

# Routing dynamiczny

## Routing statyczny vs. dynamiczny



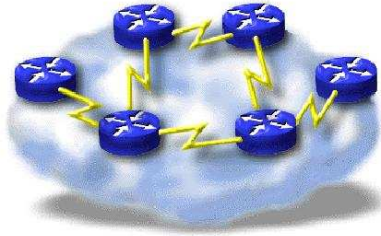
- tablice routingu konfigurowane przez administratora (-ów),
- przewidywalny – trasa po której pakiet jest przesyłany jest dobrze znana i może być kontrolowana,
- łatwy do skonfigurowania w małych sieciach,
- brak skalowalności
- **tablice routingu konfigurowane przez protokoły routingu,**
- **mniej przewidywalny, gdyż protokoły mają możliwość zmieniania zawartości tablic routingu**
- **łatwy do skonfigurowania (spora część pracy przerzucona na protokoły),**
- **łatwiej skalowalny**

## Routing statyczny vs. dynamiczny

- bardzo ograniczona zdolność dostosowania się do dynamicznych zmian w konfiguracji sieci,
- łącza nie są dodatkowo obciążone wiadomościami służącymi do rutowania,
- brak obsługi redundantnych połączeń
- **umiejętność dostosowania się do dynamicznych zmian w konfiguracji sieci,**
- **konieczność okresowej wymiany danych pomiędzy routerami to z punktu widzenia użytkownika niepotrzebne obciążenie sieci,**
- **możliwość wykorzystywania wielu ścieżek jednocześnie,**
- **trudności w implementacji, różnice pomiędzy sprzętem pochodzącym od różnych producentów**

## Wymagania stawiane protokołom routingu

## Routing dynamiczny



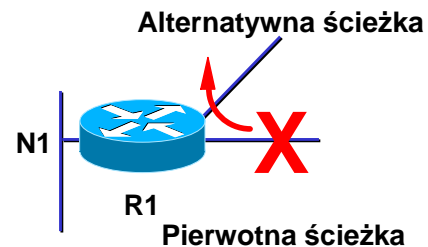
Którędy przesłać pakiet?

- routery (nie administratorzy) wybierają trasę
  - eliminacja pętli
- w wypadku, gdy możliwych jest kilka tras, wybór może być trudny
- kryterium wyboru trasy (tzw. *metryka*) może być np.:
  - liczba routerów po drodze,
  - przepustowość łączy,
  - obciążenie łączy,
  - procent strat na łączach,
  - opóźnienie na łączach,
  - MTU,
  - ...

## ZBIEŻNOŚĆ (KONWERGENCJA)

- router potrzebuje czasu na znalezienie alternatywnej ścieżki w wypadku zmiany topologii sieci (np. awaria),
- czas, po którym routery będą miały jednakowy "obraz" sieci (**czas zbieżności**) jest zależny od konfiguracji (np. odstęp między okresowo rozsyłanymi pakietami),
- mówimy, że dany protokół routingu dynamicznego (P1) jest **szybciej zbieżny**, niż drugi (P2) wtedy, gdy w sieci o takiej samej topologii cechuje się krótszym czasem zbieżności

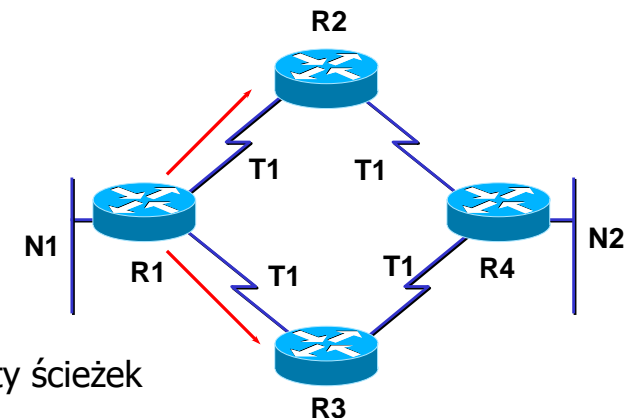
## SZYBKA REAKCJA NA ZMIANY W TOPOLOGII



Czas wykrywania awarii:

- łączy szeregowo:
  - natychmiastowo (przerwa w obwodzie)
- Token Ring i FDDI: od razu
- Ethernet: dwa lub trzy cykle zegara "keepalive"
- Inne: np. brak EIGRP Hello lub OSPF Hello

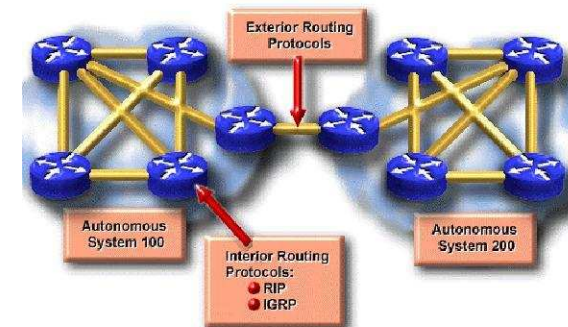
## RÓWNOWAŻENIE OBCIĄŻENIA



- Równe koszty ścieżek

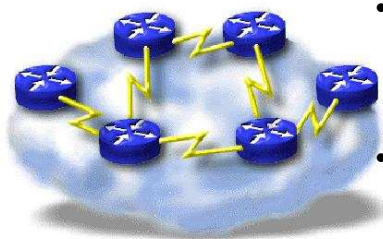
# Protokoły routingu

# Klasyfikacja protokołów routingu



- Podział ze względu na obszary zastosowań
  - protokoły wewnętrzne
  - protokoły zewnętrzne
- Podział ze względu na charakter wymienianych informacji
  - protokoły dystans-wektor
  - protokoły stanu łącza

# System autonomiczny (AS)



- składa się z routerów (i przyłączonych do nich sieci) znajdujących się **pod wspólną administracją**,
- jest identyfikowany przez **16-bitowy numer** nadawany przez NIC (Network Information Center),
- numer systemu autonomicznego bywa wykorzystywany przez protokoły routingu dynamicznego działające zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz **AS**

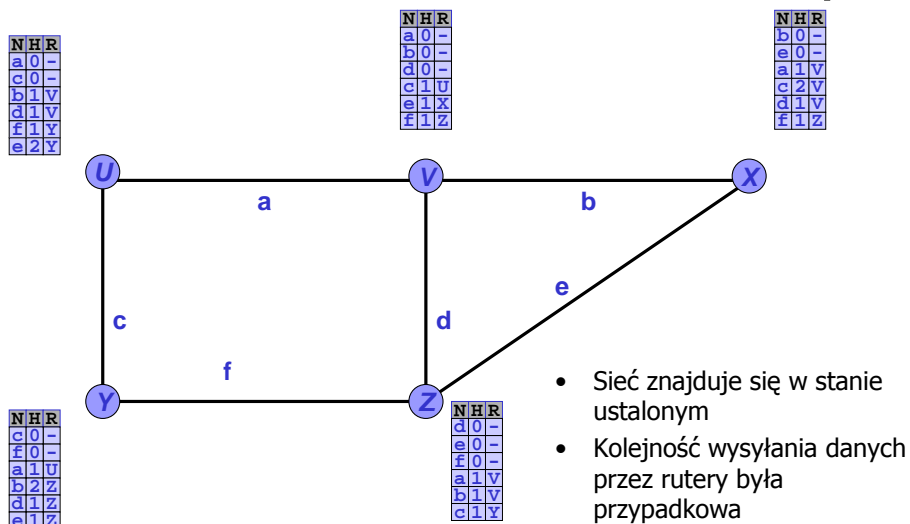
AS = autonomous system

# Protokoły routingu — wewnętrzne i zewnętrzne

- Wewnętrzne
  - Stosowane wewnątrz jednej domeny administracyjnej
  - Proste, w małym stopniu obciążają routery
  - Mało skalowalne
  - RIP (Routing Information Protocol), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol), OSPF (Open Shortest Path First),
- Zewnętrzne
  - Odpowiadają za wymianę informacji pomiędzy dwiema niezależnymi administracyjnie sieciami
  - Dają się skalować, łatwo obsługują duże sieci
  - Są skomplikowane, ilość dodatkowych informacji przesyłanych siecią może szybko zablokować pracę małej lub średniej sieci
  - EGP (exterior gateway protocol), BGP (border gateway protocol)
- Można je zamieniać, ale nie jest to mądre, bo zostały przystosowane do innego trybu pracy



