

# Komunikacijski protokoli

8. Protokoli usmjeravanja u Internetu  
Protokoli RIP, OSPF i BGP

# Creative Commons



- slobodno smijete:
  - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
  - **remiksirati** – prerađivati djelo
- pod sljedećim uvjetima:
  - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
  - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
  - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

# Sadržaj predavanja

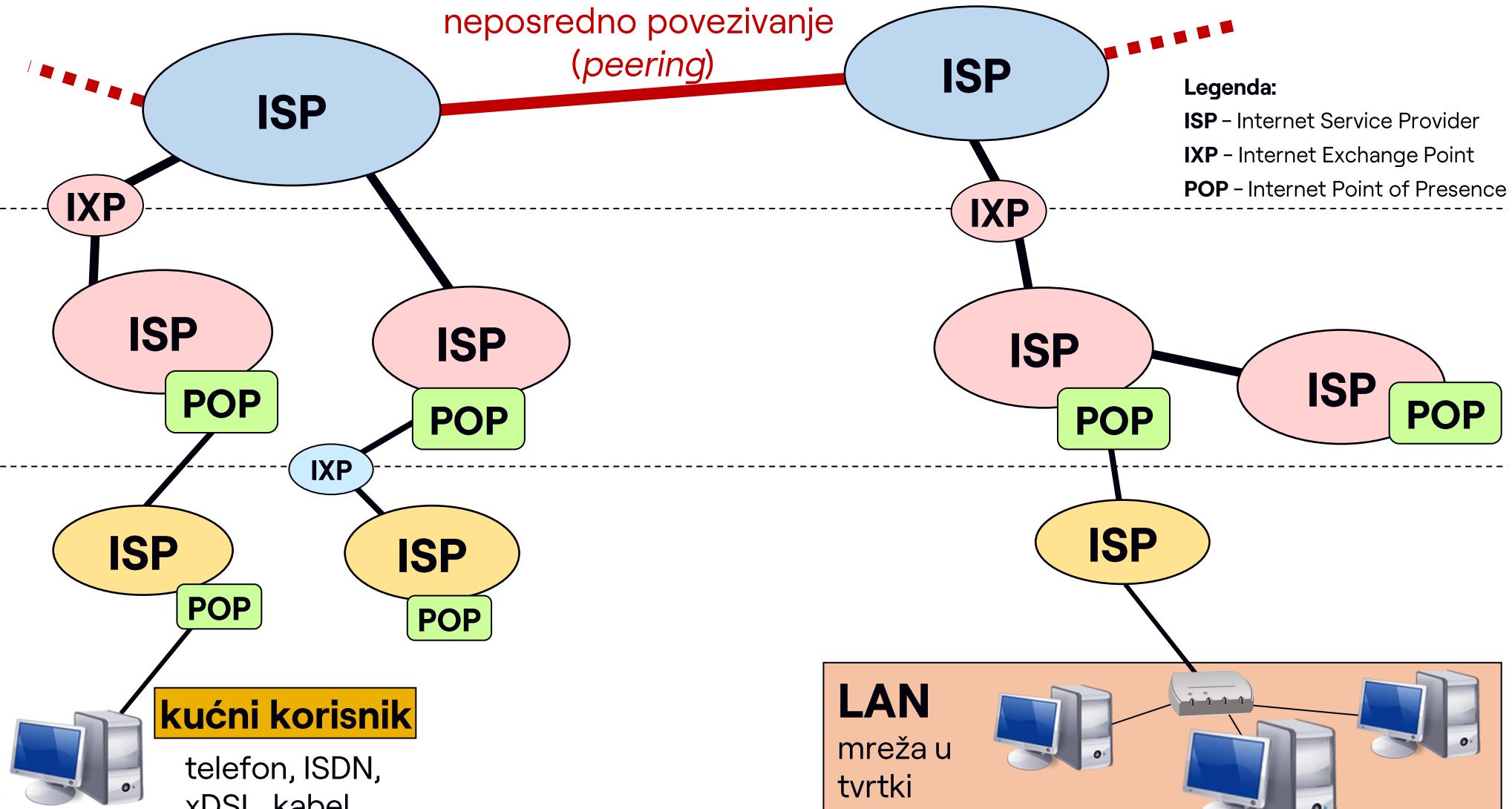
- Protokoli usmjeravanja
  - Routing Information Protocol (RIP)
  - Open Shortest Path First (OSPF)
- Protokoli usmjeravanja između autonomnih sustava
  - Osnove protokola BGP
  - Primjer BGP mreže
- Hrvatska akademska mreža CARNet
  - Croatian Internet eXchange (CIX)

# Protokoli usmjeravanja

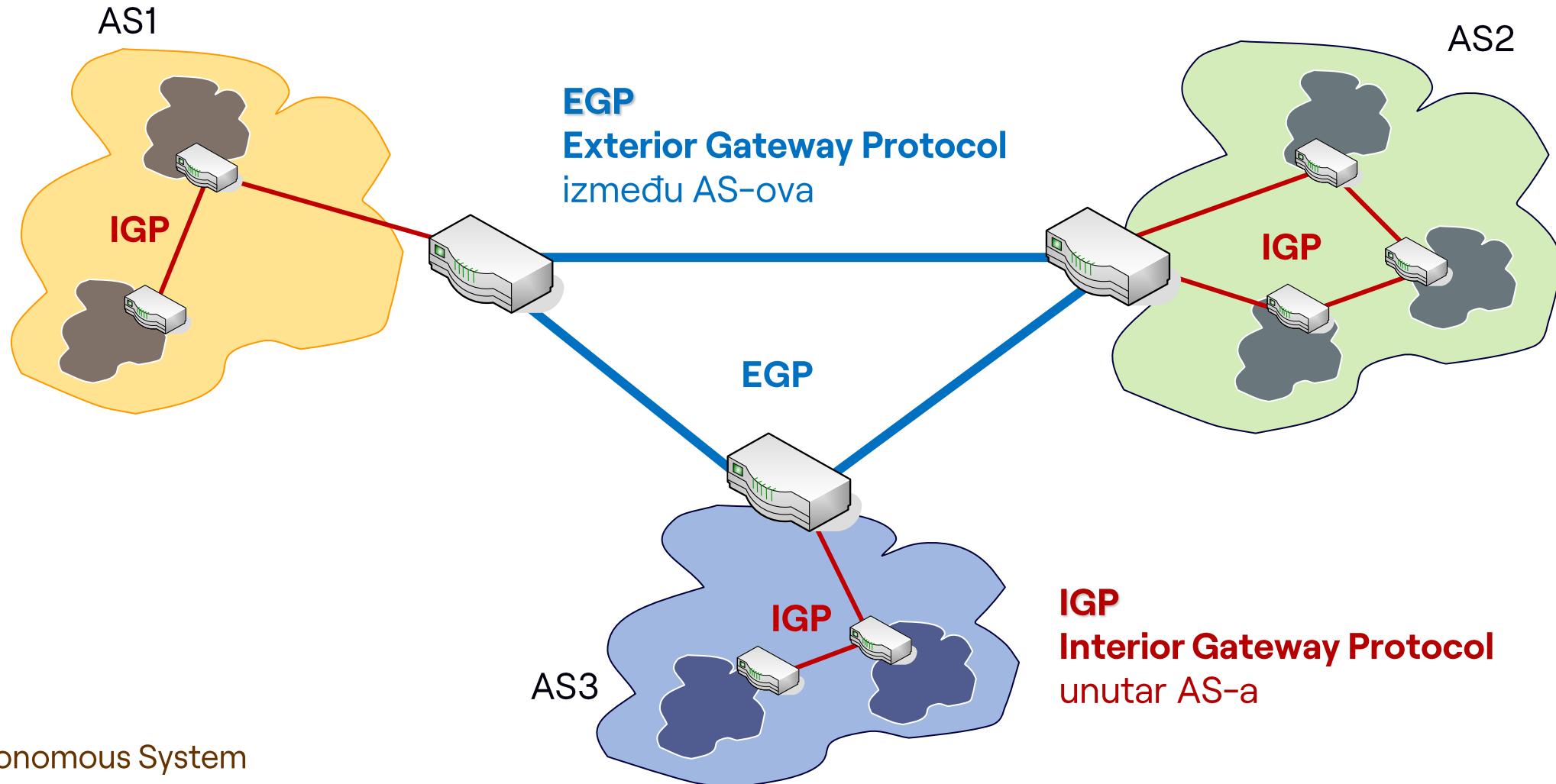
- **Protokoli usmjeravanja** izvedeni su u usmjeriteljima, a uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- Proces usmjeravanja:
  - prikuplja znanje o ostalim usmjeriteljima i računalima na Internetu
  - ažurira i pohranjuje podatke o topologiji mreže i/ili stanju putova u **tablice usmjeravanja**
  - na osnovu podataka u tablicama usmjeravanja, za svaki datagram bira put i proslijeđuje ga po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

# Organizacija Interneta

Tier 1



# Klasifikacija protokola usmjeravanja



# Protokoli usmjeravanja

IGP protokoli:

- ***Routing Information Protocol (RIPv2)***
  - temelji se na (dinamičkom) algoritmu vektora udaljenosti
- ***Open Shortest Path First Protocol (OSPFv2)***
  - temelji se na (dinamičkom) algoritmu stanja poveznice

EGP protokol (u praksi, samo jedan!):

- ***Border Gateway Protocol (BGPv4)***
  - algoritam vektora puta (engl. vector path)
  - sličan algoritmu vektora udaljenosti, ali uzima u obzir putove ili "staze" kao niz AS-ova na putu do odredišta

# Algoritam usmjeravanja

- “Puni” tablicu usmjeravanja i time određuje kako će se datagram s nekom odredišnom adresom usmjeriti do sljedećeg usmjeritelja
- Zahtjevi: jednostavnost, korektnost, robusnost, stabilnost, optimalnost i pravednost
- Kriterij optimalnosti puta: kašnjenje, udaljenost, cijena, sigurnost
- Vrste: statički i dinamički

# Klasifikacija algoritama usmjeravanja

- **neadaptivni (statički) algoritmi**
  - unaprijed izračunati putovi na temelju nekog(ih) kriterija (npr. udaljenost, cijena, ...)
  - putovi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju; ne uzimaju u obzir trenutno stanje
- **adaptivni (dinamički) algoritmi**
  - donose odluke o usmjeravanju temeljene na mjeranjima ili procjeni važećeg stanja u mreži (npr. aktualna topologija, opterećenje, ...)
  - pitanja "skupljanja znanja" o stanju u mreži i prilagodbe:
    - što pratiti? (udaljenost, broj skokova, opterećenje, cijenu,...?)
    - koga pitati? (samo susjedne čvorove, sve čvorove, ...?)
    - kada reagirati? (periodički, na promjenu topologije – opterećenja, ...?)

