



Internet Protocol v. 6



BSCI Module 8

Vlastnosti IPv6

Väčší adresový priestor

- Globálna dosiahnuteľnosť
- Agregácia
- Multihoming
- Autokonfigurácia
- Plug-and-Play
- Komunikácia bez NAT

Jednoduchšia hlavička

- Efektívne smerovanie
- Bez broadcastov
- Bez kontrolných súm
- Rozširujúce hlavičky
- Flow labels (návestia tokov)

Vlastnosti IPv6

Mobilita a bezpečnosť

- Mobilita pokrytá RFC dokumentom
- Povinná podpora IPSec

Migrácia

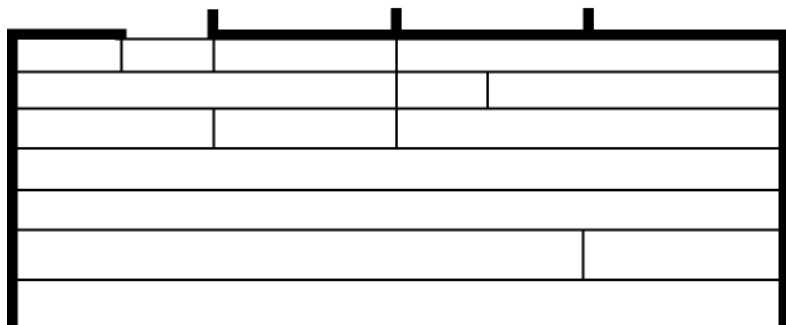
- Dual stack
- Tunelovanie
- Preklad

Formát IPv6 paketov

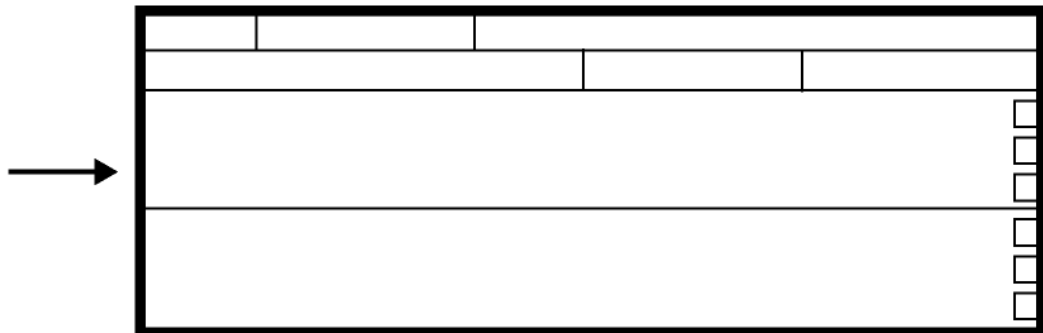


Jednoduchšia a efektívnejšia hlavička

IPv4 Header



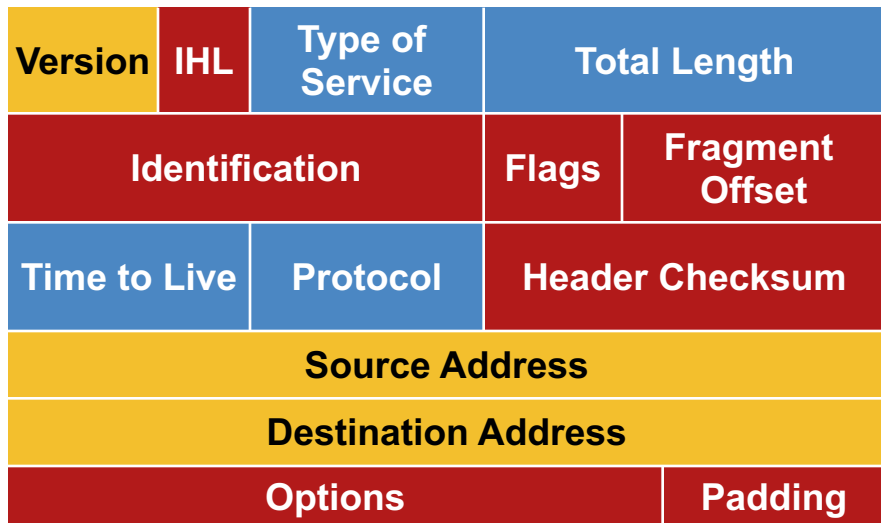
IPv6 Header



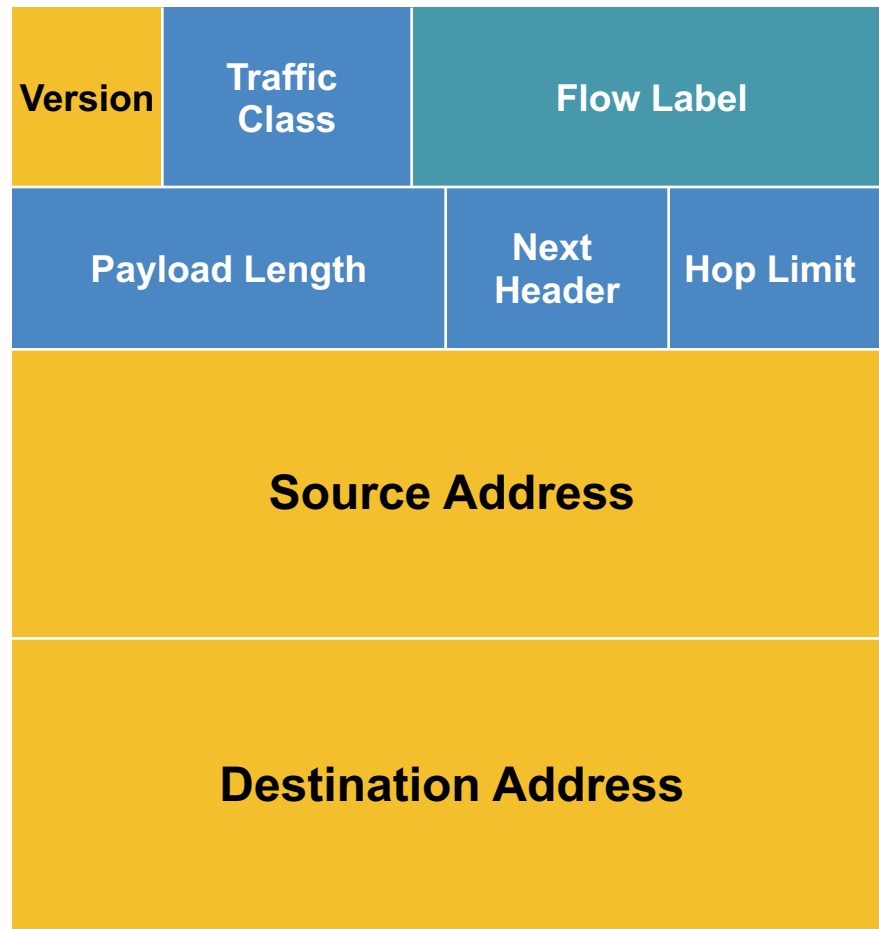
- Polia spravidla zarovnané na hranice 64 bitov
- Menší počet polí
- Možnosť pre jednoduchšiu a výkonnejšiu implementáciu HW

Porovnanie hlavičiek IPv4 a IPv6

IPv4 Header



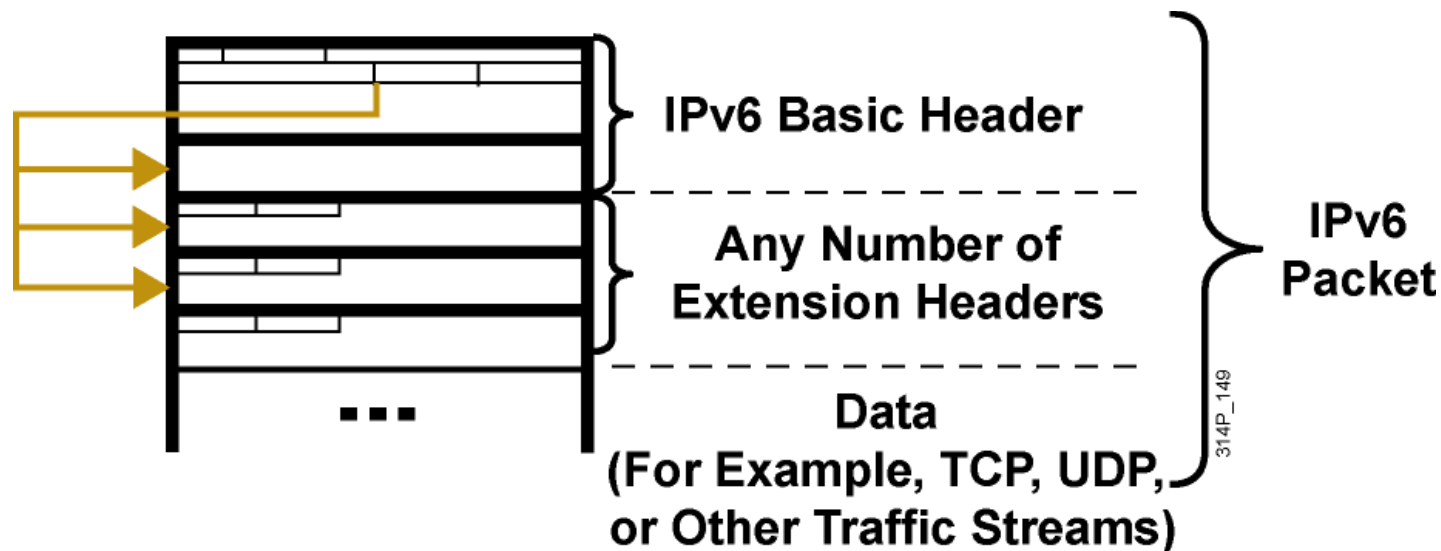
IPv6 Header



Legenda

- Polia rovnakého významu
- Polia vypustené z IPv6 hlavičky
- Polia so zmeneným názvom a polohou
- Nové polia v IPv6 hlavičke

