

# Sieci WAN: Architektura Globalnej Komunikacji

Od teorii i parametrów jakości po nowoczesne technologie transmisji



Jak łączymy świat, gdy kabel LAN jest za krótki?

# Skala ma znaczenie: LAN vs MAN vs WAN

## LAN (Local Area Network)



Zasięg: **Budynek / Biuro**

Własność: **Pełna kontrola firmy**

Cechy: **Wysoka prędkość, niska latencja**

## MAN (Metropolitan Area Network)



Zasięg: **Miasto / Aglomeracja**

Własność: **Infrastruktura miejska lub operatora**

Cechy: **Łączenie oddziałów, światłowody**

## WAN (Wide Area Network)



Zasięg: **Kraj / Świat**

Własność: **Infrastruktura dzierżawiona (ISP)**

Cechy: **Oplata za pasmo, wyższe opóźnienia**

**WAN to nie po prostu większy LAN – to zmiana reguł gry (własność, koszt, fizyka).**

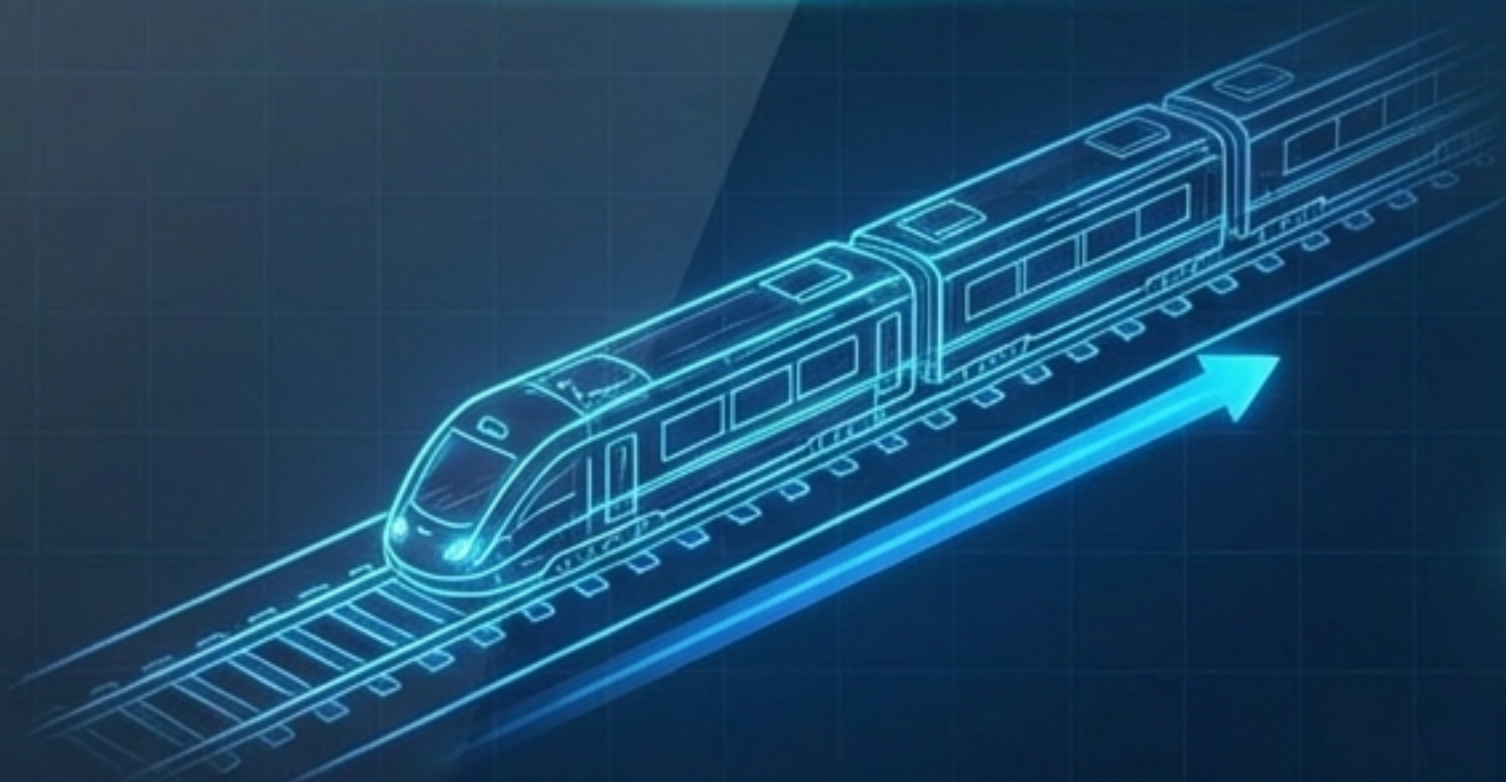
