zatem jest to także maksymalna przepływność łącza sygnalizacyjnego. Jest ono projektowane na maksymalne wykorzystanie wynoszące 20% (obciążenie 0.2). Kanał ten jest wspólny dla obsługi połączeń realizowanych przez wiązkę łączy międzywęzłowych, której został on

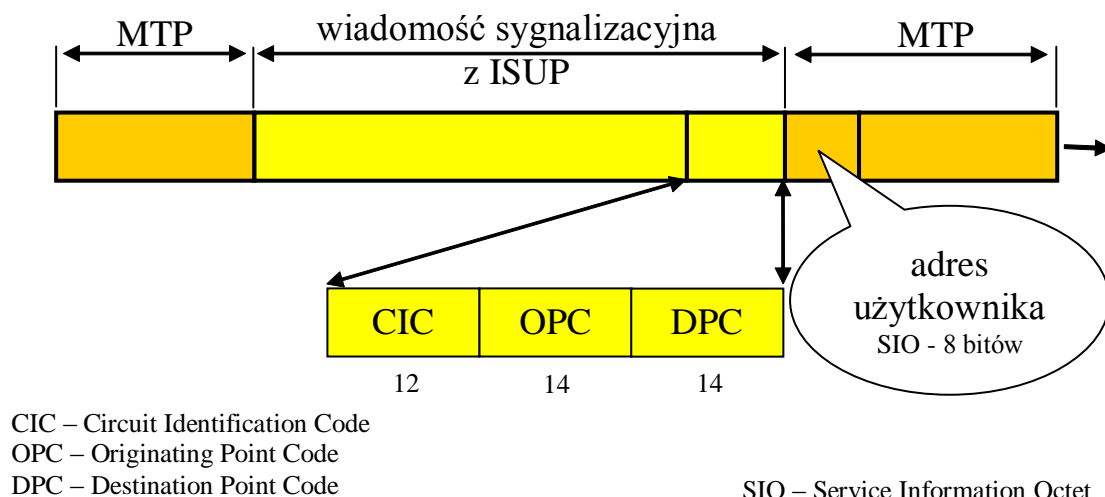
przyporządkowany. Jest to więc sygnalizacja typu CCS (Common Channel Signalling) czyli sygnalizacja w wspólnym kanale.

Z uwagi na wielu użytkowników tego kanału w MTP2 zastosowano buforowanie wiadomości. ISUP, MTP3 oraz częściowo MTP2 są zrealizowane w postaci oprogramowania, przy czym ISUP jest rozproszony po komputerach modułów łączy węzła komutacyjnego, a MTP3 jest zrealizowany w postaci systemu wielokomputerowego pracującego w czasie rzeczywistym.

Struktura węzła komutacyjnego i przepływ informacji sygnalizacyjnej



Ponieważ mamy sieć sygnalizacyjną i jej użytkowników konieczne jest chociaż krótko powiedzenie o zasadach adresacji w tej sieci. Otóż adresowane są wszystkie punkty sygnalizacyjne, i na ich zakodowanie przeznaczono czternaście bitów, oraz użytkownicy MTP3 (np. ISUP) i na to przeznaczono osiem bitów. Adres punktu sygnalizacyjnego OSP oznaczany jest przez OPC (Originating Point Code), natomiast adres punktu sygnalizacyjnego DSP oznaczony przez DPC (Destination Point Code). Ponieważ przekazywana wiadomość dotyczy konkretnego połączenia między dwoma węzłami komutacyjnymi realizowanego na określonym łączu to konieczne jest uwzględnienie tej informacji w wiadomości. Na zaadresowanie tego łącza (CIC - Circuit Identification Code) przeznaczono dwanaście bitów. Z tego wynika, że sygnalizacja może obsłużyć między dwoma węzłami komutacyjnymi 4096 łączy. Aby pokazać gdzie ulokowane są te adresy konieczne jest przedstawienie ogólnego formatu wiadomości na poziomie MTP3. Na kolejnym rysunku pokazano tylko dwie części tego formatu: część określaną przez MTP oraz część pochodzącą z ISUP. W każdej z nich zaznaczono miejsce wystąpienia określonej informacji adresowej. OPC jest kodem początkowego punktu sygnalizacyjnego, tzn. punktu sygnalizacyjnego związanego z węzłem który zajął łącze (którego kod jest w CIC) do następnego węzła komutacyjnego, natomiast DPC jest kodem docelowego punktu sygnalizacyjnego, tzn. punktu sygnalizacyjnego, który jest związany z węzłem komutacyjnym w którym kończy się wyżej wymienione zajęte łącze.



Po tych rozważaniach możemy przejść do pokazania związku między siecią telekomunikacyjną a siecią sygnalizacyjną, która sprzętowo należy do sieci telekomunikacyjnej ale logicznie jest w niej wydzielona. Na tą sieć składają się punkty sygnalizacyjne połączone kanałami o przepływności 64kbit/sek bazujące na szesnastej szczelinie czasowej. Wiadomość sygnalizacyjna utworzona w ISUP zostaje przenoszona w sieci sygnalizacyjnej od począt-

kowego punktu sygnalizacyjnego (o kodzie w OPC) do docelowego punktu sygnalizacyjnego (o kodzie w DPC). Punkt z OPC należy do węzła komutacyjnego, który zajął łącze dla użytkownika do następnego węzła komutacyjnego w procesie zestawiania połączenia, natomiast punkt z DPC należy do węzła komutacyjnego w którym kończy się wyżej wymienione zajęte łącze. Oczywiście wiadomość sygnalizacyjna w ogólnym przypadku może przechodzić przez pośrednie punkty sygnalizacyjne, które są nazywane dla tej wiadomości transferowymi punktami sygnalizacyjnymi (**STP – Signal-ling Transfer Point**).

