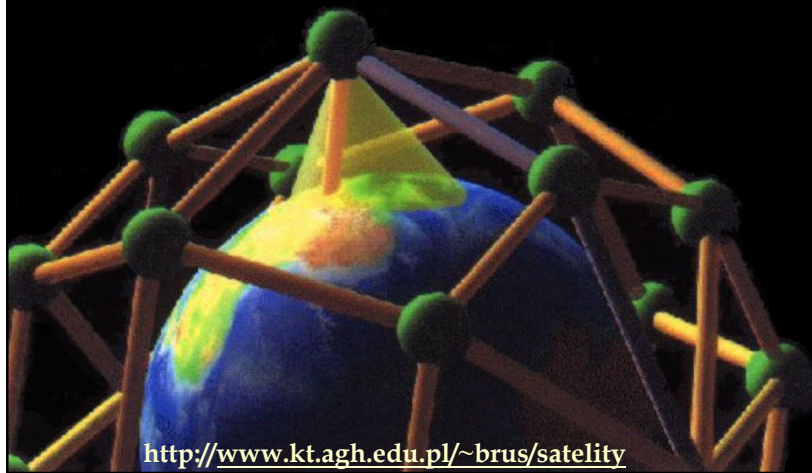


# Konstelacje i sieci satelitarne

© Pawel Kulakowski



<http://www.kt.agh.edu.pl/~brus/satelitey>

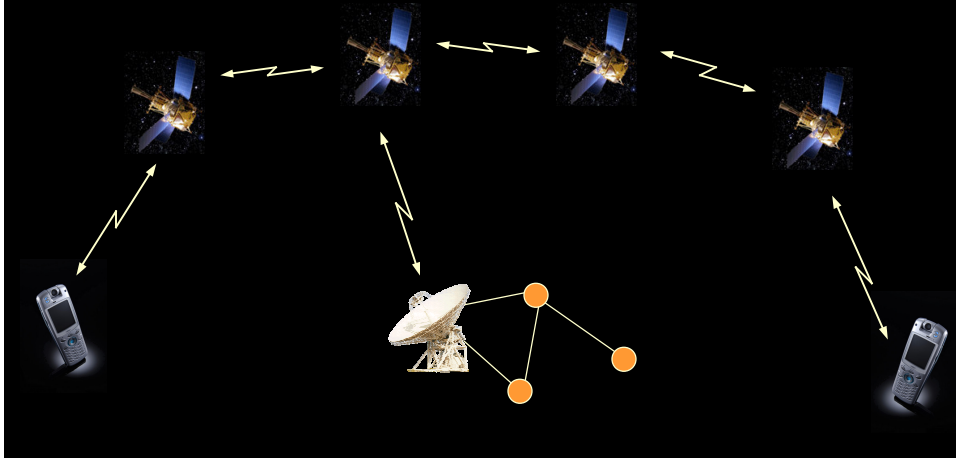
## Typy architektur systemów satelitarnych

1. Satelity są punktem dostępowym do sieci, służą tylko do retransmisji sygnału. Sieć szkieletowa systemu znajduje się na Ziemi



## Typy architektur systemów satelitarnych

2. Satelity są zarówno siecią dostępową, jak i szkieletową systemu.  
Transmisja pomiędzy nimi następuje przez łącza międzysatelitarne (ISL).



## Segmenty systemu satelitarnego

Segment kosmiczny :

- satelity

Segment naziemny :

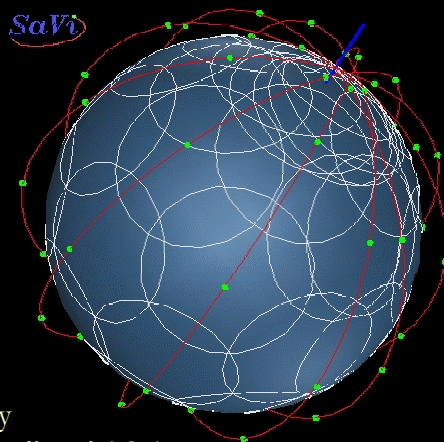
- sieć szkieletowa
- stacje bazowe
- stacje nadzorcze
- punkty dostępu do innych sieci naziemnych (*gateways*)