# Po co nam WAN? Zastosowania biznesowe



**Dla firm rozproszonych sieć WAN jest rdzeniem działania – bez niej komunikacja między oddziałami zamiera.**

# Anatomia Transmisji: Komutacja

## Komutacja łączy (Circuit Switched)



Technologia: PSTN, ISDN

Zasada: Dedykowana ścieżka fizyczna.

Cechy: Stała jakość, ale zmarnowane zasoby (cisza w słuchawce).



Zajęta linia

## Komutacja pakietów (Packet Switched)



Technologia: IP, MPLS, Frame Relay

Zasada: Dane dzielone na pakiety, współdzielone łącze.

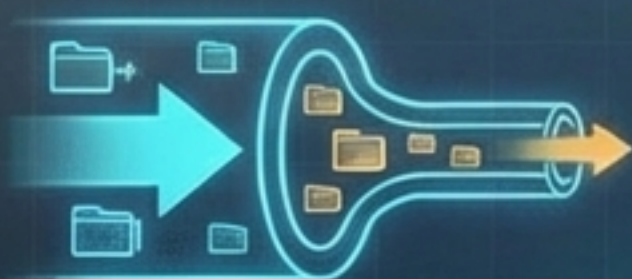
Cechy: Efektywność, niższy koszt, ryzyko zatorów.



Współdzielona sieć

# Wyzwania WAN: Czterej Jeźdźcy Jakości

## Przepustowość (Bandwidth)



Szeroka Wąska

Maksymalna ilość danych w czasie (Mb/s).  
Metafora: Szerokość rury.

## Opóźnienie (Latency)



Czas podróży pakietu (ms).  
Zależy od fizycznej odległości.

## Jitter



Zmienność opóźnienia.  
Zabójca rozmów VoIP i wideo.

## Utrata pakietów



Procent danych, które nie docierają.  
Wymaga retransmisji.

