

# Mapa wykładu

- ❑ 4.1 Usługi warstwy sieci z komutacją pakietów
- ❑ 4.2 Zasady działania routingu
- ❑ 4.3 Routing hierarchiczny
- ❑ 4.4 Protokół Internetu (IP)
- ❑ 4.5 Routing w Internecie
- ❑ 4.6 Co jest w routerze
- ❑ 4.7 IPv6
- ❑ 4.8 Routing rozsiewczy (multicast)
- ❑ 4.9 Mobilność

# IPv6

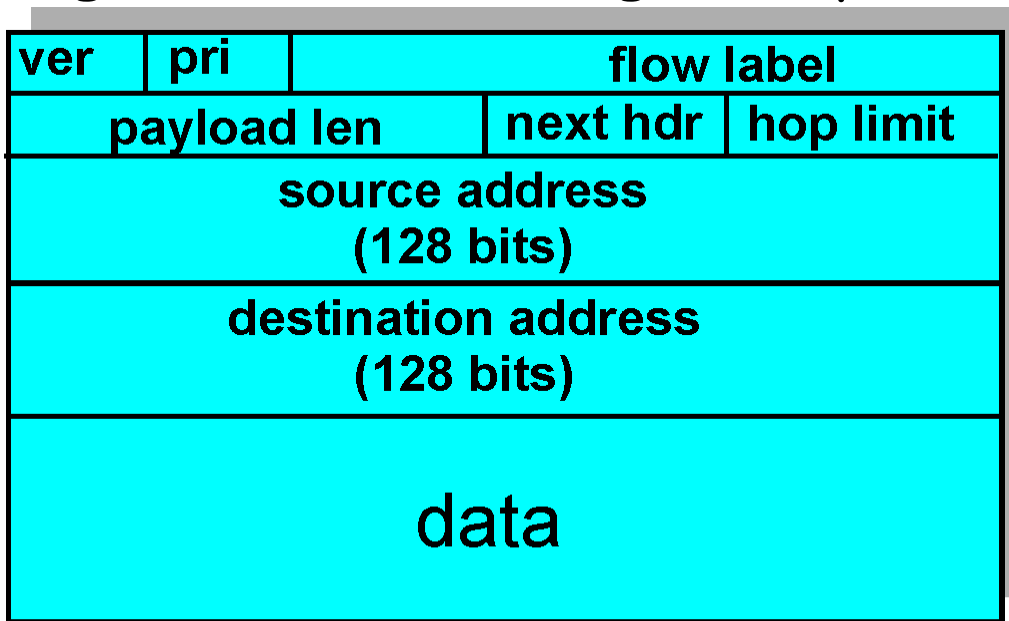
- **Początkowe uzasadnienie:** 32-bitowa przestrzeń adresowa wyczerpie się w 2008 r.
- **Dodatkowe uzasadnienie:**
  - format nagłówka pomagający w przetwarzaniu/przekazywaniu
  - zmiany w nagłówku w celu różnicowania QoS
  - nowy adres "anycast": ścieżka do "najlepszego" z wielu replikowanych serwerów
- **format pakietu IPv6:**
  - nagłówek 40-bajtowy (320 b), elastyczny
  - fragmentacja tylko koniec-koniec

# Nagłówek pakietu IPv6

**Priority:** określa priorytet pakietu w przepływie

**Flow Label:** identyfikuje pakiety należące do jednego "przepływu".

**Next header:** określa następną (opcjonalną) część nagłówka IPv6 lub nagłówek protokołu wyższej warstwy



← 32 bits →

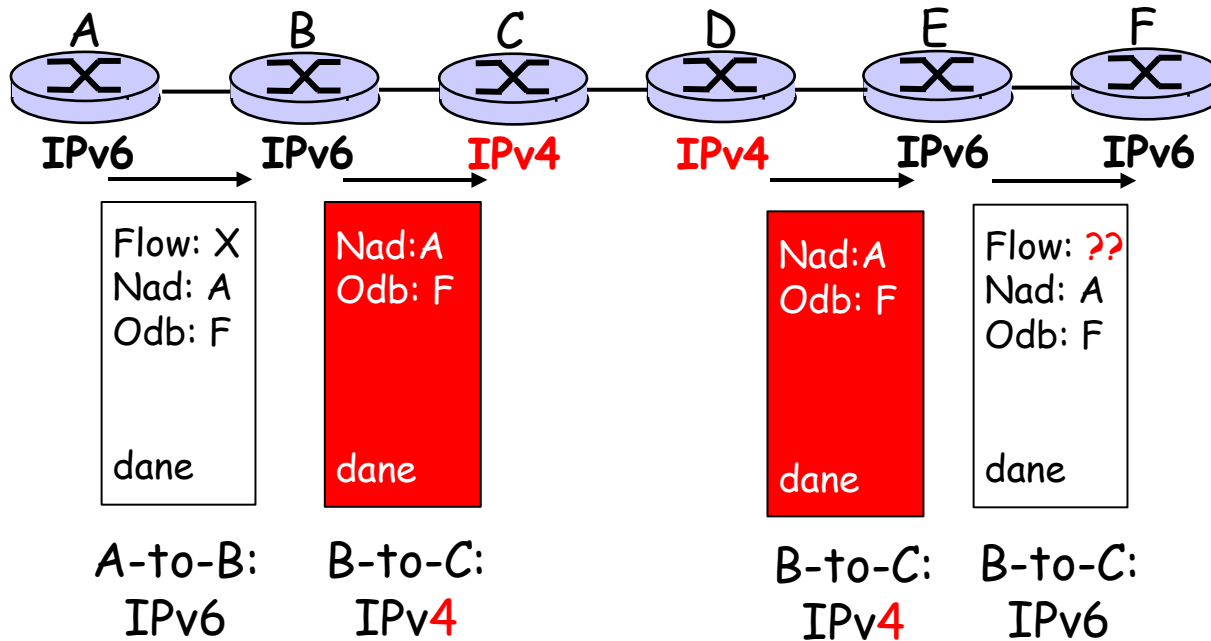
# Inne zmiany w stosunku do IPv4

- ❑ *Suma kontrolna nagłówka*: usunięta całkiem w celu zmniejszenia czasu przetwarzania pakietów
- ❑ *Opcje*: dozwolone, ale w dodatkowych częściach nagłówka, wskazywanych przez pole "Next Header"
- ❑ *ICMPv6*: nowa wersja ICMP
  - dodatkowe komunikaty, n.p. "Packet Too Big"
  - funkcje zarządzania grupami multicast
- ❑ *DHCP*: staje się częścią IP (Neighbor Discovery)
- ❑ *NAT*: adresy IPv6 mogą być prywatne
- ❑ *IPSec*: staje się częścią IP

# Przejs̄cie z IPv4 na IPv6

- ❑ Nie da się aktualizować wszystkich ruterów jednoczeŝnie
  - nie ma "dni ŝwiątecznych" w Internecie
  - Jak sieć będzie działała z ruterami IPv4 oraz IPv6 jednoczeŝnie?
- ❑ Dwa proponowane rozwiązania:
  - *Dual Stack*: routery z podwójnym stosem (v6, v4) mogą "tłumaczyć" pomiędy formatami
  - *Tunelowanie*: pakiet IPv6 przenoszony jako dane pakietu IPv4 przez routery IPv4

# Podwójny stos

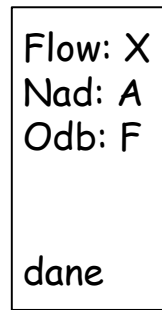
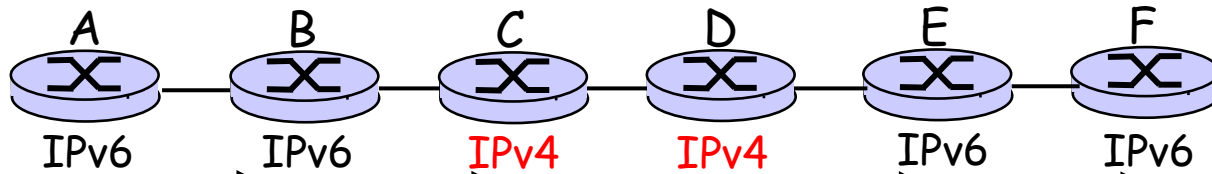


# Tunelowanie

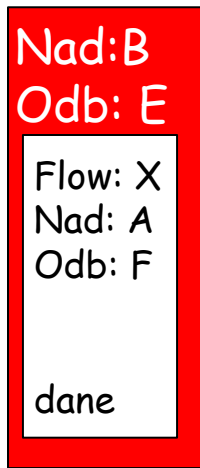
Logiczne połączenie



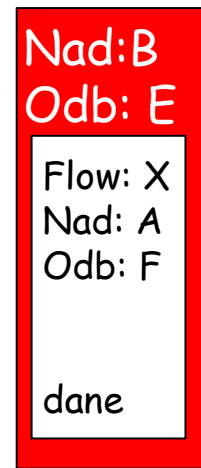
Fizyczne połączenie



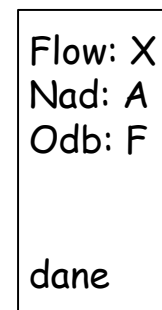
A-do-B:  
IPv6



B-do-C:  
IPv6 tunelowane w  
IPv4



B-do-C:  
IPv6 tunelowane w  
IPv4



E-do-F:  
IPv6

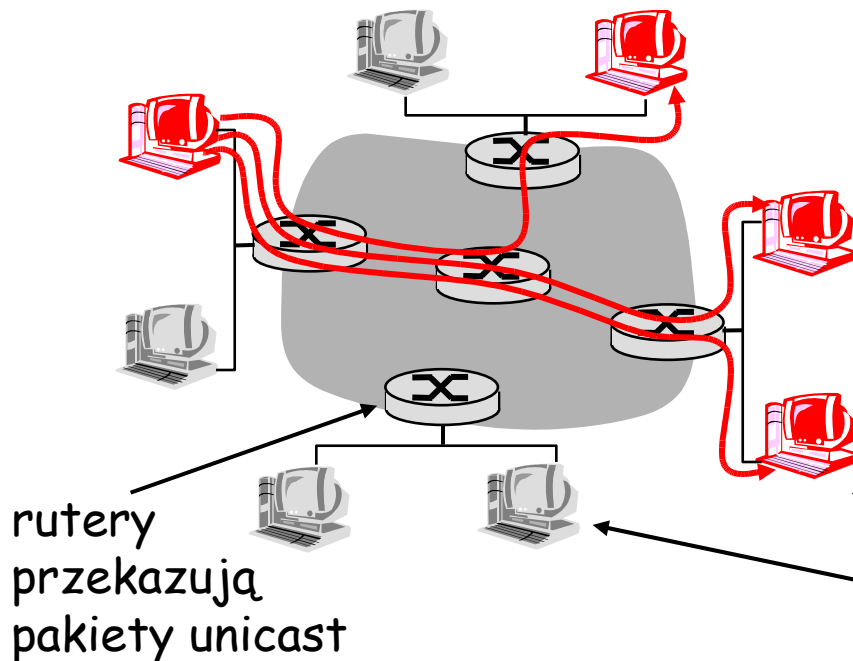
# Mapa wykładu

- ❑ 4.1 Usługi warstwy sieci z komutacją pakietów
- ❑ 4.2 Zasady działania routingu
- ❑ 4.3 Routing hierarchiczny
- ❑ 4.4 Protokół Internetu (IP)
- ❑ 4.5 Routing w Internecie
- ❑ 4.6 Co jest w routerze
- ❑ 4.7 IPv6
- ❑ 4.8 Routing rozsiewczy (multicast)
- ❑ 4.9 Mobilność



