

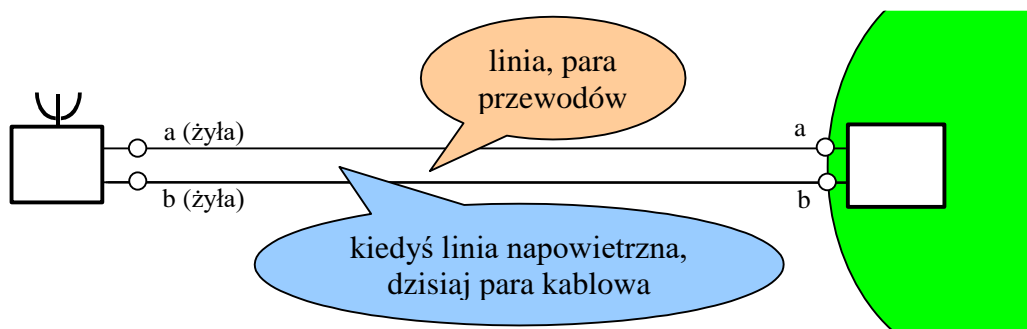
Kanał, łącze, system transmisyjny

W **dotychczasowych** naszych rozważaniach **używaliśmy** w sposób intuicyjny i potocznie zrozumieliśmy **określeń** kanal, 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 tę 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 słowo to używane przy omawianiu sieci telekomunikacyjnej.



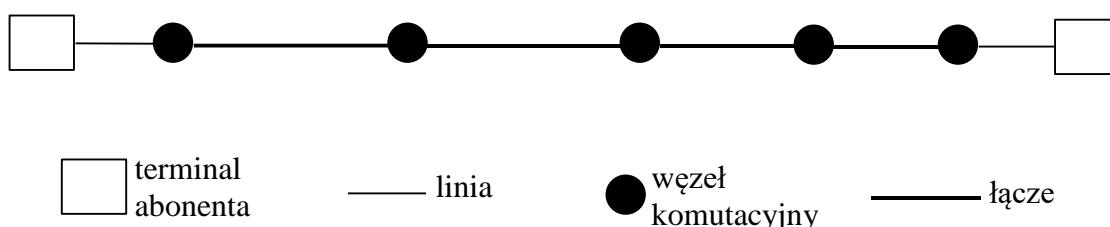
Jednakże przypomnijmy, że użyliśmy także tego określenia w kontekście modelu przewodnicy falowej w postaci linii długiej. Tu też słowo to użyto w kontekście dwóch przewodów będących linią.

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 kryje się za słowem łącze.

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.

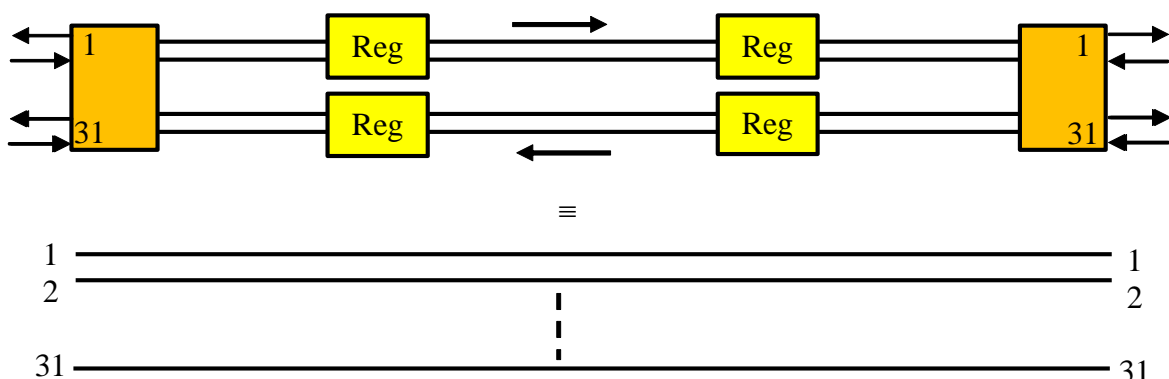


Zauważmy, że łańcuch ten jest tworzony od strony żądającego usługi (AAb) w kierunku tego, który ma uczestniczyć w tej usłudze (BAb). Łącze w tym łańcuchu musi spełniać określone wymagania i poddane jest określonym działaniom.

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 łącz. Wykorzystuje się do tego celu podział np. w dziedzinie czasu TDM, częstotliwości FDM lub długości fali DWDM. Przez łącze przenoszone są sygnały niosące informację, dlatego też musi być wzajemne dopasowanie właściwości sygnałów i łącza aby proces przenoszenia informacji był optymalny ze względu na wybrane kryteria. W związku z tym, ale nie tylko, w łączu muszą być realizowane odpowiednie procesy na sygnał. W połączeniu łącze ma początek i koniec, które określają kierunek w którym łącze jest zajmowane i w którym będzie ono następnie zwalniane. Zajmowanie i zwalnianie łącza wymaga przenoszenia między jego punktami, początkowym i końcowym, dodatkowych informacji przyporządkowujących to łącze do konkretnego połączenia.