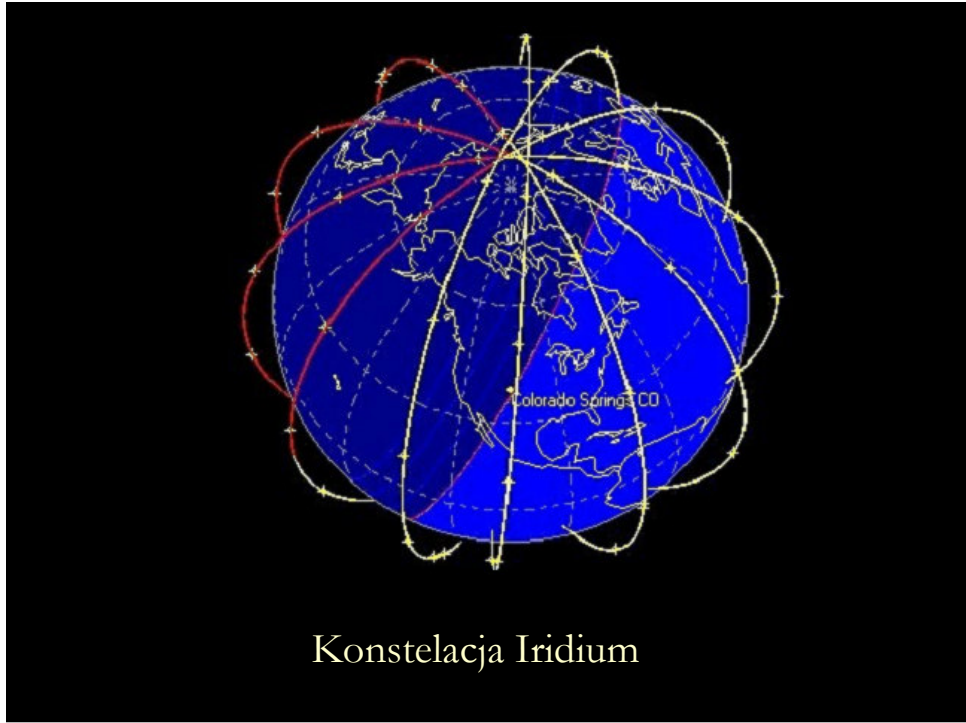
## Przykłady systemów LEO i MEO

Iridium  
Globalstar  
Teledesic  
Celestri  
Odyssey  
ICO  
Skybridge

### Iridium

- liczba satelitów: 66 + 6
- inklinacja: 86.4°
- wysokość orbit: 780 km
- opóźnienia w transmisji: do 10 ms
- prędkość względem powierzchni Ziemi: ok. 24 tys. km/h
- czas widzialności z Ziemi: 11.1 minuty
- komunikacja z czterema sąsiednimi satelitami (ISL)
- 48-wiązkowa antena do komunikacji z Ziemią
- każda wiązka obsługuje obszar o promieniu ok. 300 km
  
- transmisja głosu i danych (2.4 kbit/s)
- terminale przenośne - waga do 0.5 kg
- możliwa dwusystemowość (GSM)



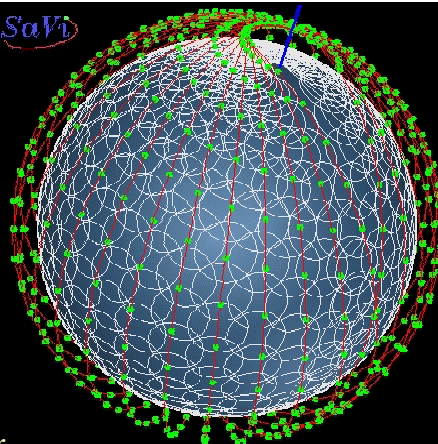


**Globalstar**

- liczba satelitów: 48 + 8
- wysokość orbit: 1414 km
- inklinacja: 52°
- 16-wiązkowe anteny
- satelity tylko retransmitują sygnał na Ziemię
- rozbudowana sieć naziemna: stacje bazowe, centra kontrolne, gateways, szkielet sieci
- terminale dwusystemowe