# Multicast: jeden nadawca do wielu odbiorców

- **Komunikacja rozsiwczająca:** wysłanie pakietu do wielu odbiorców za pomocą pojedynczej operacji
  - analogia: jeden wykładowca do wielu studentów
- **Pytanie:** jak zrealizować komunikację rozsiwczającą

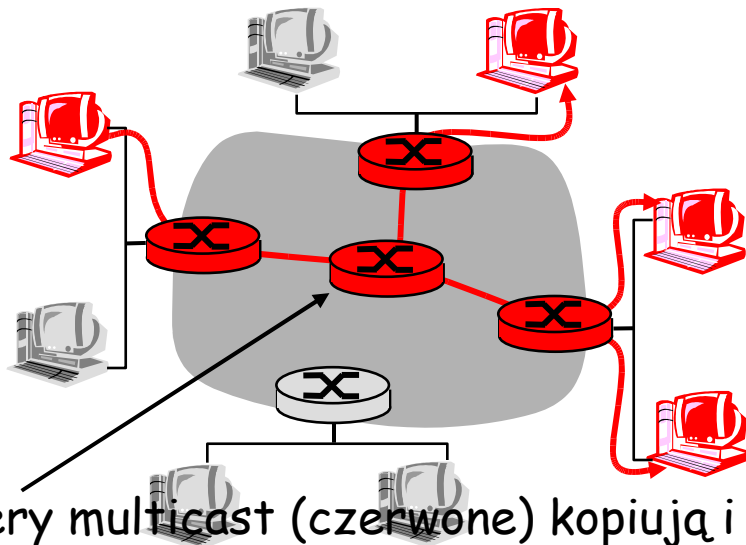


## Multicast przez unicast

- nadawca wysyła  $N$  pakietów unicast, po jednym do każdego z  $N$  odbiorców

# Multicast: jeden nadawca do wielu odbiorców

- Komunikacja rozsiwczona: wysłanie pakietu do wielu odbiorców za pomocą pojedynczej operacji
- Pytanie: jak zrealizować komunikację rozsiwczoną



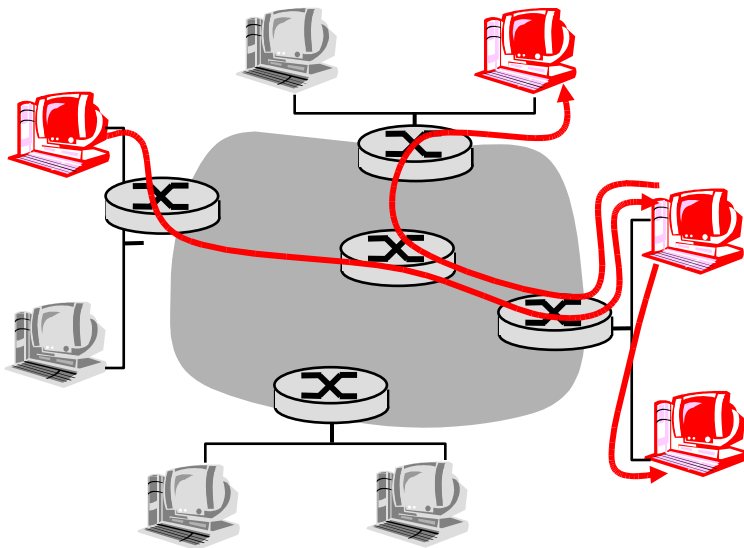
Rutery multicast (czerwone) kopiują i przekazują pakiety kom. rozsiwczonej

## Multicast w w. sieci

- Rutery aktywnie biorą udział w kom. rozsiwczonej, kopiując pakiety, gdy tego potrzeba, i przekazując pakiety do odbiorców multicast

# Multicast: one sender to many receivers

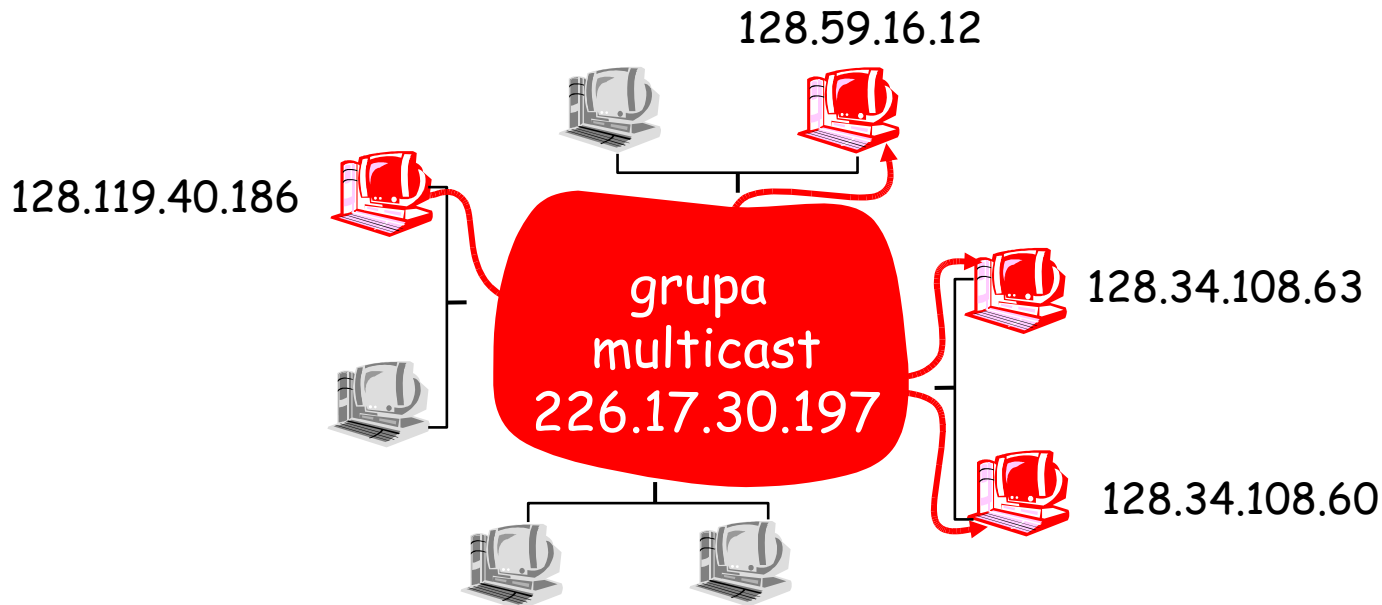
- Komunikacja rozsiwczona: wysłanie pakietu do wielu odbiorców za pomocą pojedynczej operacji
- Pytanie: jak zrealizować komunikację rozsiwczoną



## Multicast w w. aplikacji

- systemy końcowe kopiują komunikaty kom. rozsiwczoną i przekazują je między sobą

# Usługa Multicast w Internecie




pojęcie grupy multicast: użycie **bezkierunkowości**

- host adresuje pakiet IP do grupy multicast
- routery przekazują pakiety multicast do hostów, które "dołączyły" do grupy multicast

# Grupy multicast

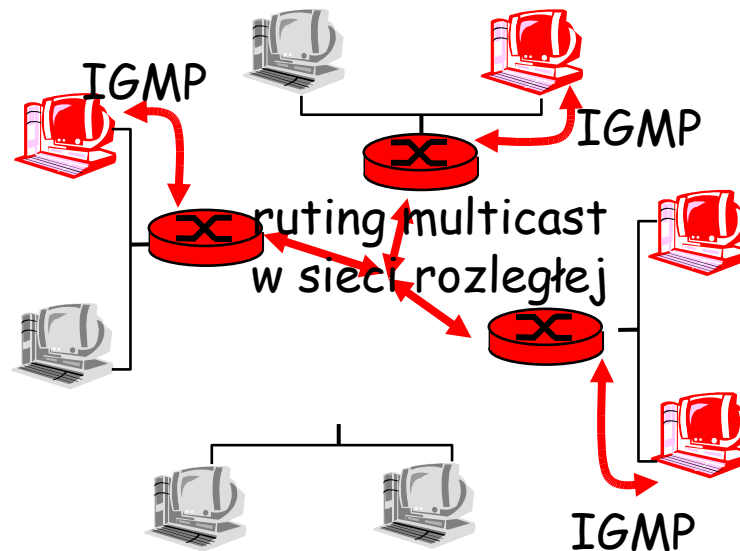
- adresy IP klasy D są rezerwowane dla grup multicast:



- znaczenie grupy hostów:  28 bits
- każdy może "dołączyć" (odbierać) do grupy multicast
- każdy może wysłać do grupy multicast
- nie ma rozróżnienia członków grupy w warstwie sieci
- potrzebne: infrastruktura przekazująca pakiety multicast do wszystkich hostów, które dołączyły do grupy multicast