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

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



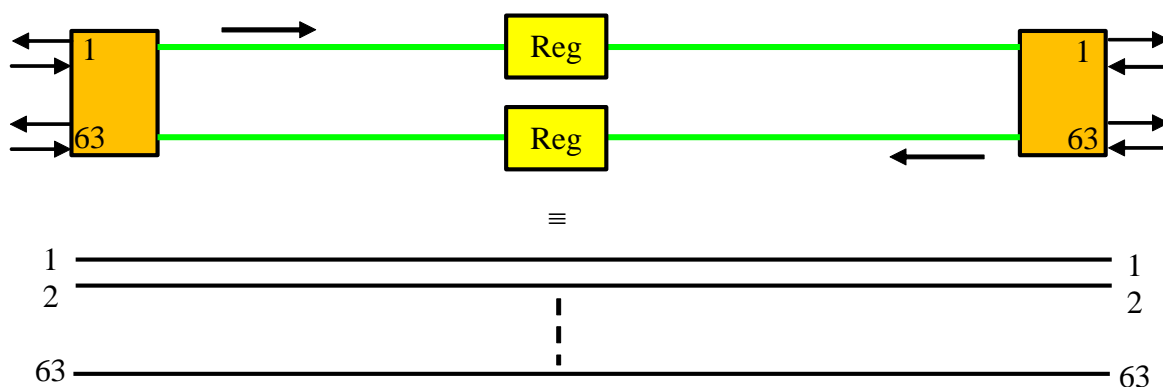
Należy zatem stwierdzić, że w tym przypadku tzn. realizacji połączenia pojęcie łącza jest bardziej pojęciem funkcjonalno - logicznym dla którego można podać realizację w określonej technologii.

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 rozróżniamy strumień, z których każdy bierze udział w realizacji wielu połączeń. **Czy jest zatem różnica w stosunku do poprzedniego rozważania dotyczącego określenia łącza?**

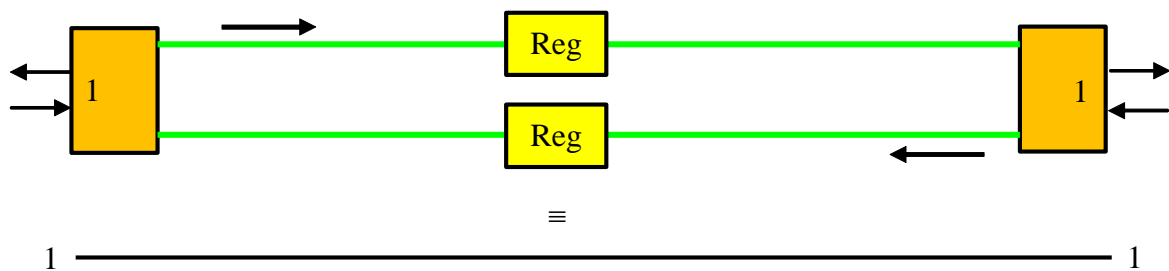
Otóż różnica wynika tylko i wyłącznie z poziomu rozróżnienia szczegółowości na której możemy operować. W tym przypadku rozróżniamy strumień 2Mbit/s i mówimy, że mamy łącza dla tych strumieni. Możliwa więc jest obsługa każdego strumienia, ponieważ dla każdego z nich w tym celu **utworzona jest funkcjonalno – 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.