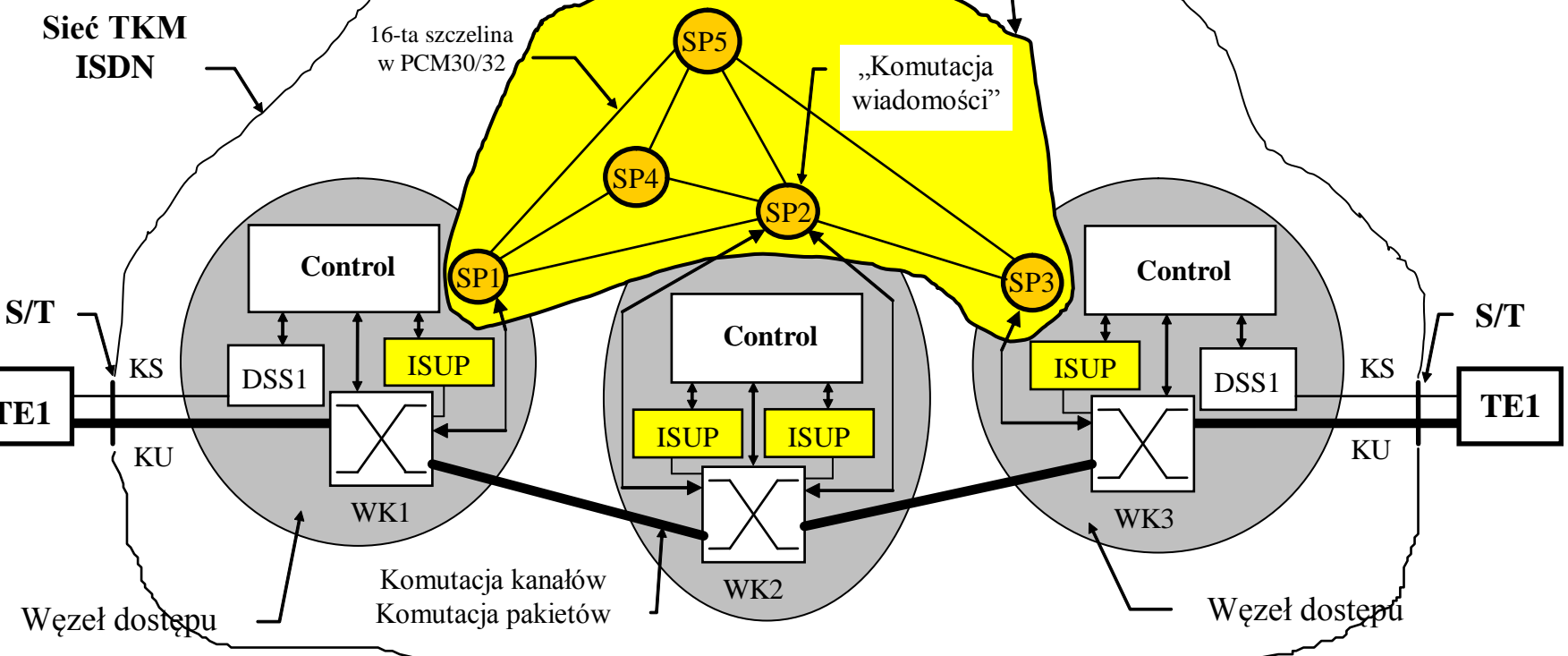
Na kolejnym rysunku pokazano sieć telekomunikacyjną w której połączenie z WK1 do WK3 przechodzi przez jeden tranzytowy węzeł komutacyjny WK2. Rozważana sieć telekomunikacyjna ma pięć punktów sygnalizacyjnych: SP1, SP2, SP3, SP4 i SP5. Dla obsługi połączenia między węzłem komutacyjnym WK1 i WK2 mogą być wykorzystane różne drogi sygnalizacyjne dla przeniesienia wiadomości sygnalizacyjnej między SP1 i SP2. Możliwe sytuacje to: SP1 i SP2, albo SP1, SP4 i SP2, albo SP1, SP5 i SP2, itp. Z kolei dla obsługi połączenia między WK2 i WK3 (są to punkty SP2 i SP3) są to: SP2, SP3, albo SP2, SP5 i SP3, itp. To jakie drogi sygnalizacyjne zostaną wykorzystane zależy od zawartości tablic routingu.

Podstawowe nazwy wiadomości wykorzystywane przez protokół ISUP i konieczne dla realizacji połączenia to (wymienione są alfabetycznie):

- **Address Complete Message (ACM)** – informuje że strona nadająca tą wiadomość nie potrzebuje już żadnej informacji dla realizacji połączenia,
- **Answer Message (ANM)** – informuje że żądany abonent zgłosił się i rozpoczęło się połączenie,
- **Initial Address Message (IAM)** – zawiera informację o adresie żadanego abonenta oraz atrybuty usługi,
- **ReLease Complete message (RLC)** – potwierdzenie rozłączenia (zwolnienia zasobów),
- **RELease message (REL)** – żądanie rozłączenia połączenia (zwolnienia zasobów).

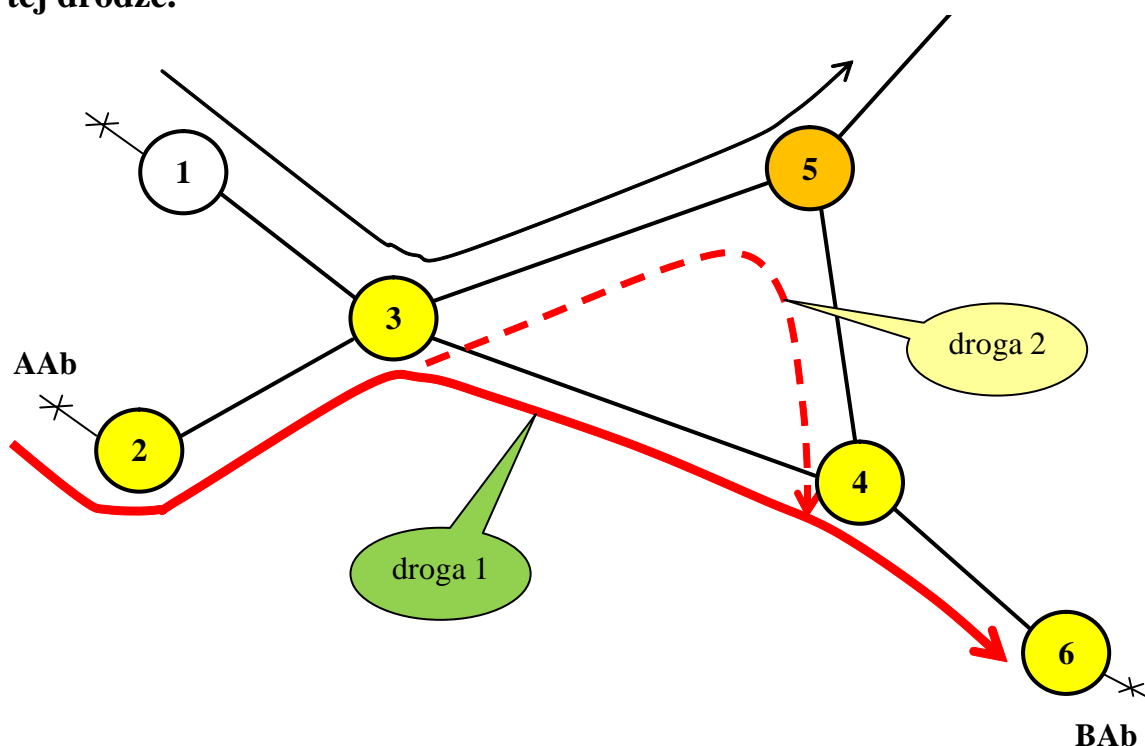
Proszę spróbować samemu wymienić sekwencję wiadomości wymienianych między programami ISUP dla realizacji połączenia przedstawionego na rysunku sieci telekomunikacyjnej i sieci sygnalizacyjnej.