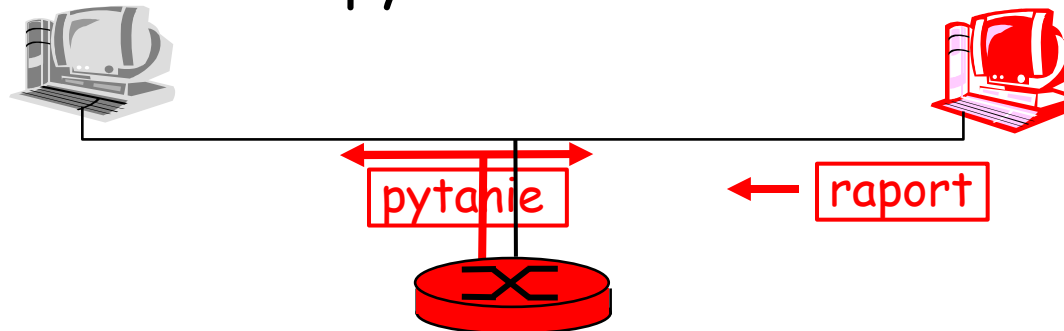
# Dołączanie do grupy multicast: dwa etapy

- etap lokalny: host informuje lokalny ruter multicast, że chce dołączyć do grupy:  
IGMP (Internet Group Management Protocol)
- etap w sieci rozległej: lokalny ruter komunikuje się z innymi ruterami, żeby otrzymywać pakiety grupy multicast
  - wiele protokołów (n.p., DVMRP, MOSPF, PIM)



# IGMP: Internet Group Management Protocol

- host: wysyła raport IGMP gdy aplikacja dołącza do grupy multicast
  - używa opcji gniazd IP\_ADD\_MEMBERSHIP
  - host nie musi specjalnie "opuszczać" grupy
- ruter: wysyła pytanie IGMP w ustalonych odstępach czasu
  - host należący do grupy multicast musi odpowiedzieć na pytanie



# IGMP

## IGMP wersja 1

- ruter: rozgłasza komunikat *Host Membership Query* do wszystkich hostów w sieci LAN
- host: komunikat *Host Membership Report* wskazuje na członkostwo w grupie
  - losowe opóźnienie przed odpowiedzią
  - domyślne opuszczenie grupy przez brak odpowiedzi
- RFC 1112

## IGMP v2: dodatki:

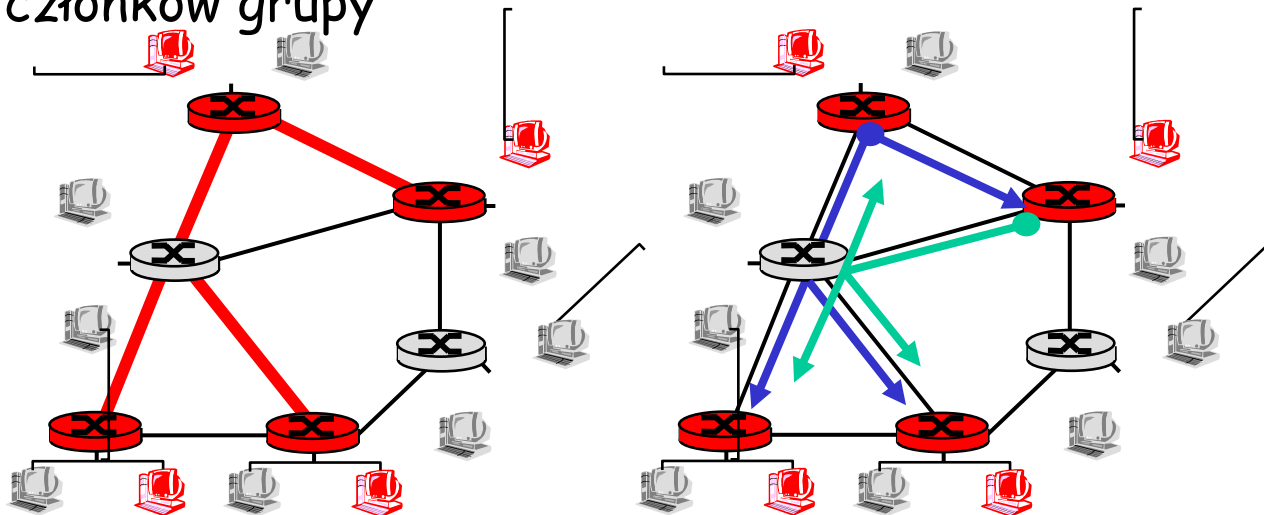
- pytanie dotyczące grupy
- Komunikat *Leave Group*
  - ostatni host odpowiadający na pytanie może wysłać komunikat *Leave Group*
  - ruter wysyła pytanie dotyczące grupy, żeby sprawdzić, czy jakiś host został w grupie
  - RFC 2236

IGMP v3: jest rozwijane jako Internet Draft



# Ruting Multicast: Określenie problemu

- **Cel:** znaleźć drzewo (lub drzewa) łączące routery, do których połączeni są członkowie grupy multicast
  - **drzewo:** nie używać wszystkich ścieżek między routerami
  - **drzewa od źródła:** różne drzewa od każdego nadawcy do odbiorców
  - **drzewo wspólne:** to samo drzewo używane przez wszystkich członków grupy



Drzewo wspólne

Drzewa od źródła

# Sposoby budowania drzew rutingu multicast

Typy drzew:

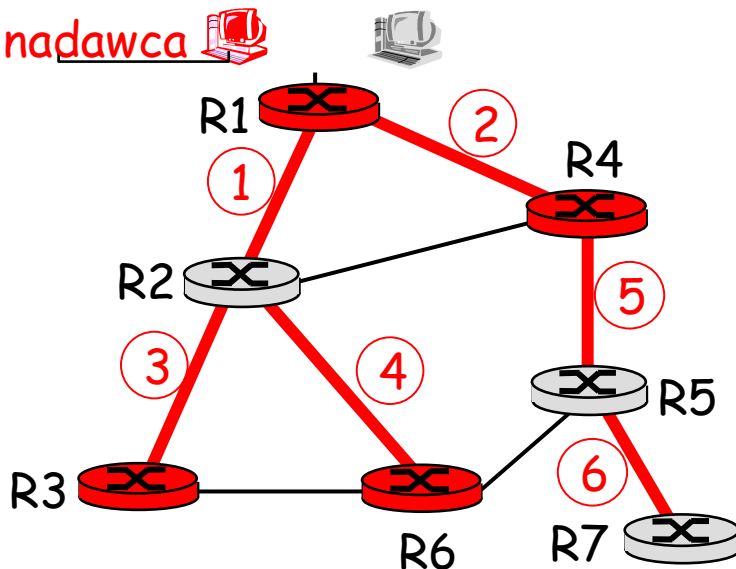
- **drzewa od źródła:** po jednym drzewie dla źródła
  - drzewa najkrótszych ścieżek
  - przekazywanie przez ścieżkę powrotną
- **drzewa wspólne:** grupa używa jednego drzewa
  - minimalne drzewa rozpinające (drzewa Steinera)
  - drzewa oparte o centrum

...opiszemy najpierw ogólne algorytmy, potem konkretne protokoły używające tych algorytmów




# Drzewa najkrótszych ścieżek

- drzewo multicast składa się z najkrótszych ścieżek od nadawcy do każdego odbiorcy
  - algorytm Dijkstry

N: nadawca 



## LEGENDA

-  ruter, z którym łączy się członek grupy
-  ruter, w którego podsięciach nie ma członków grupy
-  łączy używane w drzewie, i wskazuje na kolejność dodawania łączy przez algorytm

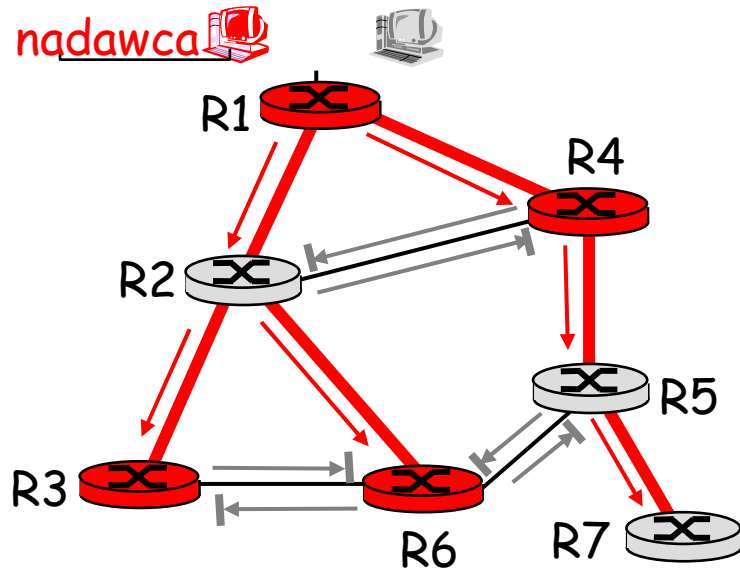
# Przekazywanie przez ścieżkę powrotną

- ❑ ang. *Reverse Path Forwarding* (RPF)
- ❑ polega na tym, że rutera zna najkrótszą ścieżkę od siebie do nadawcy
- ❑ każdy ruter ma prosty algorytm:


*if* (otrzymałem pakiet multicast na łączy ze ścieżki, która prowadzi do nadawcy)  
*then* wyślij pakiet na wszystkie łącza  
*else* ignoruj pakiet


# Przekazywanie przez ścieżkę powrotną


N: nadawca 




## LEGENDA

 ruter, z którym łączy się członek grupy

 ruter, w którego podsięciach nie ma członków grupy

 pakiet będzie przekazywany

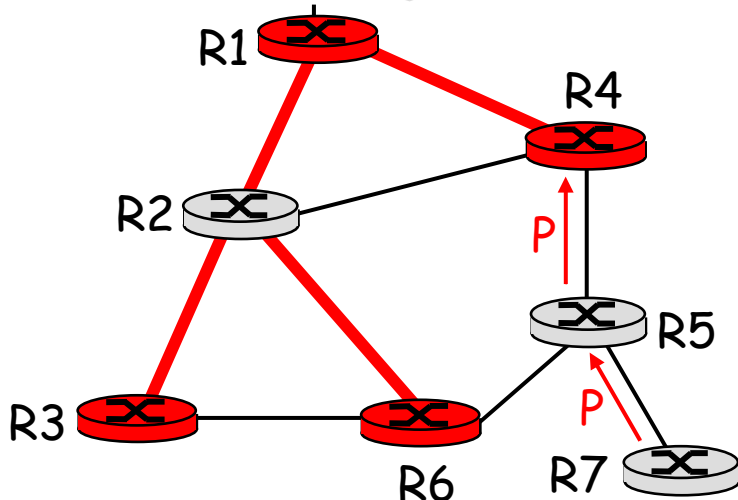
 pakiet nie będzie przekazywany

- wynikiem jest *odwrócone* drzewo najkrótszych ścieżek zakorzenione u nadawcy
  - może być nie najlepsze, jeśli łącza są asymetryczne