# Gwarancja Jakości: SLA i QoS

## SLA (Service Level Agreement)

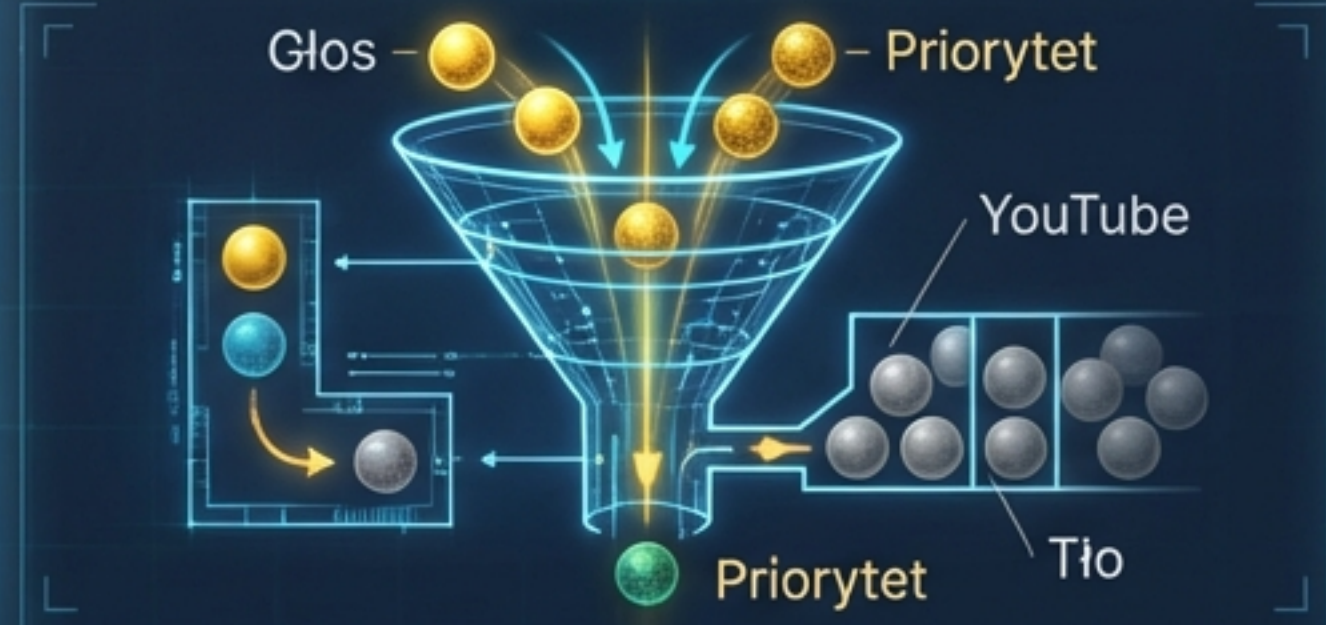


**Co to jest:** Umowa biznesowa.

**Gwarancja:** Dostępność (np. 99,9%), max opóźnienie.

**Cel:** Odpowiedzialność finansowa operatora.

## QoS (Quality of Service)



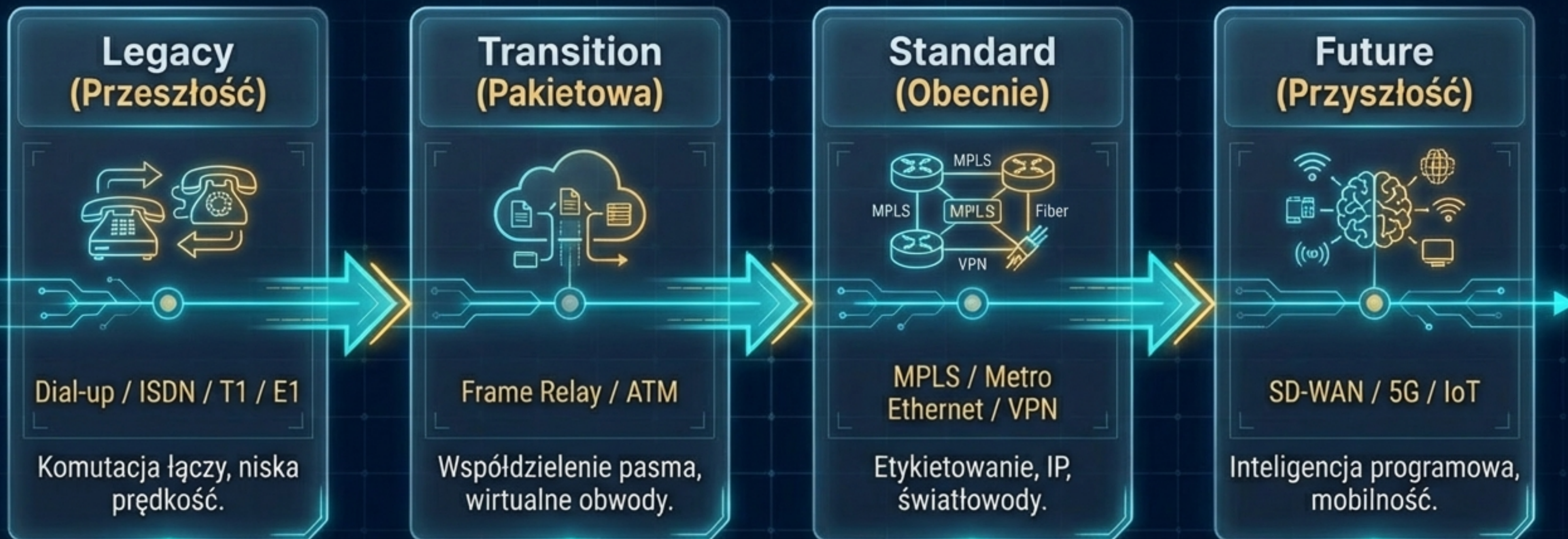
**Co to jest:** Mechanizm techniczny na routerach.

