

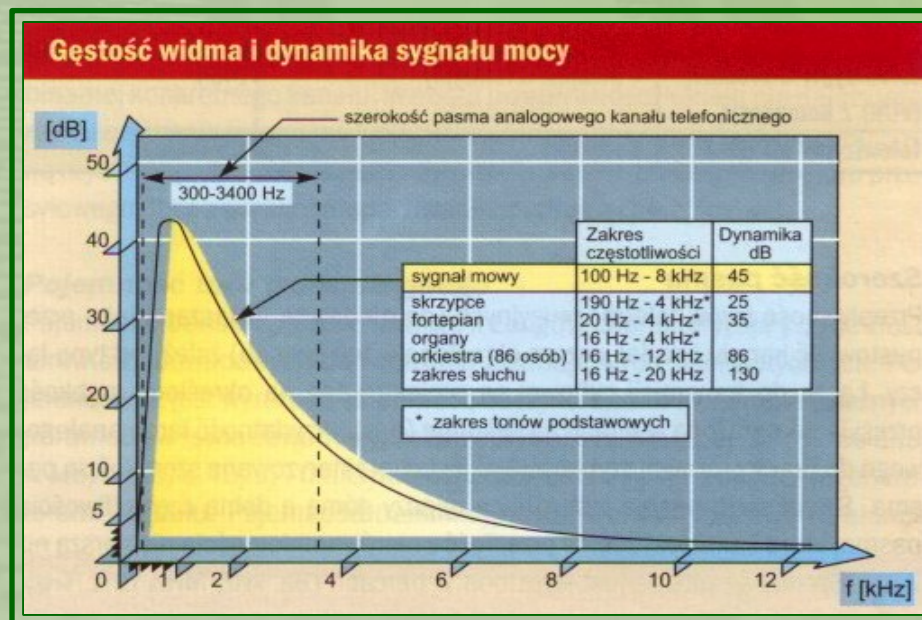
# **Technologie VoIP wykorzystywane w sieciach szerokopasmowych CATV i ISP**

mgr inż. Zbigniew Papuga  
Stowarzyszenie Elektryków Polskich



# Pasmo telefoniczne

- Dla dobrego zrozumienia mowy i rozpoznania osoby mówiącej wystarczy pasmo, w którym zawarta jest główna część energii, to znaczy w paśmie **300 Hz ÷ 3400 Hz**. Ze względów ekonomicznych zdecydowano transmitować pasmo 3,1 KHz w zakresie 200 ÷ 3500 Hz.

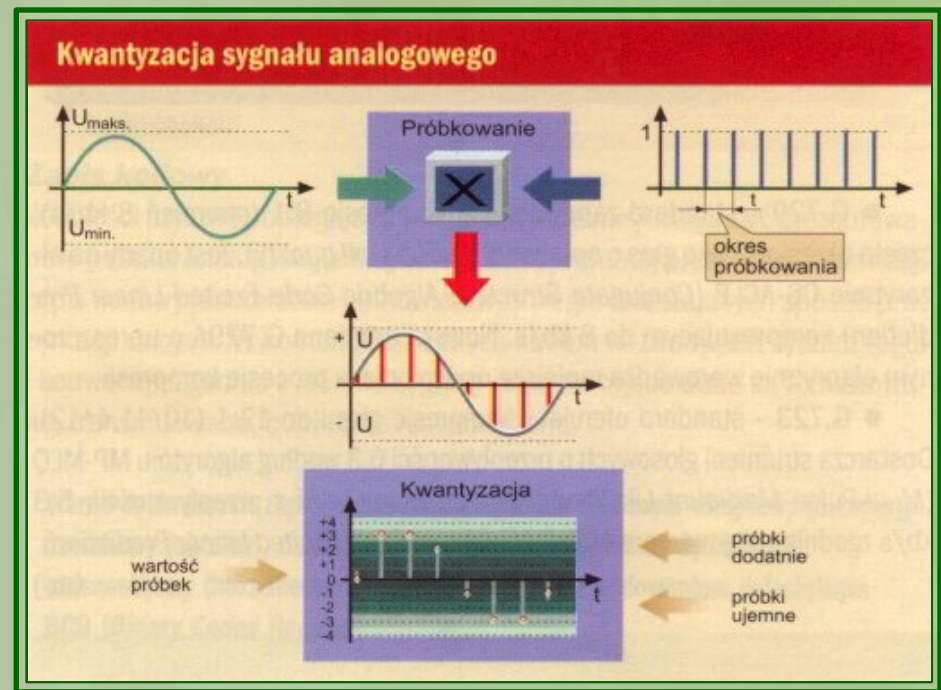


# Cyfryzacja sygnałów mowy

- Prawo Kotelnikowa – Shanona:  $f_p = 2 f_g$
- Konwersja A/C – sygnał analogowy jest próbkowany z częstotliwością 8 kHz.