# Algoritmi usmjeravanja

- Usmjeravanje najkraćim putem
  - Preplavljivanje
  - Usmjeravanje prema vektoru udaljenosti
  - Usmjeravanje prema stanju poveznice
- }
- neadaptivni algoritmi**
- 
- Posebni slučajevi:
    - hijerarhijsko usmjeravanje
    - opće razašiljanje, difuzija (engl. *broadcast*)
    - višeodredišno razašiljanje (engl. *multicast*)
    - kada su krajnji čvorovi u pokretu (pristup Internetu u pokretu)
    - kada nema infrastrukture (ad-hoc mreže)
- }
- adaptivni algoritmi**

# Protokol *Routing Information Protocol* (RIP)

- Standardizirani protokol IETF STD 56 - RIP Version 2 (RFC 2453)
- Svojstva RIPv2:
  - Besklasno usmjeravanje
  - Maske podmreža
  - Ruta sljedećeg skoka (*next hop route*)
  - Autentifikacija
  - Višedredišno usmjeravanje (*multicast*)
- RIPng – proširenja za IPv6
- Koristi UDP na transportnom sloju
- Temelji se na algoritmu vektora udaljenosti (*distance vector*)
- Dvije vrste izvođenja
  - aktivno – usmjeritelji
  - pasivno – računala

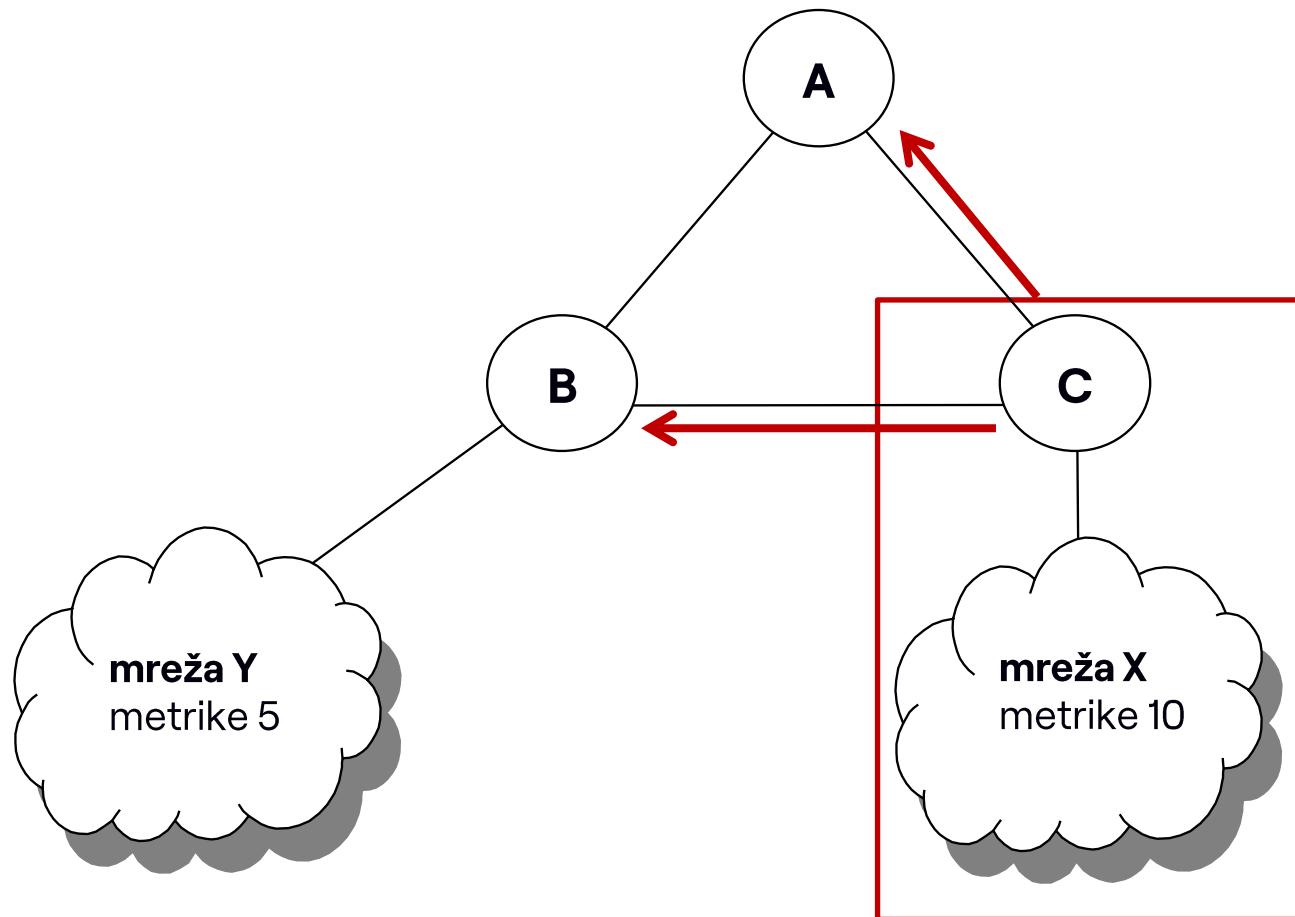
# Operacije protokola RIP

- Osnovne operacije
  - Prilikom pokretanja šalje poruku svim susjedima tražeći kopije njihovih tablica usmjeravanja
  - U aktivnom načinu rada šalje tablice usmjeravanja susjednim usmjeriteljima **svakih 30 sekundi**, periodički
  - Svaka promjena topologije (metrike) šalje se ostalim usmjeriteljima skupnim razašiljanjem (broadcast)
  - Usmjeritelj prihvata tablicu usmjeravanja, uspoređuje podatke sa svojom te ažurira ako je potrebno
  - Ako usmjeritelj ne dobije poruku od susjeda **unutar 6 ciklusa** (180 s) ruta se postavlja na beskonačnu metriku (16), a nakon 60 s se briše

# Ograničenja protokola RIP

- Ograničenja
  - Ne uzima u obzir propusnost poveznica, već samo udaljenost (broj skokova)
  - Maksimalna metrika 16 (mreža nakon toga nedostupna)
    - metrika = broj skokova
    - ograničenost na 16 skokova
    - neprikladan za velike mreže
  - Neprikladan za brze promjene topologije u mreži – spora konvergencija
  - “Brojanje u beskonačnost”
  - Detekcija ispada poveznice do 180 sekundi (6 ciklusa)
  - Koristi fiksnu metriku temeljenu na duljini puta (broj skokova)

# RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 1)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	2
default	B	

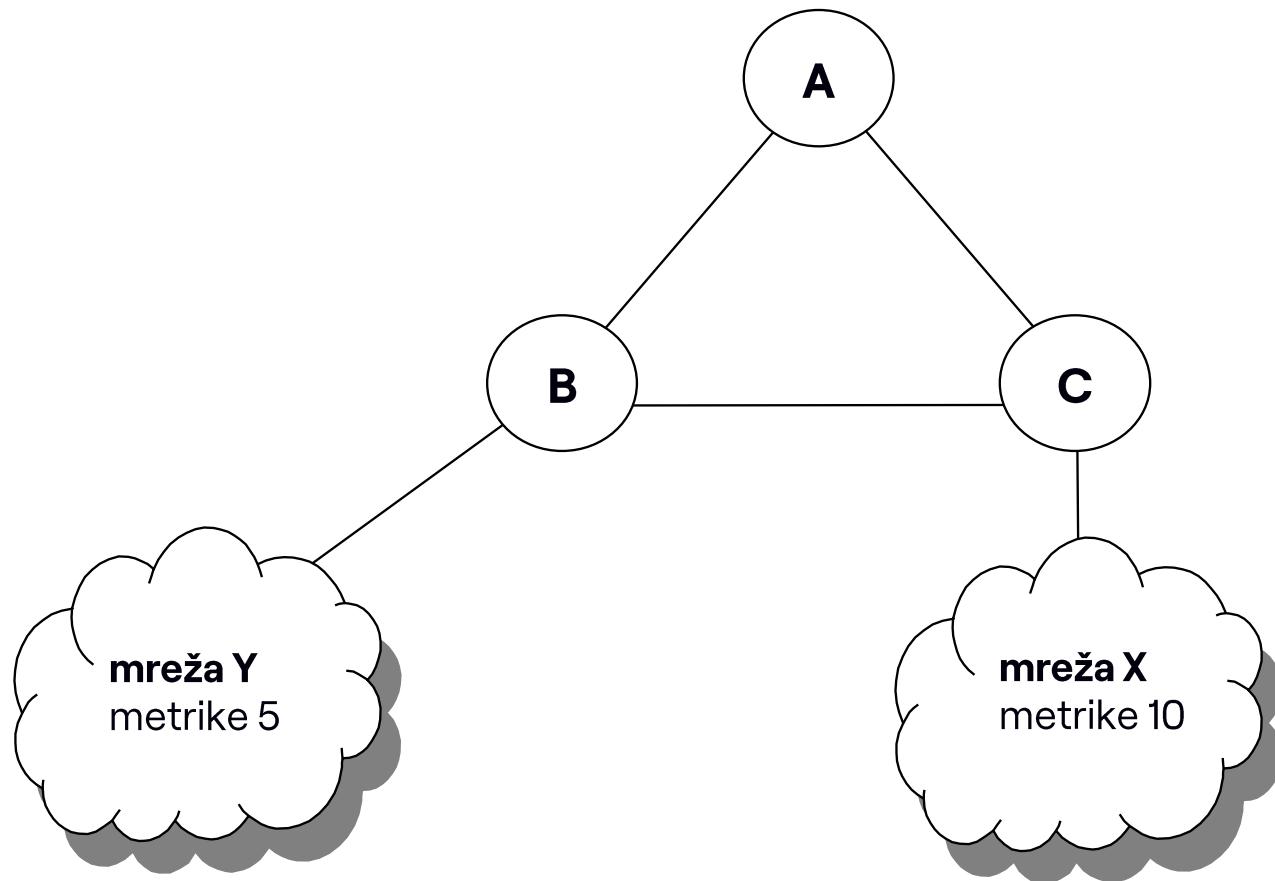
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

# RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 2)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
default	B	

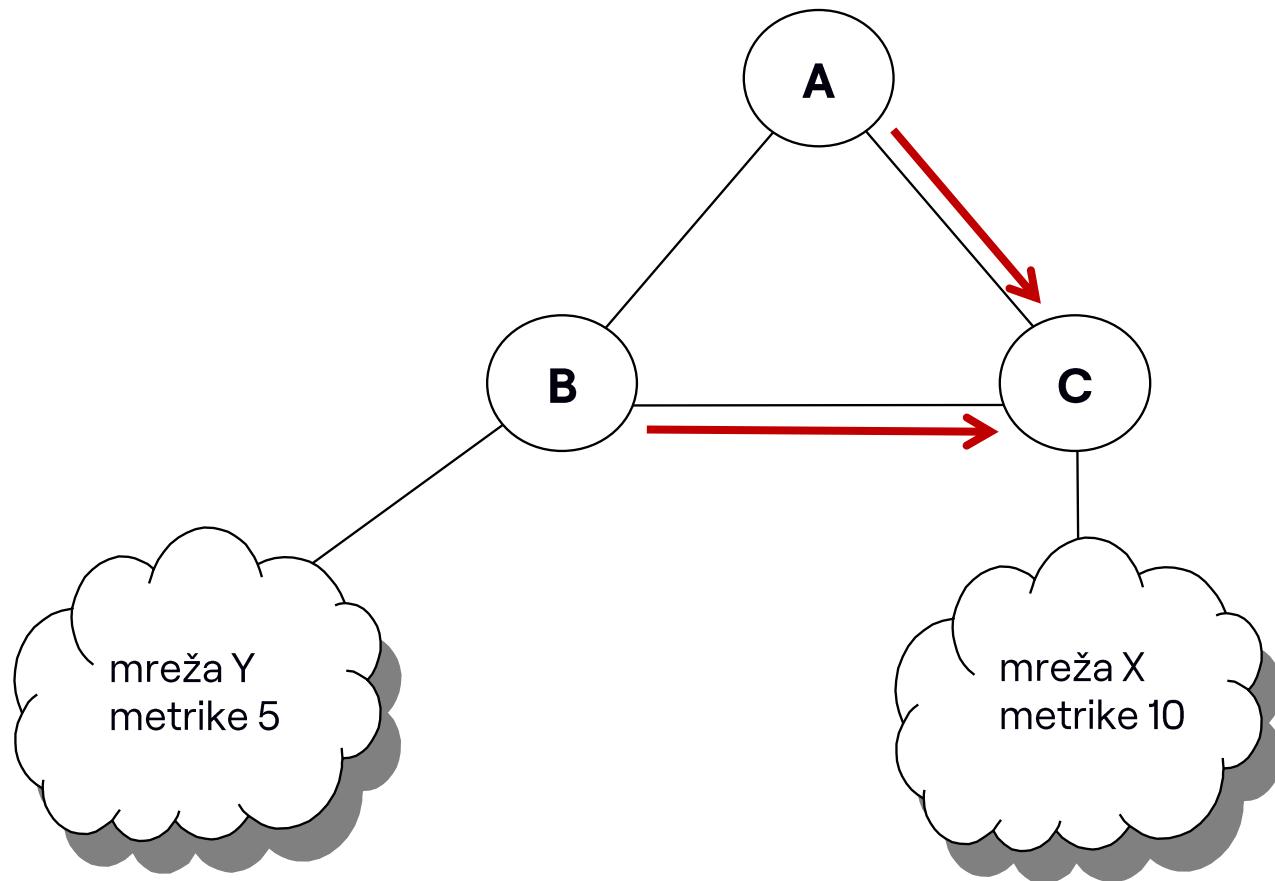
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

# RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 3)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
default	B	

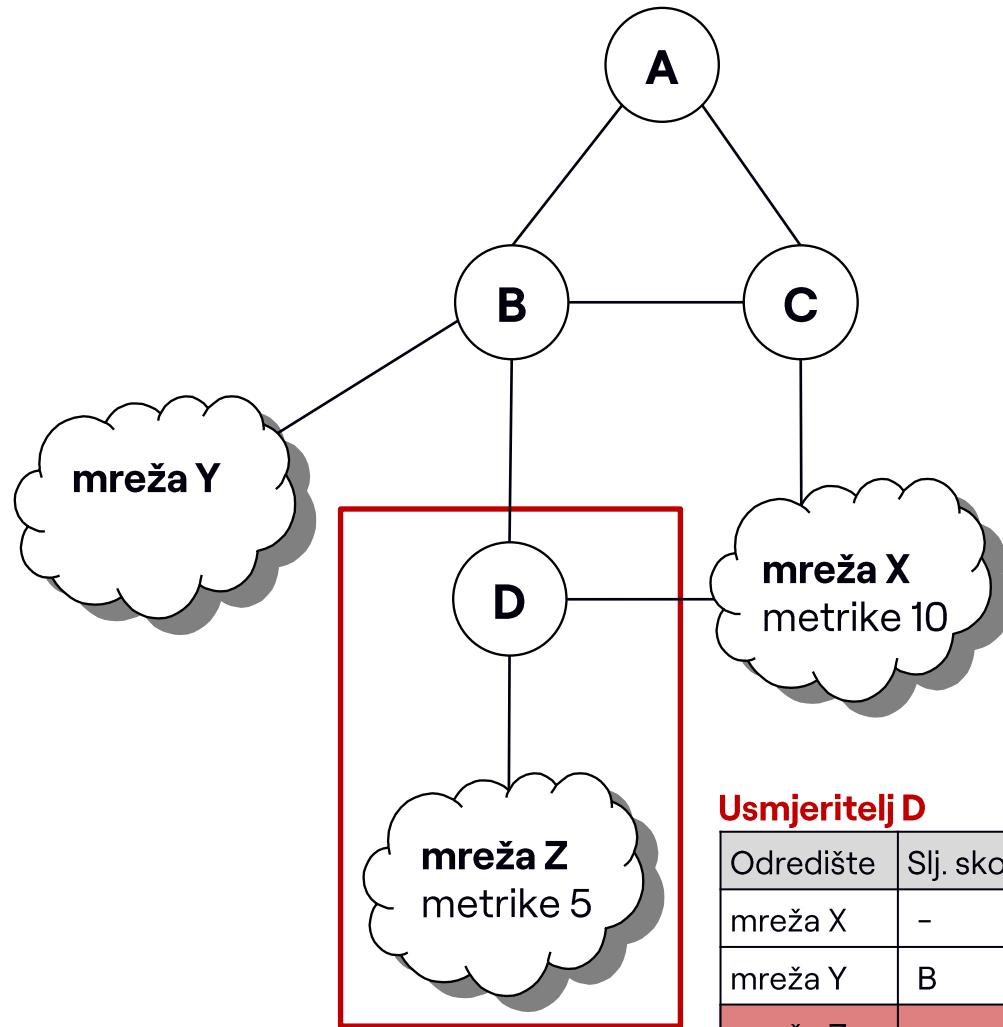
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
default	B	

# RIP – primjer uvođenja novog usmjeritelja



**Usmjeritelj A**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	C	

**Usmjeritelj B**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	D	2
default	C	

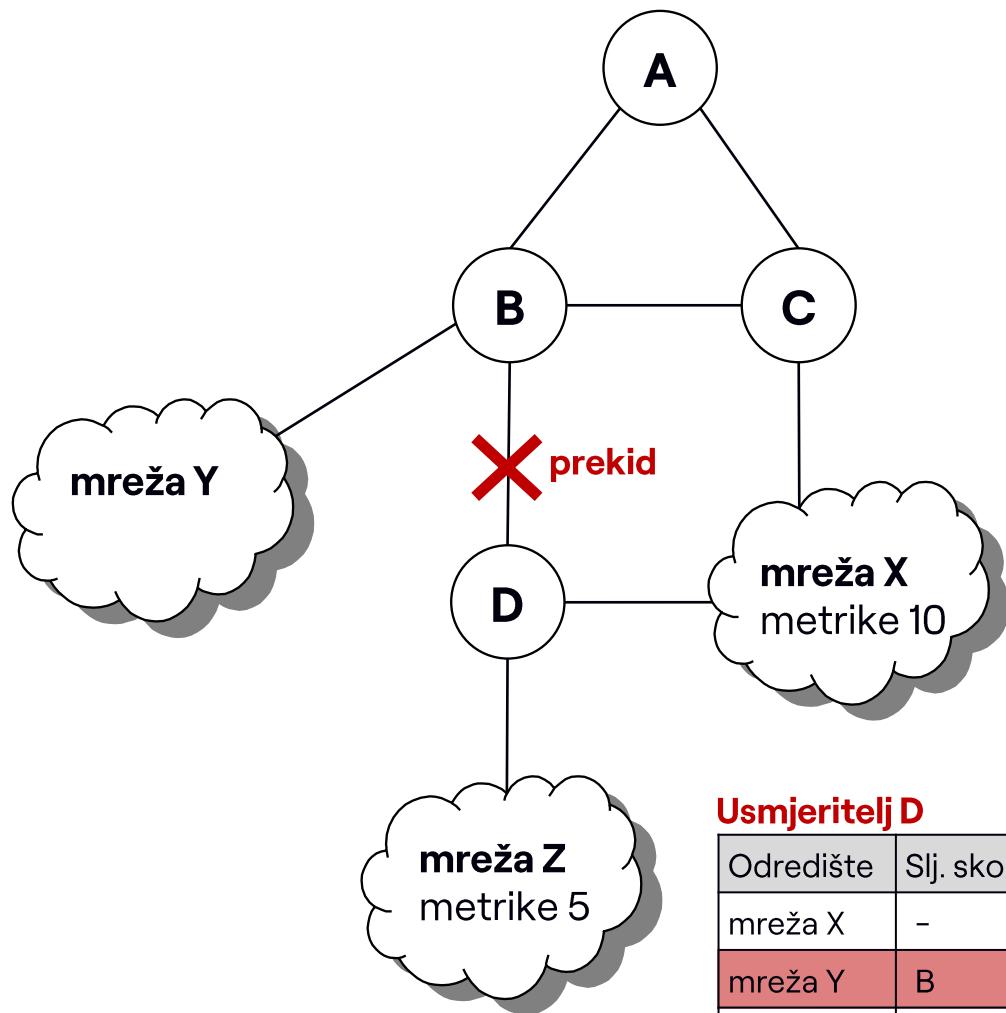
**Usmjeritelj D**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	-	1
default	B	

**Usmjeritelj C**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	B	

# RIP – primjer prekida veze (1)



**Usmjeritelj A**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	C	

**Usmjeritelj B**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	D	16
default	C	

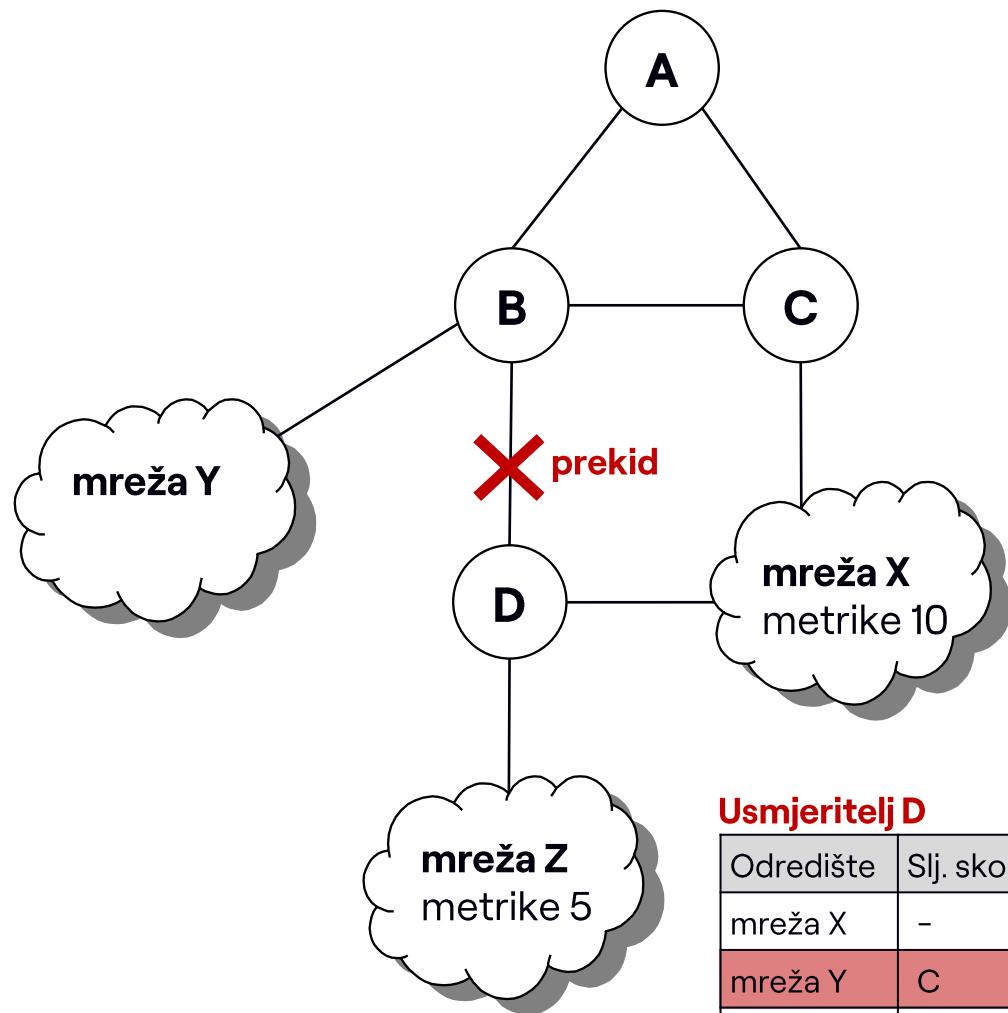
**Usmjeritelj D**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	-	1
default	B	