**Działanie:** Priorytetyzacja ruchu (Głos > YouTube).

**Cel:** Płynność usług krytycznych w tłoku.

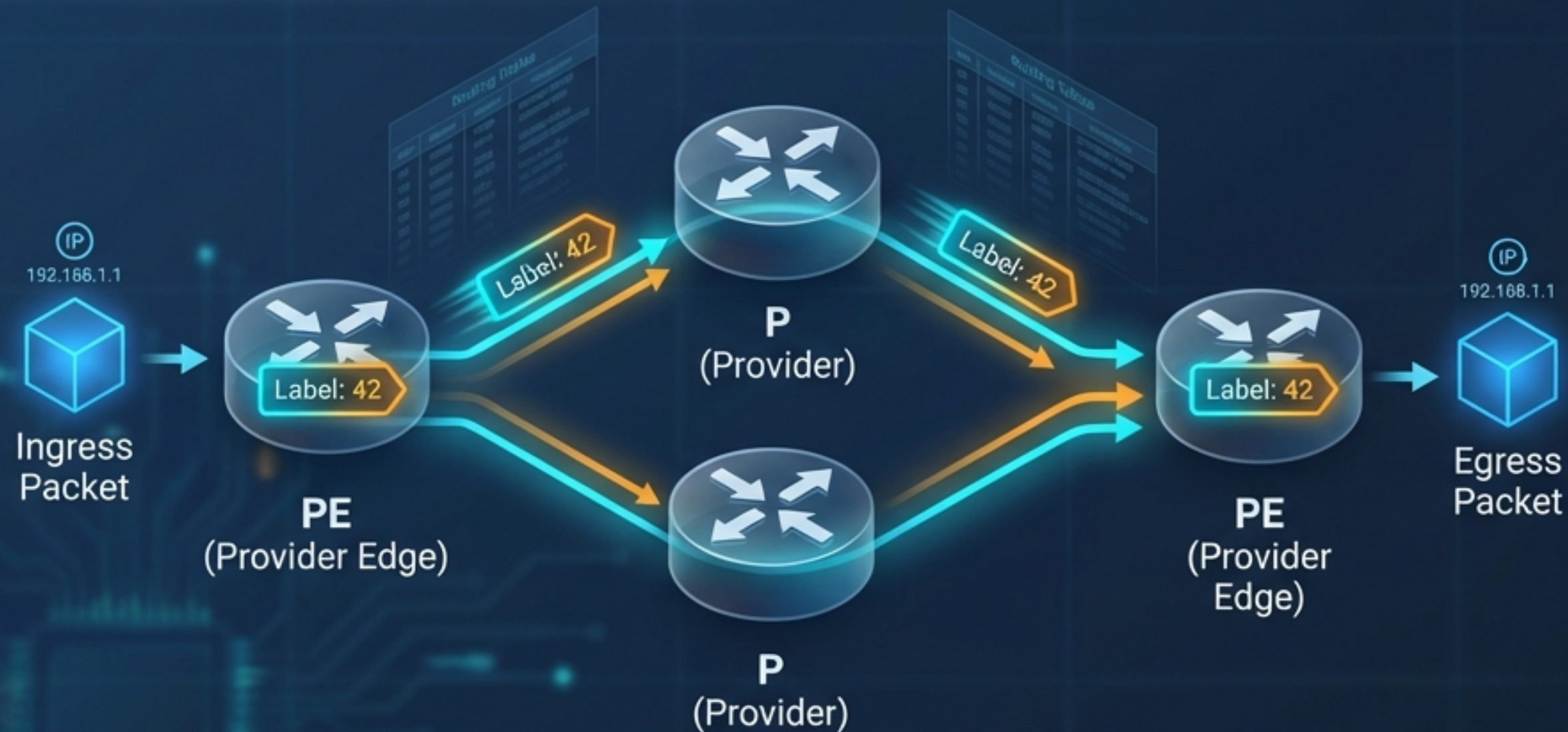
SLA to obietnica złożona na papierze.  
QoS to technologia, która pozwala ją spełnić.

# Ewolucja Technologii WAN



# Król Korporacji: MPLS

Multiprotocol Label Switching



- **Jak to działa:** Routery podejmują decyzje na podstawie krótkich etykiet, nie adresu IP.
- **Zalety:** Szybkość routingu, separacja ruchu klientów (VRF).
- **Zastosowanie:** Prywatna, bezpieczna autostrada przez chmurę operatora.