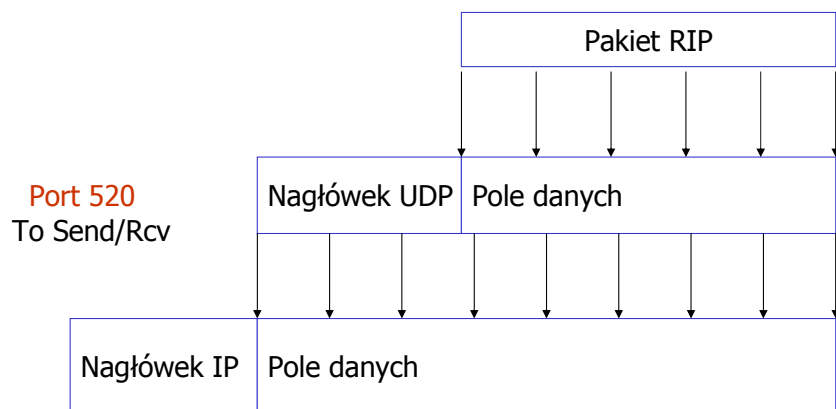
# Protokół d-w — stan ustalony



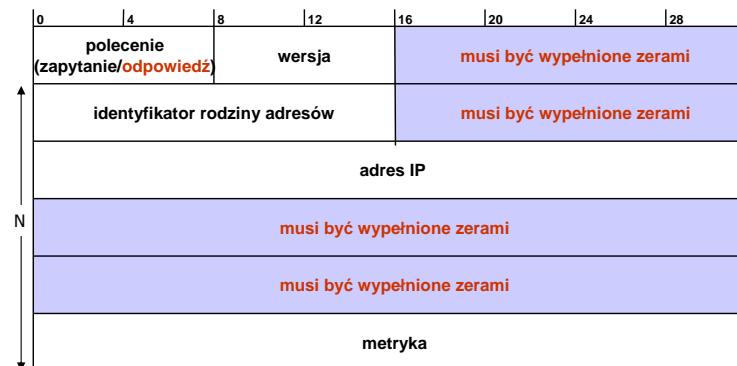
# Routing Information Protocol (RIP)

- Ruter wysyła informacje co 30s do wszystkich swoich sąsiadów — pakiety typu broadcast — o znanych sobie sieciach i odległości do nich
- Miarą odległości jest liczba routerów jaką należy przejść, żeby dostać się do danej sieci
- Po 180s nie odświeżona droga jest usuwana z tablicy routingu

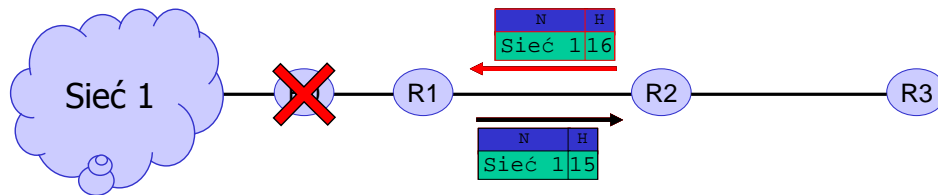
# Pakiet RIP — enkapsulacja



# Pakiet RIP



## Wady RIP — liczenie do nieskończoności



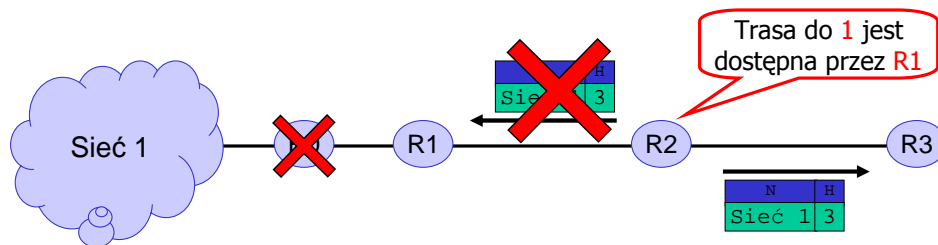
- Router R2 wysyła informacje o dostępności sieci 1 co 30 sekund
- Po 180 sekundach R1 wpisuje do swojej tablicy nową drogę do sieci 1