## Teledesic

SaVi



- kolejne liczby satelitów:
  - 840 + 84 (wys. 700 km)
  - 288 (wys. 1350 km)
  - 30 (MEO)
- inklinacja: 98°
- anteny satelitów śledzą pewien obszar na powierzchni Ziemi
- routing w sieci satelitów (8 ISL-i z każdego satelity)
- komutacja pakietowa
- terminale stacjonarne (anteny  $\varnothing = 25$  cm) lub przenośne
- przepustowości: 16 - 2048 kbit/s

## Celestri

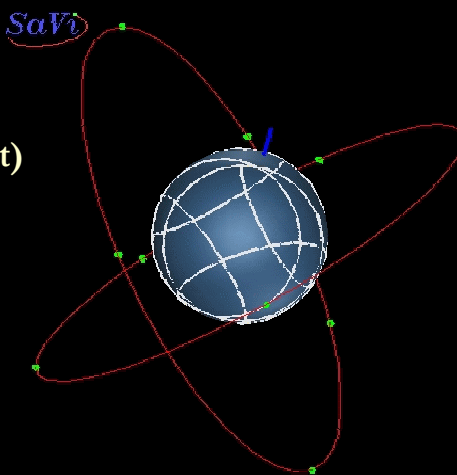
- satelity: 63 LEO + 9 GEO
- inklinacja orbit LEO: 48°
- 260-wiązkowe anteny
- pojedynczy satelita: 8.75 Gbit/s w łączach uplink i downlink
- 4 ISL z każdego satelity LEO - 4 Gbit/s, częstotliwości świetlne
- terminale tylko stacjonarne,  
5 typów, przepustowości od 64 kbit/s do 155 Mbit/s

## Odyssey

- 12 satelitów
- wysokość orbit: 10 354 km
- inklinacja: 55°
- konsekwencje wyboru orbit MEO:
  - mniejsza wymagana liczba satelitów
  - rzadsze przełączenia
  - większe opóźnienia 35-45 ms
- łączność głównie nad lądami - anteny sterowane, śledzące dany obszar na powierzchni Ziemi
- satelity tylko retransmitują sygnał
- współpraca z sieciami komórkowymi - terminale dwusystemowe

## ICO (Intermediate Circular Orbit)

- inne nazwy systemu: Inmarsat P,  
Project 21
- liczba satelitów: 12 + 2
- wysokość orbit 10 355 km,  
zmienione na 10 390 km
- inklinacja: 45°
- brak przetwarzania sygnału przez satelity
- wykorzystanie elementów techniki GSM  
przy projektowaniu sieci
- terminale dwusystemowe



## Skybridge

- projekt sieci szerokopasmowej,  
będącej dostępem do sieci stacjonarnych
- 80 satelitów w dwóch konstelacjach - po 5 satelitów na 8 orbitach
- wysokość orbit: około 1460 km
- inklinacja orbit: 55° -> zasięg systemu do 68° szer. geogr.
  
- terminale stacjonarne trzech typów
- minimalne oferowane przepustowości:  
20.5 Mbit/s - downlink i 2 Mbit/s - uplink
- oferta głównie dla operatorów telekomunikacyjnych

There are also schemes for global broadband access that **DON'T** involve satellites.

Space? Who needs it?

Lloyd Wood, University of Surrey, UK

## High-altitude communication

## High-altitude communication

### Platformy stratosferyczne (stratellites)

- wysokość – 10-30 km
- geostacjonarność
- problem pokrycia terenu
- wpływ warunków atmosferycznych



21st Century Airships

## Krażące samoloty

Finding pilots willing to fly for eight hours in the same spot is a potential problem.

Ashley Dunn, Los Angeles Times

- Angel Technologies  
(HALO Network)
- Platform International

- wysokość lotu : 17 km
- obsługiwany obszar :  $\varnothing \approx 100$  km
- zastosowania : internet – 16 Gbit/s
- telewizja - stratovision





## Systemy geostacjonarne

Telewizja satelitarna standardu DVB-S

Systemy VSAT

Inmarsat

Radiofonia satelitarna

## Telewizja satelitarna DVB-S

Transmisja cyfrowego sygnału telewizyjnego:

- *uplink*: z ośrodków telewizyjnych na satelity
- *downlink*: z satelitów:
  - bezpośrednio do odbiorców indywidualnych (wyposażonych w odpowiednio zwiżowaną antenę i dekodery)
  - do stacji operatorów telewizji kablowej

Standard kodowania: MPEG-2

Duża liczba satelitów -> w Europie: serie Hot Bird (Eutelsat) i Astra, Eurobird, Sirius, Amos

Standard nowej generacji: DVB-S2 (od roku 2005)

- kodowanie wg. MPEG-4 (HDTV)
- w Polsce: platforma cyfrowa n

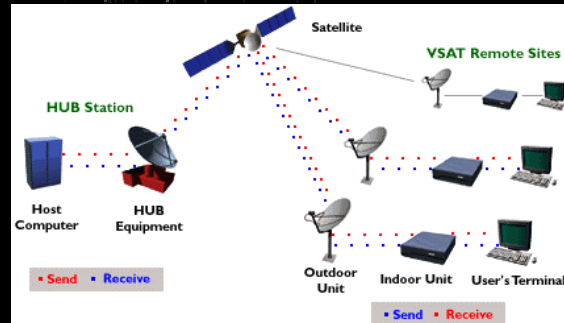


Satelita Astra-1K

## Very Small Aperture Terminals

### VSAT :

- systemy stacjonarne
- średnice anten: 0.5-3 metry
- niewielkie przepustowości
  - do 2 Mbit/s
- często systemy zamknięte
- zastosowania:
  - telefonía, faks, transmisja danych



Intensywny rozwój - lata 80-te

Obecnie :

500 tys. systemów VSAT w ponad 120 państwach świata

## Inne systemy GEO

### Inmarsat :

- od 1982 roku
- sieć globalna - do 70 stopnia szer. geogr.
- zastosowania: telekomunikacja morska, lotnicza,
  - biura terenowe
- kolejne wersje systemu: A, B, C, Mini-M, Fleet, GAN, BGAN
- terminale przenośne lub stacjonarne (pokładowe)
- łączność telefoniczna, faksy, transmisja danych
- przepustowości - 4.8 kbit/s, od 2002 r. - 64kbit/s,
  - od 2005 r. - do 492 kbit/s

**Regionalne systemy GEO** (telefonía satelitarna, dostęp do Internetu) :

- Thuraya (Bliski Wschód)
- AceS (Azja Południowo-Wschodnia)
- KIZUNA (Japonia)