Sieć telekomunikacyjna wraz z siecią sygnalizacyjną



RUTING

Z dotychczasowych rozważań wynika, że aby zrealizować wymianę informacji między terminalami użytkowników (abonentów) dołączonych do sieci telekomunikacyjnej to w tej sieci musi być zainstalowana funkcja routingu czyli wyboru drogi po której ta informacja będzie przekazywana, przenoszona w utworzonych kanałach (tam i z powrotem). To przekazywanie informacji będzie realizowane przy wykorzystaniu zasobów znajdujących się w tej drodze.



Realizacja połączenia między terminalami abonentów AAb i BAb wymaga aby węzeł 3 przesyłał informację drogą 1 albo drogą 2. W oparciu o jakie dane w węźle 3 ma być podjęta taka decyzja?

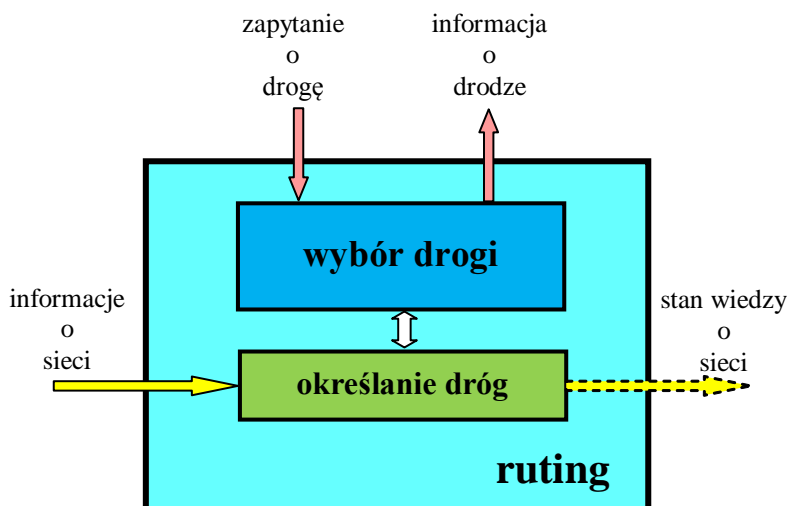
Zauważmy, że podstawowym celem jest osiągnięcie węzła do którego dołączony jest terminal żadanego abonenta. Jednakże cel ten może być osiągnięty różnymi drogami. Zatem nie wystarczy znajomość samych dróg ale także kryterium wyboru. Może się okazać, że to kryterium wyboru ma wpływ na rodzaj informacji jaką musimy dysponować o drogach (elementach je tworzących) nazywanych atrybutami.

Najogólniej mówiąc funkcja routingu musi realizować dwa podstawowe zadania:

- określenia dróg, które spełniają z góry narzucone wymagania (jakie?),

- a następnie **wyboru jednej** z nich przy określonym kryterium tego wyboru.

Zadania te są na ogół realizowane rozłącznie oraz według różnych zasad i lokalizacjach w sieci.



Zadanie określania dróg wymaga pozyskiwania informacji o strukturze i zasobach sieciowych, ich przetwarzania i przechowywania w postaci **bazy danych**. Baza ta musi zawierać aktualne dane dotyczące sieci telekomunikacyjnej. Z tej bazy danych korzysta **zadanie wyboru drogi**, które jest wywoływane w chwili, gdy istnieje potrzeba wskazania drogi dla konkretnej usługi wymiany informacji.

Z tego wynika, że **funkcja routingu** musi dysponować **mechanizmami komunikacji** z innymi elementami funkcjonalnymi sieci. Dotychczas poznaliśmy tylko dwa takie elementy, tzn. węzeł komutacyjny oraz centrum. Oczywiście **funkcja routingu może być umieszczona** w każdym z tych elementów lub w dodatkowych elementach funkcjonalnych przeznaczonych do realizacji różnego rodzaju funkcji a w tym funkcji routingu. Co więcej oba zadania nie muszą być umieszczone fizycznie w tym samym elemencie.

Zadanie **pozyskiwania informacji o sieci** na potrzeby określania dróg połączeniowych może być realizowane na wiele sposobów przy czym wyróżnić da się dwa skrajne podejścia:

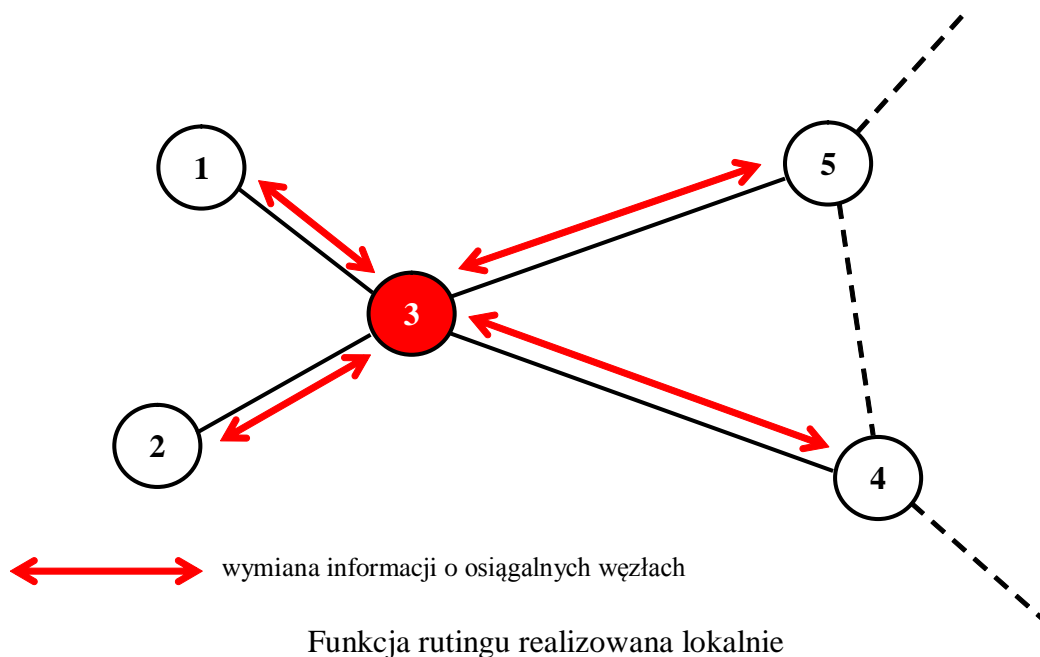
- **lokalne**, gdy realizuje to każdy węzeł sieci telekomunikacyjnej,
- **centralne**, gdy na poziomie sieci zostaje dla realizacji tego zadania wprowadzony specjalny element funkcjonalny.