**Usmjeritelj C**

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	B	

# RIP – primjer prekida veze (2)



# Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj D

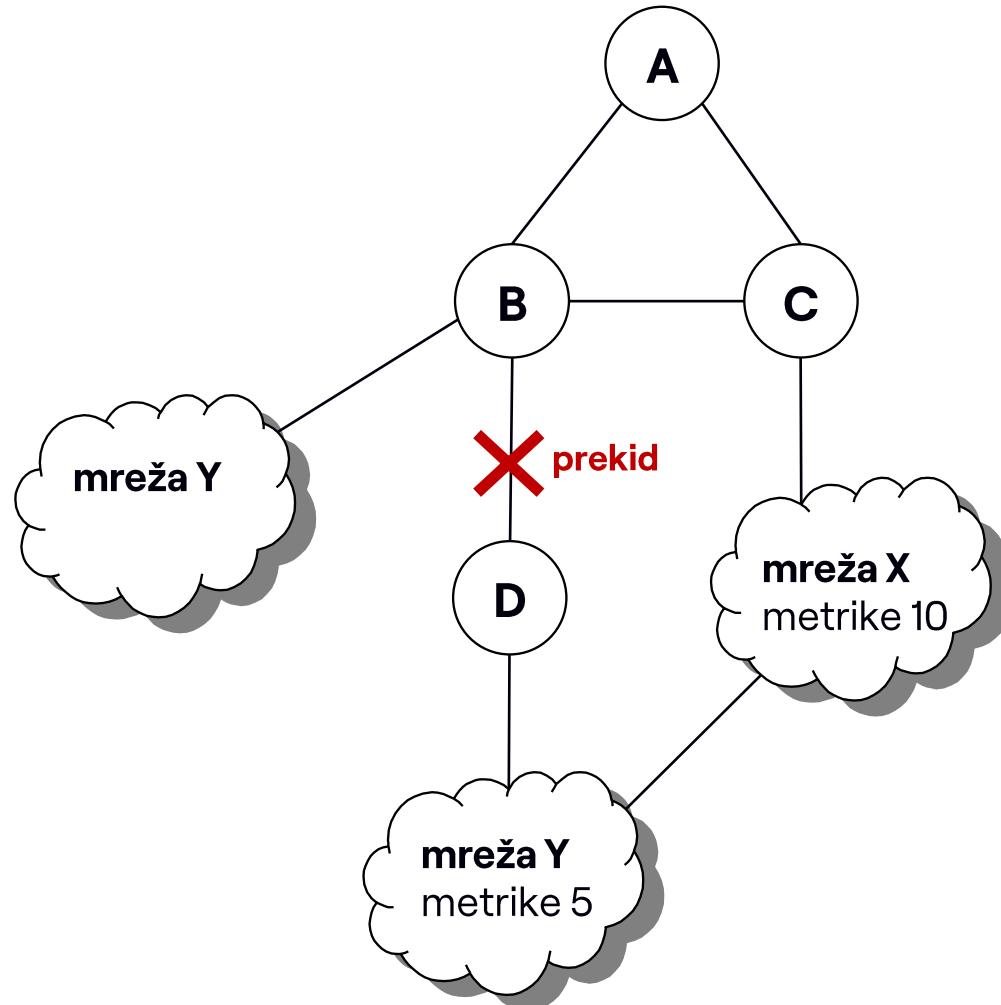
Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	C	13
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	D	12
default	B	

# Zadatak

Objasnite slučaj kad dođe do prekida između usmjeritelja B i D te B dobije tablicu usmjeravanja od A prije nego što o novonastalom prekidu obavijesti usmjeritelja A!  
Što će se dogoditi?



# Poboljšanja protokola RIP

- Rješenja za “brojanje u beskonačnost” (*counting to infinity*)
  - zanemariti povratne informacije o ruti od usmjeritelja koji su naučili o ruti upravo od tog usmjeritelja (podjela obzorja - *split horizon*)
    - Ne rješava problem u svim slučajevima
  - može se slati povratna informacija s metrikom 16 (*split horizon with poisoned reverse*)
  - nakon detekcije prekida postaviti vremensku kontrolu (60–120 sekundi) i za to vrijeme zanemariti bilo kakve nove informacije o ruti (zadržavanje promjene o prekidu - *hold-down*)
- Rješenje za sporu konvergenciju
  - Informacija o promjeni šalje se čim se promjena dogodi (*triggered updates*)

# Format poruke RIPv2

0	8	16	24	31
Tip RIP datagrama	inačica		ne koristi se	
Identifikacija protokola (2 za IPv4)		Veza s ostalim protokolima (route tag)		
	IP adresa (rute koja se šalje)			
	maska podmreže			
	sljedeći skok			
	metrika			

- Tip: 1 – zahtjev, 2 – odgovor
- Veza s ostalim usmjeravajućim protokolima IGP, EGP
- IP adresa, maska podmreže, sljedeći skok i metrika su polja koja predstavljaju tijelo paketa RIP (informacije u ruti) – route table entries (RTE)
- RTE zapisa može biti najviše 25 u jednom paketu RIP

# RIPng – RIPv6

- **RIPng – RIPv6**
- RFC 2080
- Nema većih razlika između RIP-2 i RIPng
  - 128-bitna adresa

# Protokol Open Shortest Path First Protocol (OSPF)

- **Standardizirani protokol IETF STD 54 – OSPFv2 (RFC 2328)**
- Koristi algoritam stanja poveznice (*link-state*)
  - Stablo najkraćih putova (*shortest path first tree*)
  - Brza konvergencija
  - Podržava CIDR
  - Mali promet generiran prilikom komunikacije usmjeritelja
  - Složeniji protokol od RIP-a
- Proširenje za IPv6
  - OSPFv3 (RFC 5340, RFC 5838 – OSPFv3 over IPv4 for IPv6 transition)

# Operacije protokola OSPF (1)

- Osnovne operacije:
  - Otkrivanje susjednih usmjeritelja (*neighbor discovery*)
  - Izbor nadležnog (*designated*) usmjeritelja i pomoćnog nadležnog usmjeritelja (*backup*)
  - Sinkronizacija tablica usmjerenja
  - Kreiranje/održavanje tablica usmjerenja
  - Oglašavanje stanja poveznica (LSA - *Link State Advertisement*)

# Operacije protokola OSPF (2)

- Hierarchyko usmjeravanje – primjena u velikim mrežama
  - Grupiranje mreža u tzv. područja (areas)
    - Svako područje ima nadležnog i pomoćnog nadležnog usmjeritelja
  - Kategorizacija usmjeravanja
    - *internal, border, AS boundary, backbone*
- Više paralelnih ruta (*multipath routing*)
  - *Equal Cost Multi-Path routing* (ECMP) – uravnoteženje opterećenja između ruta s jednakom težinom (cijenom)
- Svaki usmjeritelj ažurira raspodijeljenu bazu podataka LSDB (*Link State Database*)
  - Sadrže podatke o usmjeriteljima s kojima nisu izravno povezani

# Operacije protokola OSPF (3)

- Identične informacije o usmjerenju u svim usmjeriteljima (u stabilnom stanju)
  - Usmjeritelji posjeduju cjelokupnu sliku o topologiji mreže
    - Svaki usmjeritelj informacije o stanju poveznica šalje nadležnom i pomoćnom nadležnom usmjeritelju
  - Preplavljanje prilikom oglašavanja stanja poveznice
    - Nadležni i pomoćni nadležni usmjeritelj primljene informacije o stanju poveznica šalju svim ostalim usmjeriteljima u području
- Uzima u obzir kapacitet poveznice prilikom računanja rute
  - Računanje najkraćeg puta – Dijkstrin algoritam
- Šalju se samo promjene u tablici usmjerenja, ne cijele tablice
- Autentifikacija

# OSPF-poruke

- Tipovi paketa/poruka
  - 1 - *Hello* – otkrivanje i održavanje susjednih odnosa između usmjeritelja
  - 2 - *Database Description* – opisuju bazu podataka, poruke se izmjenjuju tijekom inicijalne sinkronizacije;
  - 3 - *Link State Request* – poruka kojom se zahtjeva stanje linka;
  - 4 - *Link State Update* – poruke kojima se opisuju ili osvježavaju stanja linka;
  - 5 - *Link State Acknowledgment* – poruke kojima se potvrđuje osvježeno stanje linka;

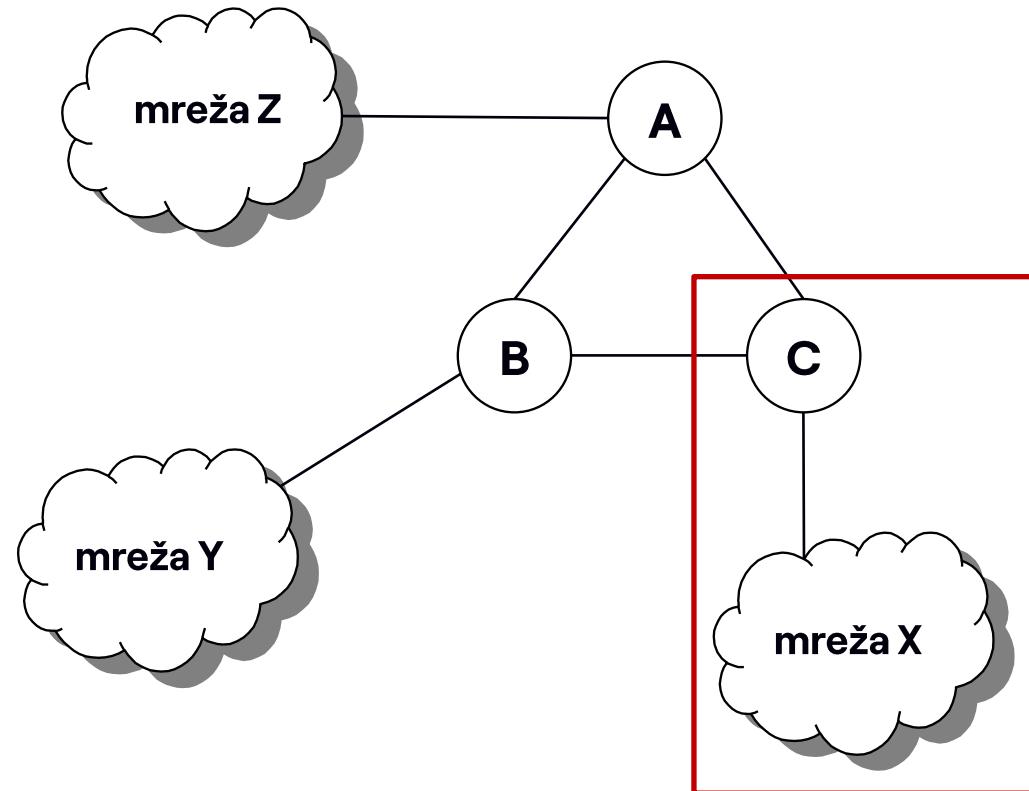
# Protokol Hello

- Otkrivanje susjeda periodičkim slanjem *Hello* paketa
- Usmjeritelj šalje *Hello* pakete **svakih 10 sekundi**, dobiva njihov *Hello* paket natrag i time detektira postojanje susjeda
- Ukoliko ne dobije *Hello* paket **unutar 40 sekundi**, zaključuje da je došlo do prekida veze
  - Prestaje oglašavati vezu
  - Usmjerava pakete drugim putem

# Sinkronizacija baza podataka

- **Inicijalna sinkronizacija**
  - Dva usmjeritelja tek počinju komunicirati
  - Razmjena baza podataka
    - Šalju se zaglavja svih LSA-ova (serijom paketa *Database Description*)
    - Nakon toga zahtjevi za LSA kojih nema (*Link State Request*) i odgovori (*Link State Update*)
- **Kontinuirana sinkronizacija**
  - Pojavom novih paketa za oglašavanje stanja linka (LSA)
  - Preplavljanjem
  - Počinje kada usmjeritelj želi osvježiti neki od svojih LSA-ova ukoliko mu se promjenilo neko od lokalnih stanja

# OSPF primjer – punjenje tablica usmjerenja (1)



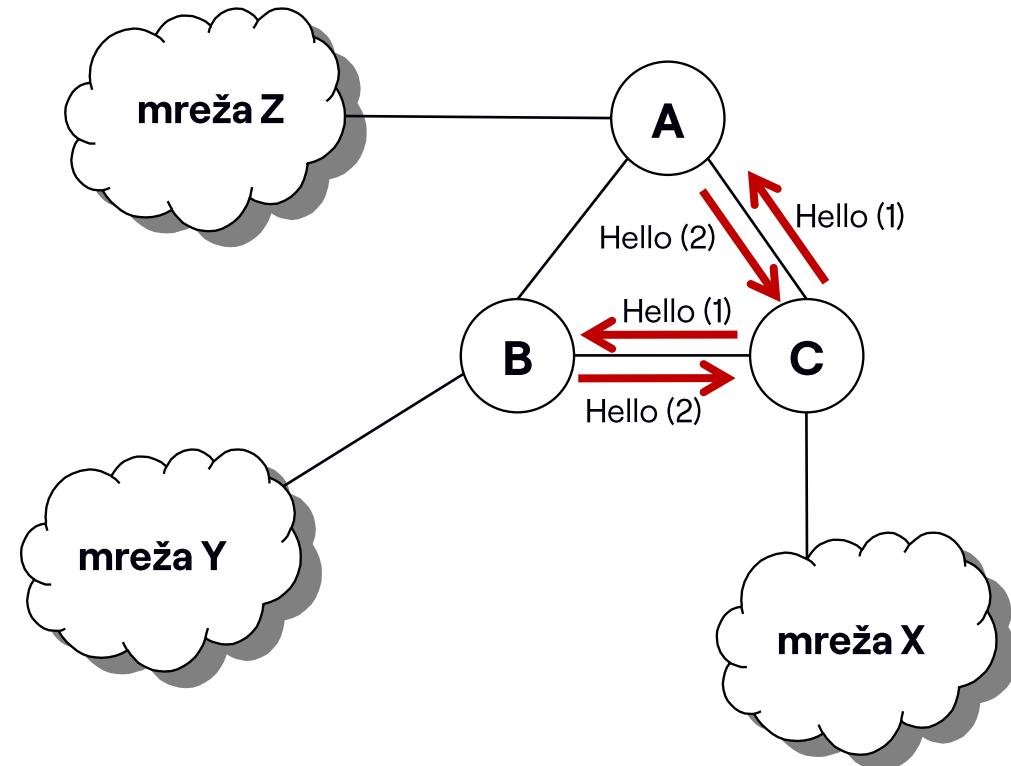
Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10