# RPF: ucinanie ścieżek

- drzewo multicast może zawierać poddrzewa, w których nie ma członków grupy
  - nie trzeba przekazywać pakietów do takich poddrzew
  - komunikat "prune" jest wysyłany w górę drzewa przez ruter, który nie ma członków grupy w poddrzewie

N: nadawca 



## LEGENDA



ruter, z którym łączy się członek grupy



ruter, w którego podsieciach nie ma członków grupy



komunikat *prune*



łącza, po których przekazywane są pakiety multicast

## Drzewo wspólne: drzewa Steinera

- ❑ **Drzewo Steinera:** drzewo o minimalnym koszcie łączące wszystkie routery z dołączonymi członkami grupy
- ❑ problem jest NP-zupełny
- ❑ istnieją bardzo dobre heurystyki
- ❑ nie używane w praktyce:
  - złożone obliczeniowo
  - potrzebują informacji o całej sieci
  - niepodzielne: przy każdym odłączeniu/dołączeniu routera, trzeba od nowa obliczyć drzewo

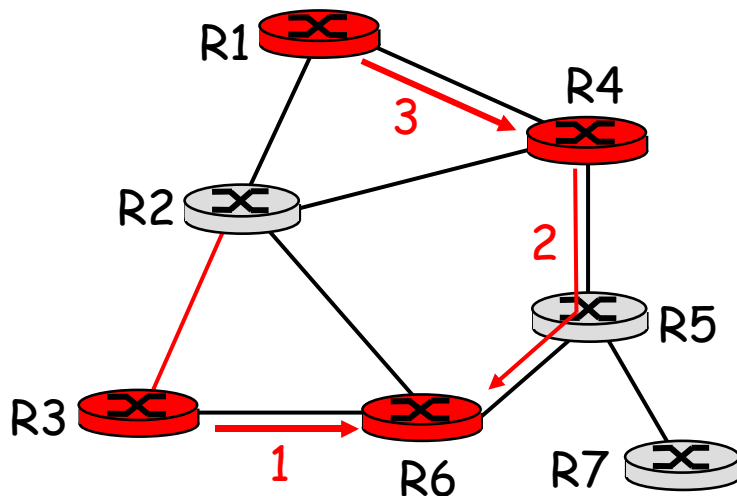
# Drzewo ze wspólnego centrum

- ❑ jedno drzewo dla całej grupy
- ❑ jeden ruter wybrany jako "*centrum*" drzewa
- ❑ żeby się dołączyć:
  - ruter brzegowy wysyła komunikat unicast *join-msg* do rutera centrum
  - komunikat *join-msg* "obsługiwany" przez pośredniczące rutery i przekazywany do centrum
  - komunikat *join-msg* albo dotrze do istniejącej gałęzi drzewa, albo do centrum
  - ścieżka, jaką przebył komunikat *join-msg* staje się nową gałęzią drzewa do rutera dołączającego






# Drzewo ze wspólnego centrum

Założmy, że R6 wybrany na centrum:



## LEGENDA

-  ruter, z którym łączy się członek grupy
-  ruter, w którego podsięciach nie ma członków grupy
-  kolejność, w jakiej routery dołączają do drzewa

# Ruting Multicast w Internecie: DVMRP

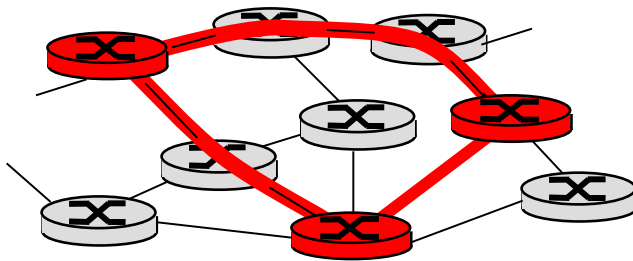
- ❑ **DVMRP**: Distance Vector Multicast Routing Protocol, RFC1075
- ❑ ***zalew i ucinanie***: przekazywanie przez ścieżkę powrotną (RPF), drzewa od źródła
  - drzewo RPF budowane w oparciu o własne tablice routingu DVMRP
  - nic nie zakłada o routingu unicast
  - początkowy pakiet do grupy multicast rozsyłany wszędzie przez RPF
  - routery nie chcące grupy: wysyłają komunikaty prune w górę drzewa

# DVMRP: ciąg dalszy...

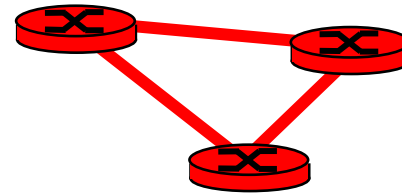
- miękki stan: ruter DVMRP okresowo (co 1 min.) "zapomina" że uciął gałąź:
  - pakiety multicast znowu płyną uciętą gałęzią
  - ruter w uciętej gałęzi: znów ucina lub otrzymuje dane dalej
- routery mogą szybko ponownie dołączyć do drzewa
- różności
  - powszechnie implementowany w komercyjnych routerach
  - routing Mbone także używa DVMRP

# Tunelowanie

Pytanie: Jak połączyć "wysepki" ruterów multicast w "morzu" ruterów unicast?



topologia fizyczna



topologia logiczna

- ❑ pakiety multicast są enkapsulowane w "normalnych" pakietach (z adresem unicast)
- ❑ normalny pakiet IP wysyłany przez "tunel" za pomocą IP unicast do odbierającego rutera multicast
- ❑ odbierający ruter multicast dekapuluje pakiet, żeby odzyskać pakiet multicast

# PIM: Protocol Independent Multicast

- ❑ nie zależy od używanego w sieci algorytmu routingu unicast (działa ze wszystkimi)
- ❑ dwa różne scenariusze działania :

## Gęsty:

- ❑ członkowie grupy są rozmieszczeni gęsto w sieci, "blisko" siebie.
- ❑ dość dużo przepustowości

## Rzadki:

- ❑ w niewielkiej ilości połączonych sieci są członkowie grupy multicast
- ❑ członkowie grupy "rzadko rozmieszczeni"
- ❑ mało przepustowości

# Działanie PIM w 2 scenariuszach:

## Gęsty

- ❑ zakłada członkostwo ruterów w grupie dopóki ruter nie utnie gałęzi
- ❑ *sterowana danymi*  
budowa drzewa multicast (n.p., RPF)
- ❑ *rozrzutnie* używa przepustowości i zasobów ruterów spoza grupy

## Rzadki:

- ❑ żeby uzyskać członkostwo w grupie, ruter musi sam się dołączyć
- ❑ *sterowana przez odbiorcę*  
budowa drzewa multicast (n.p., drzewa ze wspólnym centrum )
- ❑ *oszczędnie* używa przepustowości i zasobów ruterów spoza grupy

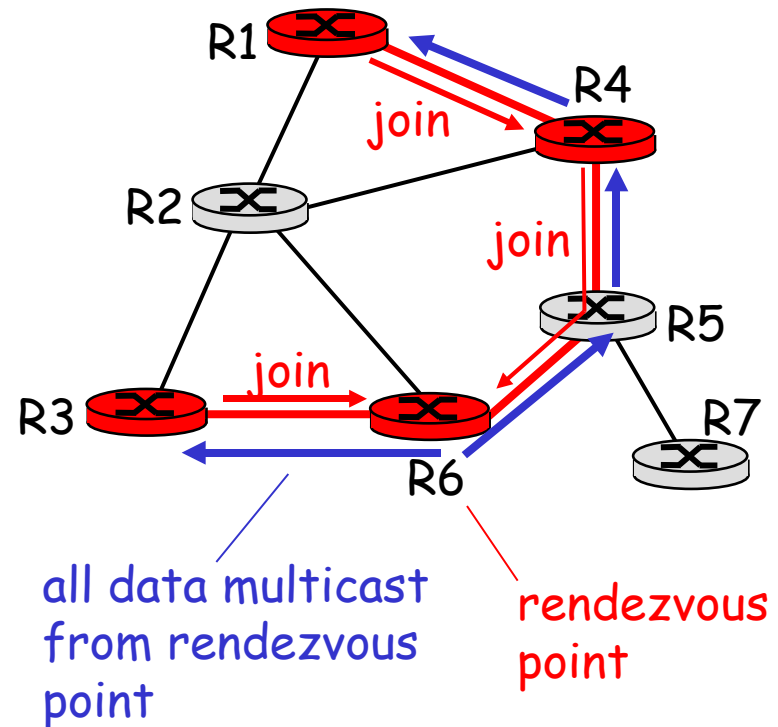
# PIM- Dense Mode

**flood-and-prune RPF**, similar to DVMRP but

- ❑ underlying unicast protocol provides RPF info for incoming datagram
- ❑ less complicated (less efficient) downstream flood than DVMRP reduces reliance on underlying routing algorithm
- ❑ has protocol mechanism for router to detect it is a leaf-node router

# PIM - Sparse Mode

- center-based approach
- router sends *join* msg to rendezvous point (RP)
  - intermediate routers update state and forward *join*
- after joining via RP, router can switch to source-specific tree
  - increased performance: less concentration, shorter paths