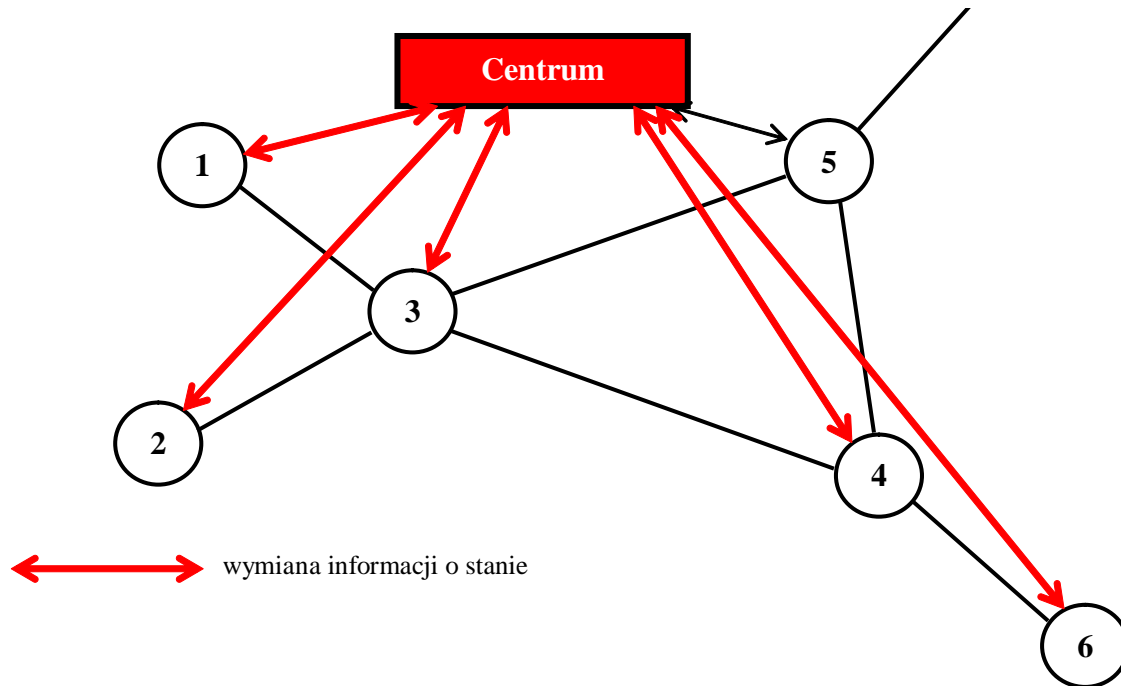
Ogólnie przedstawiono to na kolejnych rysunkach. Zauważmy, że **dla pierwszego przypadku** węzeł komutacyjny komunikując się ze swoimi są-

siadami uzyskuje te informacje. Jeżeli sieć jest duża to zmiany w sieci propagują się poprzez węzły komutacyjne co wymaga określonego czasu dla ustabilizowania się zawartości baz danych w poszczególnych węzłach komutacyjnych. Jeżeli zatem zmiany w sieci są szybkie to może mieć miejsce taka sytuacja, że **baza danych** dla całej sieci **nie będzie spójna** z uwagi na jej rozproszenie. To z kolei może prowadzić do niewłaściwego działania funkcji routingu.

Jaki czynnik decyduje o tym, że informacja o sieci zmienia się szybko? Otóż zależy to o tego **jakimi atrybutami będziemy opisywali drogi połączeniowe**. Jeżeli jednym z atrybutów będzie **stan zajętości zasobów** to wówczas te zmiany będą szybkie (dlaczego?). Natomiast jeżeli jedyną informacją będzie tylko to **czy istnieje droga** to wówczas zmiany informacji będą nieczęste i wystąpią tylko wówczas, gdy będzie miało miejsce uszkodzenie, usunięcie lub wprowadzenie nowego elementu sieci (węzła i jego dołączenie do innych węzłów). Zaletą takiego rozwiązania tworzenia bazy danych określającej drogi połączeniowe jest **dobra skalowalność** tego rozwiązania (przy wzroście pojemności sieci nie następuje wzrost złożoności funkcji routingu).

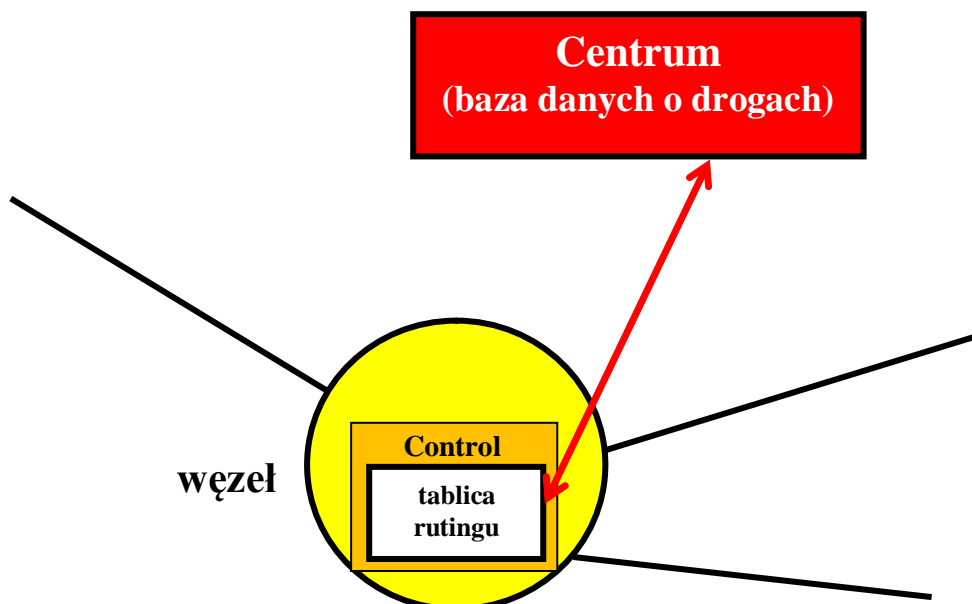
W przypadku **rozwiązania centralnego** informacje o sieci są zbierane w centrum, które tworzy bazę danych. Rozwiązanie to **wymaga komunikacji centrum** z każdym węzłem sieci, który podlega temu centrum. W centrum musi być **znaczna moc obliczeniowa** dla przetwarzania informacji w celu tworzenia bazy danych. Nie ma jednak **problemu ze spójnością** bazy danych. Rozwiązanie to **nie jest skalowalne**.