# OSPF primjer – upoznavanje (koraci 1 i 2) (2)



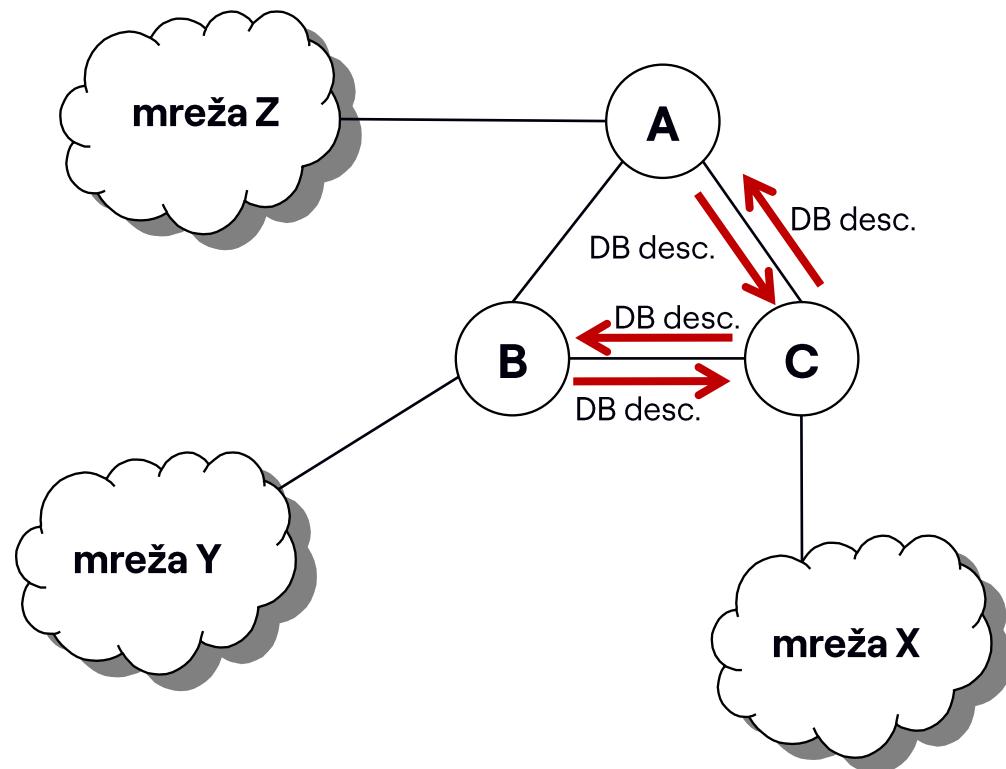
Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10

# OSPF primjer – inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	20
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

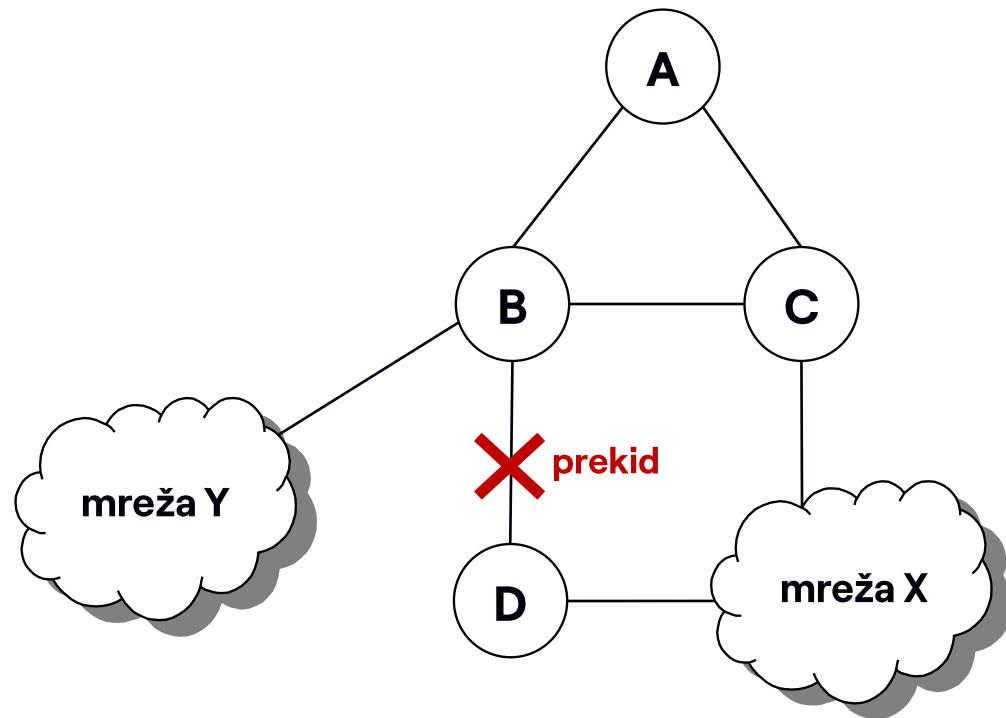
Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10
mreža Y	B	30
mreža Z	A	20
default	A	

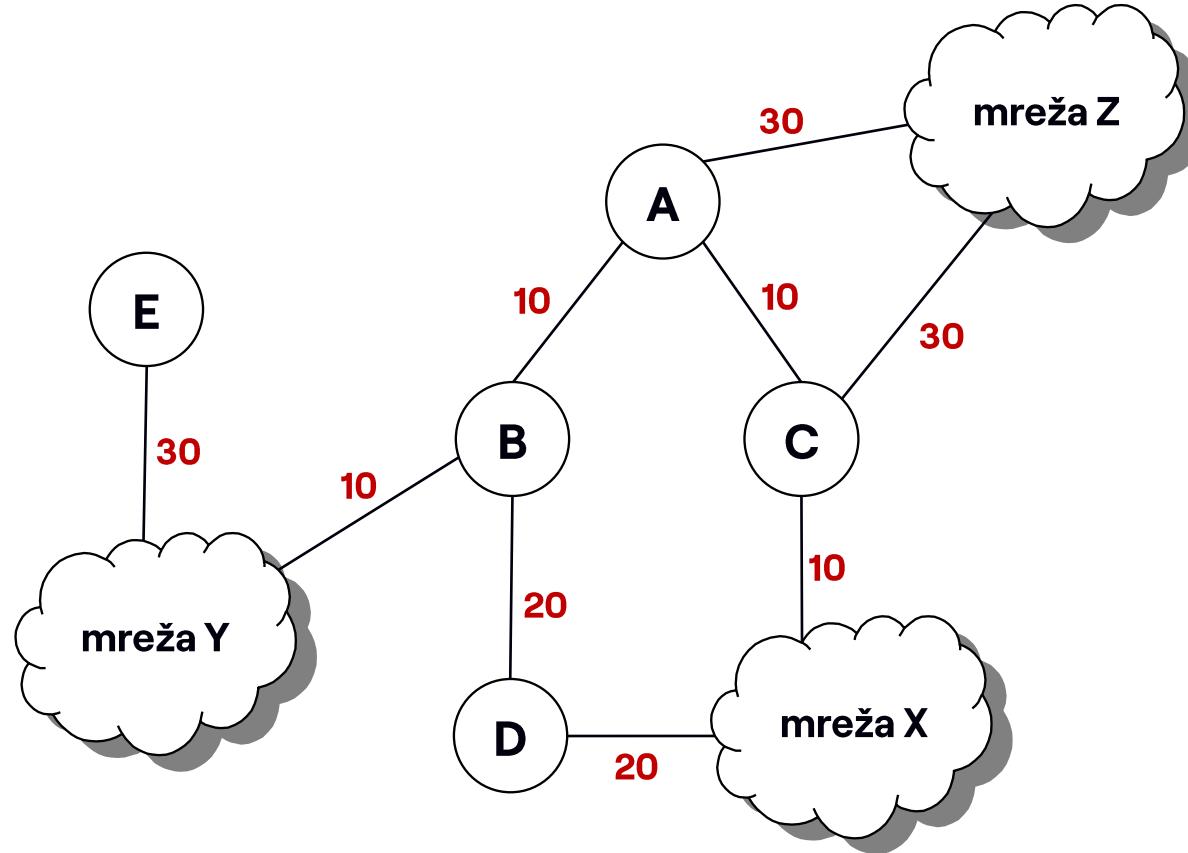
# OSPF primjer – inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3)

Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	B	80
	C	60
mreža Y	B	90



# Primjer OSPF – određivanje puta



LSBD

	A	B	C	D	E
A		10	10		
B	10			20	
C	10				
D		20			
E					
X			10	20	
Y		10			30
Z	30		30		

Usmjeritelj E

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	B	60
mreža Y	-	30
mreža Z	B	70

# OSPF-zaglavje

0	8	16	24	31
verzija	tip paketa	Duljina paketa		
Oznaka (ID) izvornog OSPF usmjeritelja				
oznaka (ID) OSPF područja				
zaštitna suma		tip autentifikacije		
autentifikacija (64 bits)				

# Proširenje za IPv6

- Nema većih razlika, većina naslijedena iz IPv4
- Glavne su promjene vezane uz adresu
  - Veća adresa
  - IPv6 adrese se nalaze samo u paketima LSA, ostali OSPF paketi ne sadrže IPv6 adresu
  - Susjedni usmjeritelji se identificiraju prema broju (ID), a ne prema adresi (kod *Hello* protokola)
  - Polja za autentifikaciju su izbačena iz OSPF zaglavlja – autentifikacija se oslanja na IPv6 AH i ESP