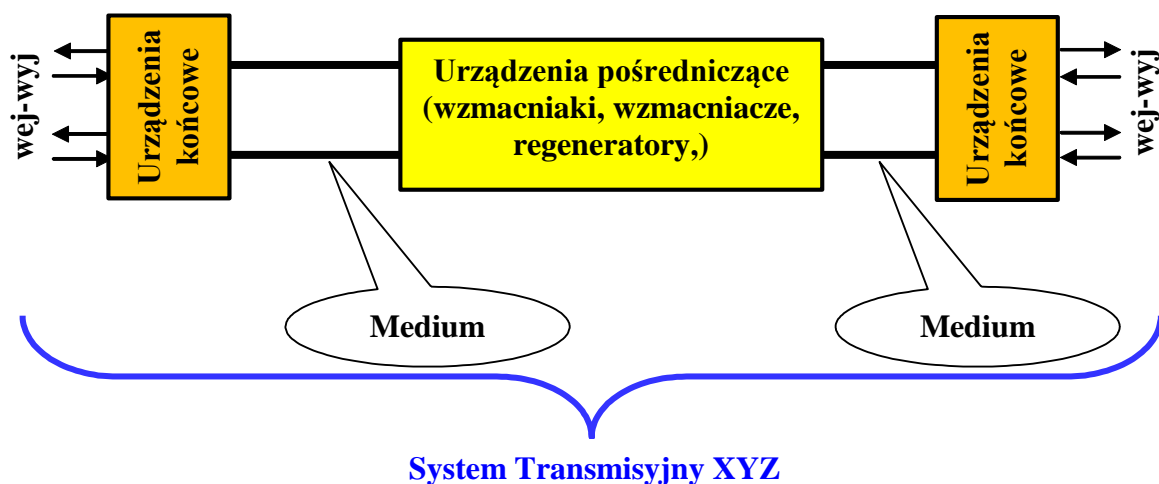
Jeżeli dodatkowo uwzględnimy określone cechy to możemy wyróżnić różne rodzaje (typy) łączy. Na przykład:

- **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 dla realizacji połączenia), dwukierunkowe (może być zajmowane z obu końców dla realizacji połączenia),
- 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 niejednoznaczności. 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 współdzielą się zasoby medium, jaką zastosowano 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

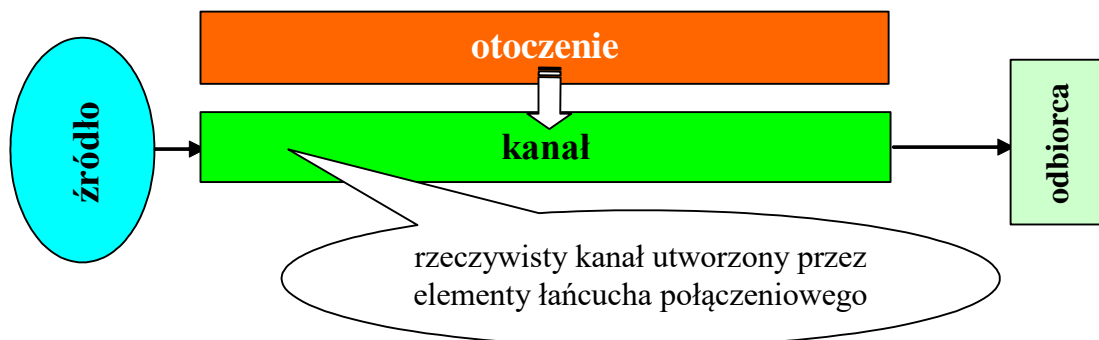
medium. Produkty różnych firm tego samego systemu transmisyjnego to ten sam system transmisyjny, np. system SDH STM1 firmy Siemens oraz firmy Alcatel to po prostu system SDH STM1.

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?**

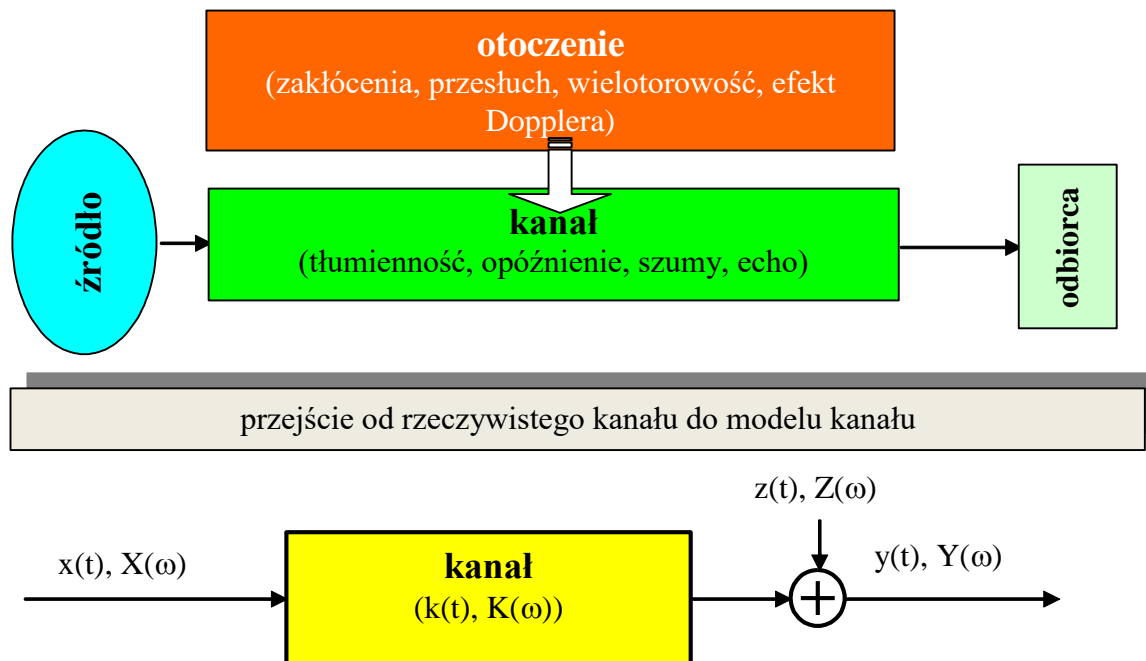
Mówimy, że zasadniczym celem realizacji połączenia jest utworzenie kanalu(ów) między terminalami (źródłem i odbiorcą informacji) o właściwościach dostosowanych do potrzeb usługi telekomunikacyjnej. Jeżeli przypomnimy sobie definicję usługi i telekomunikacji to z tych definicji wynika, że to dostosowanie 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 **kanal** używa się w dwóch znaczeniach: **rzeczywistym** (fizycznym) i **teoretycznym** (modelowania analitycznego).