## Radiofonia satelitarna w USA

### Płatne radio satelitarne



THE HOWARD STERN SHOW

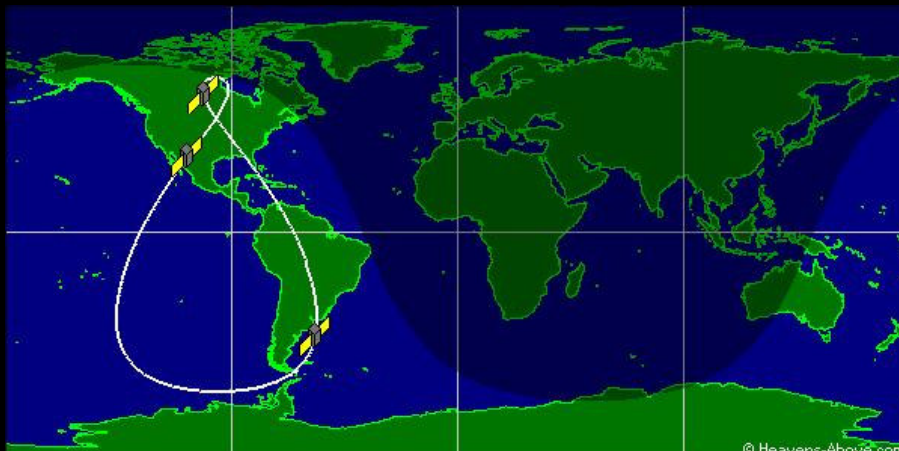


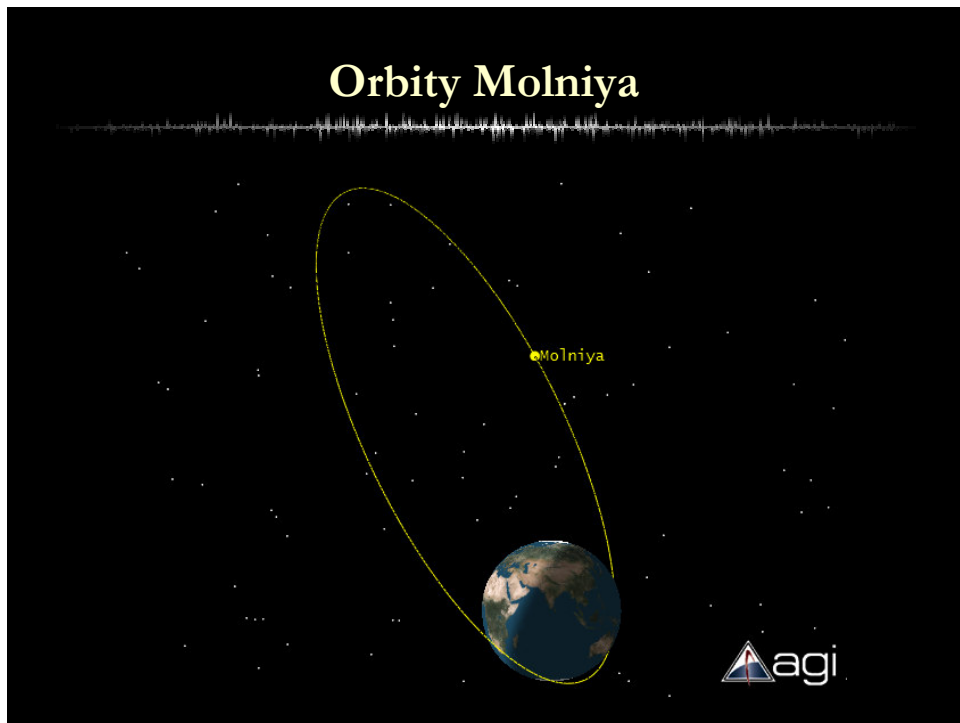
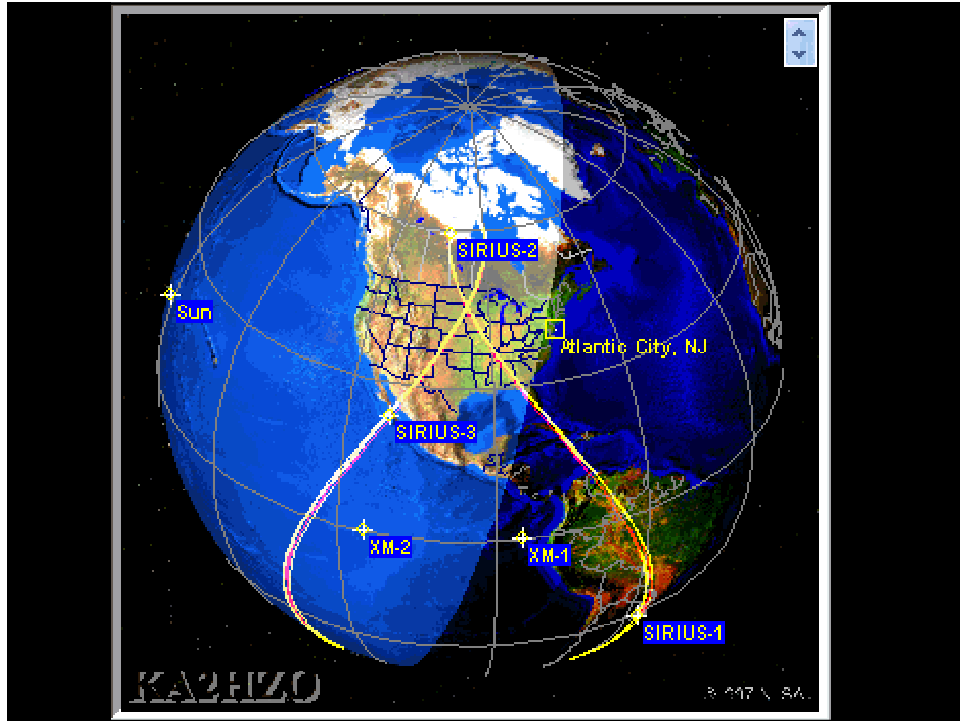
Zasięg odbioru radia XM