Rozširujúce hlavičky v IPv6



- IPv6 má pre množstvo funkcií rozširujúce hlavičky
- IPv6 efektívnejšie implementuje voliteľné časti hlavičky

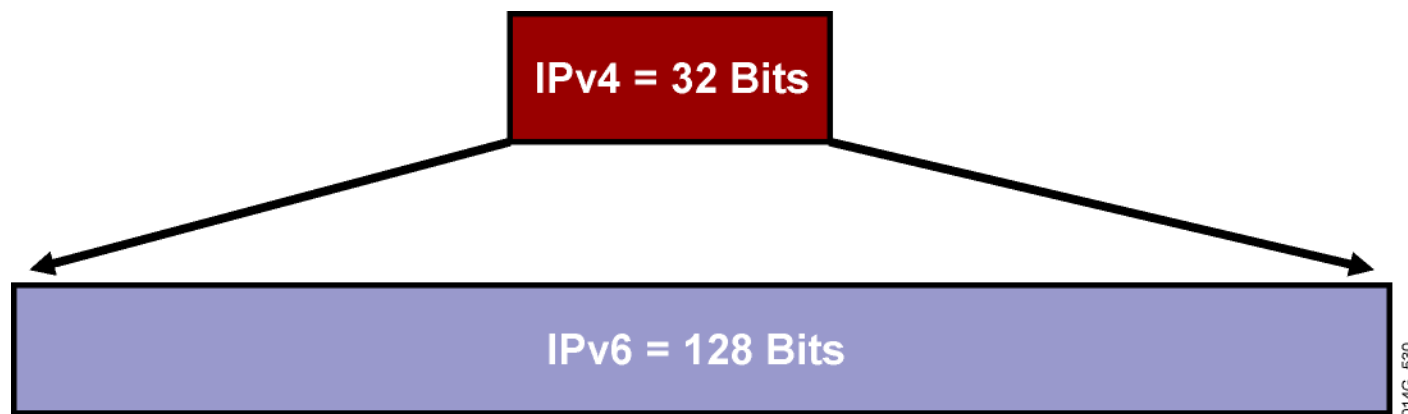
Záležitosti týkajúce sa MTU

- Pre IPv6 je stanovené **minimálne MTU na 1280 Bajtov** (staršie IPv4 malo minimálne MTU 68 Bajtov)
 - Na rozhraniach, kde je MTU < 1280 B, sa musí použiť špecifický mechanizmus linkového protokolu pre fragmentáciu a opätovné poskladanie
 - IPv6 routery na rozdiel od IPv4 už nerealizujú fragmentáciu paketu
 - Pokiaľ je to nevyhnutné, fragmentáciu vykonáva priamo odosielateľ
- Od implementácií IPv6 sa očakáva, že sú schopné realizovať tzv. **path MTU discovery**, ak chcú posielat' pakety väčšie než 1280 B
- Minimalistické implementácie IPv6 môžu path MTU discovery vynechať, ak všetky pakety udržia na veľkosti ≤ 1280 B
- IPv6 podporuje pakety **veľké až 2^{32} B (tzv. jumbogramy)**

Adresovanie v IPv6



Väčší adresový priestor



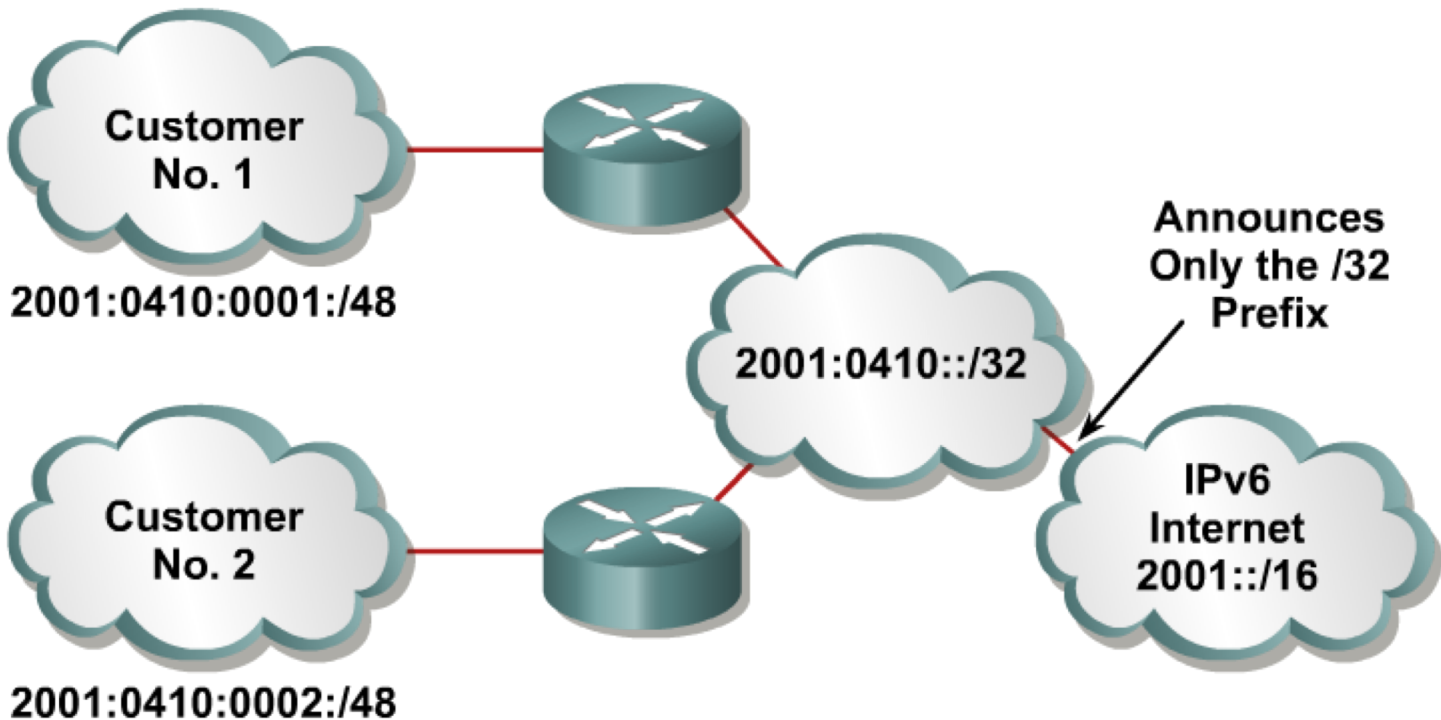
IPv4

- 32 bitov
 - $\cong 4,200,000,000$ adresovateľných uzlov

IPv6

- 128 bitov (16 bajtov): štvornásobná dĺžka oproti IPv4
 - $\cong 3.4 * 10^{38}$ adresovateľných uzlov
 - $\cong 340,282,366,920,938,463,374,607,432,768,211,456$
 - $\cong 5 * 10^{28}$ adries na osobu

Veľký adresový priestor s efektívnou agregáciou



- Do globálnych smerovacích tabuliek sa ohlasujú agregované prefixy
 - Do istej miery toto pripomína návrat ku classful smerovaniu, hoci sa to nedá takto v pravom zmysle slova nazvať
- Efektívne a škálovateľné smerovanie

Zápis IPv6 adres

- **x:x:x:x:x:x:x**, kde **x** je 16-bitové hexadecimálne pole
- Úvodné nuly v hexadecimálnom poli sú nepovinné
 - 2031:0:130F:0:0:9C0:876A:130B
- Za sebou idúce polia 0 sa dajú skrátit' zápisom ::, avšak len jedenkrát v adrese

Príklady:

2031:0000:130F:0000:0000:09C0:876A:130B

2031:0:130f::9c0:876a:130b

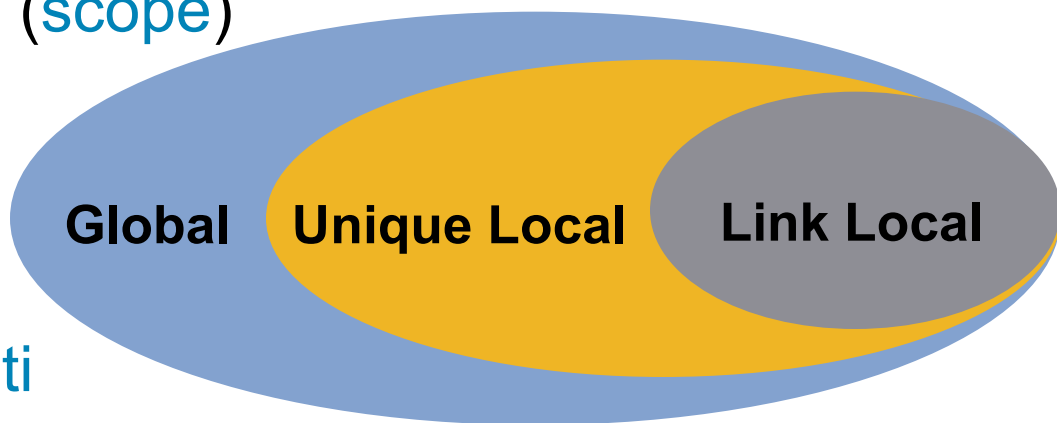
FF01:0:0:0:0:0:0:1 >>> FF01::1

0:0:0:0:0:0:0:1 >>> ::1

0:0:0:0:0:0:0:0 >>> ::