# Zadatak

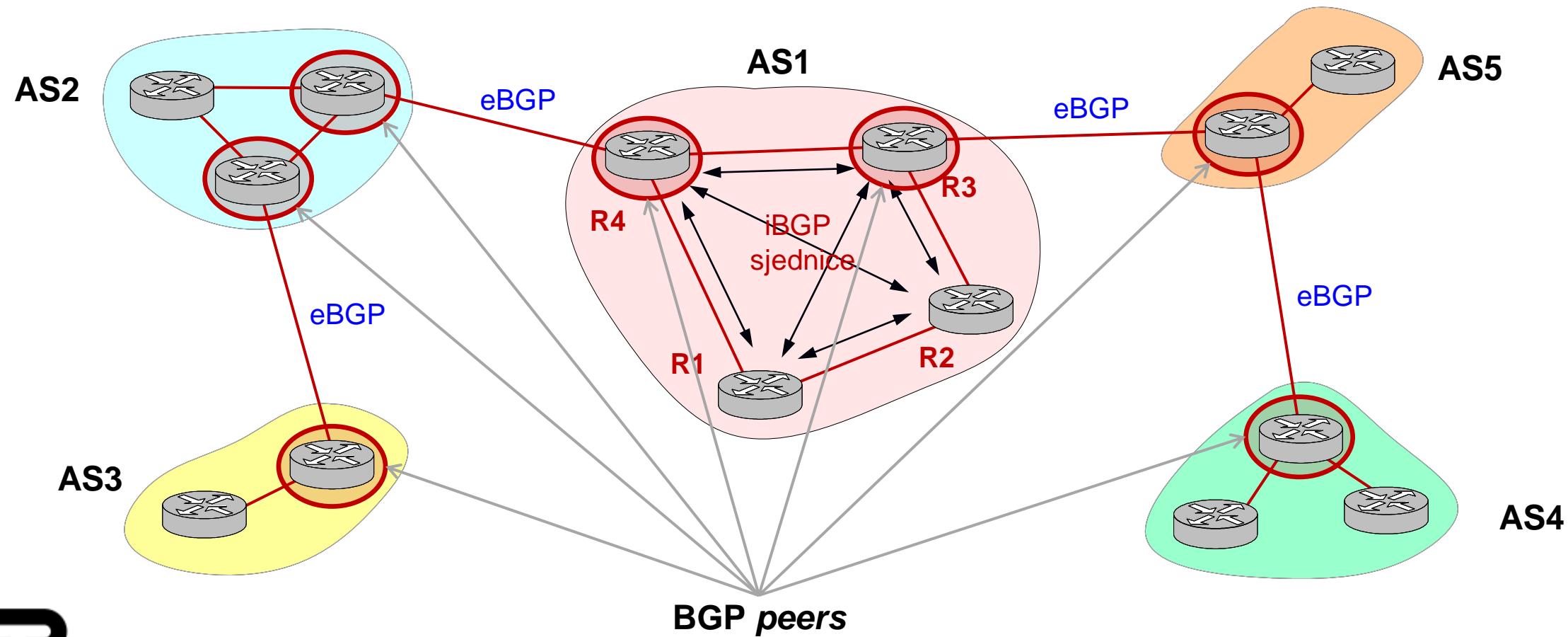
- Zadajte topologiju mreže prikladnu za usporedbu protokola usmjeravanja RIP i OSPF. Za svaki od protokola definirajte tablice usmjeravanja te prikažite promjene u slučaju proširenja mreže (dodavanje novog usmjeritelja), prekida neke poveznice ili isпадa jednog od usmjeritelja.

# Pojam autonomnog sustava AS

- Skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima pod zajedničkom upravom i zajedničkom politikom usmjeravanja "prema van", odnosno prema ostalim AS-ovima
- Jedinstveni broj AS
  - Javni i privatni AS-ovi
  - Davatelji internetskih usluga ISP-ovi (T-Com, VIPNet, Iskon, Metronet, Optima Telekom ...)
- Koriste jedinstveni IGP protokol usmjeravanja
- "Rubni" (vanjski) usmjeritelj na AS-u koji koristi eBGP naziva se "**peer**"
  - Administrativne granice, povezuje različite AS-ove
  - Izmjenjuje **informacije/poruke o putovima** s drugim AS-ovima –Network Layer Reachability Information (NLRI)

# Komunikacija autonomnih sustava

- Komunikacija AS-ova odvija se preko BGP usmjeritelja (**BGP peers** ili **BGP speakers**)



# Vrste autonomnih sustava

- ***Stub AS*** – AS s jednim izlazom, ima vezu sa samo jednim AS-om te prenosi samo lokalni promet
- ***Multihomed AS*** – povezan je s više AS-ova, ali ne prenosi tranzitni promet
- ***Transit AS*** – povezan je s više od jednog AS-a i u skladu sa definiranim pravilima prenosi tranzitni i lokalni promet
- **Protokol BGP neovisan je o korištenom protokolu IGP**

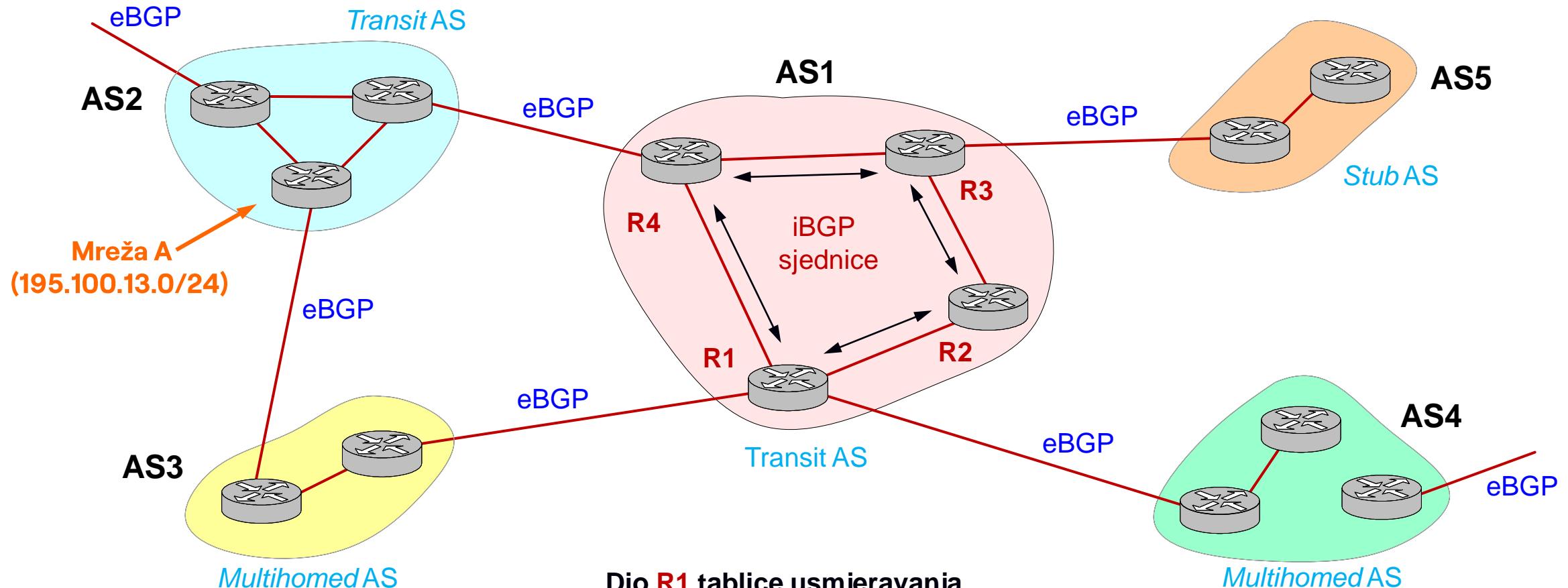
# Border Gateway Protocol (BGP)

- Draft Standard protokol, BGP-4 (RFC 4271)
- **Protokol usmjeravanja (EGP)**
- **Komunikacija usmjeritelja između autonomnih sustava (AS)**
- Razmjena usmjerivačkih informacija između davatelja internetskih usluga (ISP-ova) te ISP-ova i većih korisnika
- **Jedini EGP u Internetu**
- Koristi TCP, port 179
- Podržava TCP veze između BGP usmjeritelja između AS-ova

# Border Gateway Protocol (BGP)

- Temelji se na **algoritmu vektora staza** (path-vector algorithm)
  - sličan algoritmu vektora udaljenosti, uzima u obzir stanje staze kao niz AS-ova na putu do odredišta
- Neovisan o korištenom IGP-u unutar AS-a
- Dva moda rada
  - unutarnji BGP (internal, iBGP) – između usmjeritelja unutar istog AS-a
  - vanjski BGP (external, eBGP) – između usmjeritelja različitih AS-ova

# BGP usmjeritelji i vrste AS-ova



Dio R1 tablice usmjeravanja

Odredište	Slj. skok	RP
195.100.13.0/24	R4	BGP
R3	R2	IGP

Korišteni protokol  
usmjeravanja

# BGP operacije

- Dvije kategorije prometa
  - lokalni – izvorište i odredište unutar istog AS-a
  - tranzitni – izvorište i odredište u različitim AS-ovima
- Tranzitni BGP usmjeritelji
  - dopuštaju prolazak tranzitnog prometa
    - može nametnuti ograničenja
  - obično imaju **potpune tablice usmjeravanja**
    - Preko 500,000 ruta (<http://bgp.potaroo.net>)
- Korištenjem CIDR i združivanja staza (*route aggregation*) smanjuju se veličine tablica usmjeravanja

# Osnove protokola BGP

- Usmjerava internetski promet između usmjeritelja na temelju algoritma vektora staza
- Pronalazak susjednih usmjeritelja vrši se **ručno** (administrator mreže)
- Kad usmjeritelji uspostave **TCP vezu** (*BGP speakers*), razmijene cijele tablice usmjeravanja
- Usmjeritelji izmjenjuju informacije o stazama (NLRI)
- Tablica usmjeravanja sadrži informacije o stazama prema AS-u u kojem se nalazi odredišna mreža

# BGP staza

- Staza se sastoji od sljeda autonomnih sustava koje treba proći do odredišta
- Mogu postojati višestruke staze
- Dopušta se primjena različitih politika usmjeravanja
- Svaku stazu obilježavaju **skup parametara (atributa)** koji definiraju politiku usmjeravanja
- Staza kojom se usmjerava paket odabire se na temelju:
  - parametara staza
  - dostupnosti staze
  - dodatnih pravila o prihvaćanju paketa (političkih, sigurnosnih,...)
  - pravila o propuštanju paketa
  - ugovora između usmjeritelja...

**atributa**

# BGP RIB

- BGP staze se objavljuju pomoću poruke UPDATE
- Svaki usmjeritelj sadrži bazu staza RIB (BGP Routing Information Base)
- Baza RIB sadrži tri vrste popisa
  - Popis neobrađenih staza koje su primljene od susjednih usmjeritelja – uzimaju se u obzir kod procesa odluke (Adj-RIBs-In)
  - Popis staza s lokalnim informacijama o usmjeravanju do kojih se dolazi primjenom vlastitih pravila usmjeravanja i provođenjem procesa odluke nad popisom neobrađenih ruta (Loc-RIB)
  - Popis staza koje se šalju susjednim usmjeriteljima slanjem *update* poruka (Adj-RIBs-Out)