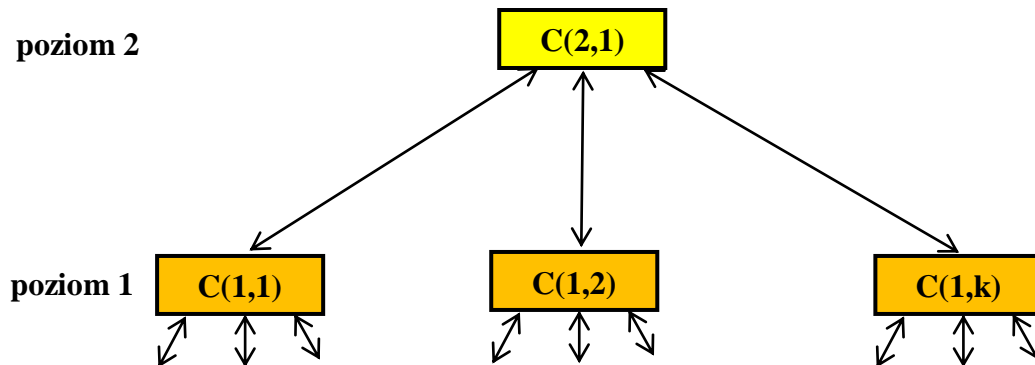


Funkcja routingu realizowana w centrum

Zauważmy, że przy **pełnej centralizacji** funkcji routingu oba zadania są realizowane w centrum **co nie jest korzystne** z uwagi na ciągłe odwoływanie się do tego centrum przy każdej próbie wymiany informacji dla danego połączenia. Dlatego też na ogół dla tego rozwiązania **oba zadania są rozdzielane** i w centrum jest baza danych dla dróg połączeniowych, natomiast do każdego węzła przesyłana jest indywidualna tablica routingu zawierająca informacje dla realizacji funkcji wyboru drogi połączeniowej. Pokazano to na kolejnym rysunku.



Z uwagi na **brak skalowalności** funkcji routingu w przypadku rozwiązania centralnego wprowadza się **strukturę hierarchiczną**. Na kolejnym rysunku pokazano taką strukturę dla dwóch poziomów w tej hierarchii.



Oczywiście istnieje szereg pośrednich rozwiązań łączących w sobie zalety rozwiązania lokalnego i centralnego. Jednakże z uwagi na czas przeznaczony na ten problem w ramach tego wykładu oraz faktu, że **problem routingu jest bardzo złożony** to zagadnienie to nie będziemy dalej tu rozwijali.

Przejdźmy do krótkiego **scharakteryzowania atrybutów** jakie mogą być brane pod uwagę przy opisie i wyborze drogi. Otóż do najważniejszych z nich możemy zaliczyć:

- osiągnięcie węzła docelowego (podstawowy i trywialny bo wynika z funkcji routingu),
- **długość drogi**; tu może być to różnie rozumiane ale podstawowym znaczeniem jest długość wyrażona w liczbie węzłów, które znajdują się na tej drodze,
- **opóźnienie na drodze**,
- zmiana (**wariancja**) opóźnienia na drodze,
- **dostępne zasoby** (łącza, pasmo),
- **obciążenie drogi**,
- itp.

Najprostsze rozwiązanie mamy wówczas, gdy brany jest pod uwagę tylko **pierwszy** z nich. Baza danych jest bardzo prosta sprowadza się do zapisu prefiksów numerów (adresów) abonentów terminali i numerów węzłów, poprzez które są one (prefiksy) osiągalne. Jeżeli **dodatkowo** chcemy brać pod uwagę informację o **liczbie węzłów**, które musimy przejść na danej drodze to musimy tą informację dodać do tej tablicy. Na przykład **dla węzła numer 3** z rozważanego tu fragmentu sieci może to być tablica o postaci

przedstawionej w dalszej części tekstu. Przy czym w tablicy tej podano w osobnych kolumnach oba rozwiązania. W drugim przypadku w nawiasie jest podana liczba węzłów. Tablica ta może znajdować się w centrum lub w węźle komutacyjnym numer 3. Aktualnie dla sieci PSTN/ISDN stosuje się drugie rozwiązanie ponieważ jest prostsze i łatwiejsze w utrzymaniu. Proszę na podstawie tej tabeli określić w jakich węzłach znajdują się abonenci o zadanych prefiksach.

Prefiks	Kolejny węzeł	Kolejny węzeł (liczba węzłów)
347,348	1	1(1)
65	5,4	4(2),5(3)
302,306	4,5	4(1),5(2)
77	5	5(2)
551,552	2	2(1)

Oczywiście, gdybyśmy chcieli brać pod uwagę więcej atrybutów to tablica ta musiałaby być odpowiednio rozbudowana.

Następny problem to realizacja zadania wyboru drogi z wielu możliwych dróg, np. w tablicy dla prefiksu 65 mamy dwie drogi. Jeżeli jako kryterium przyjmujemy kolejność zapisu w tabeli (dla pierwszego opisu) albo długość drogi (dla drugiego opisu) to otrzymamy różne odpowiedzi. Dla pierwszego przypadku będzie to droga przez węzeł 5, a dla drugiego przypadku jest to droga przez węzeł 4.