## RIP — zmniejszanie prawdopodobieństwa wystąpienia liczenia do nieskończoności

- Uaktualnianie z podzielonym horyzontem
  - router nie propaguje informacji o dostępności sieci na interfejs, przez który prowadzi najlepsza trasa
- Wstrzymanie
  - router wstrzymuje się z akceptacją komunikatów o dostępności sieci, o której awarii otrzymał informację (zazwyczaj na 60 sek.)
- Odświeżanie wymuszone
  - w wypadku zmiany w tablicy router nie czeka 30s tylko rozgłasza nową informację natychmiast

## RIP — dzielony horyzont

- Zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska zliczania do nieskończoności



## RIP — wstrzymanie

- Po otrzymaniu komunikatu od routera, że poprzednio dostępna sieć jest niedostępna włącza licznik (hold-down timer)
- Jeśli otrzyma komunikat od tego samego routera, że sieć jest dostępna wyłącza licznik
- Jeśli otrzyma komunikat od innego routera ogłaszającego lepszą trasę wyłącza licznik
- Jeśli otrzyma gorsze trasy **ignoruje je**
- Po upływie licznika kasuje wpis

## RIP — odświeżanie wymuszone

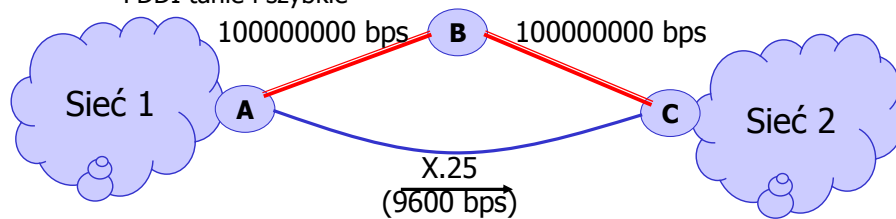
- Pakiet RIP wysyłany jest natychmiast po zaobserwowaniu zmiany
  - czas zwykle jest opóźniony o kilka sekund, żeby nie spowodować zalewania sieci
- Nie wysyłana jest cała tablica routingu a tylko informacja o zmianach

## Wady RIP — synchronizacja

- Co 30 sekund w sieci opartej na protokole RIP następuje znaczny spadek wydajności (synchronizacja komunikatów o tablicach routingu)
  - mniejsza przepustowość lub większy procent zagubionych pakietów
- Rozwiązania:
  - inicjowanie routerów w różnych momentach
  - modyfikacja interwału (15s – 45s; średnio 30s) pomiędzy wysyłaniem kolejnych informacji o zawartości tablicy routingu (losowo)

## Wady RIP

- **Zbyt prosta metryka**
  - łącze X.25 i FDDI „tyle samo warte”
    - X.25 drogie i wolne
    - FDDI tanie i szybkie

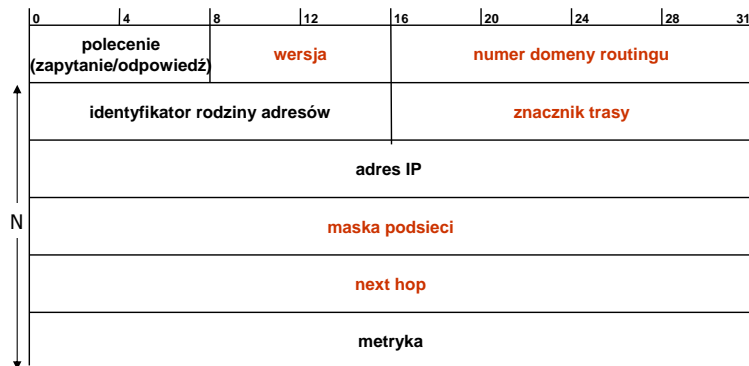


- Dobry do sieci jednorodnych

## RIP-2

- W ramce zawarta jest również maska podsieci
- Propaguje numer domeny routingu
- Propaguje adres następnego routera (next-hop)