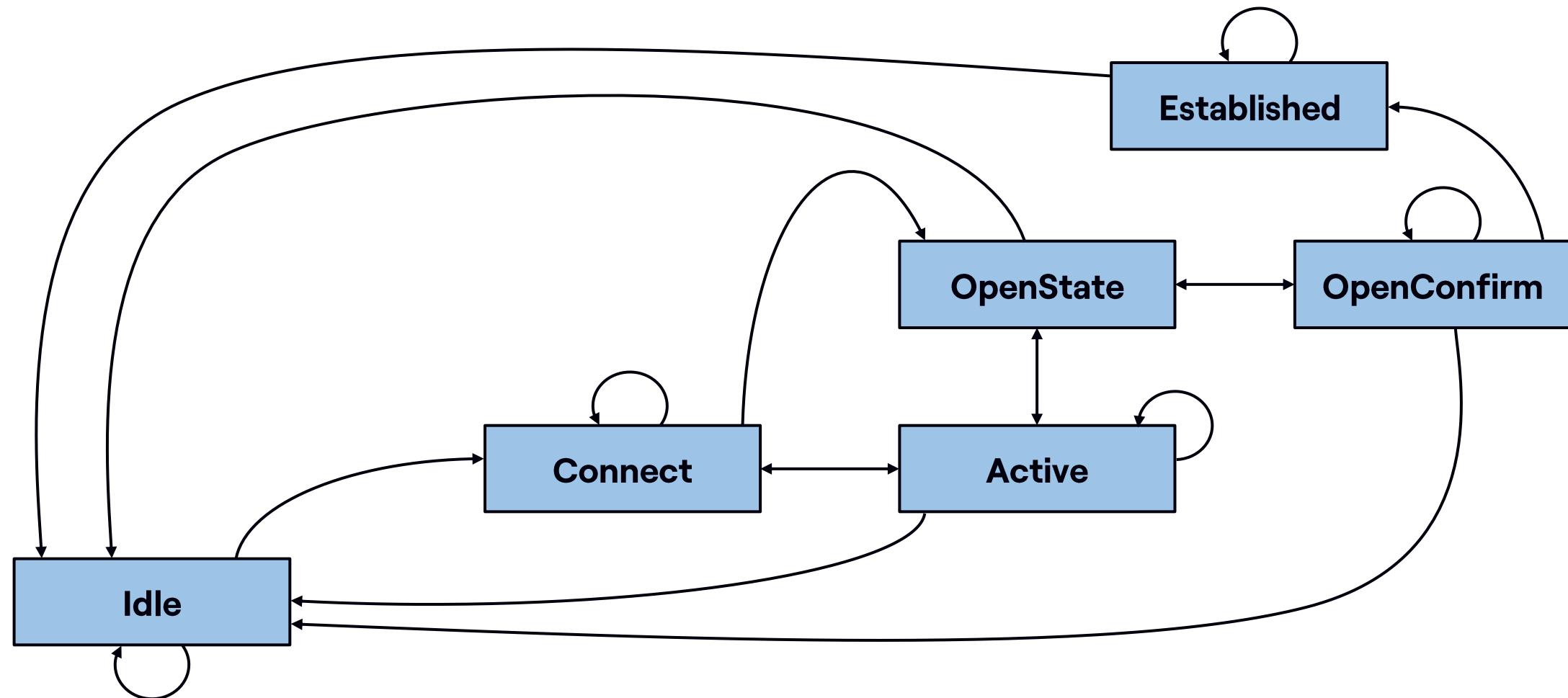
# BGP poruke

- Veličina poruke je od 19 (zaglavlje) do 4096 okteta
- Tri polja: oznaka (*marker*), veličina (*length*) i **vrsta** (*type*)
- **Vrste** BGP poruka:
  - OPEN
    - Uspostava veze (sjednice) između susjednih usmjeritelja i izmjena početnih postavki (identificiranje međusobnih mogućnosti)
  - UPDATE
    - Razmjena informacija o stazama (objava novih i ukidanje zastarjelih) nakon uspostave sjednice
  - KEEPALIVE
    - Održavanje sjednice između usmjeritelja, potvrda nakon poruke *open*
  - NOTIFICATION
    - Obavijesti o pogreškama i zatvaranju sjednice

# Komunikacija protokolom BGP

- Komunikacija BGP usmjeritelja u internetskoj mreži može se predočiti modelom konačnog automata
- Definirana su šest stanja:
  - *Idle*
  - *Connect*
  - *Active*
  - *OpenState*
  - *OpenConfirm*
  - *Established*

# Model konačnog automata protokola BGP



# BGP atributi staze

- Nalaze se unutar poruke *UPDATE*
- Omogućavaju usmjeriteljima primjenu vlastite politike usmjeravanja
  - dobro poznati obavezni (*well-known mandatory*)
  - dobro poznati neobavezni (*well-known discretionary*)
  - izborni tranzitni (*optional transitive*)
    - odnose se na sve AS-ove (globalni)
  - izborni lokalni (*optional non-transitive*)
    - odnose se na AS koji ih prima
- Svaka staza može imati jedan ili više izbornih atributa kao dodatak dobro poznatim atributima

# Atributi staze

- 1 - ORIGIN
- 2 - AS path
- 3 - Next hop
- 4 - Multi-Exit Discriminator (MED)
- 5 – Local preference
- 6 – Atomic aggregate
- 7 - Aggregator

# Atribut *ORIGIN*

- **Definira porijeklo staze (origin)**
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Generira ga usmjeritelj od kojeg staza potječe
- Polje atributa je veličine jednog okteta
- **IGP-0:** put koji se prenosi unutar polja NLRI potječe iz istog AS-a u kojem se nalazi usmjeritelj
- **EGP-1:** put koji se prenosi unutar polja NLRI potječe iz drugog AS-a
- **Incomplete-2:** put koji se prenosi unutar polja NLRI dobiven je nekim drugim načinom (nije poznat)

# Atribut AS path

- **Definira stazu** – listu AS-ova (segmenata puta) koje treba proći do odredišta
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Svaki segment puta AS-a zapisan je trojkom:
  - tip (skup AS-ova koje je poruka *update* prešla),
  - duljina (broj prijeđenih AS-ova),
  - vrijednost (brojevi AS-ova)
- Korisno kod višestrukih staza – različiti atributi za isto odredište
- Izbjegavanje petlji
- Filtriranje – zabrana usmjeravanja paketa kroz određeni AS
- Preferiranje staze

# Atribut *Next hop*

- **Definira IP adresu usmjeritelja na koji prvo treba usmjeriti paket** kako bi došao do odredišta (sljedeći skok)
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Kod ažuriranja puta atribut se modifcira samo ako dolazi od BGP usmjeritelja (peer) eBGP vezom

# Atribut MED

- Višeizlazni diskriminirajući atribut MED (Multi-Exit Discriminator)
- **Služi za odabir jednog od više ponuđenih staza prema istom AS-u**
- **Izborni lokalni atribut**
- Usmjeritelji daju savjete svojim susjedima kojim putem poslati pakete prema njima (dolazni promet)
- Atribut predstavlja savjet samog AS-a kojem se šalju paketi
  - preferira se određeni put prema vlastitom AS-u
- Kada prema AS-u postoji više mogućih staza, odabire ona staza koja ima najmanju vrijednost atributa MED (uzimajući u obzir i ostale attribute odnosno kada se put ne može odabrati na temelju ostalih atributa)

# Atribut *Local preference*

- Određuje politiku usmjeravanja odlaznog prometa
- Dobre poznati neobavezni atribut staze
- Atribut se izmjenjuje između lokalnih usmjeritelja istog AS-a
  - Atribut ne utječe na ostale autonomne sustave
- U slučaju kada postoji više izlaznih staza iz AS-a odabire se onaj koji ima veću vrijednost atributa što označava veći prioritet staze

# Atribut *Atomic aggregate*

- **Združena staza do odredišta**
- **Dobro poznati neobavezni atribut staze**
- Združivanje staze omogućava da više putova sa svojim karakteristikama može biti združeno i objavljeno kao jedan put u svrhu reduciranja broja putova
  - Smanjen broj staza koji se moraju pohranjivati i izmjenivati između usmjeritelja
- Vrijednost atributa obično odgovara polju *tip* u atributu *AS path* i sastoji se od liste AS-ova od kojih je napravljen združena staza

# Atribut Aggregator

- **Izborni tranzitni atribut**
- **Uključen u poruke koje su nastale združivanjem staza**
- Združivati se mogu staze koji imaju iste attribute
- Daje do znanja da je usmjeritelj združio rutu i zapisuje svoj AS broj i IP adresu

# Primjer združivanja staza

- **Pronaći združenu stazu za sljedeće putove (adrese)**

- 192.168.98.0      (11000000.10101000.01100010.00000000)
- 192.168.99.0      (11000000.10101000.01100011.00000000)
- 192.168.100.0      (11000000.10101000.01100100.00000000)
- 192.168.102.0      (11000000.10101000.01100110.00000000)
- 192.168.104.0      (11000000.10101000.01101000.00000000)
- 192.168.105.0      (11000000.10101000.01101001.00000000)  
                          (11000000.10101000.01100000.00000000)  
                          192       .168.       .96       .0

Združena staza je      192.168.96.0/20  
Maska podmreže      255.255.240.0

# Primjer združivanja staze (2)

- Oprez: rješenje sadrži i staze koji ne pripadaju združenom putu
  - 192.168.96.0, 192.168.97.0, 192.168.101.0, 192.168.103.0
- Združena staza mora isključiti prve dvije staze koje ustvari ne pripadaju združenoj stazi
  - 192.168.96.0, 192.168.97.0
- Združena staza mora sadržavati prvu adresu koja pripada združenoj stazi
- **Rješenje:**
  - **192.168.98.0/20**

## Primjer združivanja staze (3)

- Združena staza 10.10.1.32/27
- Priпадa li združenoj stazi adresa 10.10.1.44/27?
- Priпадa li združenoj stazi adresa 10.10.1.90/27?

# Algoritam usmjeravanja

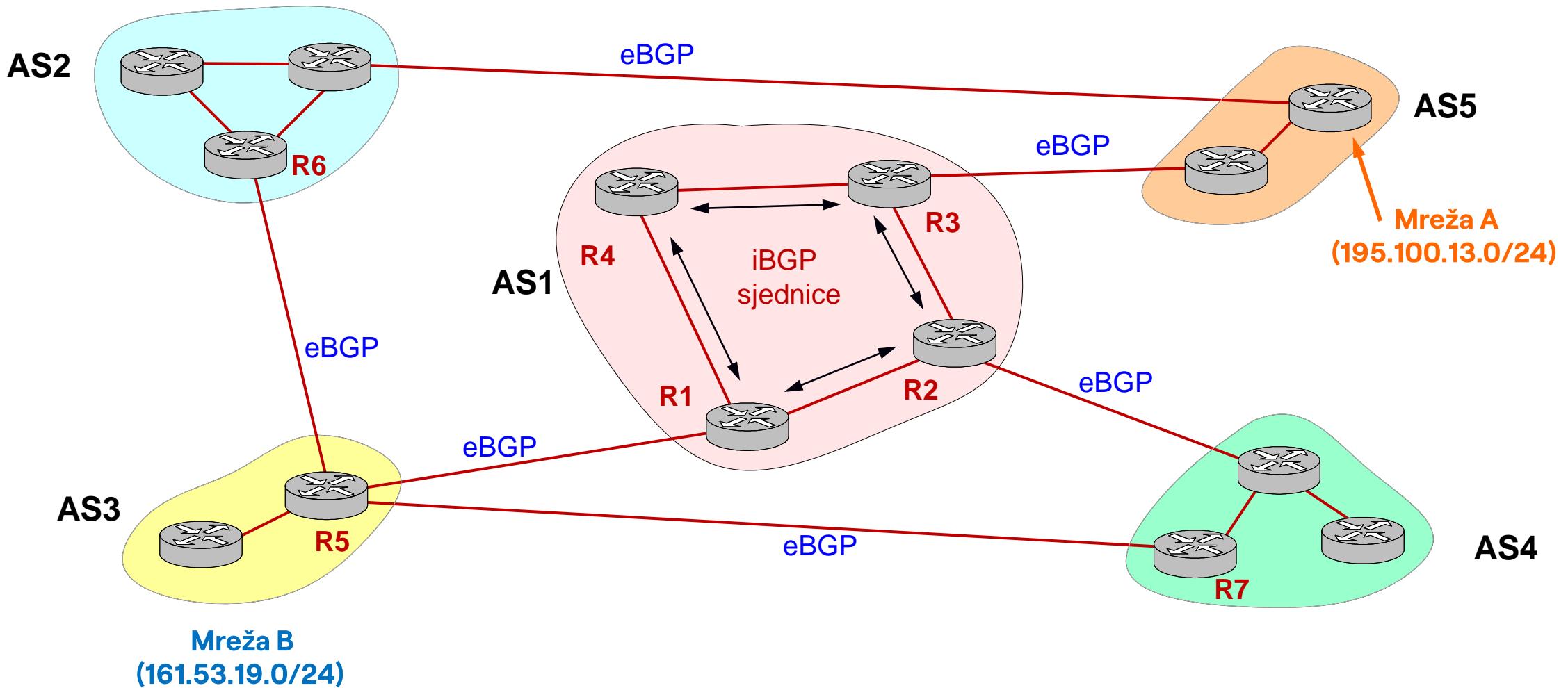
- Algoritam usmjeravanja odlučuje o “najboljoj stazi” za zadano odredište na temelju **procesa odluke** (*decision process*)
- Nema definiranog pravila već se primjenjuje vlastita politika lokalnog administratora AS-a definirana u PIB (Policy Information Base)
- Promatraju se neobrađene staze objavljeni u RIB-u (Adj-RIBs-In)

# Primjer algoritma usmjeravanja

- **Proces donošenja odluke o stazi:**

- odaberi stazu s najvećom vrijednosti atributa *local pref*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu koja je domaćeg porijekla (*origin*), dobivena iz vlastitog AS-a. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s najkraćim atributom *AS path*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s manjom vrijednosti atributa *origin*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s najmanjim atributom *MED*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu koja je definirana na temelju eBGP