- sieci XM i Sirius
- zasięg : stany Zjednoczone i część Kanady
- satelity XM : GEO - 85°W i 115°W
- Sirius : orbity geosynchroniczne, eliptyczne
- ponad 100 kanałów radiowych w każdej ze stacji

## Dygresja – orbity eliptyczne

Orbity geosynchroniczne – Sirius :





## Orbity Molniya

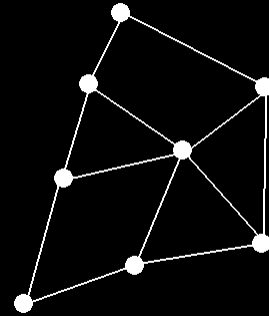


## Rynki satelitarnej transmisji głosu i danych

1. Kraje o słabej infrastrukturze telekomunikacyjnej lub bez infrastruktury
2. Kraje o dobrze rozwiniętej, ale przeladowanej infrastrukturze telekomunikacyjnej
3. Firmy i osoby potrzebujące pewnej łączności bezprzewodowej z dowolnego miejsca na świecie

## Konstelacja satelitarna jako sieć telekomunikacyjna

Aby myśleć o  
konieczne jest :



- przetwarzanie sygnału na pokładzie satelity
- łącza międzysatelitarne ISL (Inter Satellite Links)
- implementacja protokołów IP/TCP

## Porównanie konstelacji GEO i LEO

GEO :

- duże opóźnienia
- bardzo duża bitowa stopa błędów (BER)
- niepełne pokrycie powierzchni Ziemi

LEO :

- konstelacja w ciągłym ruchu
- pokrycie powierzchni Ziemi symetryczne względem równika
- brak wyróżnionych długości geograficznych
- małe, ale zmienne opóźnienia
- duża bitowa stopa błędów
- shadowing
- przełączenia (wpływ inklinacji i wysokości orbity)

## Łąca międzysatelitarne ISL

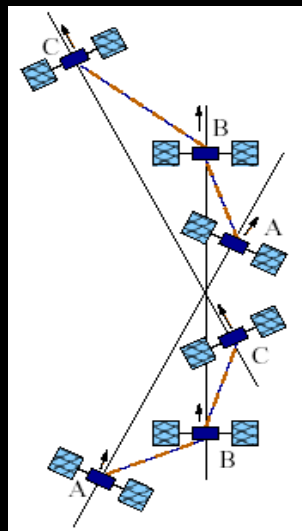
- umożliwienie routingu wewnątrz sieci satelitów
- redukcja ruchu między satelitami a adapterami sieciowymi (gateways)
- redukcja liczby adapterów sieciowych
- zrównoważenie ruchu obsługiwanego przez poszczególne adaptory sieciowe
- zabezpieczenie przed awariami poszczególnych adapterów sieciowych

## Łąca międzysatelitarne ISL

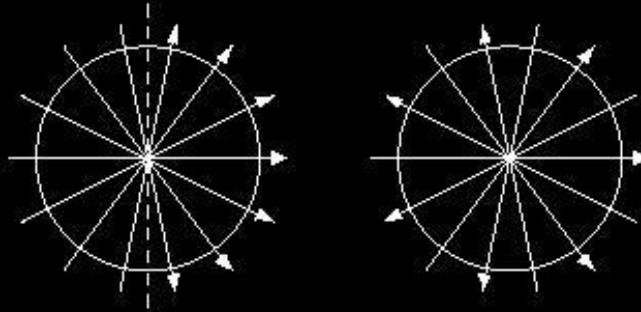
Ten sam typ orbit  
- wysokość  
- inklinacja

Łąca intra-plane  
(intra-orbital)

Łąca inter-plane  
(inter-orbital)



## Łącza międzysatelitarne ISL



Konstelacja  $\pi$  (star)  
- Iridium, Teledesic

Konstelacja  $2\pi$  (delta)  
- Celestri, Skybridge

## Pokrycie powierzchni Ziemi i problem przełączeń (LEO)

Typy pokrycia powierzchni Ziemi :