## Pakiet RIP-2



## RIP-2 — bezpieczeństwo

- Wada RIP-1
  - w RIP-1 każdy komputer nadający z portu 520 jest uznawany za router
  - konieczna ręczna konfiguracja routingu: lista autoryzowanych sąsiadów
- Mechanizm autentykacji RIP-2
  - w ramce RIP-2 można umieścić pole zawierające „hasło” (rodzina adresów `FFFF`)
  - nie powoduje to utraty kompatybilności z RIP-1

## RIP-2 — rozgłaszanie

- Wada RIP-1
  - używa broadcastowego adresu MAC do rozsyłania informacji o dostępności do sieci
- RIP-2 używa do tego celu multicastowego adresu IP klasy D (224.0.0.9)
  - nie są konieczne mechanizmy rutowania pakietów klasy D, bo informacje dotyczą tylko lokalnej sieci

## Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

- Jeden z częściej używanych obecnie protokołów routingu
  - przedstawiciel rodziny „dystans-wektor”
  - okresowe komunikaty o zawartości tablic routingu (co 90 sekund)
  - złożone metryki
- Właścicielem praw autorskich jest CISCO



# Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

## • Metryki elementarne

– statyczne

- **opóźnienie** (ang. delay, ozn. D)
  - mierzone w dziesiątkach mikrosekund
  - suma opóźnień pomiędzy routerem a adresem docelowym
- **przepustowość** (ang. bandwidth, ozn. B)
  - najmniejsza z przepustowości pomiędzy routerem a adresem docelowym
  - jednostka: 10 000 000 / przepustowość w kbps
  - liczba sekund potrzebna na przesłanie 10 mld bitów
  - 24 bity => zakres przepustowości od 1200 bps do 10 Gbps

# Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

## • Metryki elementarne - c.d.

– dynamiczne

- **niezawodność łącza** (ang. reliability, ozn. R)
  - stopień pewności, że pakiet dotrze do celu
  - 8 bitów: 255 odpowiada 100%
- **obciążenie łącza** (ang. load, ozn. L)
  - dotyczy najbardziej obciążonego łącza na ścieżce
- **liczba routerów na ścieżce** (ang. hops, ozn. H)
- **path MTU**

# Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

## • Rzeczywista (pełna) metryka

$$M = \left( K1 * B + K2 * \frac{B}{256 - L} + K3 * D \right) * \frac{K5}{R + K4}$$

dla K5=0

- Współczynniki K1 - K5 są ustalane przez administratora
  - np. ustalenie K5=0 powoduje, że współczynnik niezawodności nie jest brany pod uwagę
  - ustawienie domyślne (por. z opóźnieniem dla pakietu 10000b):
    - K1 = K3 = 1
    - K2 = K4 = K5 = 0

# Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)

## • Sposoby zapobiegania pętlom

- „podzielony horyzont”
- „wstrzymanie (ang. path holddown)”
- „odświeżanie wymuszone”

## • Routing wielościeżkowy

- dzielenie obciążenia między kilka możliwych ścieżek
- pozytywny „efekt uboczny”: zapasowa ścieżka w razie awarii na najlepszym łączu

## Enhanced IGRP (EIGRP)

- **Wady IGRP**
  - synchronizacja
  - nieefektywne algorytmy zapobiegania pętlom
- **Algorytm DUAL** (*J.J. Garcia-Luna-Aceves*) (diffusing update algorithm)
  - usuwanie pętli
  - zastosowanie zarówno w protokołach dystans-vektor, jak i w prot. stanu łącza

## Protokoły stanu łącza ang. **Link State**

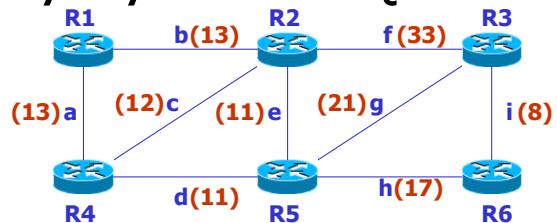
## Protokoły stanu łącza

- Router wysyła informację do wszystkich routerów o stanie swoich łączy
- Router przechowuje w pamięci „mapę sieci”
  - mapa jest regularnie uaktualniana
  - możliwe centralne wyznaczenie ścieżki do celu
- Szybka reakcja na zmiany topologii
  - relatywnie (w stosunku do protokołów dystans-vektor) małe pakiety informacyjne
- Brak pętli
  - brak konieczności „liczenia do nieskończoności”
- Możliwość stosowania wielu metryk