SLIDE 7

# Bezpieczeństwo nad Publiczną Siecią: VPN

Virtual Private Network

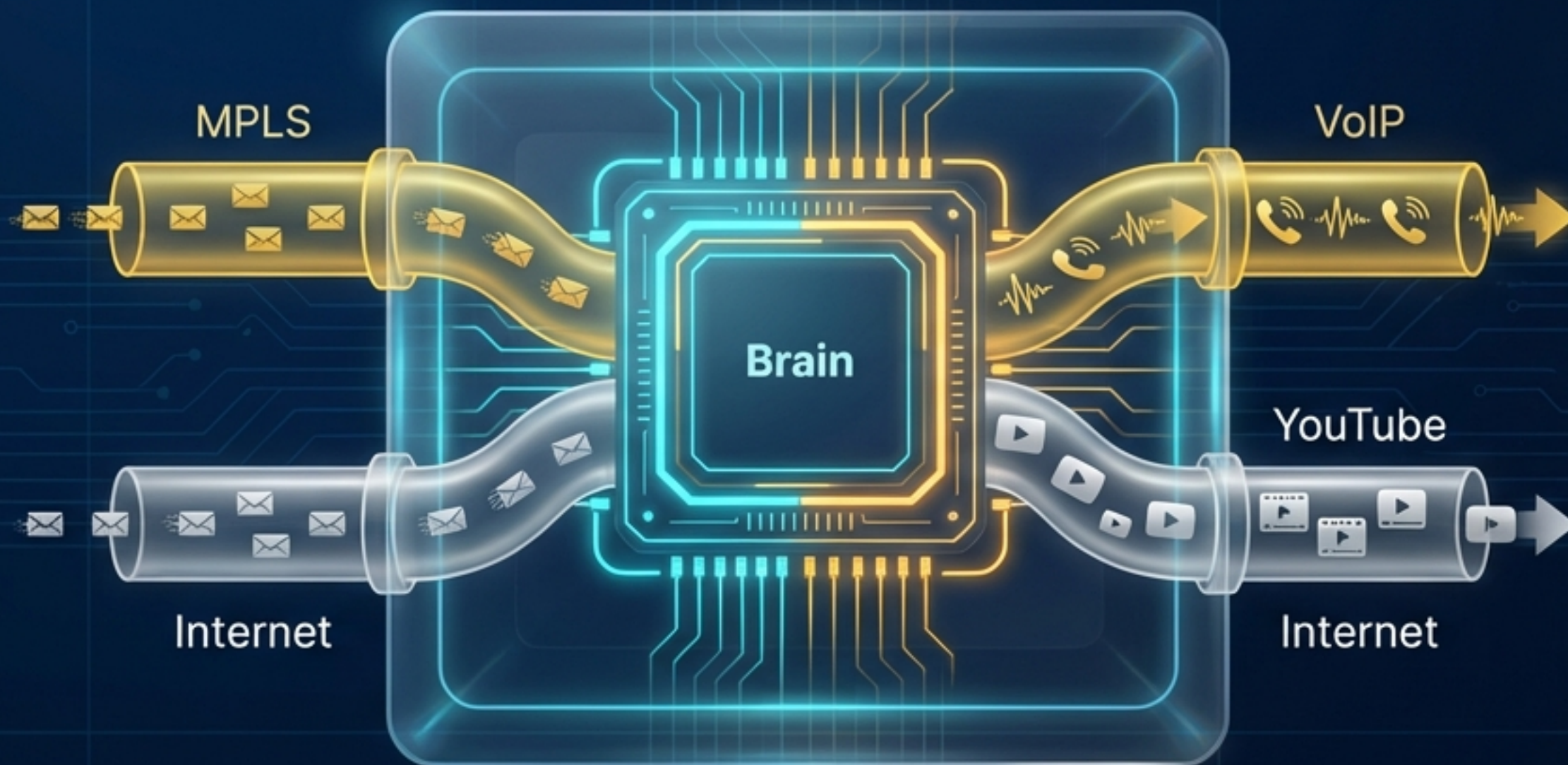


## Key Info

- **Koncepcja:** Zaszyfrowany "tunel" przez publiczny Internet.
- **Technologia:** IPSec (Szyfrowanie) + GRE (Tunelowanie).  
↔ Network Tunnel ↔
- **Typy:** Site-to-Site (Biuro-Biuro) oraz Remote Access (Pracownik-Biuro).
- **Bilans:** Niskie koszty, wysoka elastyczność, ale brak gwarancji jakości (SLA) na medium publicznym.