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.

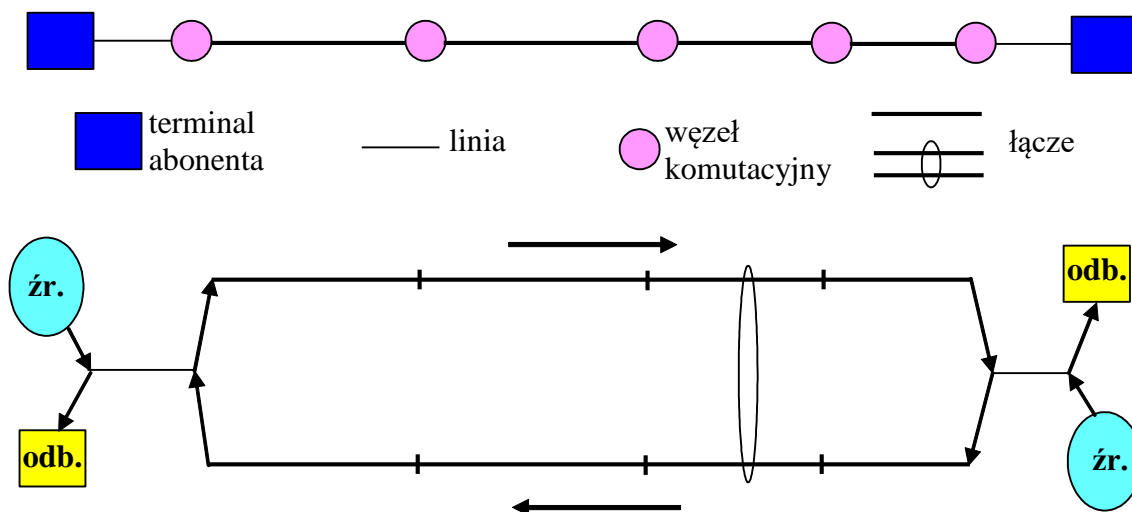
Podaliśmy więc bardzo ogólną definicję kanału w odniesieniu do realizacji usługi telekomunikacyjnej ale jest ona słuszna dla dowolnego połączenia źródła informacji z jej odbiorcą.

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

kanalem. 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 technologii 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 – węzły ATM z komutacją komórek i węzły z komutacją pakietów np. IP). Dlatego też węzły klasyczne 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 rozważyć dwa kanały, po jednym w każdym kierunku. Kanały te mogą mieć oddzielne, częściowo wspólne lub wspólne zasoby. Zależy to od praktycznej realizacji łącza i węzłów (patrz rozważania na poprzednich zajęciach).



Podobnie jak przy łączach tak i tu w zależności od wykorzystanego medium możemy mówić o kanałach: 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 przepustowość:

- 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:

- odpowiedni stosunek mocy sygnału do mocy szumu i zakłóceń S/N (SNR - Signal to Noise Ratio) na końcu kanału analogowego, wyrażana w decybelach,
- odpowiednio niska stopa błędów BER (Bit Error Rate – liczba błędnie odebranych w stosunku do wszystkich nadanych bitów) kanału cyfrowego.

Typowe wartości dla tych wielkości to:

- odstęp od zakłóceń dla kanału telefonii analogowej – większy od 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 istotnie degraduje ten parametr?).

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

Problem maksymalnej przepustowości w kanale Twierdzenie Shannon'a - Hartleya

W latach czterdziestych dwudziestego wieku Shannon prowadził prace dotyczące maksymalnej przepustowości 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 przepustowości. 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 sygnału jest szum gaussowski, przepustowość 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 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 stosunku S/N to wartość BER zawsze podajemy dla S/N wyrażonego 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 osiągnięte 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.