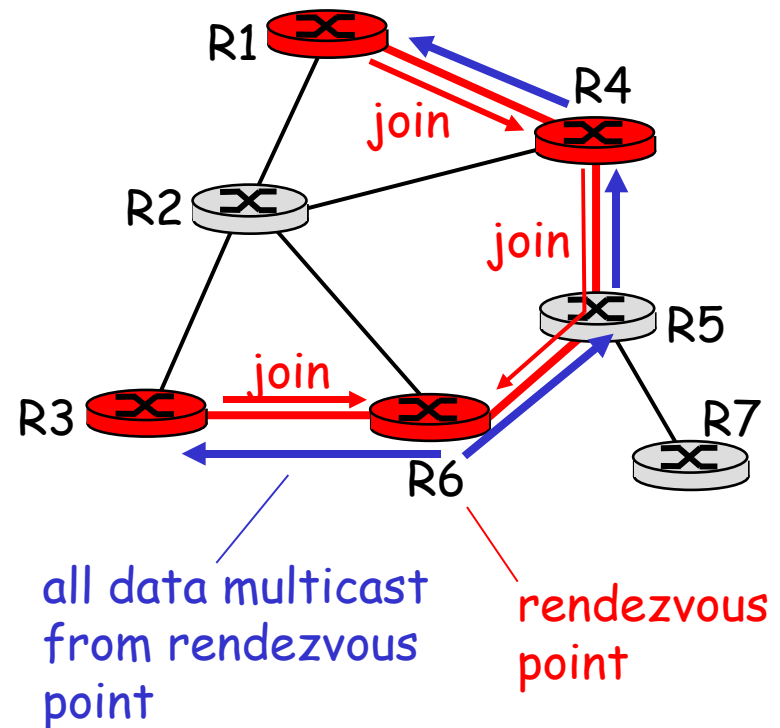




# PIM - Sparse Mode

sender(s):

- unicast data to RP, which distributes down RP-rooted tree
- RP can extend mcast tree upstream to source
- RP can send *stop* msg if no attached receivers
  - "no one is listening!"

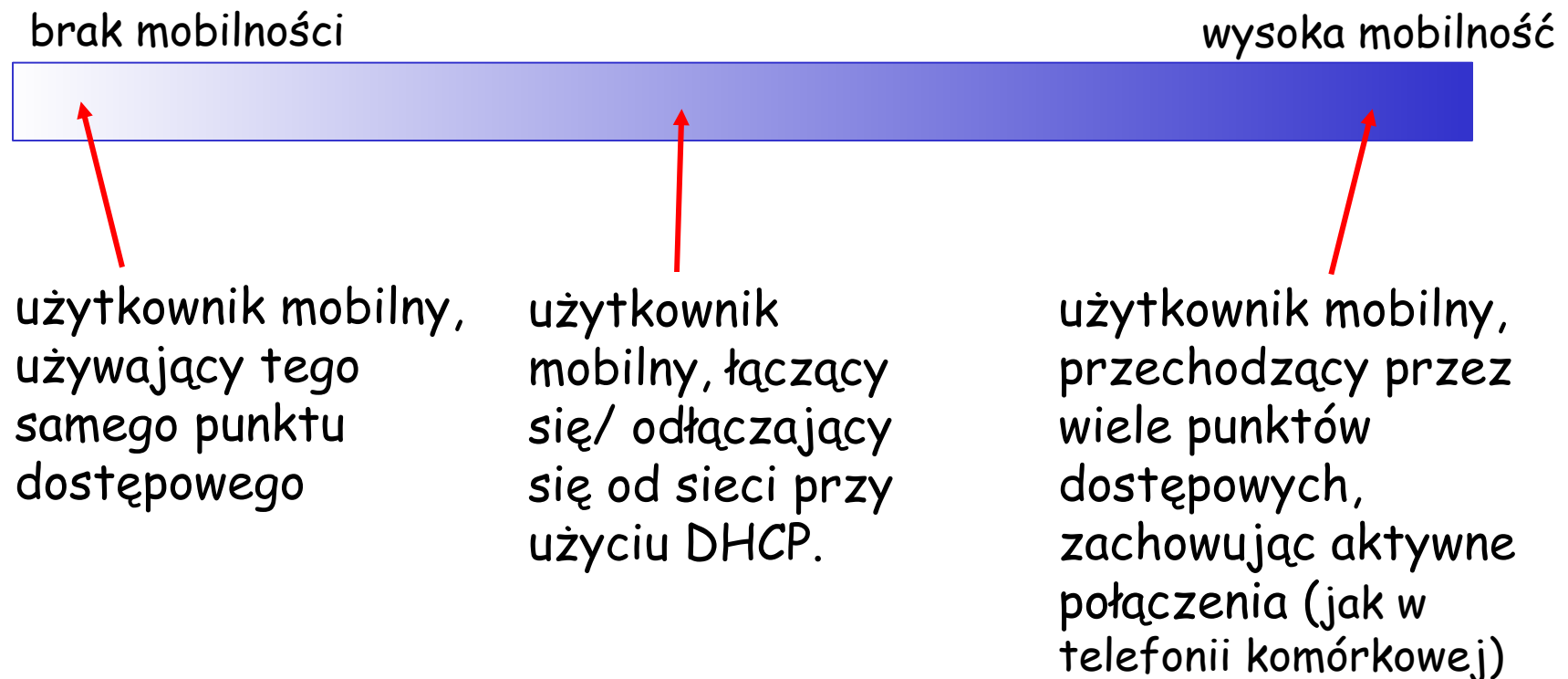


# Mapa wykładu

- ❑ 4.1 Usługi warstwy sieci z komutacją pakietów
- ❑ 4.2 Zasady działania routingu
- ❑ 4.3 Routing hierarchiczny
- ❑ 4.4 Protokół Internetu (IP)
- ❑ 4.5 Routing w Internecie
- ❑ 4.6 Co jest w routerze
- ❑ 4.7 IPv6
- ❑ 4.8 Routing rozsiewczy (multicast)
- ❑ 4.9 Mobilność

# Co to znaczy mobilność?

- stopnie mobilności, z punktu widzenia *sieci*:

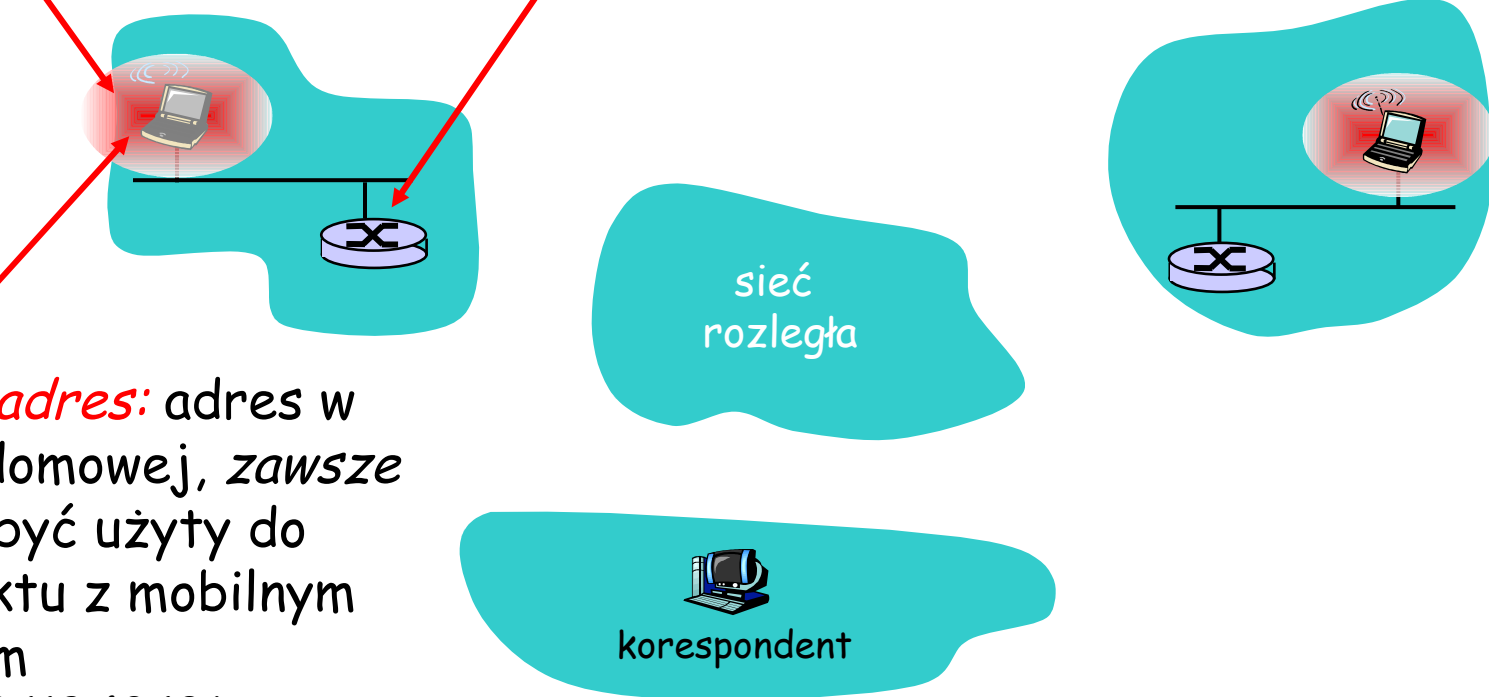


# Mobilność: pojęcia

*sieć domowa:* stały "dom"  
mobilnego hosta  
(n.p., 128.119.40/24)

*agent domowy:* jednostka  
wykonująca funkcje mobilności  
na rzecz mobilnego hosta, gdy  
mobilny host jest poza domem

*Staly adres:* adres w  
sieci domowej, zawsze  
może być użyty do  
kontaktu z mobilnym  
hostem  
n.p., 128.119.40.186

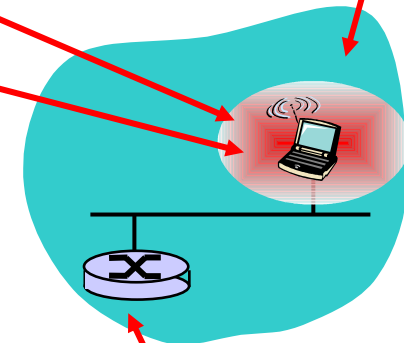
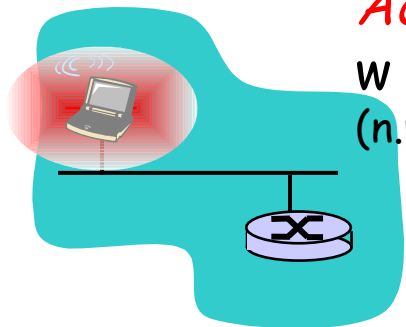


# Mobilność: więcej pojęć

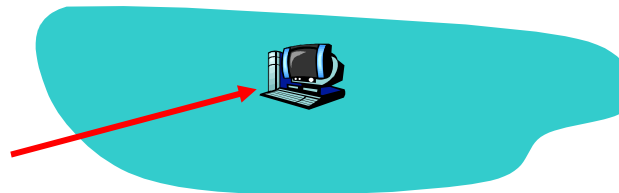
**Stały adres:** pozostaje stały  
(n.p., 128.119.40.186)

**sieć odwiedzana:** sieć, w której aktualnie znajduje się mobilny host (n.p., 79.129.13/24)

**Adres tymczasowy:** adres w sieci odwiedzanej.  
(n.p., 79,129.13.2)



**korespondent:** chce się porozumieć z mobilnym hostem



**agent obcy:** jednostka w sieci odwiedzanej, wykonująca funkcje mobilności na rzecz mobilnego hosta.

# Jak wy kontaktujecie się z mobilnymi znajomymi:

Wyobraźmy sobie przyjaciela, który ciągle zmienia adres. Jak go znaleźć?