Adresový model v IPv6

- Adresy sa priradzujú rozhraniam
- Rozhranie v IPv6 má spravidla **niekoľko** adries
 - V IPv4 má rozhranie typicky len 1 adresu
- Adresy majú svoj **rozsah (scope)**
 - Link Local
 - Global
 - Site-local (zastaralý)
- Adresy majú **čas platnosti**
 - Platnosť a preferovaný čas platnosti
 - Týka sa adries získaných bezstavovou autokonfiguráciou
- Adresy majú svoj **typ**



Typy adries

■ Unicast

- Adresa patrí jednému rozhraniu
- Existuje mnoho podtypov (napr. globálne a IPv4-mapované)

■ Multicast

- Pre one-to-many adresovanie
- Efektívnejšie využíva prostriedky siete
- Používa širší adresový rozsah

■ Anycast

- One-to-nearest (alokované z unicastového priestoru)
- Viaceré zariadenia zdieľajú tú istú adresu
- Všetky takéto zariadenia by mali poskytovať rovnaké služby
- Zdrojové zariadenia odosielajú pakety na anycast adresu
- Smerovače rozhodnú o najbližšom uzle s danou adresou
- Vhodné pre load balancing a poskytovanie obsahu (content delivery)

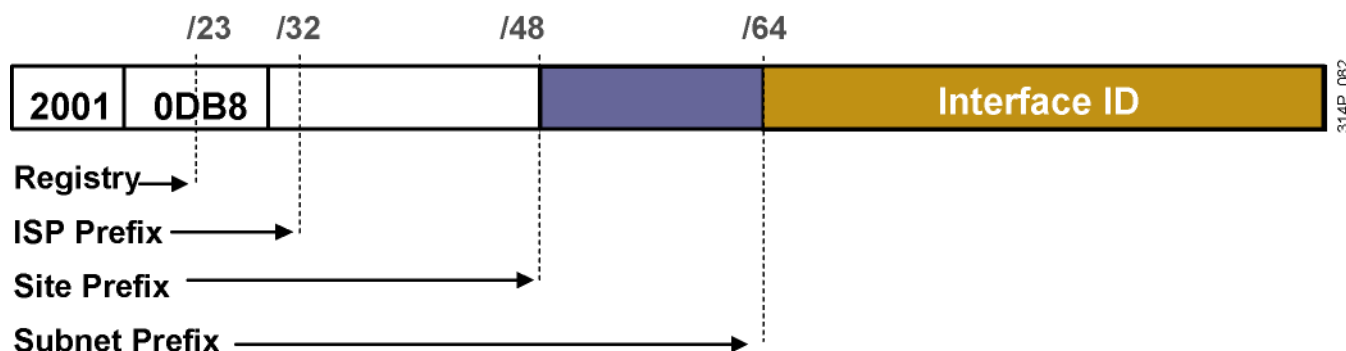
Unicastové adresovanie v IPv6

- Pravidlá pre unicastové adresovanie v IPv6 sú pokryté mnohými RFC dokumentami
 - Adresová architektúra je definovaná v RFC 4291
- Rozsahy unicastových adries:
 - Global 2000:: - Link local (FE80::
- Na jednom rozhraní sa môže nachádzať ľubovoľný počet unicastových, anycastových alebo multicastových adries
 - Prirodzene, multicastová adresa nebude zdrojovou adresou

IPv6 adresy na rozhraniach

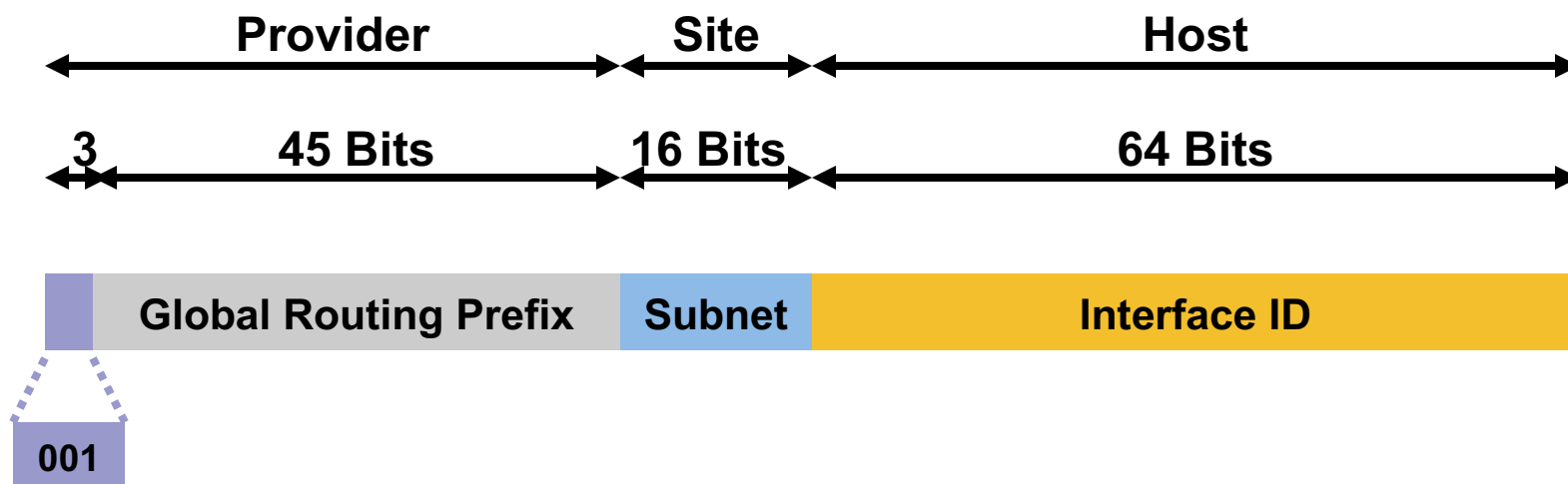
- Adresy typu Global Unicast a Anycast majú rovnaký formát
 - Obsahujú tzv. globálny smerovací prefix, pomocou ktorého sa dá významne agregovať adresa až po providera
- Na rozhraní môže byť ľubovoľný počet adries každého typu
 - Každé IPv6 rozhranie **musí** mať priradenú prinajmenšom link-local adresu
 - Každé IPv6 rozhranie **môže** mať priradené viaceré unikátne lokálne či globálne adresy
 - Z tohto pohľadu je anycastová adresa jednoducho adresa, ktorá je spoločne pridelená viacerým rozhraniam (spravidla na rôznych zariadeniach)

IPv6 adresy Global Unicast a Anycast



- Adresa typu Global Unicast a Anycast má tri časti
 - Global Routing Prefix
 - Subnet ID
 - Interface ID
- Štruktúra GRP a SID nie je fixná
 - Požaduje sa, aby Interface ID malo 64 bitov, ak IPv6 adresa začína bitmi inými než 000/3
 - V súčasnosti sa pridelujú Global Unicast adresy s prefixom /48
 - Subnet ID má teda 16 bitov

IPv6 adresy Global Unicast



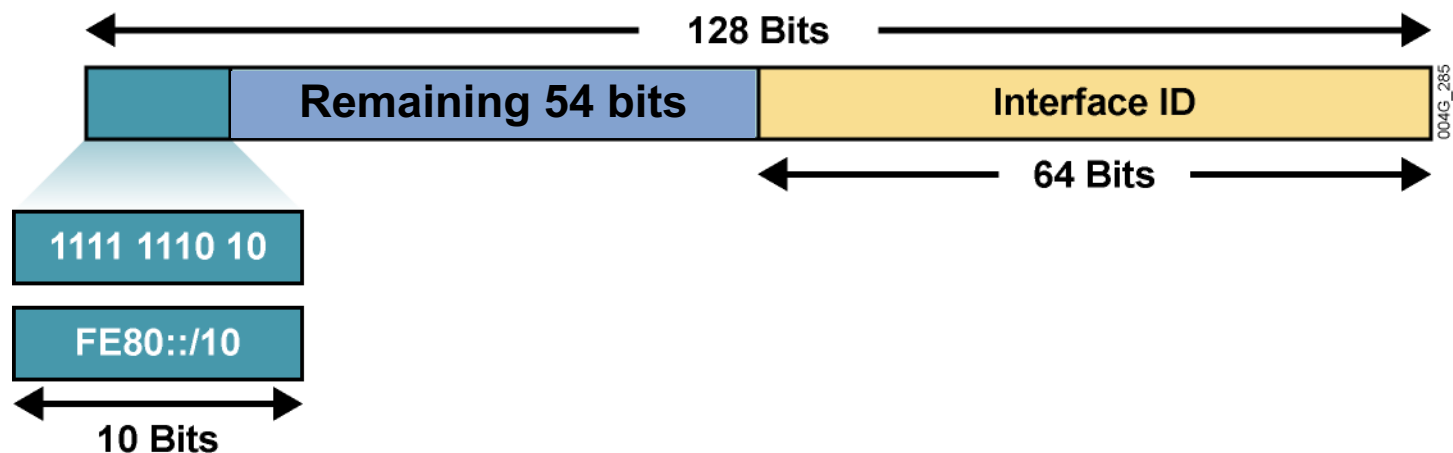
- Štruktúrované hierarchicky, aby umožnili agregáciu
- Tento formát adres sa používa pre unikátne a verejne viditeľné adresy IPv6 staníc