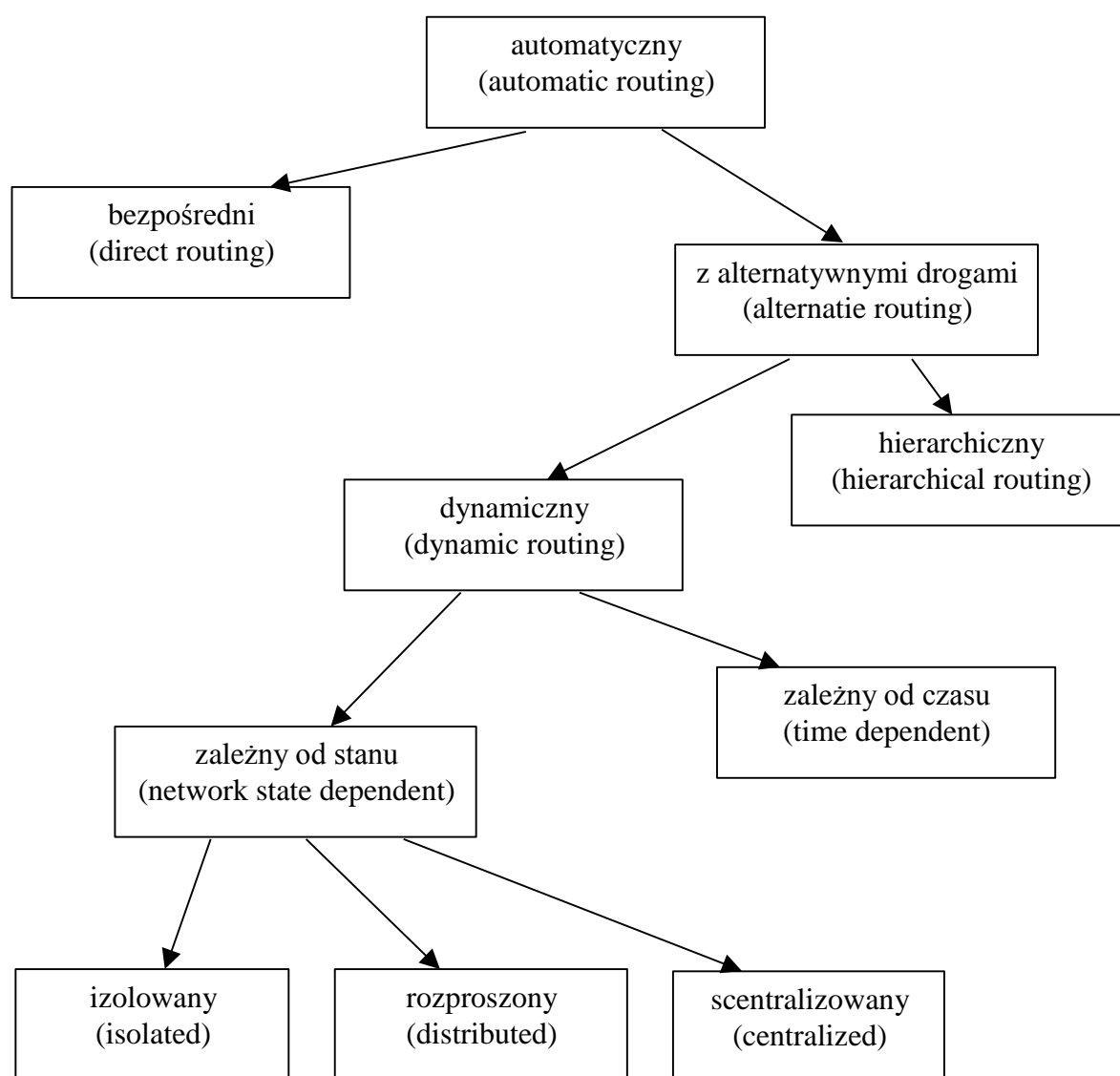
Zatem informacje o drodze zapisane w bazie danych oraz kryterium wyboru drogi mają istotny wpływ na to którą zostanie przesłana informacja. Stąd prosty wniosek, że funkcja routingu ma istotny wpływ na pracę sieci.

Istotnym i nie trywialnym problemem jest wybór drogi, gdy kryterium jest wieloskładnikowe czyli bierzemy pod uwagę kilka parametrów, np. długość drogi, opóźnienie, wolne pasmo i przepływność. W takim przypadku powstaje problem sposobu porównania dwóch dróg i stwierdzeniu, którą z nich należy wybrać. W tym celu wprowadzono metrykę $M(d)$ drogi d , która uwzględnia każdy z parametrów. Wartość metryki jest podstawą dla podejmowania decyzji wyboru. Jeżeli jest ona tak skonstruowana, że jej najmniejsza wartość oznacza najkorzystniejszą decyzję to wówczas wybór sprowadza się do uporządkowania metryk według ich wartości i wyboru tej która ma najmniejszą wartość. Przykładowo jeżeli spośród zbioru pięciu dróg d_1, d_2, d_3, d_4 i d_5 uzyskamy następujące uporządkowanie ich metryk