- Wartość analogowa każdej z 8000 próbek na sekundę jest rejestrowana (kwantyzacja) jako jeden z 256 możliwych poziomów i zapamiętana w 8 bitowym rejestrze zgodnie z kodem PCM:

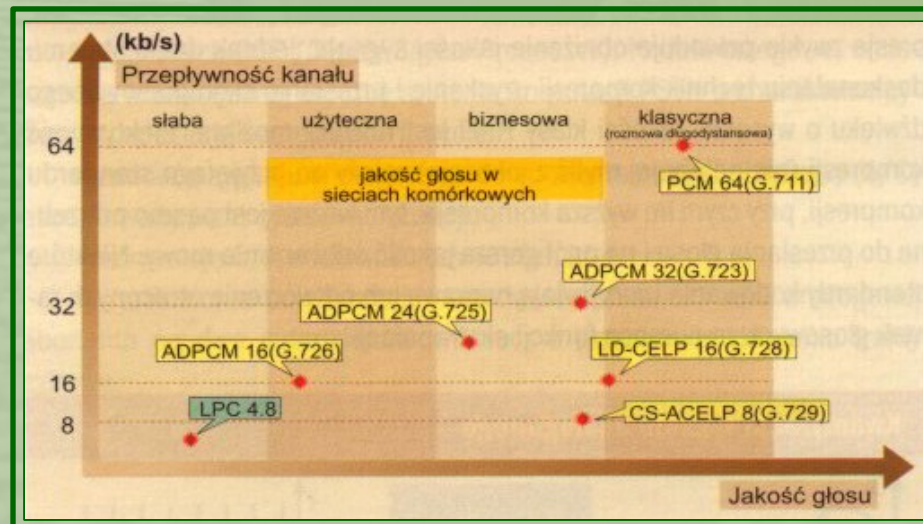
$$8 \text{ kHz} \times 8 \text{ bit} = 64 \text{ kb/s}$$



# Standardy kodowania głosu

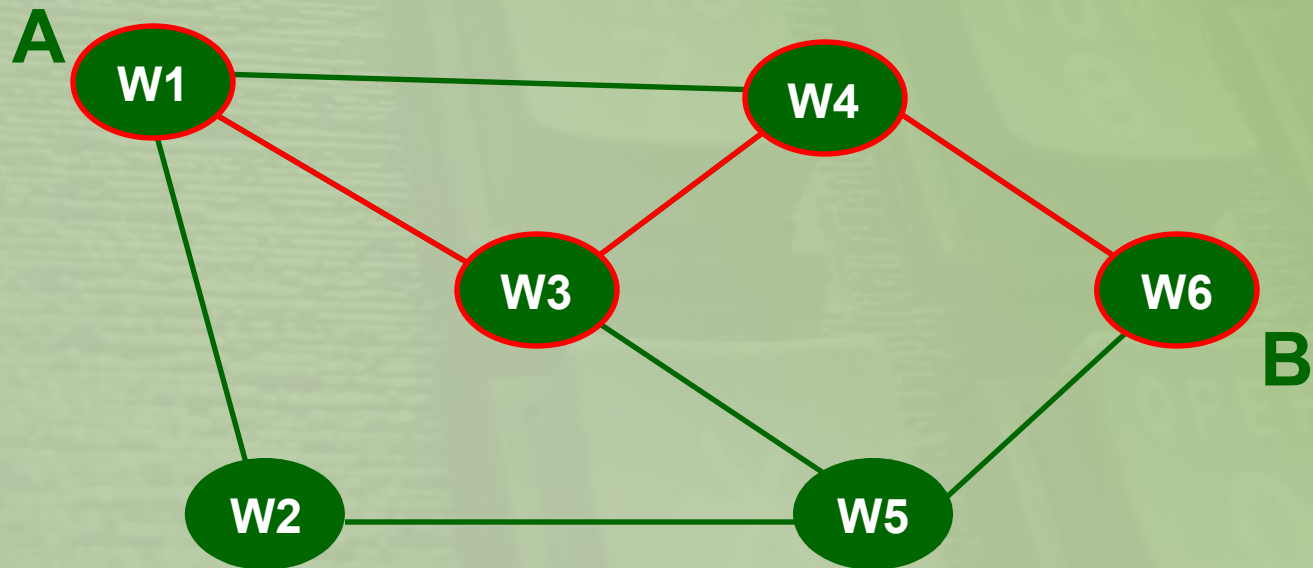
## ➤ Jakość dla różnych standardów kodowania głosu

- ❖ **słaba** - LPC 4,8
  - ❖ **użyteczna** - ADPCM 16 (G.726)
  - ❖ **biznesowa** - ADPCM 24 (G.725)  
- ADPCM 32 (G.723)  
- CS-ACELP 8 (G.729)
  - ❖ **klasyczna** - PCM 64 (G.711)  
- LD-CELP 16 (G.728)
- } Jakość  
głosu  
w sieciach  
komórkowych