IPv6 adresy Global Unicast

IPv6 Interface ID

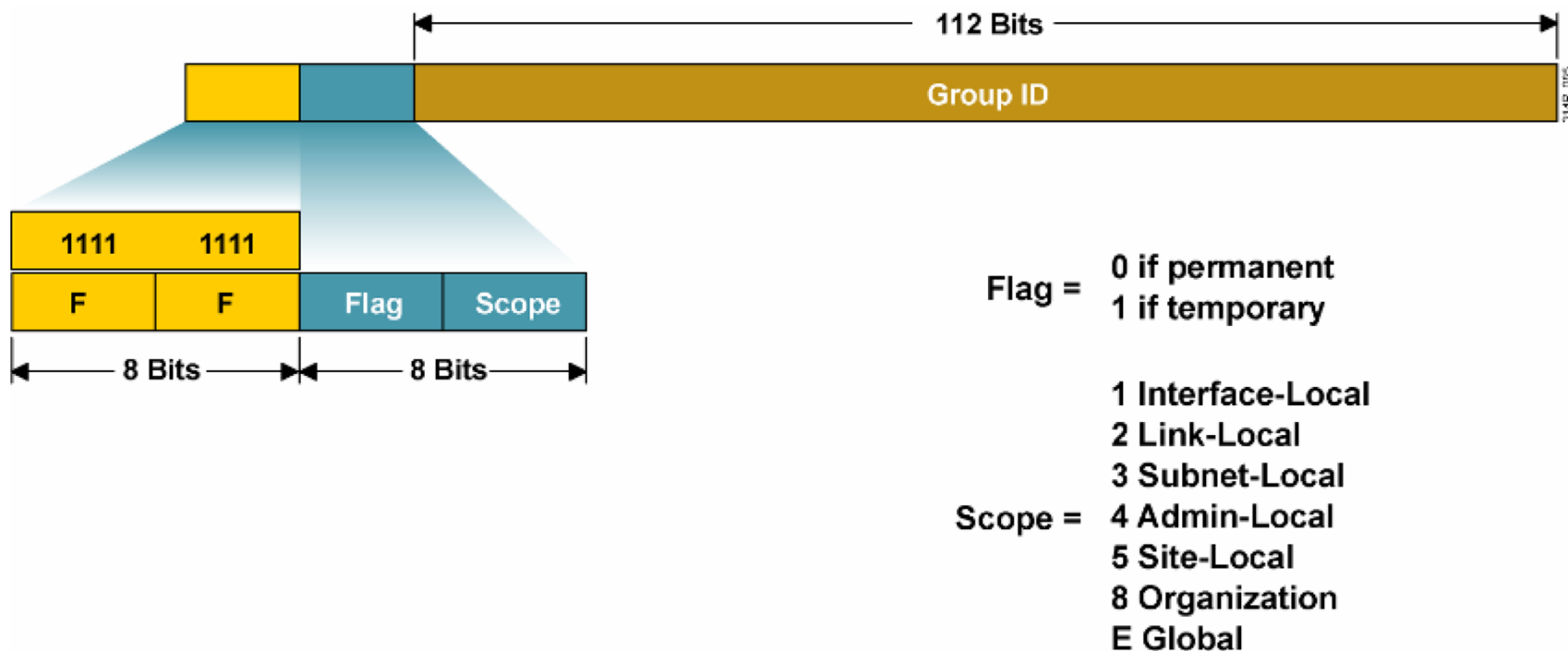
- Pre bezstavovú konfiguráciu IPv6 adresy sa na Cisco smerovačoch využíva tzv. modified extended universal identifier – modified EUI-64
 - Modified EUI-64 má 64 bitov a vkladá sa do časti Interface ID
- Modified EUI-64 sa získa z MAC adresy tým, že:
 - Medzi OUI a S/N sa vloží dvojbajt **FF:FE**
 - Invertuje sa bit U/L (druhý najnižší bit 1. bajtu MAC)

IPv6 adresy typu Link-Local Unicast



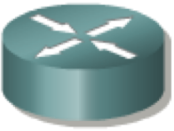




- Link-local adresa pozostáva z prefixu `FE80::/10`, ľubovoľných 54 bitov a Interface ID vo formáte EUI-64
- Adresy **povinné** pre komunikáciu dvoch susedných zariadení
- Automaticky vytvorené routerom na rozhraniach hneď, ako je aktivovaná podpora IPv6
- Takisto sa využívajú v smerovacích protokoloch ako next-hop adresy
- Sú jedinečné a platné len v rámci broadcastovej domény
- 54 bitov medzi prefixom a Interface ID môže byť ľubovoľných

IPv6 multicastové adresy



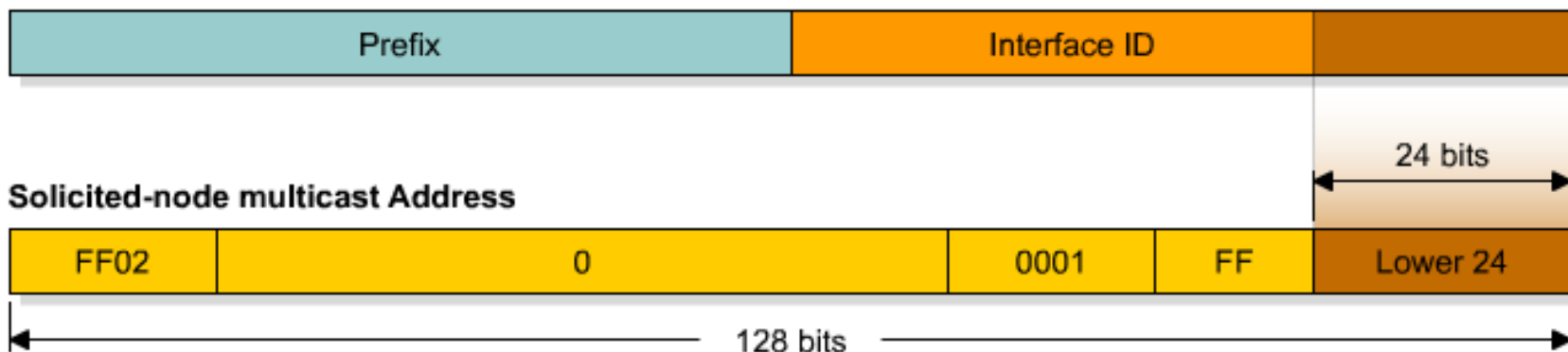
- Multicasty sa v IPv6 využívajú veľmi často
- Broadcast sa v IPv6 nepoužíva

Príklady pevných multicastových IPv6 adres

	Meaning	Scope
FF02::1	All nodes 	Link-local
FF02::2	All routers 	Link-local
FF02::9	All RIP routers 	Link-local
FF02::1:FFXX:XXXX	Solicited-node 	Link-local
FF05::101	All NTP servers 	Site-local

Multicastové adresy Solicited-Node

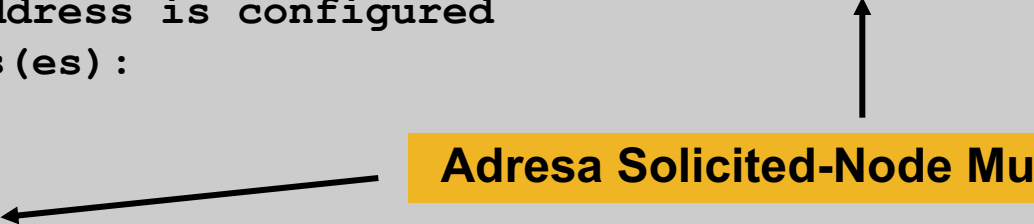
IPv6 Address



- Solicited-node multicast adresa pozostáva z prefixu **FF02::1:FF:** a spodných 24 bitov IPv6 adresy vyzývaného suseda
 - Typické použitie je v ICMPv6, ktoré nahrádza ARP
 - ICMPv6 je vo vnútri IPv6 paketu, takže paket musí mať adresu príjemcu, v tomto prípade práve Solicited-Node
- Adresa má rozsah link-local