# Primjer odabira staze na temelju atributa



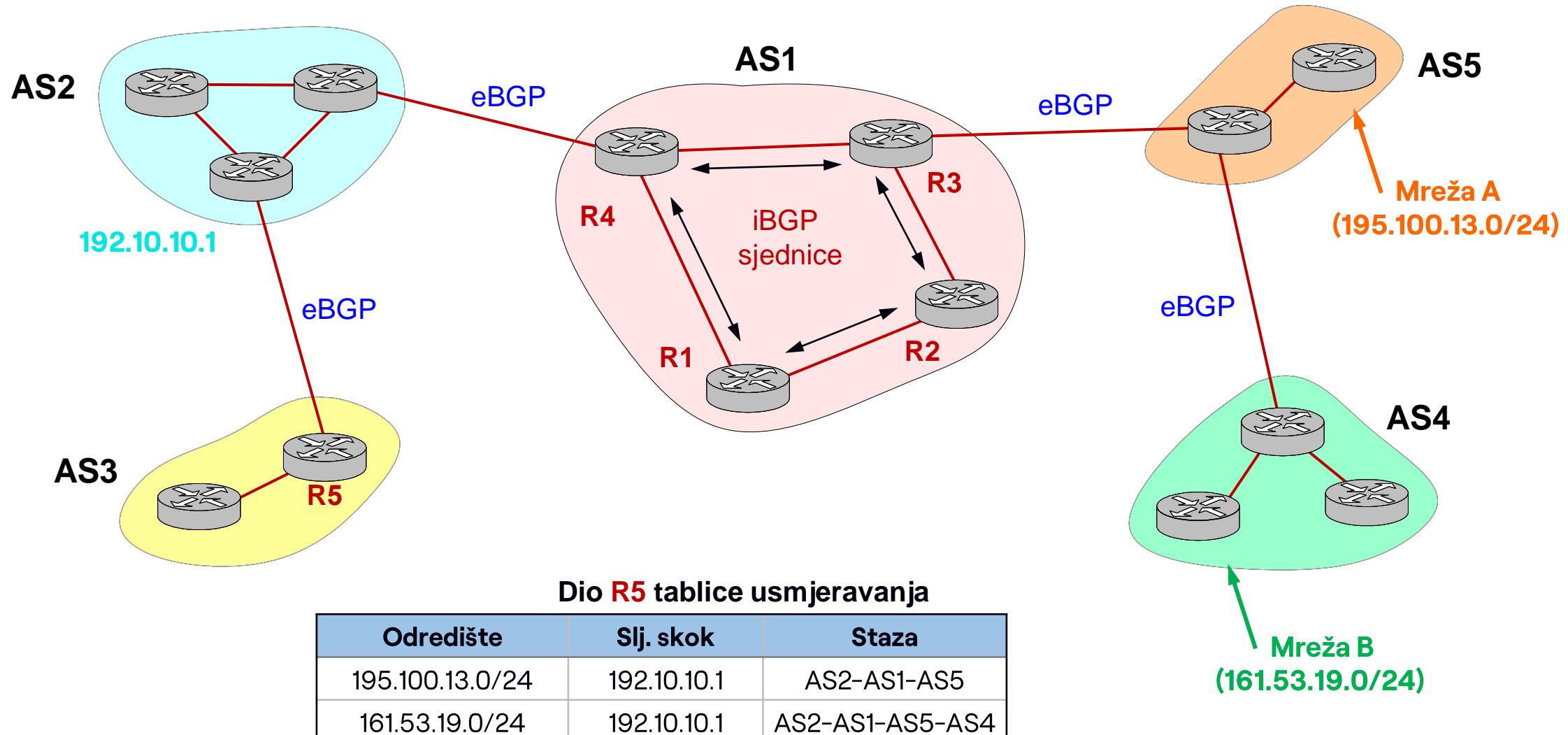
# Primjer odabira staze od AS3 prema AS5

- Atributi staze 1
  - Origin: IGP-0
  - AS path: AS2 – AS5
  - Local preference: 3
  - **MED: 1**
- Atributi staze 2
  - Origin: IGP-0
  - AS path: AS1 – AS5
  - Local preference: 3
  - **MED: 2**
- Atributi staze 3
  - Origin: IGP-0
  - **AS path: AS4 – AS1 – AS5**
  - Local preference: 3
  - MED: 3

# Ažuriranje tablice usmjeravanja

- Vrši se razmjenom poruka *BGP updates*
- Komunikacija između susjednih BGP usmjeritelja
- Izmjenjuju informacije o putovima (NLRI)
- **Oglašavaju** se moguće staze prema AS-ovima
  
- Tablica usmjeravanja
  - odredište, put
- Uz oznaku puta navodi se sljedeći skok
- **Ukoliko dođe do prekida u mreži put se briše!**

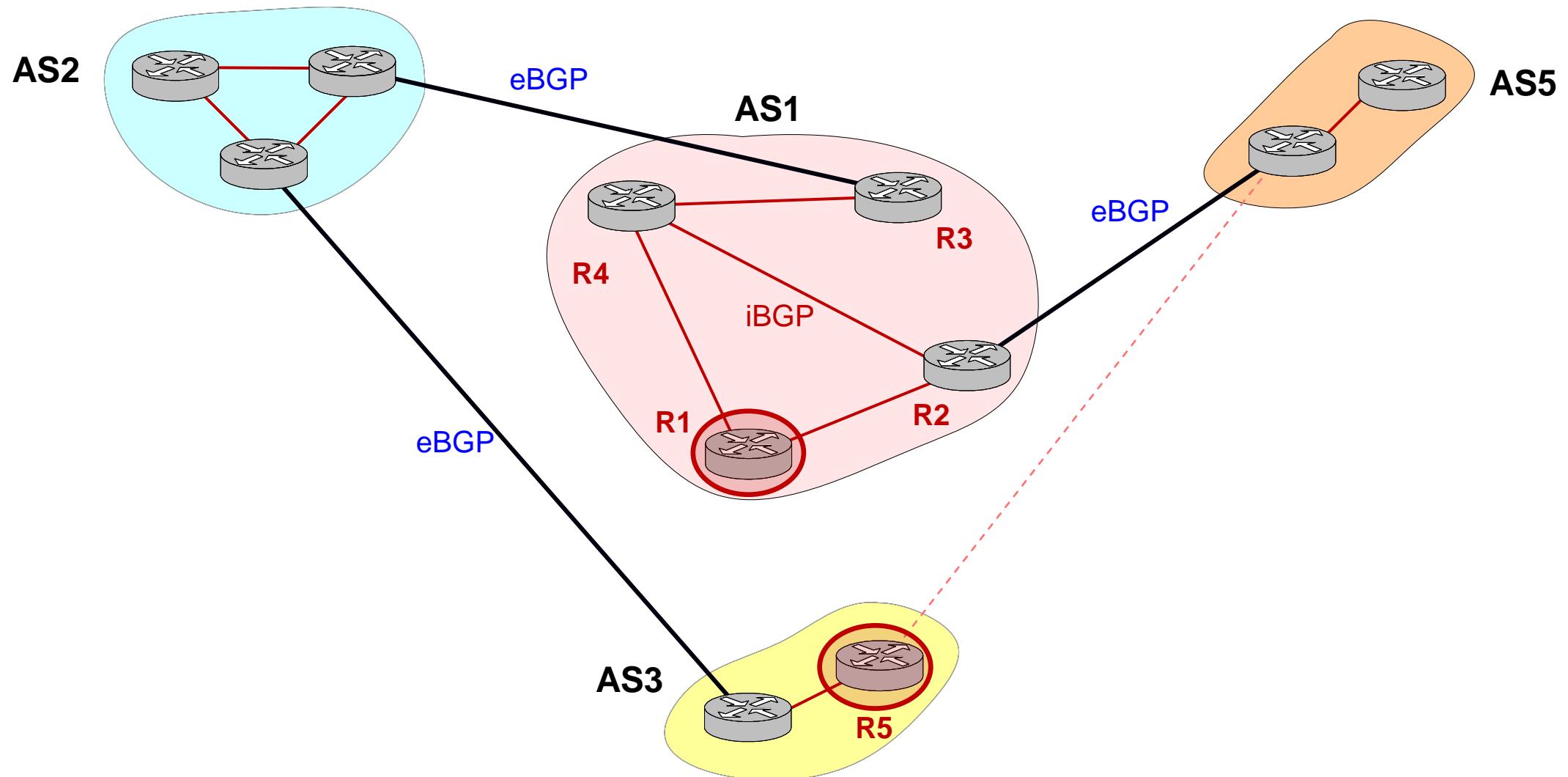
# Primjer BGP tablice usmjeravanja



# Zadatak

- Za zadanu mrežu na slici (sljedeći slajd) prepostavite da AS2 i AS5 koriste OSPF, a AS1 i AS3 koriste RIP kao IGP-protokol usmjeravanja.
- Za usmjeravanje između AS-ova koriste se protokoli eBGP i iBGP.
- Za početak prepostavite da nema fizičke veze između AS3 i AS5.
- Usmjeritelj R1 zna put do usmjeritelja R5 i informacija o toj stazi zapisana je u tablici usmjeravanja.

# Slika uz zadatak



# Ažuriranje tablice usmjerenja

- Hoće li zapis o toj stazi biti usmjeren preko usmjeritelja R2 ili preko usmjeritelja R4? Objasnite.
- Pretpostavite da između AS3 i AS5 postoji fizička veza (označeno crtano na slici). Pretpostavite da usmjeritelj R1 zna da je R5 dostupan preko AS2, kao i preko AS5. Hoće li usmjeravanje ići preko usmjeritelja R2 ili R4? Objasnite.
- Pretpostavite da se na putu između AS3 i AS5 nalazi još jedan autonomni sustav – AS4 (nije prikazan na slici). Pretpostavite da usmjeritelj R1 zna da do R5 može doći preko AS2-AS3, odnosno AS5-AS4-AS3. Hoće li usmjeravati preko R2 ili preko R4? Objasnite.

# Regionalni internetski registar

- Regionalni internetski registar RIR (Regional Internet Registry) vrši raspodjelu brojeva AS-a i IP adresa dobivenih od IANA (Internet Assigned Number Authority)
- Aktivno je pet registara s područjem djelovanja:
  - **RIPE NCC (RIPE Network Coordination Centre) – Europa, Bliski Istok i središnja Azija**
  - ARIN (American Registry for Registry Numbers) – Sjeverna Amerika i dijelovi Kariba
  - APNIC (Asia-Pacific Network Coordination Centre) – Azija i Tihij ocean
  - LACNIC (Latin American and Caribbean Internet Address Registry) – Latinska Amerika i Karibi
  - AfriNIC (African Network Information Centre) – Afrika

# Hrvatska akademska istraživačka mreža

- Hrvatska akademska istraživačka mreža (CARNet)
- Upravlja s 164092 IP adrese
  - 82.132.0.0 – 82.132.127.255 (/17), 32767 adresa
  - 161.53.0.0 – 161.53.255.255 (/16), 65535 adresa
  - 192.84.105.0 – 192.84.105.255 (/24), 255 adresa
  - 193.198.0.0 – 193.198.255.255 (/16), 65535 adresa
- Ostvaruje vezu s Internetom preko pan-europske istraživačke mreže GEANT brzinom 100 Gbit/s (2018.)
- Veza prema drugim ISP-ovima u Hrvatskoj ostvarena je kroz **mjesto razmjene internetskog prometa u Hrvatskoj – CIX** (Croatian Internet eXchange)

# CIX

- **Croatian Internet eXchange (CIX) je hrvatsko nacionalno središte za razmjenu internetskog prometa**
- Otvoren je za sve ISP-ove u RH, kako za komercijalne tako i nekomercijalne, odnosno privatne mreže
- Uspostavom izravnih komunikacijskih kanala među hrvatskim ISP-ovima postiže se velika ušteda u razmjeni podataka među hrvatskim internetskim korisnicima.
  - izravno međusobno povezivanje ISP-ova smanjuje nepotrebni promet kroz treće mreže
- **CIX članice dogovaraju međusobni peering za izmjenu prometa**
- Protokol usmjeravanja je BGPv4, a baza za dokumentiranje CIX peeringu je RIPE baza podataka