## Tworzenie tablic routingu

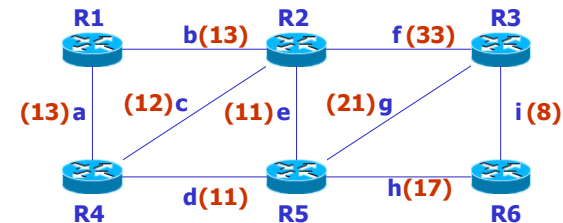
- Wykrywanie sąsiadów
- Współdzielenie informacji o sąsiadach ze wszystkimi routerami
- Tworzenie tablic zawierających pełną informację o sieci (mapa sieci) oraz na ich podstawie tablicy routingu

# Wykrywanie sąsiadów



- R3 wysyła przez wszystkie swoje interfejsy pakiet HELLO ('Hello, to ja R3')
- R3 otrzymuje od swoich sąsiadów pakiety HELLO
- Pakiety HELLO muszą być potwierdzone

# Tablica LSD



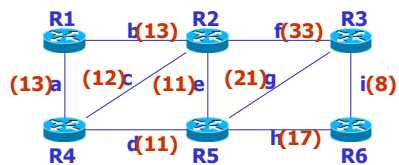
- Budowa tablic LSD (Link State Database)

Src	Dest	Net	Dist
R1	R2	b	13
R1	R4	a	13
R2	R1	b	13
R2	R4	c	12
R2	R5	e	11
R2	R3	f	33

C.d.			
R3	R2	f	33
R3	R5	g	21
R3	R6	i	8
R4	R1	a	13
R4	R2	c	12
R4	R5	d	11

C.d.			
R5	R2	e	11
R5	R3	g	21
R5	R4	d	11
R5	R6	h	17
R6	R3	i	8
R6	R5	h	17

# Tworzenie tablicy routingu



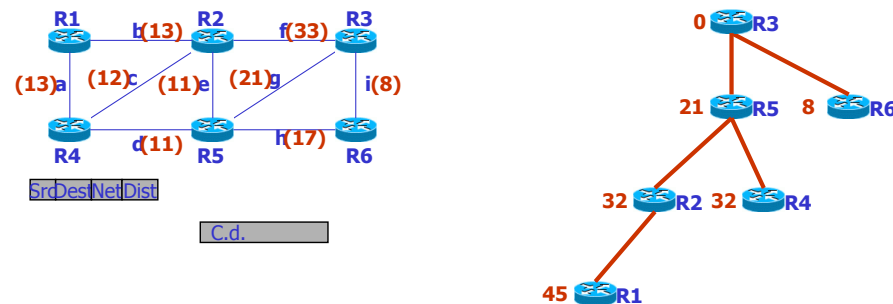
- Algorytm Dijkstry
  - Tworzenie drzewa
    - Korzeń — system tworzący drzewo
    - Gałęzie — połączenia do innych systemów
- Analizujemy budowę drzewa z punktu widzenia routera R3

Src	Dest	Net	Dist
R1	R2	b	13
R1	R4	a	13
R2	R1	b	13
R2	R4	c	12
R2	R5	e	11
R2	R3	f	33

C.d.			
R3	R2	f	33
R3	R5	g	21
R3	R6	i	8
R4	R1	a	13
R4	R2	c	12
R4	R5	d	11

C.d.			
R5	R2	e	11
R5	R3	g	21
R5	R4	d	11
R5	R6	h	17
R6	R3	i	8
R6	R5	h	17

# Algorytm Dijkstry



Src	Dest	Net	Dist
R1	R2	b	13
R1	R4	a	13
R2	R1	b	13
R2	R4	c	12
R2	R5	e	11
R2	R3	f	33