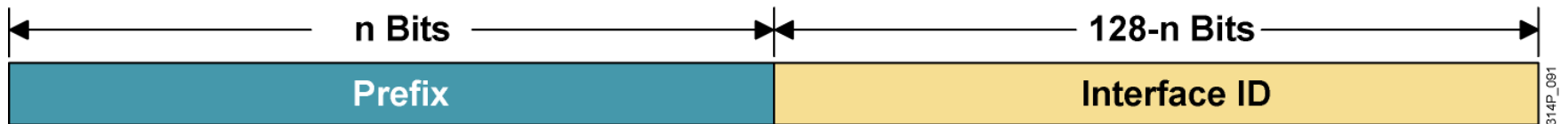
IPv6 adresy na rozhraní

```
R1#sh ipv6 int e0
Ethernet0 is up, line protocol is up
  IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C203:DFE:FEAC:0
  No global unicast address is configured
  Joined group address(es):
    FF02::1
    FF02::2
    FF02::1:FFAC:0
  MTU is 1500 bytes
  ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
  ICMP redirects are enabled
  ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
  ND reachable time is 30000 milliseconds
  ND advertised reachable time is 0 milliseconds
  ND advertised retransmit interval is 0 milliseconds
  ND router advertisements are sent every 200 seconds
  ND router advertisements live for 1800 seconds
  Hosts use stateless autoconfig for addresses.
R1#
```



Adresa Solicited-Node Multicast

IPv6 Anycast adresa



- IPv6 anycast adresa je adresa typu global unicast, ktorá je priradená viac než jednému rozhraniu

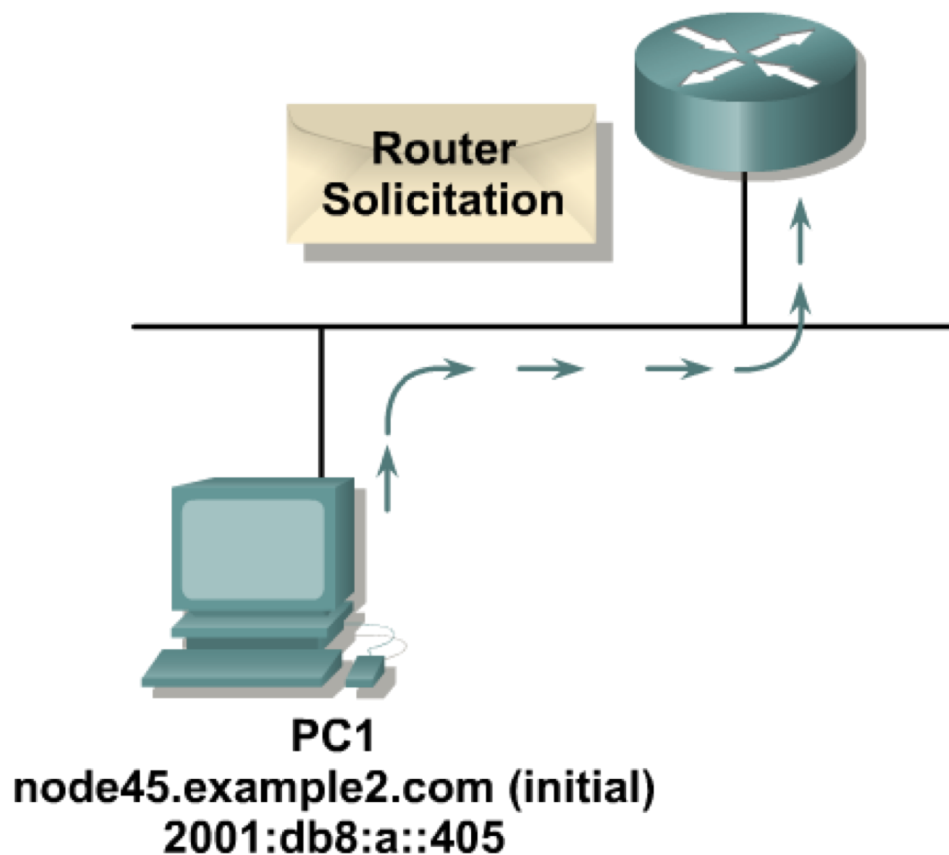
Bezstavová konfigurácia (Stateless Autoconfiguration)

Interface Identifier ::2004:0FD1:9CAA:1002



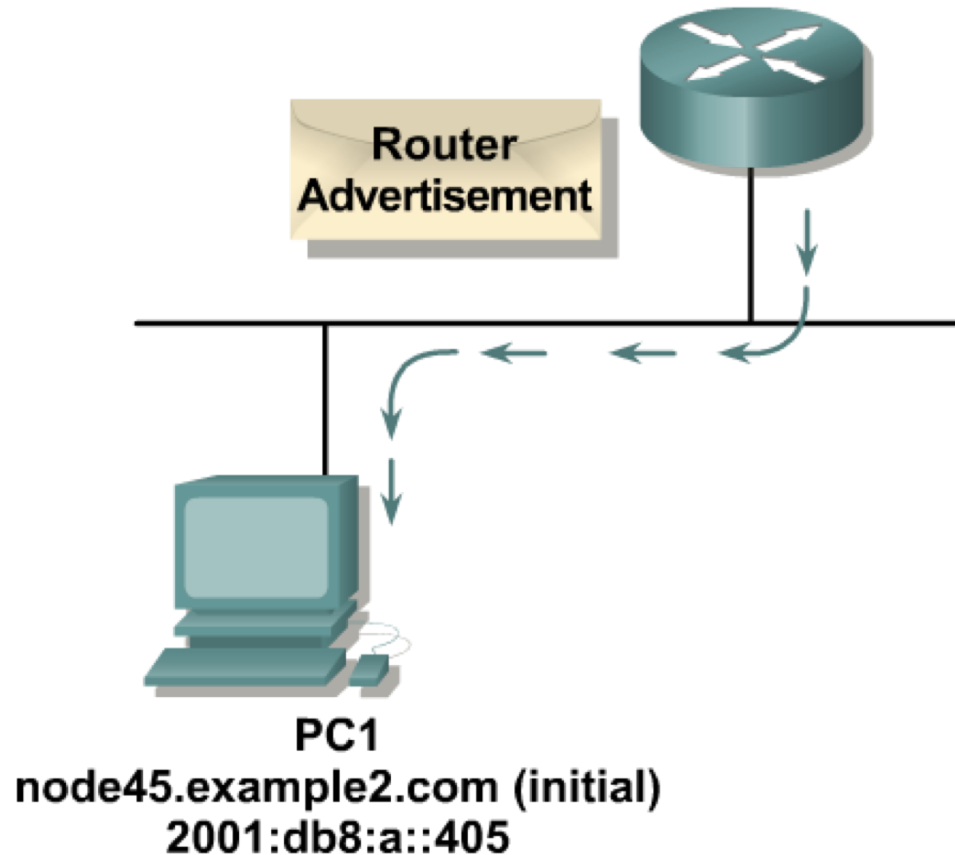
- Smerovač posiela rozhraním informácie všetkým uzlom na sieti (tzv. router advertisement správy, RA)
- Stanica si dokáže sama pridelit' adresu tak, že pripojí svoj 64-bitový Interface ID k prefixu siete, ktorý prijala od routera v RA správe
- Výsledok je 128-bitová adresa, ktorá je použiteľná a garantovane globálne unikátna

Postup bezstavovej konfigurácie adresy



- Fáza 1: PC odošle správu „router solicitation“ a vyžiada si sieťový prefix pre bezstavovú konfiguráciu

Postup bezstavovej konfigurácie adresy

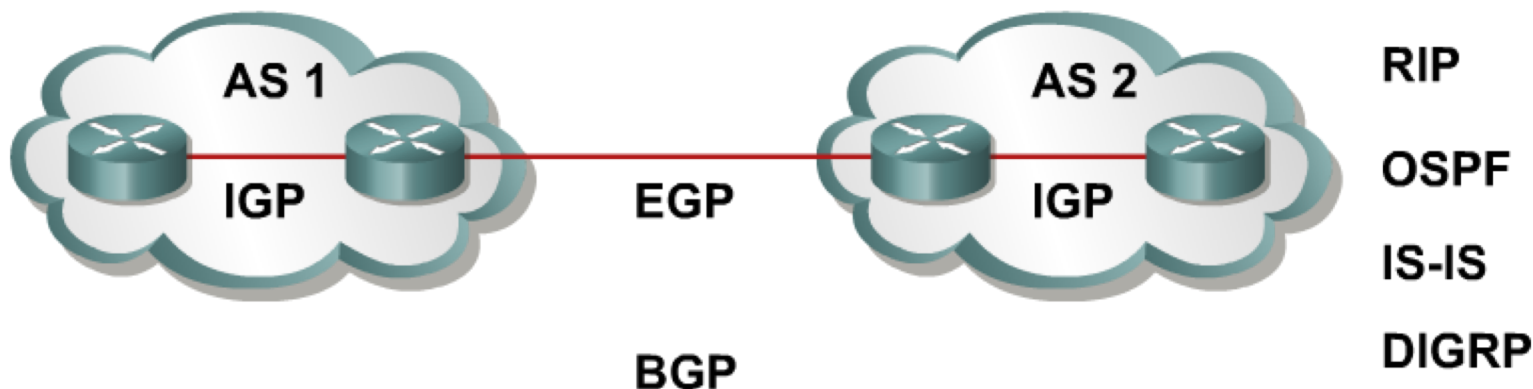


- Fáza 2: Router odpovedá správou Router Advertisement, v ktorej uvedie okrem iných údajov aj prefix lokálnej siete