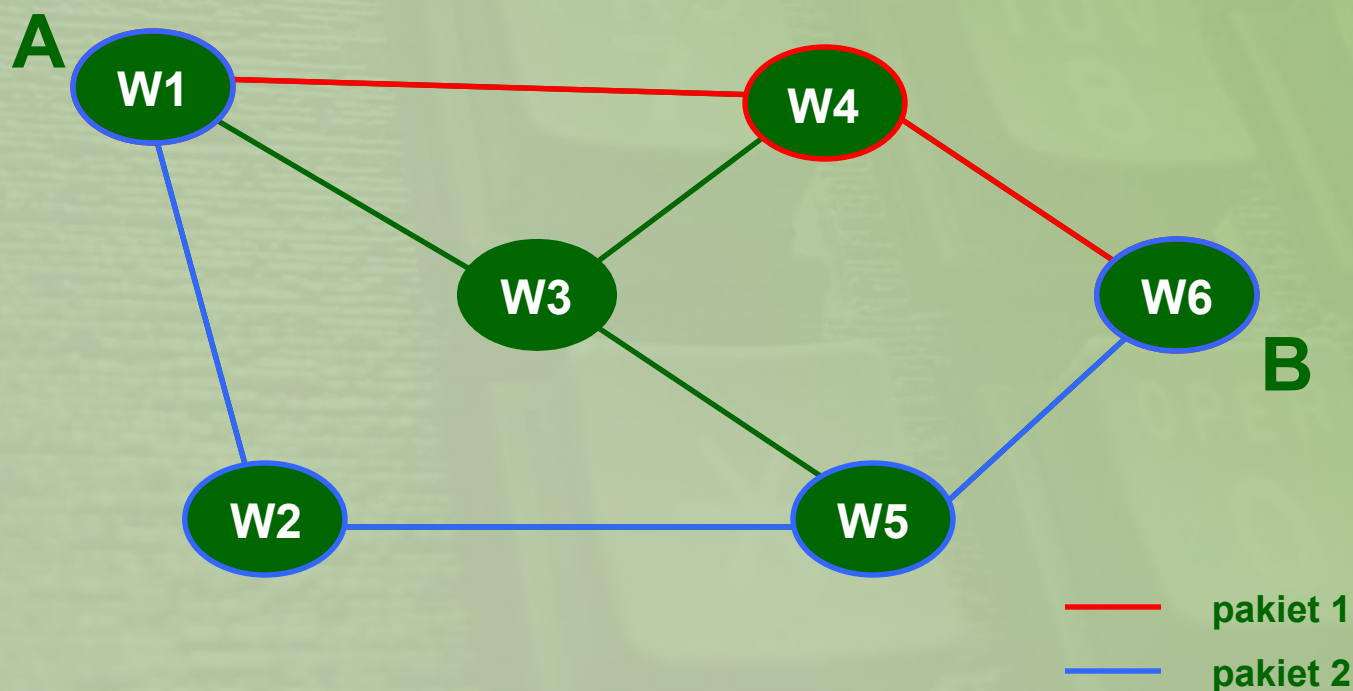
# Komutacja kanałów

- Najpierw komutujemy drogę od A do B.
- Następnie rozpoczynamy transmisję (rozmowę).



# Komutacja pakietów

- Komutacja pakietów różni się tym od komutacji kanałów (łączy), że kanał transmisyjny jest zestawiany tylko na czas przesyłania pakietu, a następnie jest dostępny dla pakietów należących do innych połączeń.



# Ruch pakietowy

- Ucyfrowiony ruch telefoniczny jest poddany procesowi kompresji odpowiednim kodekiem i poddany procesowi pakietyzacji.
- Pakietowe źródło ruchu telefonicznego jest typu ON/OFF, to znaczy przez pewien czas źródło nadaje pakiety (rozmówca mówi) a przez kolejny odcinek czasu źródło nie nadaje (rozmówca słucha).
- Powyższe źródło ruchu poddaje się zasadom inżynierii ruchu.
- Zastosowanie zasad inżynierii ruchu (skutecznie stosowanej w tradycyjnych sieciach telekomunikacyjnych), do sieci IP opartej na technice MPLS (Wieloprotokołowa Komutacja Etykiet) jest tak samo skuteczne, ponieważ sieć IP jest także siecią telekomunikacyjną z wszystkimi jej konsekwencjami.



# Ruch pakietowy

- Sieć IP jako sieć telekomunikacyjna:
  - ❖ Mamy żądania obsługi, które objawiają się generowanym ruchem
  - ❖ Mamy sieć narzucającą pewne ograniczenia wynikające z jej struktury i zasobów
  - ❖ Mamy odpowiedź w postaci protokołów postępowania i procesów
  - ❖ W każdym z tych trzech obszarów inżynieria ruchu ustala parametry i punkty pracy tak aby osiągnąć określone cele wydajnościowe zorientowane na ruch
  - ❖ Jakość usług
  - ❖ Efektywność
  - ❖ Skuteczność i opłacalność
  - ❖ lub zorientowane na zasoby – optymalizacja wykorzystania posiadanych zasobów sieciowych



# Ruch pakietowy

- Zarządzanie ruchem gwarantuje, że sieć jest maksymalizowana – obciążenia, uszkodzenia
- Zarządzanie pojemnością – planowanie rozdziału i zabezpieczenia pojemności w różnych horyzontach czasowych bazując na prognozach wzrostu ruchu w przedziałach obejmujących lata



# Jakość głosu w telefonii IP

- Tradycyjne systemy telekomunikacyjne bazujące na komutacji kanałów mają zagwarantowane QoS.
- Transmisja danych bazująca na zestawie protokołów TCP/IP nie wymaga obsługi w czasie rzeczywistym.
- Sieć Internet nie była początkowo projektowana dla komunikacji w czasie rzeczywistym.
- Przenoszenie głosu w tej sieci wymaga rozwiązania wielu problemów technicznych:
  - ❖ Wymagane pasmo (bandwidth)
  - ❖ Straty pakietów (packet loss)
  - ❖ Opóźnienia (delay)
  - ❖ Wariancja opóźnień (jitter)



# Jakość głosu w telefonii IP

- Wymagana przepływność dla pojedynczego połączenia głosowego zależy przede wszystkim od zastosowanego kodeka mowy.
- Większość systemów potrafi samodzielnie dobierać sobie kodeki w zależności od bieżących parametrów sieci.
- Pewnym sposobem na ograniczenie wymaganej przepływności jest zastosowanie mechanizmu VAD (voice activity detection), który ma za zadanie wycinać i nie przesyłać ciszy. Po stronie odbiorcy w momentach ciszy generowany jest cichy szum.
- Osiągana dzięki VAD oszczędność pasma jest rzędu 30-40%