C.d.			
R3	R2	f	33
R3	R5	g	21
R3	R6	i	8
R4	R1	a	13
R4	R2	c	12
R4	R5	d	11

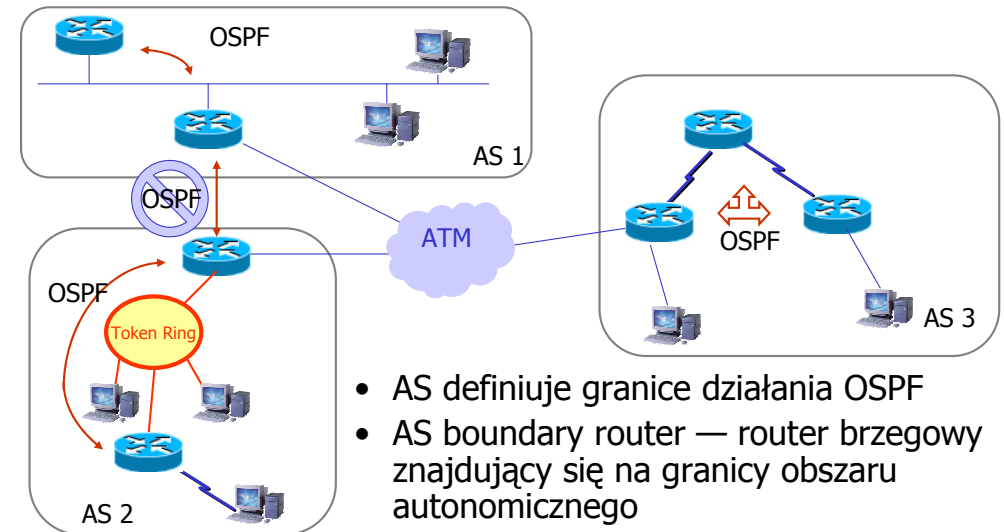
C.d.			
R5	R2	e	11
R5	R3	g	21
R5	R4	d	11
R5	R6	h	17
R6	R3	i	8
R6	R5	h	17

- Zostało stworzone pełne drzewo — na jego podstawie budujemy tablicę routingu
- Zawartość tablicy LSD nie jest usuwana!

# OSPF i organizacja sieci

- Sieć Internet można traktować jako jedną całość
  - Każdy router wymienia informacje z każdym innym
    - Setki tysięcy systemów
    - Obciążenie sieci
    - Olbrzymi rozmiar tablic LSD
    - Bardzo długi czas obliczania algorytmu Dijkstry
- Wprowadzenie hierarchii
  - Systemy autonomiczne
    - Obszary

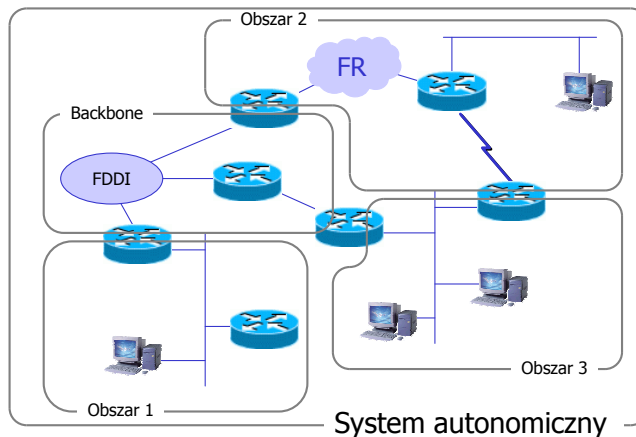
# Systemy autonomiczne



- AS definiuje granice działania OSPF
- AS boundary router — router brzegowy znajdujący się na granicy obszaru autonomicznego

# Obszary OSPF

- AS może być zbyt duży



- Podział dowolny
  - Elementy obszaru muszą być połączone
- Wewnątrz obszaru OSPF działa normalnie
- Area border router — router brzegowy dla obszaru OSPF
  - Rozgłasza *summary LSA* o innych obszarach

# Podsumowanie

- Protokoły stanu połączeń
  - Skomplikowane
  - Bardziej wydajne, skalowalne
  - Brak pętli
  - Dobra zbieżność

# Literatura

- *Routing in the Internet*, Christian Huitema, Prentice Hall PTR
- *IPng and the TCP/IP Protocols* Stephen A. Thomas
- *Zarządzanie sieciami IP za pomocą ruterów Cisco*, Scott M. Ballew, O'Reilly
- *Sieci komputerowe TCP/IP, t.1*, Douglas E. Comer, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne
- RFC 1058 (RIP), RFC 2453 (RIP-2), RFC 1131 (OSPF-1), RFC 2178 (OSPF-2)