$$M(d_2) < M(d_5) < M(d_1) < M(d_4) < M(d_3)$$

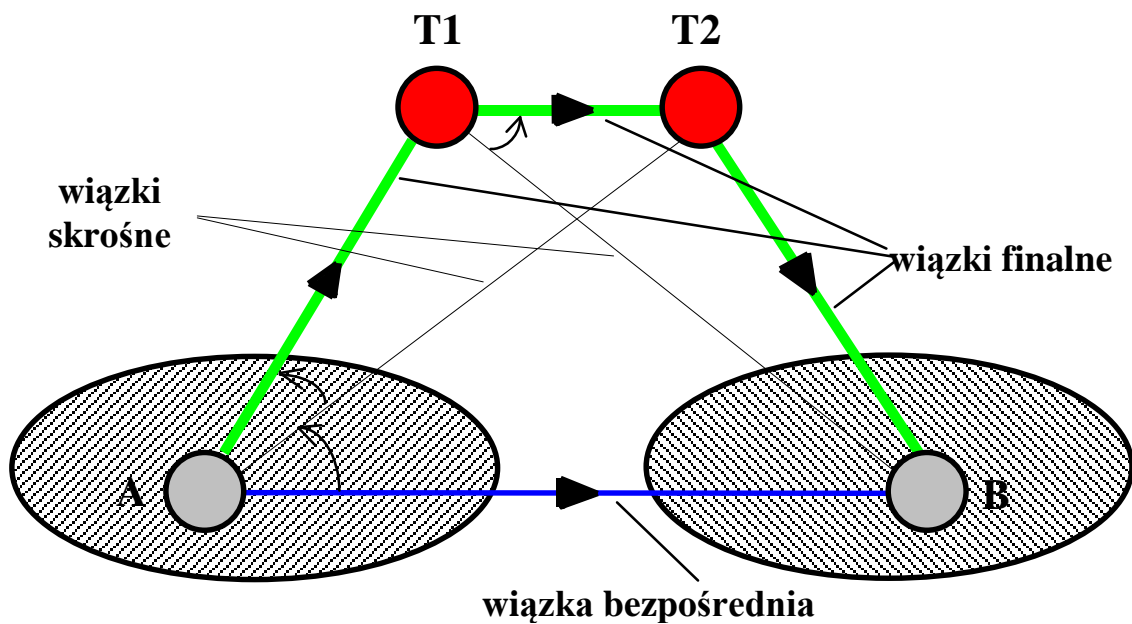
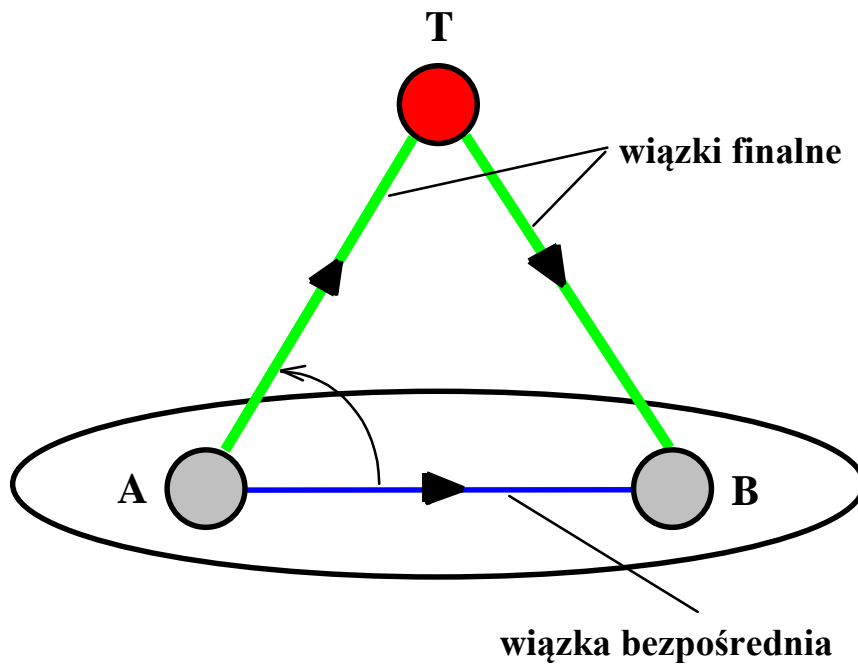
to dla realizacji połączenia wybierzemy drogę d_2 . Oczywiście jak widać to na przykładzie problem wyboru został uproszczony ale nie trywialne jest podanie właściwej metryki przy użyciu której osiągniemy postawiony cel dla funkcji routingu. Nie ma tu ogólnej jednoznacznej metody postępowania. **Metryki są dobierane jak na razie w sposób heurystyczny** na drodze rozważań analitycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych na realnej sieci.

W dalszej części podamy **ogólną klasyfikację metod routingu** w ich historycznym rozwoju, która została ujęta na kolejnym rysunku (lata upływają z góry na dół rysunku).



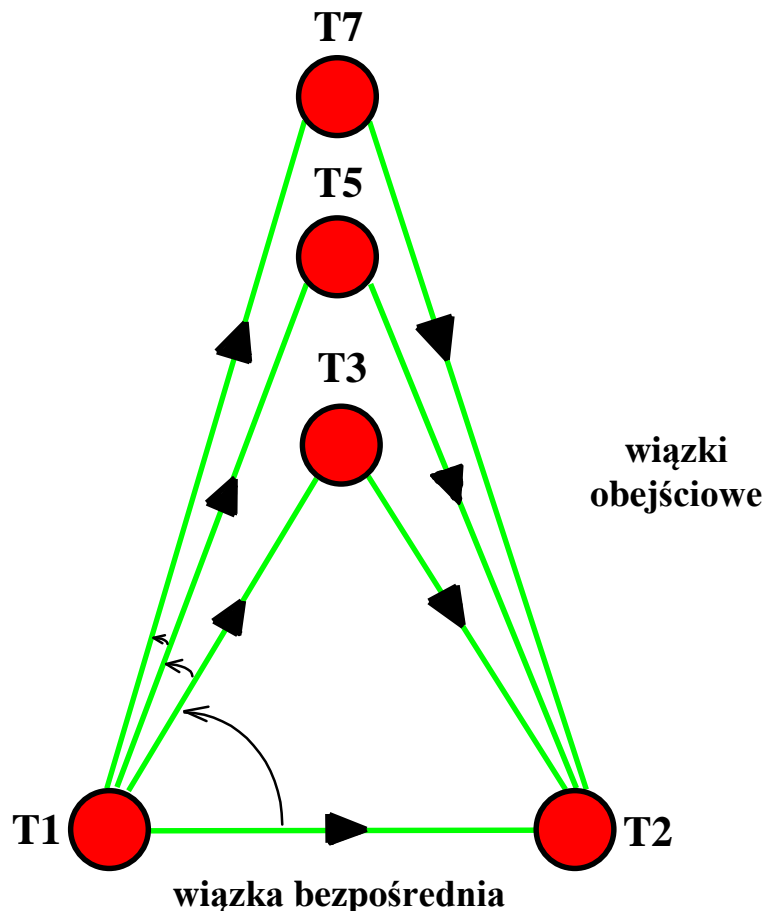
Oczywiście aktualnie największe znaczenie mają metody **routingu dynamicznego** (należą do niehierarchicznych metod). Na kolejnych rysunkach przedstawiono proste przykłady dla hierarchicznego i niehierarchicznego routingu.

Hierarchiczna metoda kierowania ruchem



- w każdym węźle dla każdego węzła docelowego znajduje się jedna tablica
- jeżeli jest blokada dla wszystkich wiązek w tablicy to następuje strata
- wiązki bezpośrednie i skróśne są opcjonalne (wysoko stratne)

Niehierarchiczna - dynamiczna metoda kierowania ruchem



- w każdym węźle znajdują się co najmniej dwie tablice - jedna dla zgłoszeń pierwotnych tego węzła, druga dla zgłoszeń tranzytowych przez ten węzeł
- wybór drogi obejściowej uzależniony jest od zastosowanych reguł (metod)
- wszystkie wiązki są średnio stratne

Dlaczego właśnie dynamiczne metody routingu są tak preferowane?