# Jakość głosu w telefonii IP

- Zależność jakości głosu od degradacji w procesie kodowania

| Rodzaj kodeka     | Prędkość generowanych danych | Ocena     |
|-------------------|------------------------------|-----------|
| G.711             | 64 kb/s                      | 4,4 – 4,5 |
| G.723.1 -5,3 kb/s | 5,3 kb/s                     | 3,4 – 3,6 |
| G.723.1 -6,4 kb/s | 6,4 kb/s                     | 3,6 – 3,8 |
| G.729             | 8 kb/s                       | 4,0       |

# Straty pakietów

➤ Straty pakietów należy widzieć w trzech przypadkach:

❖ Pakiet jest rzeczywiście utracony w sieci.

Fakt utraty kilku procent pakietów nie jest tak uciążliwy, jak przerwa w transmisji.

❖ Pakiety docierają do odbiorcy zbyt późno.

Czas oczekiwania na pakiet jest ograniczony i jeżeli zostanie przekroczony, to z punktu widzenia dekodera taki pakiet jest utracony.

❖ Jako utracone traktuje się również pakiety z uszkodzoną zawartością.



# Straty pakietów

- Straty pakietów są wspólną cechą wszystkich sieci z komutacją pakietów.
- Utrata pakietów może powodować znaczne pogorszenie jakości.
- Każdy pakiet zawiera 40-80 ms informacji dźwiękowej – zwanej **fonemem**.
- Duży poziom strat fonemów uniemożliwia ludzkiemu umysłowi zrekonstruowanie ich i głos staje się niezrozumiały.



# Straty pakietów

- Poziom strat pakietów a jakość

| Poziom strat pakietów | Jakość przekazu  |
|-----------------------|------------------|
| 0 - 1 %               | Dobra            |
| 1 - 2,5 %             | Akceptowalna     |
| 2,5 - 5 %             | Słaba            |
| 5 - 12 %              | Bardzo słaba     |
| 12 % i więcej         | Nie akceptowalna |

# Opóźnienia

- Opóźnienia są ważnym i złożonym zjawiskiem towarzyszącym transmisji głosu w sieciach IP.
- Zbyt duża ich wielkość znacznie pogarsza jakość prowadzonej konwersacji.
  - ❖ Powodują, że rozmówcy przechodzą w tryb półdupleksowy, gdzie jedna strona mówi, a druga słucha oraz oczekuje, aby upewnić się, że rozmówca zakończył swoją kwestię.
  - ❖ Duże opóźnienie eksponuje echo, gdyż odbity sygnał wraca do nadawcy po zakończeniu transmisji.



# Opóźnienia

➤ Na opóźnienia składa się wiele czynników:

## ❖ Opóźnienia kodowania

Im większy współczynnik kompresji w zastosowanym kodeku tym większe opóźnienie:

- ♦ G.729 → 8 kb/s → 15 ms opóźnienie
- ♦ G.723.1 → 5,3/6,4 kb/s → 37,5 ms opóźnienie

## ❖ Opóźnienia nadawania

- czas związany z wprowadzeniem pakietu do łącza transmisyjnego:

Wprowadzenie jednego bajta danych do kanału 64 kb/s wymaga 125 mikrosekundy, a do kanału 155 Mb/s (STM-1) – 0,05 mikrosekundy.



# Opóźnienia

- Na opóźnienia składa się wiele czynników:
  - ❖ Opóźnienia kolejkowania  
Występują w różnych punktach sieci i zmieniają się dla każdego pakietu – redukcja przez zastosowanie szybszych łączy.
  - ❖ Opóźnienia propagacji  
Dają znać w przypadku wykorzystywania łączy satelitarnych
  - ❖ Opóźnienia związane z obróbką pakietów w węzłach pośredniczących.  
Zmniejszenia tych opóźnień dokonujemy poprzez zastosowanie wydajniejszego sprzętu i lepszych algorytmów.



# Opóźnienia

➤ Opóźnienia a jakość przekazu

| Opóźnienia (ms) | Jakość przekazu            | Ocena |
|-----------------|----------------------------|-------|
| <50             | Bardzo dobra               | 4,5   |
| 150             | Porównywalna z PSTN        | 4     |
| 250             | Nieznacznie gorsza od PSTN | 3,8   |
| 500             | Słaba                      | 2,3   |
| 2000            | Nie akceptowalna           | 1     |



# Jitter

➤ **Jitter** - wariancja (lub zmienność ) opóźnień.

➤ Jitter jest cechą charakterystyczną sieci IP.

W związku z tym, iż w sieci tej nie jest zestawiane żadne połączenie fizyczne lub logiczne, każdy pakiet (datagram) może dotrzeć do odbiorcy inną drogą, a więc w innym czasie.

➤ Dekoder wymaga stałego strumienia pakietów dlatego aby uwzględnić zmienność przybywania potrzebny jest bufor (jitter buffer).

➤ Czas przebywania w buforze jest miarą jego wielkości i dodaje się do ogólnej wartości opóźnień.

Dlatego dla dużego jittera całkowite opóźnienie jest znaczne, nawet jeżeli średnie jest małe. Np. sieć ma średnie opóźnienie 15 ms lecz czasem pakiety są opóźnione o 100 ms, wtedy całkowite opóźnienie wynosi 115 ms.