# Inteligentna Sieć: SD-WAN

Software-Defined WAN



**Definicja:** Programowe sterowanie siecią. Oddzielenie warstwy sterowania od przesyłu.



**Inteligentny Routing:** Dynamiczny wybór trasy w zależności od rodzaju aplikacji i jakości łącza.



**Korzyści:** Optymalizacja kosztów (MPLS + Internet), centralne zarządzanie.

# Media Transmisyjne: Czym płyną dane?

## Światłowód (Fiber)



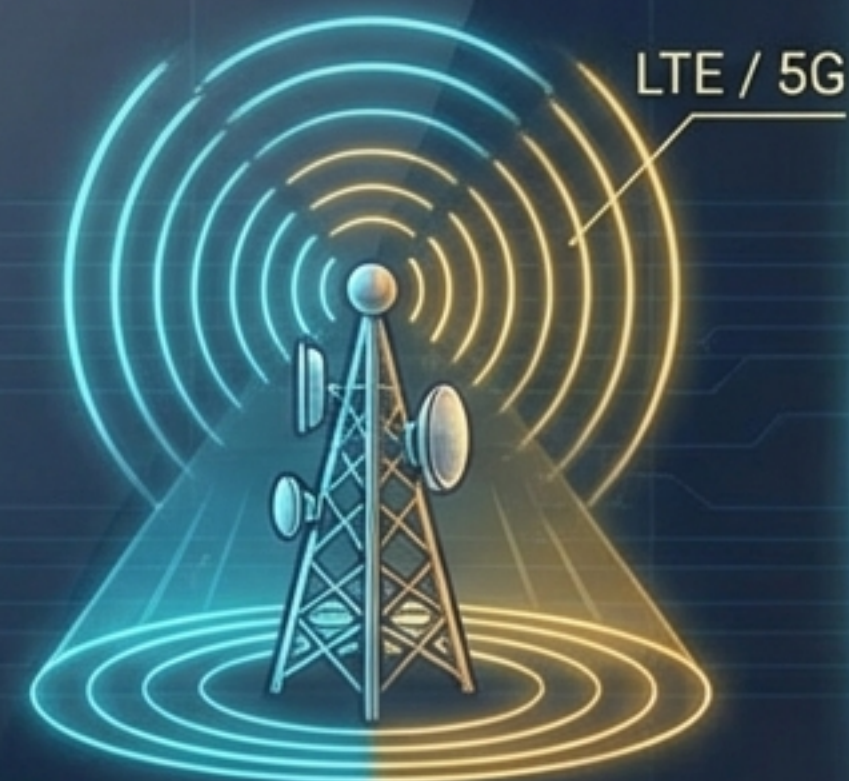
Najwyższa wydajność. Technologia DWDM pozwala na przesył wielu kanałów jednym włóknem.

## Miedź (Copper)



xDSL, kabel koncentryczny. Rozwiązania 'ostatniej mili'.

## Bezprzewodowe (Wireless)



LTE / 5G / Satelita. Elastyczność w trudnym terenie, ale zmienne parametry.

# Topologie WAN: Jak łączymy punkty?



**Punkt-Punkt:**  
Dedykowane, drogie.



**Gwiazda (Hub-and-Spoke):** Ryzyko awarii centrali (SPOF).



**Pełna siatka (Full Mesh):**  
Max niezawodność, max koszt.



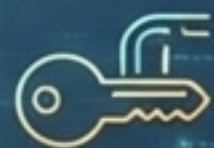
**Częściowa siatka (Partial Mesh):**  
Kompromis koszt/bezpieczeństwo.

# Bezpieczeństwo w otwartym świecie



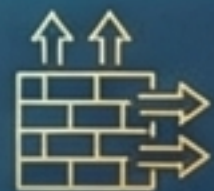
## Zagrożenia:

WAN to rozszerzony obwód ataku. Dane płyną przez obcą infrastrukturę.



## Szyfrowanie:

IPSec VPN dla ochrony danych w ruchu (Data in Transit).



## Firewall Brzegowy:

Kontrola ruchu na styku z siecią operatora.



## Zero Trust:

'Nigdy nie ufaj, zawsze weryfikuj' – segmentacja i kontrola tożsamości.

# Matryca Decyzyjna: Co wybrać?

Organizacja	Rozwiązanie	Cechy
 Mała Firma / Home Office	 Internet + VPN	 Niski koszt, brak SLA.
 Korporacja (Dane Krytyczne)	 MPLS / Łącza Dzierżawione	 Gwarancja SLA, bezpieczeństwo, wysoki koszt.
 Firma Rozproszona (Hybryda)	 SD-WAN	 Balans kosztów, dynamiczna wydajność.

# Podsumowanie (Key Takeaways)



WAN łączy sieci LAN na dużym obszarze geograficznym.



Jakość zależy od 4 parametrów: Przepustowość, Latency, Jitter, Packet Loss.



SLA to gwarancja prawna, QoS to priorytetyzacja techniczna.



MPLS to standard jakości (etykiety), VPN to standard ekonomiczny (tunele).



SD-WAN to przyszłość zarządzania ruchem w sieciach hybrydowych.