- przeszukać wszystkie książki telefoniczne?
- zadzwonić do jej rodziców?
- czekać, aż się odezwie i powie, gdzie jest?

Gdzie przeprowadziła się Alicja?



# Mobilność: sposoby

- *Niech się tym zajmie routing:* rutery ogłaszają stałe adresy mobilnych hostów w ich sieciach przez normalną wymianę tablic routingu.
  - tablice routingu wskazują, gdzie znajdują się mobilne hosty
  - nie potrzeba zmian w systemach końcowych
- *Niech się tym zajmą systemy końcowe:*
  - *pośredni routing:* komunikacja od korespondenta do mobilnego hosta przechodzi przez agenta domowego, potem jest przekazywana do mobilnego hosta
  - *bezpośredni routing:* korespondent otrzymuje adres tymczasowy mobilnego hosta, komunikuje się bezpośrednio z mobilnym hostem

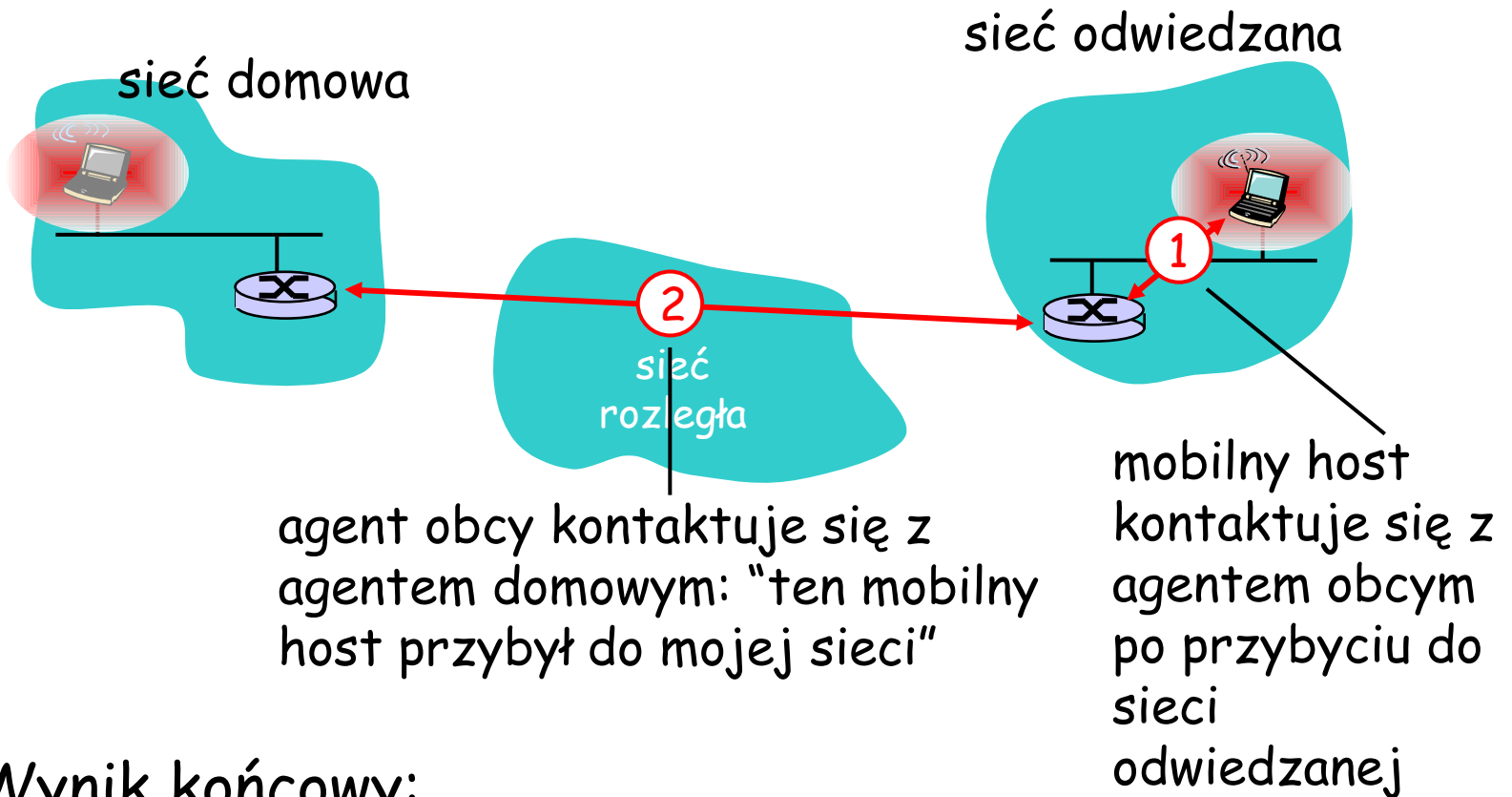
# Mobilność: sposoby

- *Niech się tym zajmie ruting:* rutery ogłaszają stałe adresy mobilnych hostów w ich tabelkach przez normalną wymianę tablic rutingu.
  - tablice rutingu nie skaluje się do milionów mobilnych hostów
  - nie potrzeba zmian w tabelkach końcowych
- *Niech się tym zajmą systemy końcowe:*
  - *pośredni ruting:* komunikacja od korespondenta do mobilnego hosta przechodzi przez agenta domowego, potem jest przekazywana do mobilnego hosta
  - *bezpośredni ruting:* korespondent otrzymuje adres tymczasowy mobilnego hosta, komunikuje się bezpośrednio z mobilnym hostem

nie skaluje się do milionów mobilnych hostów



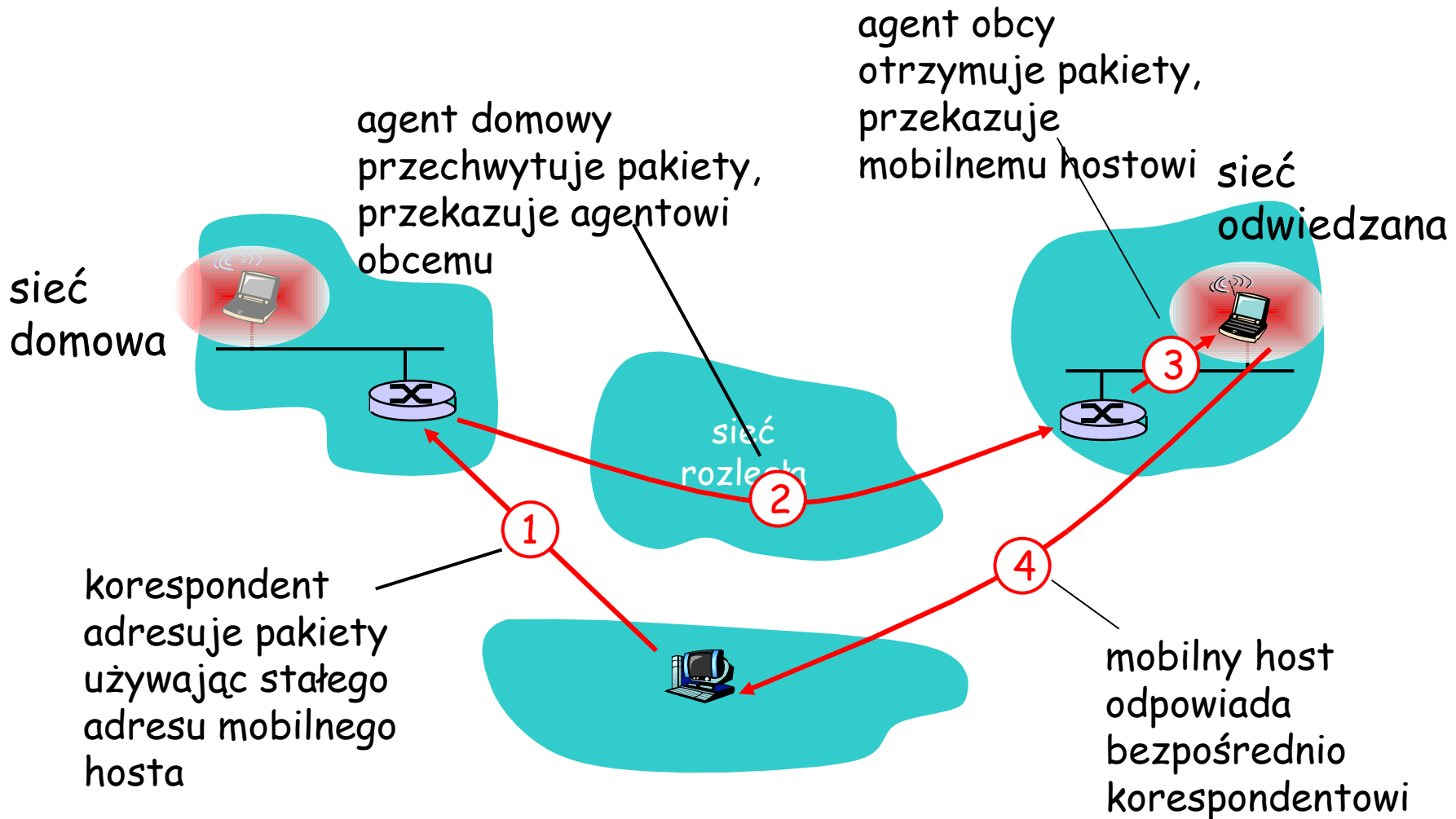
# Mobilność: rejestracja



Wynik końcowy:

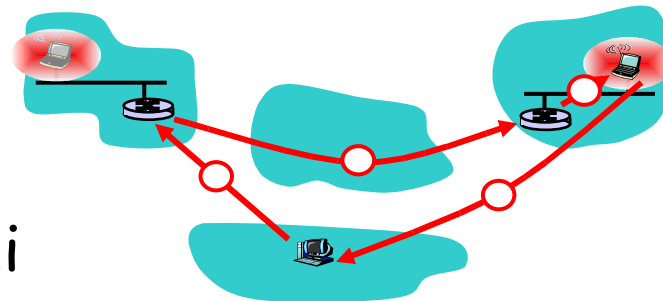
- ❑ Agent obcy wie o mobilnym gościu
- ❑ Agent domowy zna lokalizację mobilnego hosta

# Mobilność przez ruting pośredni

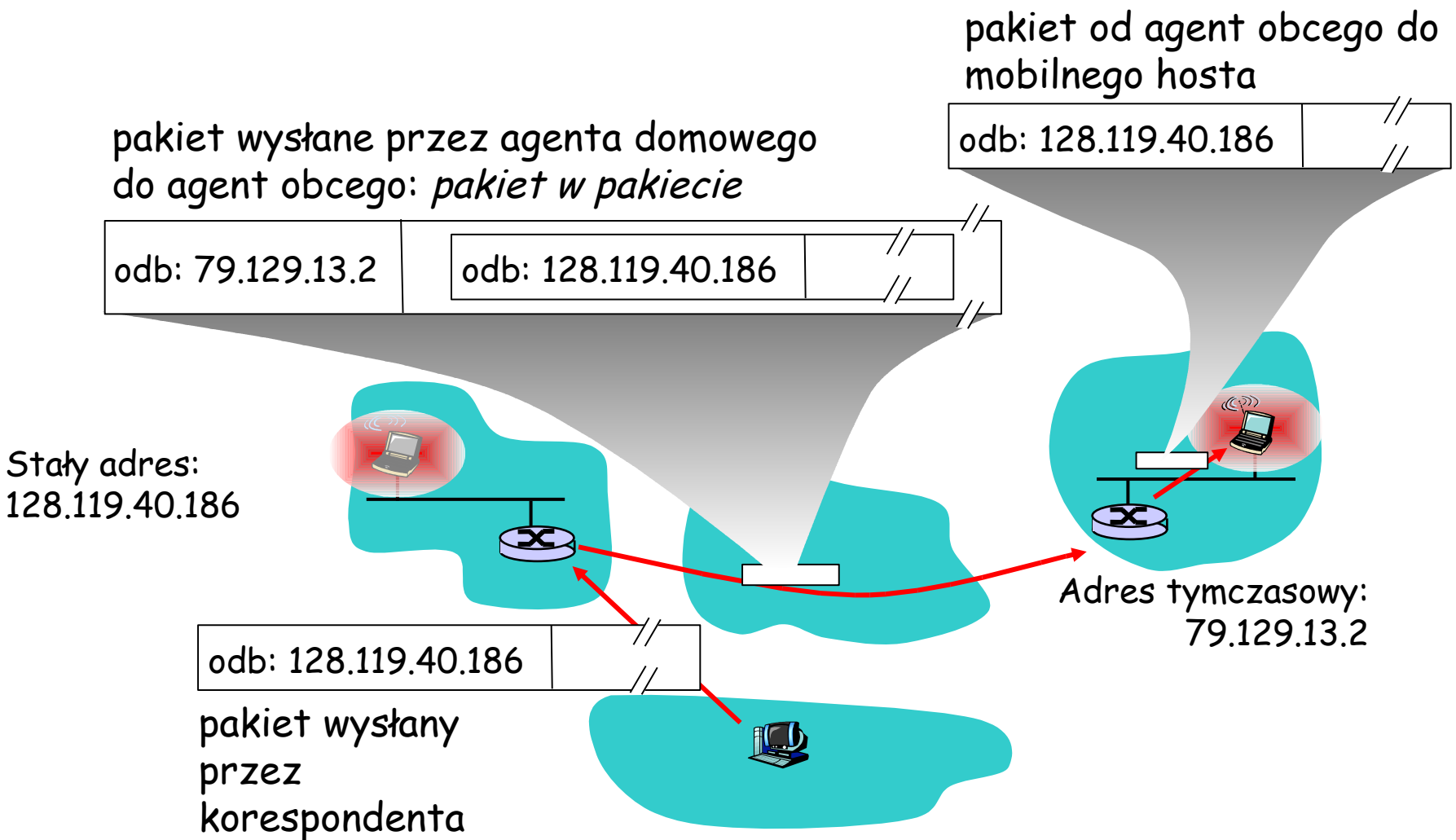


# Ruting pośredni: komentarz

- ❑ Mobilny host używa dwóch adresów:
  - **stały adres**: używany przez korespondenta (stąd mobilna lokalizacja jest *przezroczysta* dla korespondenta)
  - **adres tymczasowy**: używany przez agenta domowego, żeby przekazać pakiety do mobilnego hosta
- ❑ funkcje agenta obcego mogą być wykonywane przez mobilnego hosta
- ❑ **ruting trójkątny**: korespondent-sieć domowa-mobilny host
  - niewydajne, jeśli korespondent i mobilny host są w tej samej sieci



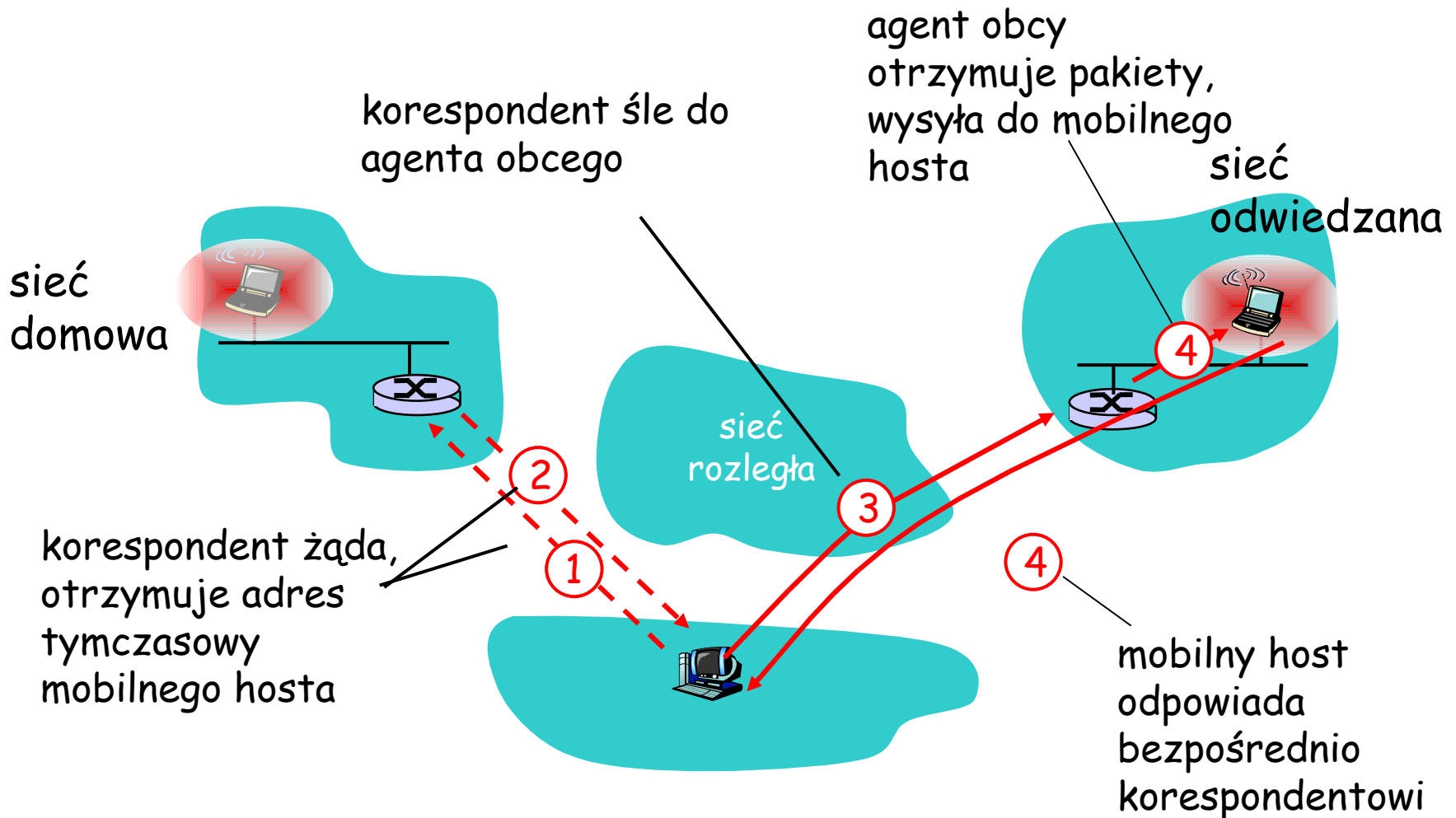
# Przekazywanie pakietów do mobilnego hosta



## Ruting pośredni: przenoszenie się do innych sieci

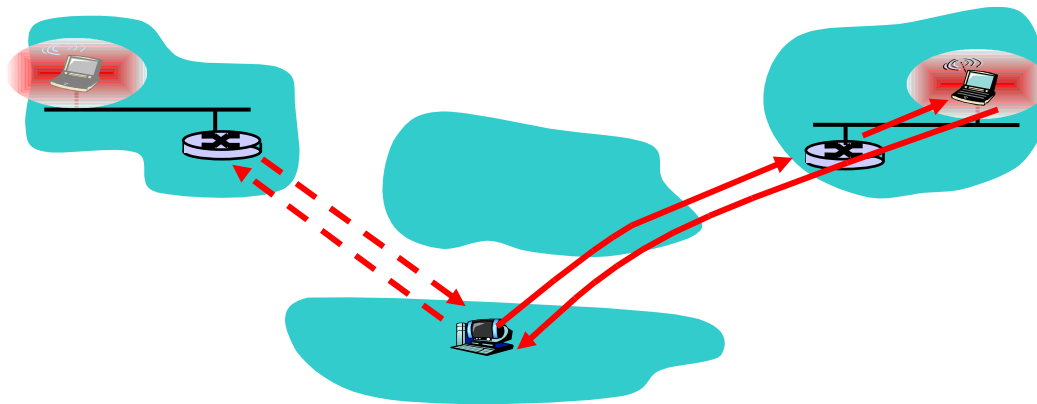
- założmy, że mobilny host przeniesie się do nowej sieci
  - zarejestruje się u nowego agenta obcego
  - nowy agent obcy zarejestruje się u agenta domowego
  - agent domowy zaktualizuje adres tymczasowy mobilnego hosta
  - pakiety są dalej przekazywane do mobilnego hosta (ale na nowy adres tymczasowy)
- Mobilność, zmiana sieci są przezroczyste:  
*aktywne połączenia mogą być utrzymane!*

# Mobilność przez ruting bezpośredni



# Ruting bezpośredni: komentarz

- przewycięża problem routingu trójkątnego
- **nie jest przezroczysty dla korespondenta:**  
korespondent musi poznać adres tymczasowy od agenta domowego
  - Co się stanie, jeśli mobilny host zmieni sieć?