# Jitter

- Zbyt mała wielkość bufora jittera będzie skutkowała stratami pakietów.
- Zbyt duża wielkość bufora jittera zwiększy całkowite opóźnienia.
- Stosuje się dynamiczny bufor – ale gwałtowne zmiany wielkości bufora powodują zmienności opóźnień w odtwarzanym dźwięku.



# Jitter

- Kategorie degradacji głosu związane z jitterem

| Jitter (ms) | Jakość przekazu     | Ocena |
|-------------|---------------------|-------|
| 0           | Bardzo dobra        | 4,5   |
| 25          | Porównywalna z PSTN | 4     |
| 125         | Średna              | 3,5   |
| 225         | Słaba               | 3,0   |

# Wdrożenie telefonii IP

## ➤ Przygotowanie sieci do wdrożenia telefonii IP

- ❖ Niezależnie jak dobry jest oferowany przez dostawcę system telefonii VoIP, jakość jego funkcjonowania jest uzależniona od tego czy sieć od początku została zaprojektowana poprawnie do współpracy z VoIP.
- ❖ Wiele wdrożeń zakończyło się niepowodzeniem w wyniku wad sieci, a nie wad platform telefonii IP.
- ❖ Bardzo ważna jest wiedza integratora i rozumienie przez niego całości zagadnień związanych z funkcjonowaniem sieci IP i sposobami jej wykorzystania.
- ❖ Każde wąskie gardło w sieci IP może mieć wpływ na przesył głosu w czasie rzeczywistym.



# Wdrożenie telefonii IP

- Sieć, na której ma być posadowiony system VoIP musi być przeanalizowana pod kątem następujących zagadnień:
  - ❖ Maksymalne, minimalne i średnie wykorzystanie pasma
  - ❖ Maksymalne, minimalne i średnie opóźnienia - nie powinny być większe od 100 ms
  - ❖ Analiza informacji o zagubionych pakietach - utrata pakietów na poziomie 0% z 1% tolerancją
  - ❖ Jitter nie powinien być większy niż 40 ms
  - ❖ Przełączniki ethernetowe powinny obsługiwać technikę VLAN
  - ❖ Powinny być obsługiwane, oparte na IP, mechanizmy QoS, wskazana również jest obsługa transmisji multicast
  - ❖ Uruchomienie powyższych mechanizmów powinno zakończyć się testem urządzeń i sprawdzeniem czy nie powstają problemy transmisyjne
  - ❖ Należy oszacować przewidywany ruch



# VoIP a telefonia IP

- VoIP jest to transfer głosu poprzez publiczną lub firmową sieć IP.
- Telefonia IP obejmuje cały szereg usług telefonicznych, które wykorzystują protokół VoIP. Ta nowa technologia obejmuje wiele udogodnień, takich m.in. jak:
  - ❖ Połączenia telefoniczne
  - ❖ Biling
  - ❖ Plan numeracyjny
  - ❖ Telekonferencje
  - ❖ Zawieszenie połączenia
  - ❖ Przekazywanie połączeń



# Sygnalizacja w połączeniach VoIP

- **Zalecenie H.323** – wywodzi się ze środowiska telekomunikacyjnego zajmującego się realizacją wideokonferencji w sieci ISDN, poprzez adaptację H.320 dla potrzeb sieci z komutacją pakietów.
- Zalecenie H.323 jest dokumentem specyfikującym składniki, protokoły i procedury zapewniające usługi transmisji audio, wideo i danych w czasie rzeczywistym.
- Komunikacja w standardzie H.323 oparta jest na sieciach pakietowych z protokołem IP, IPX.
- Zalecenie definiuje komponenty logiczne wchodzące w skład systemu komunikacji multimedialnej, takie jak:
  - ❖ Terminal
  - ❖ Gateway (brama)
  - ❖ Gatekeeper (węzeł nadzorujący - strażnik)
  - ❖ MCU – jednostka sterowania połączeniami wielopunktowymi