Smerovacie protokoly pre IPv6



Smerovacie protokoly s podporou IPv6



- Možnosti pre smerovanie v IPv6
 - Statické smerovanie
 - RIPng (RFC 2080)
 - OSPFv3 (RFC 2740)
 - IS-IS pre IPv6
 - MP-BGP4 (RFC 2545/2858)
 - EIGRP pre IPv6
- Pred akoukoľvek konfiguráciou IPv6 na routeri je potrebné zadať príkaz **ipv6 unicast-routing**

RIPng

- Rovnaké vlastnosti ako v IPv4:
 - Distance-vector princíp, maximálne 15 hopov, split-horizon a poison reverse
 - Založený na RIPv6
- Aktualizované vlastnosti pre IPv6:
 - Prenos prefixov a next-hop adries vo formáte IPv6
 - Aktualizácie posielajú pomocou UDP, port 521, na multicastovú adresu FF02::9, tzv. all-rip-routers skupinu

```
R1(config) # ipv6 router rip BABETA
```

```
R1(config) # int fa0/0
```

```
R1(config-if) # ipv6 ena
```

```
R1(config-if) # ipv6 rip BABETA enable
```

Integrované IS-IS

- Činnosť je zhodná s prácou IS-IS pre IPv4
- Rozšírenia pre IPv6:
 - 2 nové triplety type-length-value (TLV):
 - IPv6 reachability (128 bitový prefix)
 - IPv6 interface address (128 bitov)
 - Nový indentifikátor sieťového protokolu
 - Zatiaľ nedospel do stavu IETF štandardu

Multiprotocol Border Gateway Protocol (MP-BGP) (RFC 2858)

- Multiprotokolové rozšírenia pre BGPv4:
 - Podpora rôznych sieťových protokolov
 - Identifikátory rodín sieťových protokolov
- Špecifické rozšírenia pre IPv6:
 - NEXT_HOP obsahuje globálnu IPv6 adresu a prípadne aj link-local adresu (len ak sused je priamo pripojený)
 - NEXT_HOP a NLRI (Network Layer Reachability Information) sú vyjadrené ako IPv6 adresy v atribútoch MP-BGP

OSPF Version 3 (OSPFv3) (RFC 2740)

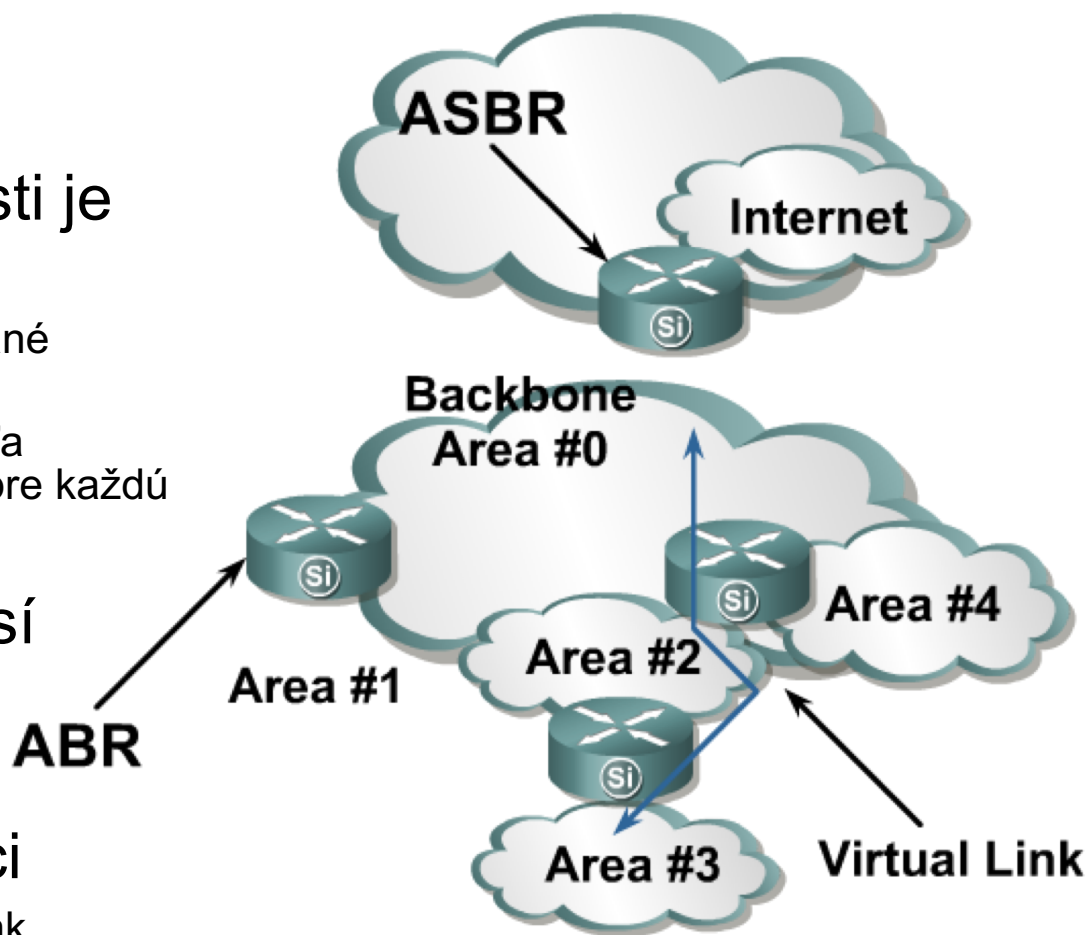
- Podobný svojmu IPv4 prot'ajšku:
 - Rovnaký mechanizmus, avšak pomerne podstatné úpravy „vnútorností“
- Aktualizované vlastnosti pre IPv6:
 - Odstránené všetky IPv4-špecifické záležitosti
 - Prenáša IPv6 prefixy
 - Ako adresy odosielateľa sa využívajú link-local adresy
 - Segmenty OSPFv3 sú zabalené do IPv6
 - OSPF pre IPv6 je v súčasnosti tzv. proposed štandardom IETF

OSPFv3



OSPFv3 – Pripomenutie vlastností

- Autonómny systém je rozdelený na oblasti
- Topológia jednej oblasti je skrytá pred ostatnými
 - Preposielania LSA je limitované hranicami oblastí
 - Dijkstrov algoritmus sa spúšťa nezávisle v každej oblasti a pre každú oblasť
- Chrbticová oblasť musí byť súvislá
- Všetky oblasti musia byť pripojené k chrbtici
 - Inak sa musí použiť virtual link



OSPFv3—Podobnosti s OSPFv2

- OSPFv3 je verzia OSPF pre IPv6 (RFC 2740):
 - Vychádza z OSPFv2 + rozšírenia
 - Distribuuje IPv6 prefixy
 - Beží priamo nad IPv6
- OSPFv3 & v2 je možné v sieti prevádzkovať súčasne, každá si spravuje vlastnú databázu
- OSPFv3 používa rovnaké základné typy paketov:
 - Hello
 - Database description block (DDB)
 - Link state request (LSR)
 - Link state update (LSU)
 - Link state acknowledgement (LSAck)

OSPFv3—Podobnosti s OSPFv2

- Mechanizmus zisťovania susedov a tvorby neighborhood/adjacency sú identické
- Podpora pre RFC-definované NBMA a point-to-multipoint režimy je identická, rovnako ako Cisco špecifická podpora pre point-to-point a broadcast
- Princíp pre LSA flooding and aging je zhodný

Rozdiely medzi OSPFv2 a OSPFv3

- OSPFv3 má rovnaké typy paketov, niektoré však zmenili formát

Packet Type	Description
1	Hello
2	Database Description
3	Link State Request
4	Link State Update
5	Link State Acknowledgement

- Všetky OSPFv3 pakety majú 16B hlavičku namiesto 24B hlavičky v OSPFv2

Version	Type	Packet Length
Router ID		
Area ID		
Checksum	Autype	
Authentication		
Authentication		

Version	Type	Packet Length
Router ID		
Area ID		
Checksum	Instance ID	0

314P_110

Rozdiely medzi OSPFv2 a OSPFv3

OSPFv3 pracuje nad linkou, nie nad subnetom

- V IPv6 sú rozhrania pripojené k linkám, nie k subnetom
- Nad jednou linkou môže byť mnoho IPv6 „subnetov“ – prefixov
- Pojmy „network“ a „subnet“ sa nahrádzujú pojmom “link”
- Dva OSPFv3 routery môžu komunikovať, aj ak na linke nemajú spoločný subnet – prefix

Rozdiely medzi OSPFv2 a OSPFv3

Nad jednou linkou môže bežať viacero OSPFv3 inštancií

- Je možné, aby jedna linka patrila do viacerých nezávislých oblastí, napríklad pri spojení dvoch autonómnych systémov
- V paketoch OSPFv3 je definované nové pole s názvom Instance ID, ktoré identifikuje inštanciu OSPFv3, ktorá daný paket vygenerovala
- Aby dva OSPFv3 routery komunikovali, musia sa zhodnúť na číslach inštancií. By default, číslo inštancie je 0 a pre každú ďalšiu inštanciu sa inkrementuje.