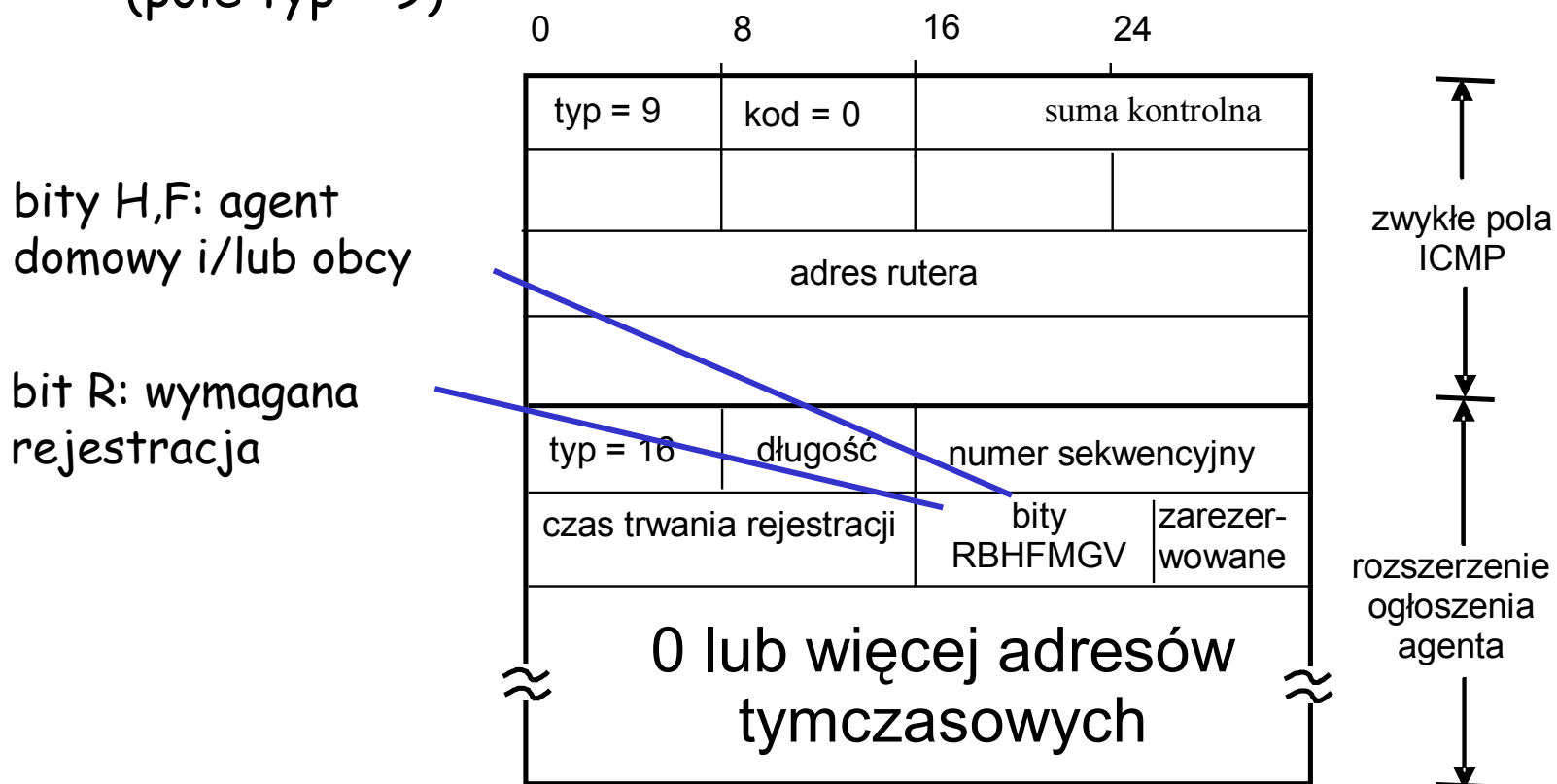
# Mobile IP

- RFC 3220
- ma wiele opisanych cech:
  - agenci domowi, agenci obcy, rejestracja u agenta obcego, adresy tymczasowe, enkapsulacja (pakiet w pakiecie)
- trzy części standardu:
  - odkrycie agenta
  - rejestracja u agenta domowego
  - pośredni ruting pakietów

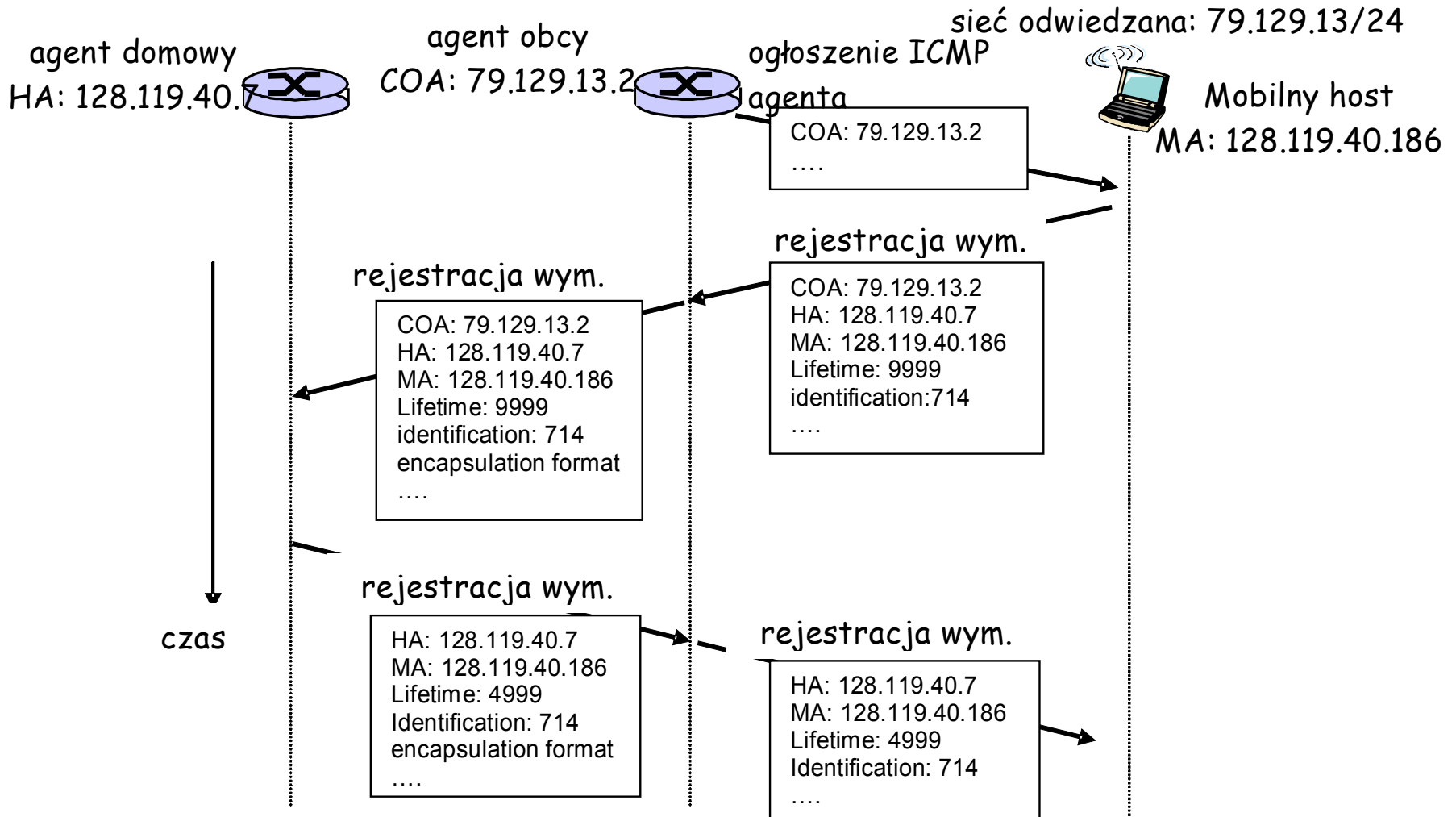


# Mobile IP: odkrycie agenta

- **ogłoszenie agenta:** agenci domowi/obcy ogłaszają usługi przez rozgłaszanie komunikatów ICMP (pole typ = 9)



# Mobile IP: przykład rejestracji



# Warstwa sieci: podsumowanie

## Co przerobiliśmy:

- ❑ usługi warstwy sieci
- ❑ zasady działania routingu: stan łącza i wektor odległości
- ❑ routing hierarchiczny
- ❑ IP
- ❑ Protokoły routingu w Internecie: RIP, OSPF, BGP
- ❑ co jest w routerze?
- ❑ IPv6
- ❑ mobilność

## Następna część:

Warstwa  
Łącza Danych!