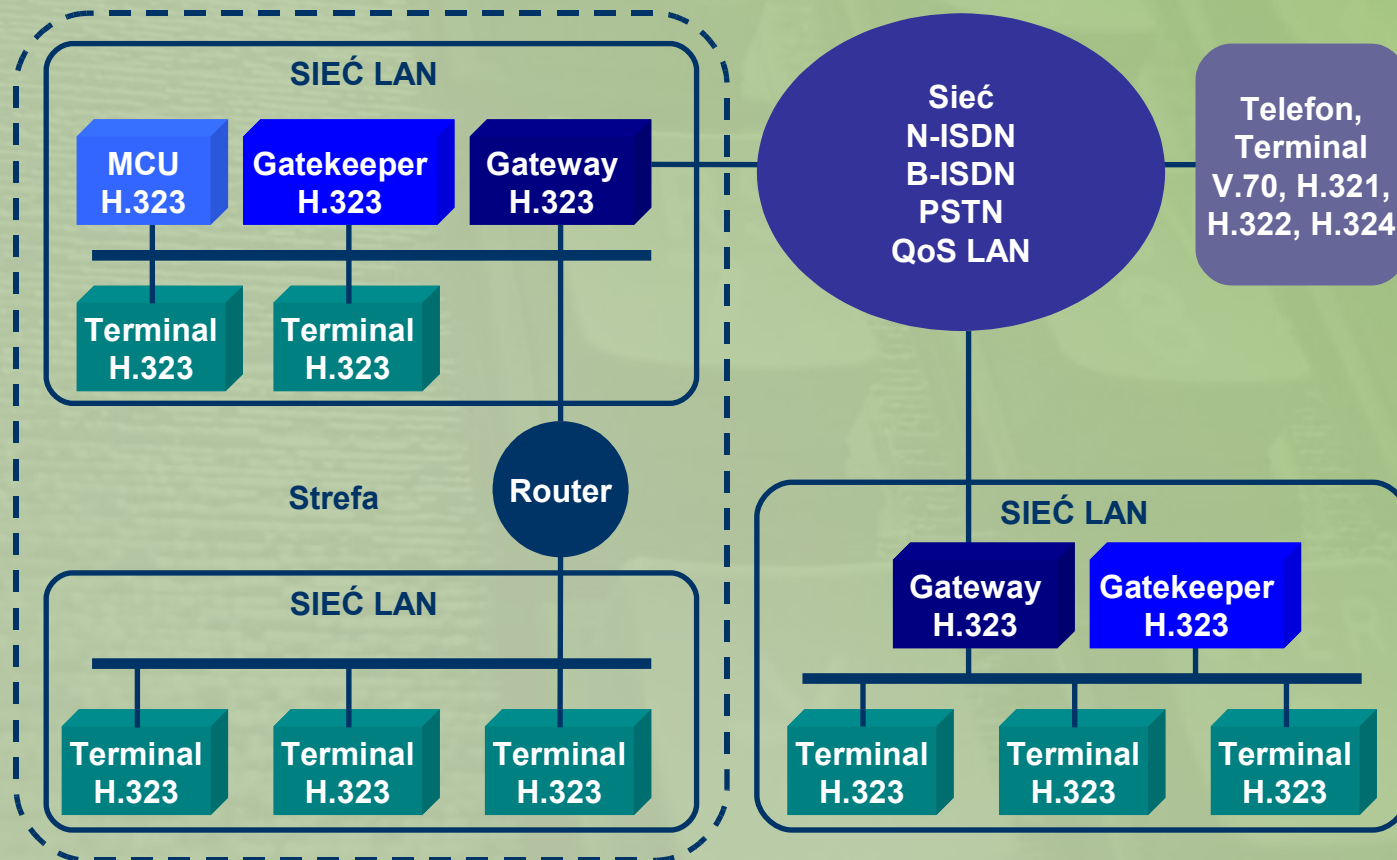
# Zalecenie H.323

- Kluczową rolę w systemie pełni Gatekeeper – stanowi on centralny punkt zarządzania połączeniami i ma następujące zadania:
  - ❖ Przyznawanie prawa do realizacji połączenia
  - ❖ Autoryzacja
  - ❖ Zarządzanie przepływnością
  - ❖ Zarządzanie połączeniami – wskazywanie np. zajętości
  - ❖ Wymiana informacji sygnalizacyjnej
  
- Do połączenia z terminalem pracującym w innej sieci konieczne jest skorzystanie z pośrednictwa Gateway'a – bramy, który dokonuje transkodowania sygnałów audio i wideo, obsługuje sygnalizację i steruje połączeniami wychodzącymi poza sieć lokalną.
  
- MCU nie jest bezpośrednio zdefiniowany w H.323 – służy do łączenia trzech lub więcej stron konferencji. W opisie funkcjonalnym MCU występuje APU (Audio Processor Unit), który przetwarza i miksuje sygnał dźwiękowy, tworząc sygnał rozsyłany do uczestników konferencji.



# Zalecenie H.323

- Komponenty logiczne systemu multimedialnego wg H.323



# Zalecenie H.323

- Przebieg komunikacji pomiędzy terminalami multimedialnymi H.323
  - ❖ Wykrywanie Gatekeepera
  - ❖ Rejestracja terminala w Gatekeeperze
  - ❖ Zgłoszenie przez terminal żądania obsługi
  - ❖ Zestawienie kanału sygnalizacyjnego i wymiana komunikatów sygnalizacyjnych
  - ❖ Nawiązanie komunikacji pomiędzy terminalami
  - ❖ Zestawienie kanałów logicznych pomiędzy terminalami i wymiana danych w sesji multimedialnej
  - ❖ Zamknięcie kanałów logicznych
  - ❖ Zakończenie połączenia pomiędzy terminalami
  - ❖ Zwolnienie zasobów w Gatekeeperze



# Protokół SIP

- **Protokół SIP** reprezentuje „technologię internetową”.
- Jest protokołem tekstowym warstwy aplikacji typu „klient – serwer”.
- Przeznaczony jest do
  - inicjowania,
  - ustanawiania,
  - modyfikowania i kończeniainteraktywnych, multimedialnych sesji komunikacyjnych dla dwóch lub więcej uczestników.
  - ❖ Sesją może być wideokonferencja, telefonia internetowa, wspólne nawigowanie po internecie.
  - ❖ W sesji mogą uczestniczyć użytkownicy i aplikacje.
  - ❖ W trakcie sesji można dołączać kolejnych uczestników oraz zmieniać wykorzystywane media.