Rozdiely medzi OSPFv2 a OSPFv3

- Použité multicastové adresy
 - FF02::5 – Všetky OSPFv3 routery na segmente (link-local scope)
 - FF02::6 – Všetky DR/BDR routery na segmente (link-local scope)
- Zmena v spôsobe používania adries
 - IPv6 adresy sa nenachádzajú v hlavičkách IPv6 paketov
 - Router LSA (LSA1) a network LSA (LSA2) neobsahujú IPv6 adresy
 - Router ID, area ID a link-state ID zostávajú 32-bitové
 - DR a BDR sú identifikované podľa ich Router ID, nie podľa ich IPv6 adresy
- Bezpečnosť
 - OSPFv3 využíva IPSec hlavičky AH a ESP pre autentifikáciu
 - Samotné OSPFv3 neobsahuje nijaký mechanizmus pre autentifikáciu

Prehľad LSA

	LSA Function Code	LSA Type
Router-LSA	1	0x2001
Network-LSA	2	0x2002
Inter-Area-Prefix-LSA	3	0x2003
Inter-Area-Router-LSA	4	0x2004
AS-External-LSA	5	0x4005
Group-Membership-LSA	6	0x2006
Type-7-LSA	7	0x2007
Link-LSA	8	0x2008
Intra-Area-Prefix-LSA	9	0x2009

Premenované

Nové

Konfigurácia OSPFv3



Konfigurácia OSPFv3

- Využíva sa spôsob konfigurácie priamo na rozhraní podobne ako v OSPFv2 resp. IS-IS
 - Namiesto slova „ip“ sa používa „ipv6“
- OSPFv3 sa zásadne konfiguruje na rozhraniach
 - Príkaz `network` v OSPFv3 neexistuje
- Konfiguračná sekcia pre OSPFv3 (arey, autentifikácia, Router ID...)
 - Samostatný kontext: `ipv6 router ospf process-id`
 - Väčšina známych príkazov z OSPFv2 sa používa rovnako, resp. primerane vzhľadom na zmenu formátu adresy (napr. sumarizácia príkazmi `area range`, `summary-prefix`, nastavenie typov arey, redistribúcia, atď...)

OSPFv3 Configuration Example

```
Router1(config)#
ipv6 unicast-routing
interface S1/1
  ipv6 address 2001:410:ffff:1::1/64
  ipv6 ospf 100 area 0

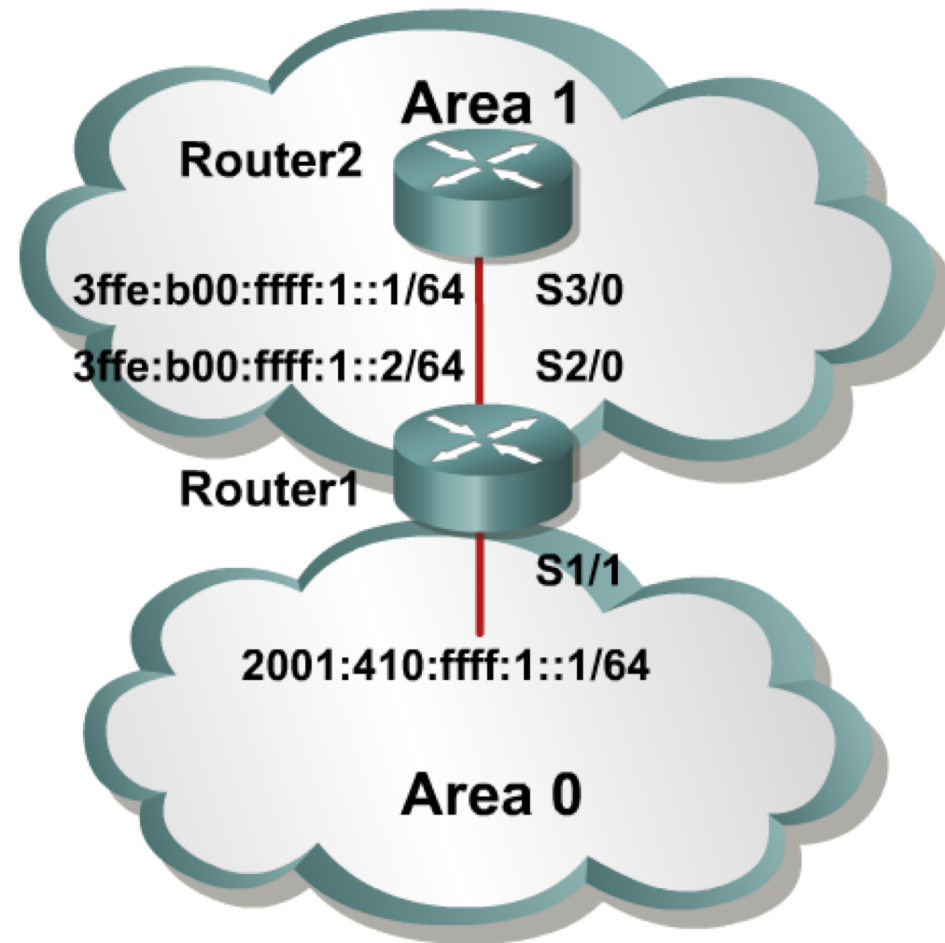
interface S2/0
  ipv6 address 3FFE:B00:ffff:1::2/64
  ipv6 ospf 100 area 1

ipv6 router ospf 100
  router-id 10.1.1.3

Router2(config)#
ipv6 unicast-routing
interface S3/0
  ipv6 address 3FFE:B00:ffff:1::1/64
  ipv6 ospf 100 area 1

interface S2/0
  ipv6 address 3ffe:b00:ffff:1::2/64
  ipv6 ospf 100 area 1

ipv6 router ospf 100
  router-id 10.1.1.4
```



IPv6 EIGRP

```
R1(config) # ipv6 router eigrp 64595
```

```
R1(config-router) # no shutdown
```

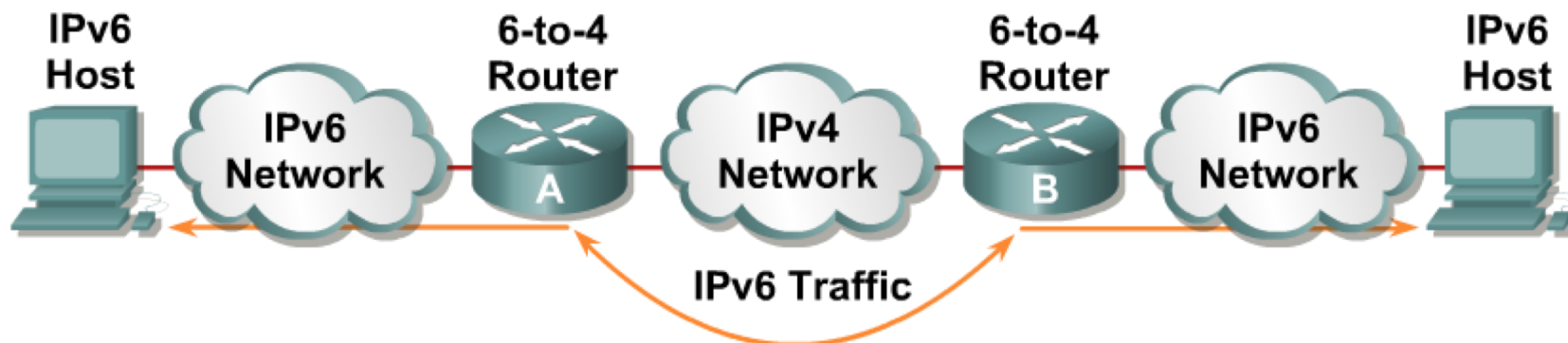
```
R1(config) # int fa0/0
```

```
R1(config-if) # ipv6 eigrp 64595
```