Skybridge

- satellite-fixed
- earth-fixed
  - przełączenia okresowe w całej konstelacji

Problem : długie przerwy w transmisji  
(przełączenia, shadowing, opady deszczu)

Rozwiązanie : techniki Multi-path



## Implementacja protokołu TCP

TCP :

- protokół połączeniowy (connection-oriented)
- implementacja mechanizmów korekcji błędów (Error Control) i sterowania przepływem (Flow Control)

Wersje protokołu TCP :

Tahoe, Reno, Vegas, SACK, Westwood

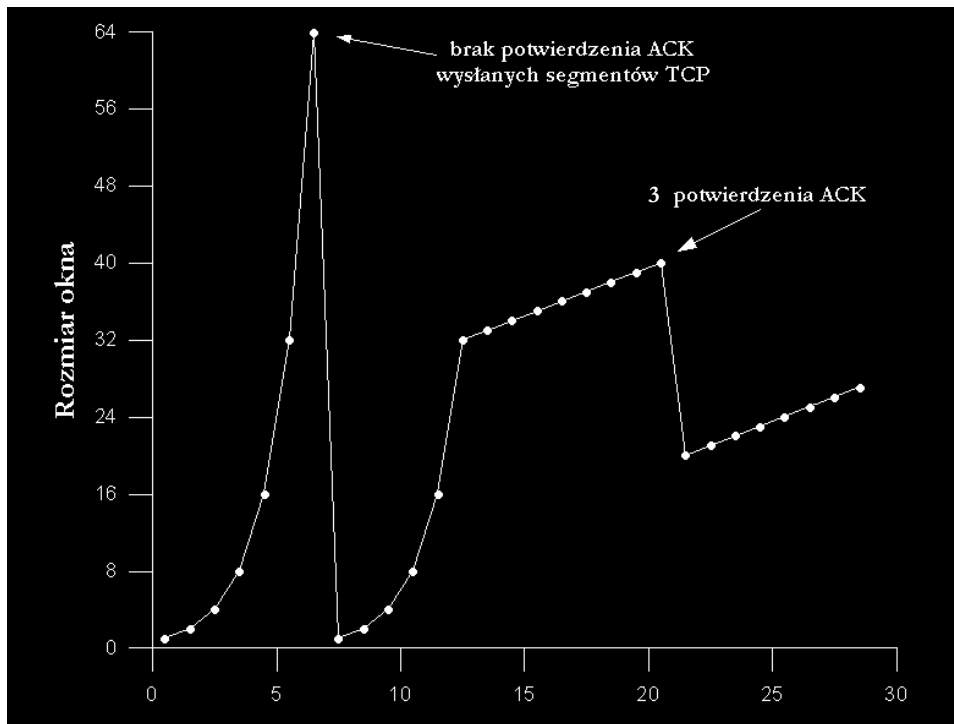
## Implementacja protokołu TCP

Error & Flow Control :

- sliding (advertised) window
- acknowledgements

Algorytmy dodatkowe :

- slow start
- congestion avoidance – ssthresh
- fast retransmit
- fast recovery



## Implementacja protokołu TCP - ramka segmentu TCP

# Bits						
16	16	32	32	4	6	6
Source Port	Dest. Port	Sequence Number	Acknowledgement Number	HLEN	Reserved	Code Bits
16	16	16	0 or 32	Data...		
Window	Check-sum	Urgent Pointer	Option			

↑  
Rozmiar okna w bajtach

## Implementacja protokołu TCP - problemy łączy satelitarnych

### 1. Ograniczony rozmiar okna (duże opóźnienia)

$$\text{Przepustowość} = \frac{\text{Window}}{\text{Round Trip Time}}$$

Maksymalny rozmiar okna :  $2^{16}$  B = 64 kB

Window = 64 kB, Round Trip Time = 0.25 s



Max. przepływność = 256 kB/s

Rozwiązanie : Window Scale

## Implementacja protokołu TCP - problemy łączy satelitarnych

### 2. Wznowienie transmisji po utracie pakietów (duża BER)

Rozwiązanie : rozwinięcie mechanizmów  
Selective Acknowledgement

### 3. Pomiar Round Trip Time (zmiennie opóźnienia)

Rozwiązanie : Timestamps

**Dziękuję za uwagę**