# Protokół SIP

- Protokół SIP w przezroczysty sposób realizuje funkcje odwzorowywania adresów i przekierowywania, co umożliwia implementację w sieciach pakietowych usług znanych z ISDN, sieci inteligentnych i internetu.
- SIP dziedziczy wiele mechanizmów i cech protokołów internetowych i można go uważać za rozwinięcie protokołu HTTP.
- Wiadomości SIP przekazują dane wykorzystując mechanizm MIME.
  - ❖ **MIME – Multipurpose Internet Mail Extension**  
Internetowy protokół przeznaczony do przesyłania przez sieć TCP/IP wiadomości zawierające komunikaty multimedialne.
  - ❖ MIME umożliwia dołączanie do poczty elektronicznej danych różnego rodzaju: głos, tekst, grafika, obraz ruchomy



# Protokół SIP

---

- Identyfikatory SIP URI są w formie zbliżone do adresów w poczcie elektronicznej (user@host) – mogą pełnić rolę odsyłaczy na stronach WWW i informować, że użytkownik jest dostępny przez SIP.
- Koncepcja SIP URI umożliwia użycie numeru telefonicznego jako prawidłowego adresu, np:
  - ❖ **sip:+1234567890@gateway.com;user=phone**



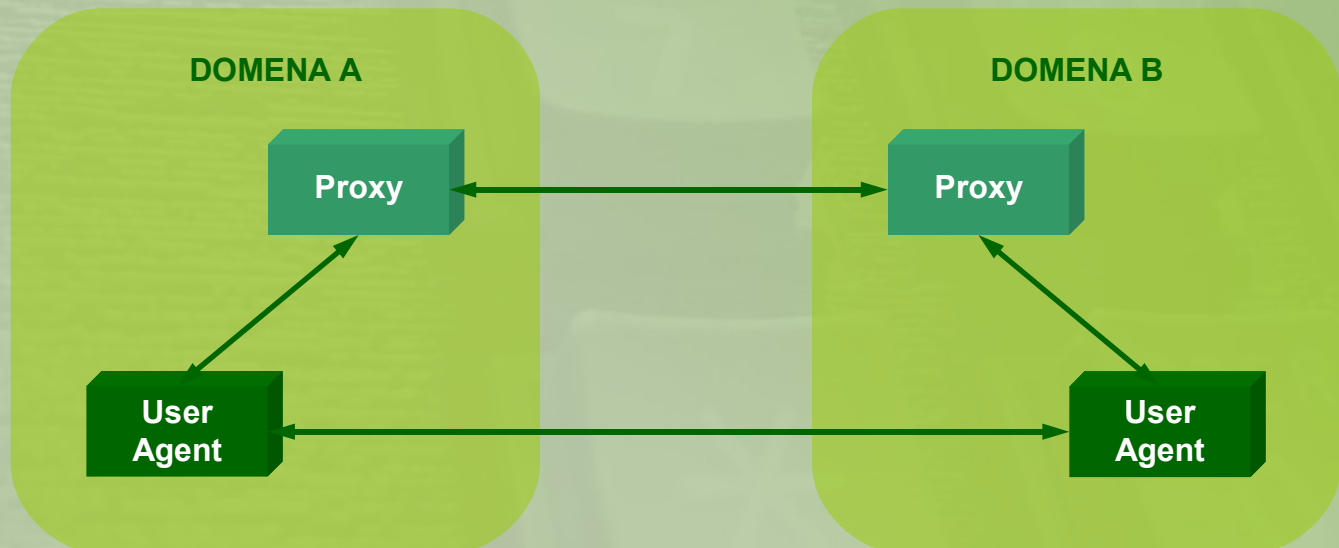
# Protokół SIP

- Protokół SIP pozwala na zestawienie sesji multimedialnej przy użyciu niewielkiej liczby wiadomości.
- Wymiana wiadomości, podobnie jak w protokole HTTP, ma charakter transakcji.
- Uczestnicy sesji mogą się komunikować w trybie multicast, siatki połączeń punkt-punkt (unicast) lub kombinacji powyższych możliwości.
- SIP obsługuje mobilność użytkowników oraz mechanizmy negocjacji parametrów sesji, umożliwiające uczestnikom uzgadnianie formatu wymienianej informacji, przy wykorzystaniu protokołu SDP (Session Description Protocol).
- SIP jest niezależny od topologii sieci i może współdziałać z kilkoma protokołami transportowymi (UDP, TCP, X.25, ATM, PPP).



# Protokół SIP

- Architektura sieci opartej na protokole SIP składa się z 2 elementów:
  - ❖ Agenta użytkownika – user agent
  - ❖ Serwera sieciowego



# Protokół SIP

## ➤ Agent użytkownik (user agent)

- ❖ Terminal – jest to inteligentne oprogramowanie działające w imieniu użytkownika, który uczestniczy w połączeniu.
- ❖ Składa się z dwóch części: klient i serwer.
- ❖ Klient (user agent client) zajmuje się wysyłaniem żądań protokołu SIP.
- ❖ Serwer (user agent server) zajmuje się odbieraniem zgłoszeń przysyłanych przez innych agentów oraz wysyłaniem odpowiedzi w imieniu użytkownika.



# Protokół SIP



## Serwer sieciowy

- ❖ Serwer sieciowy może być serwerem pośredniczącym (proxy server) lub przekierowującym (redirect server).
- ❖ Serwer proxy po otrzymaniu żądania ustala adres następnego serwera, do którego należy je skierować i przesyła je tam.
- ❖ Serwer typu redirect wysyła natomiast do agenta użytkownika odpowiedź zawierającą adres następnego serwera, z którym należy się skontaktować w poszukiwaniu właściwego użytkownika końcowego.
- ❖ Serwer proxy musi monitorować stan zgłoszenia, natomiast serwer redirect może zapomnieć o nim zaraz po przetworzeniu.
- ❖ Zalecane jest aby serwery sieciowe pracowały w obydwu trybach.