Metody te biorą pod uwagę **aktualny stan sieci** i starają się lokować ruch (połączenia) tak aby **maksymalizować wykorzystanie posiadanych zasobów** przy jednoczesnym zapewnieniu abonentom określonego poziomu usług. W konsekwencji umożliwia to **zaoszczędzenie od 10 do 25 procent zasobów**. Zauważmy, że te oszczędności wynikają z tego że mamy określony algorytm postępowania, który jest realizowany programowo a skutkuje on w tak dużych oszczędnościach w zasobach sieci rozumianej jako ta część twarda (hardware).

Operatorzy sieci telekomunikacyjnej stosują różne metody dynamicznego routingu opracowane na potrzeby konkretnej struktury sieci i stosowanych rozwiązań węzłów komutacyjnych. W literaturze używane są skróty dla każdej z metod, a nazwy tych metod (reguł) dla wybranych operatorów zestawiono poniżej:

- **operator AT&T**: **DNHR** – Dynamic Non-Hierarchical Routing, **TSMR** – Trunk Status Map Routing, **RTNR** – Real Time Network Routing, **COS/RTNR** – Class of Services RTNR,
- **operator Northern Telecom**: **DCR** – Dynamically Controlled Routing,
- **operator France Telecom**: **STAR** – System to Test Adaptive Routing,
- **operator British Telecom**: **DAR** – Dynamic Alternative Routing,
- **operator Bellcore**: **DR-5** – Dynamic Routing 5,
- **operator NTT**: **STR** – State and Time dependent Routing.

Z kolei w tabeli zestawiono główne cechy każdej z wymienionych metod routingu biorąc pod uwagę: mechanizm metody dynamicznej, topologię realizacji algorytmu oraz częstość odświeżania informacji o rekomendowanych drogach.

Podstawowe cechy dynamicznych metod routingu

Metoda	Mechanizm	Topologia	Częstość
DNHR	zależny od czasu	scentralizowana	godziny
RTNR	zależny od stanu	rozproszona	-
DCR	zależny od stanu	scentralizowana	rzędu 10 -15sek.
STAR	zależny od stanu	scentralizowana	rzędu 1minuty do 10 sek.
DAR	zależny od stanu	izolowana	co połączenie
DR-5	zależny od stanu	scentralizowana	rzędu 5 minut
STR	zależny od czasu i stanu	izolowana	co połączenie

Metoda dynamicznego routingu DNHR jest oparta na scentralizowanym systemie zbierania danych, który przygotowuje po odpowiednim przetworzeniu dziesięć zestawów tablic routingu dla każdej pary węzłów komutacyjnych. Każda tablica dotyczy kierowania w ściśle określonym przedziale czasu w ciągu doby. Tablice są przygotowywane raz na tydzień w oparciu o zebrane dane. Wprowadzono dodatkowe mechanizmy zwiększające efektywność przez zastosowanie procedury zestawiania połączenia opartej na „crank-back procedure” oraz mechanizmu dynamicznej rezerwacji łączy dla ruchu bezpośredniego. Możliwości metody DNHR zostały zwiększone przez wprowadzenie uzależnienia od stanu wiązek łączy (TSMR).

Metoda RTNR została wprowadzona w miejsce DNHR. Oparta jest na pozyskiwaniu informacji o stanie sieci telekomunikacyjnej przy wykorzystaniu sieci sygnalizacyjnej. Jej istotną cechą jest to, że każdy węzeł komutacyjny gromadzi i przetwarza informacje o stanie sieci niezależnie od pozostałych węzłów.

Metoda DCR bazuje na scentralizowanym systemie gromadzenia i przetwarzania informacji o stanie zajętości wiązek łączy międzywęzłowych (a dokładniej liczbie wolnych łączy przy uwzględnieniu rezerwacji łączy) w cyklu 10 do 15 sekund. Jako kryterium wyboru drogi alternatywnej przyjmuje się maksimum wolnych łączy – minimalne obciążenie”. Nie jest stosowany mechanizm „crank-back procedure”.

Metoda STAR oparta jest o podobną koncepcję jak DCR, przy czym ze względu na moc obliczeniową w początkowym okresie stosowany był cykl generowania tablic równy jednej minucie, a następnie zmniejszany do 10 sekund. Wybór sekwencji dróg alternatywnych dla każdej pary węzłów komutacyjnych jest realizowany w oparciu o malejącą wartość liczby wolnych łączy.

Metoda DAR należy do innej klasy systemów uaktualniania informacji o stanie systemu i sposobie wyboru alternatywnej drogi połączeniowej. Zastosowano tu metodę opartą o uczące się automaty. Rekomendowana droga obejściowa jest wybierana losowo spośród dostępnych dróg i pozostaje ona nią tak długo, jak długo będzie można przy jej wykorzystaniu zrealizować połączenie. W przypadku pierwszej niemożności zrealizowania tą drogą połączenia, następuje strata wywołania i zostaje losowo wybrana następna rekomendowana droga alternatywna spośród pozostałych możliwych dróg.

Metoda DR-5 jest w swych ogólnych zasadach taka sama jak metoda STAR. Sposób określania rekomendowanej drogi alternatywnej jest jednak inny i oparty o optymalizację kosztów na przyszły pięciominutowy okres czasu.

Metoda STR jest metodą, która jest kombinacją dwóch metod, tzn. DNHR i DAR. Dla wyznaczonych wcześniej okresów czasu dla każdej pary węzłów określany jest zbiór dopuszczalnych dróg alternatywnych. Z tego zbioru wybiera się rekomendowaną drogę według metody DAR.

Oczywiście lista ta nie wyczerpuje wszystkich metod, a **przedstawiona klasyfikacja obejmuje sieci z komutacją kanałów**. W **sieciach z komutacją pakietów** dotychczas nie stosowało się tak złożonych metod routingu, gdyż były to sieci, które z założenia nie gwarantowały określonego poziomu jakości

usług a tym samym problem lokowania ruchu sprowadzał się głównie do realizacji tylko pierwszej i podstawowej cechy rutingu, tzn. osiągnięcia na ogół najkrótszą drogą węzła docelowego. Sytuacja ta zmieniła się, gdy w sieci tej ma być [realizacja usług czasu rzeczywistego](#) z gwarantowaną jakością. Rozpoczęto prace nad algorytmami rutingu dynamicznego wzorując się na osiągnięciach sieci z komutacją kanałów i ich adaptacją uwzględniającą fakt stosowania komutacji pakietów.