# Protokół SIP

- SIP nie zawiera funkcji związanych z QoS, ale wykorzystuje inne protokoły, których zadaniem jest określenie i utrzymanie odpowiedniego QoS.
- SIP jest niezależny od protokołów bezpieczeństwa, ale z wieloma współpracuje.
- SIP jest protokołem peer-to-peer, a nie protokołem kontroli bramy IP-to-PSTN jak MGCP, MEGACO, czy H.248.



# Protokół MGCP

- **Protokół MGCP** – to protokół kontroli połączeń VoIP przez zewnętrzne elementy sterujące Media Gateway Controlers (MGC), Call Agents (CA) lub SoftSwitch.
- MGCP umożliwia kontrolę tych elementów oraz synchronizuje je wzajemnie wysyłając komendy do bram będących pod ich kontrolą.
- MGCP posługuje się modelem połączeń, w którym używa się prostych konstruktorów wywołania:
  - ❖ Punktów końcowych
  - ❖ Połączeń



# Protokół MGCP

- Punkty końcowe są dowolnymi portami głosowymi na wyznaczonej bramie – przykład: interfejs na bramie, który określa połączenie do PSTN.
- Połączenie mogą zostać utworzone w architekturze punkt-punkt lub punkt-wielopunkt.
- MGCP jest używany wyłącznie do kontroli.  
Wszystkie dane głosowe są przesyłane bezpośrednio pomiędzy telefonem a bramą.



# Protokół MGCP



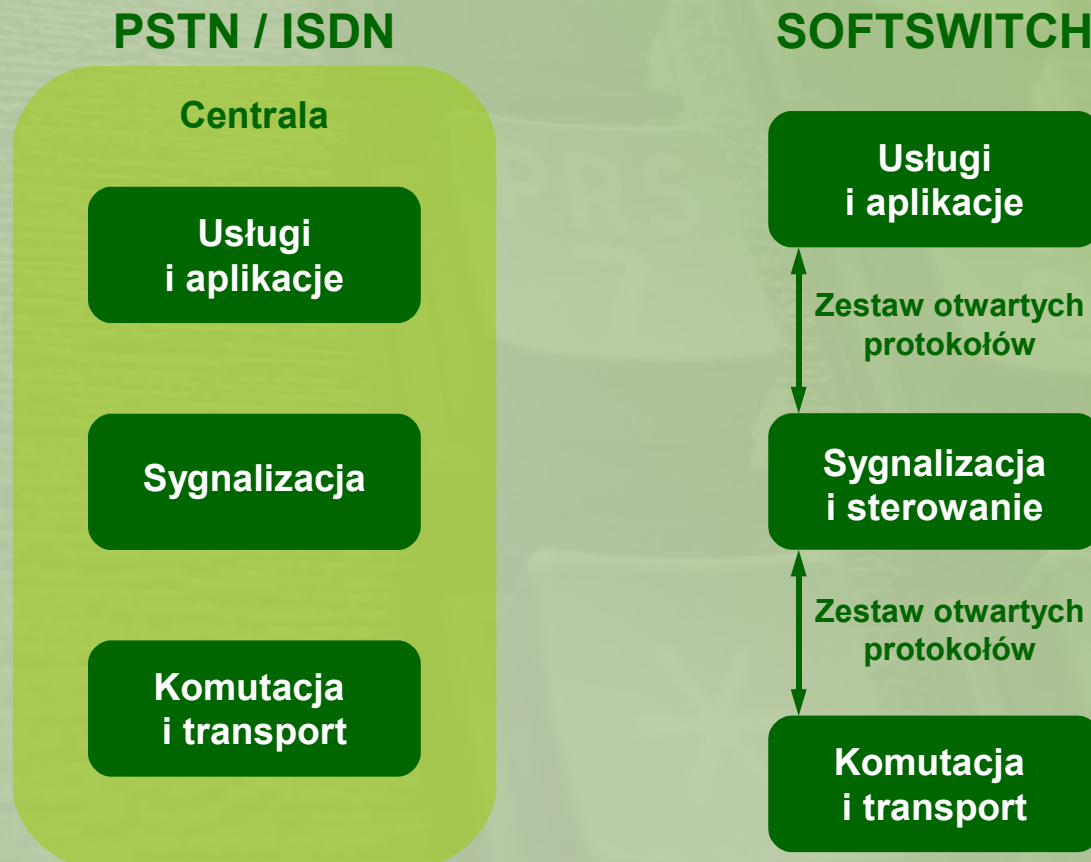
## Podstawowe zalety użycia MGCP:

- ❖ Skalowalność
- ❖ Rozszerzalność
- ❖ Czas wdrożenia
- ❖ Dostępność
- ❖ Niezależność od producenta sprzętu
- ❖ Niezależność od zastosowanej technologii
- ❖ Możliwość budowy skalowalnej i wydajnej sieci w oparciu o kontrolery (MGC) zwane SoftSwitch, które obsługują większość dostępnych protokołów.



# SoftSwitch

- Klasyczne sieci telekomunikacyjne i koncepcja „SoftSwitch”



**Dziękuję za uwagę**

**Technologie VoIP wykorzystywane  
w sieciach szerokopasmowych CATV i ISP**

mgr inż. Zbigniew Papuga  
Stowarzyszenie Elektryków Polskich