Migrácia medzi IPv4 a IPv6

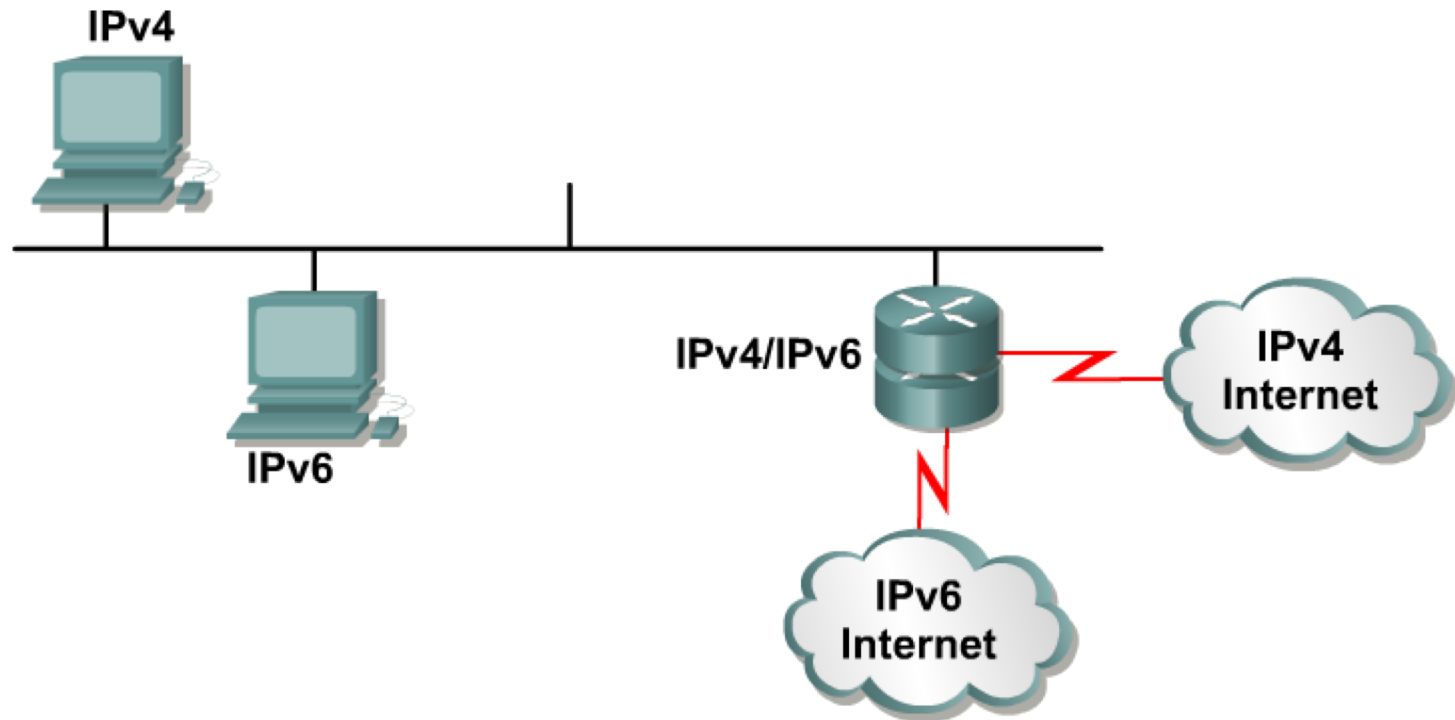


Migrácia medzi IPv4 a IPv6



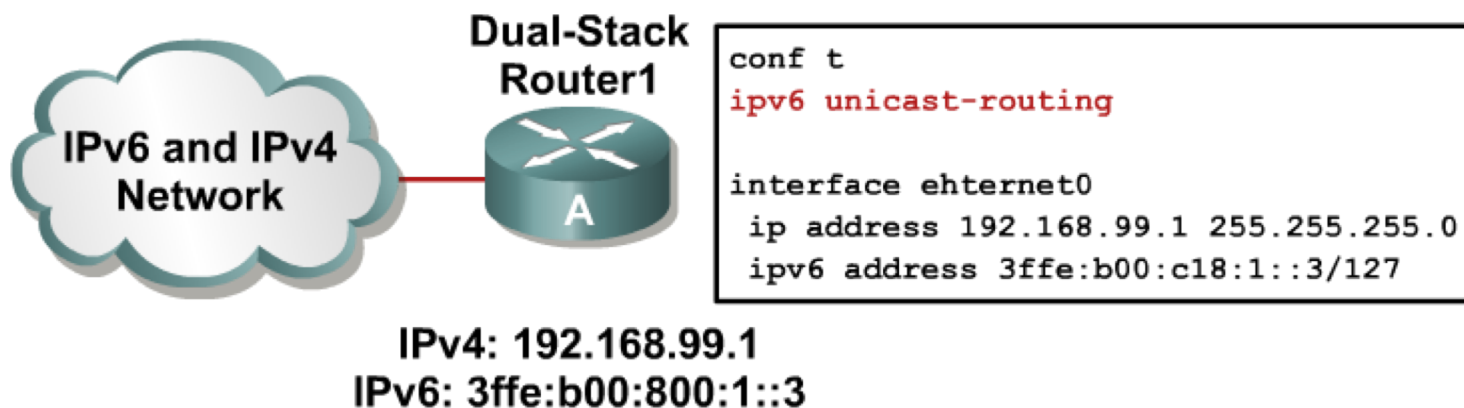
- Pre migráciu z IPv4 na IPv6 je definovaných niekoľko rôznych mechanizmov, a nie je nevyhnutné urobiť skokový prechod
- Migračné mechanizmy
 - Dual-stack
 - Statické tunely, 6over4 tunely (zriedka používané, RFC 2529), 6to4 tunely (RFC 3056)
 - ISATAP tunely (RFC 4214)
 - Teredo tunely (RFC 4380)
 - NAT-PT (Protocol Translation)

Dual Stack



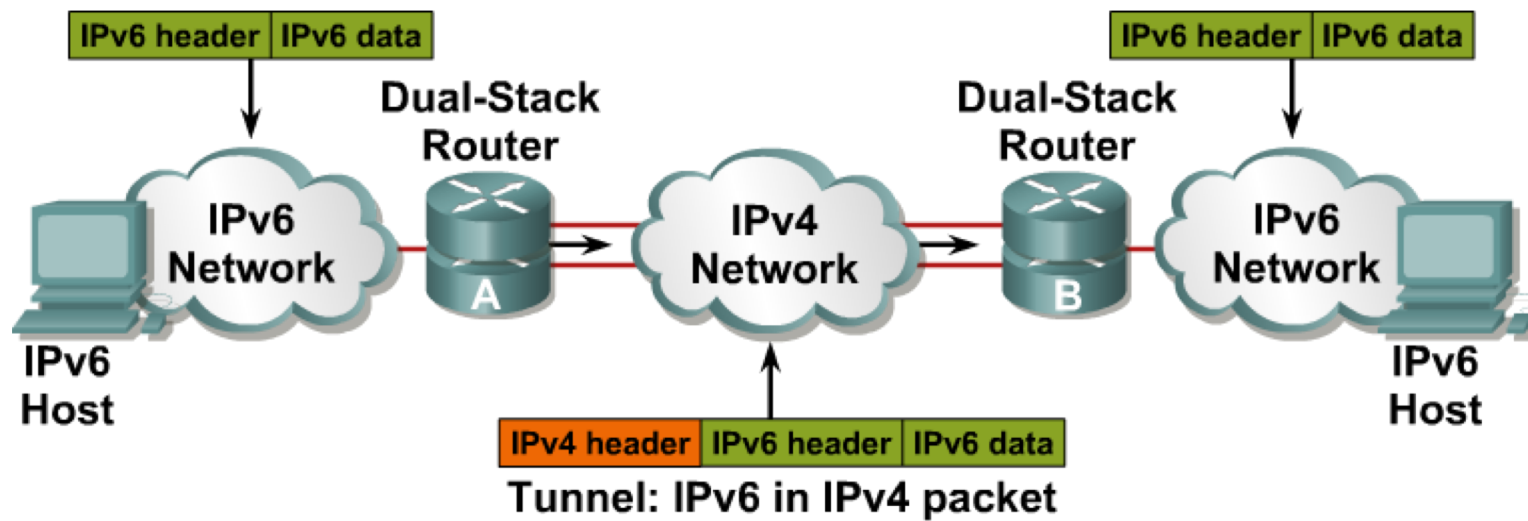
- Dual stack je integračná metóda, kde každá stanica aj router implementuje aj IPv4, aj IPv6
- Protokoly sú na sebe úplne nezávislé

Dual stack spôsob konfigurácie



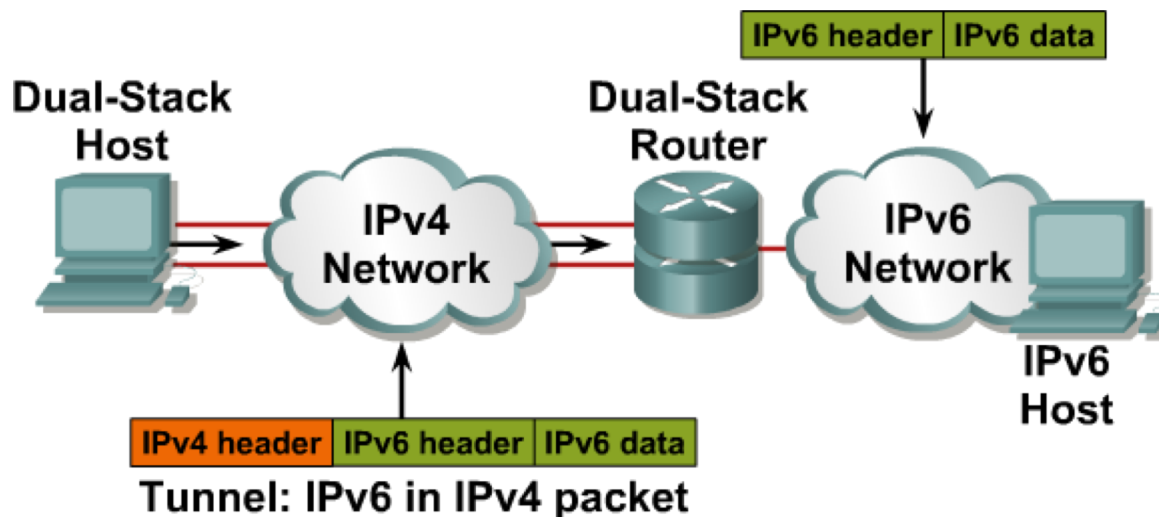
- Stačí nakonfigurovať na rozhraní IPv4 aj IPv6 adresu

Tunelovanie IPv6 v IPv4



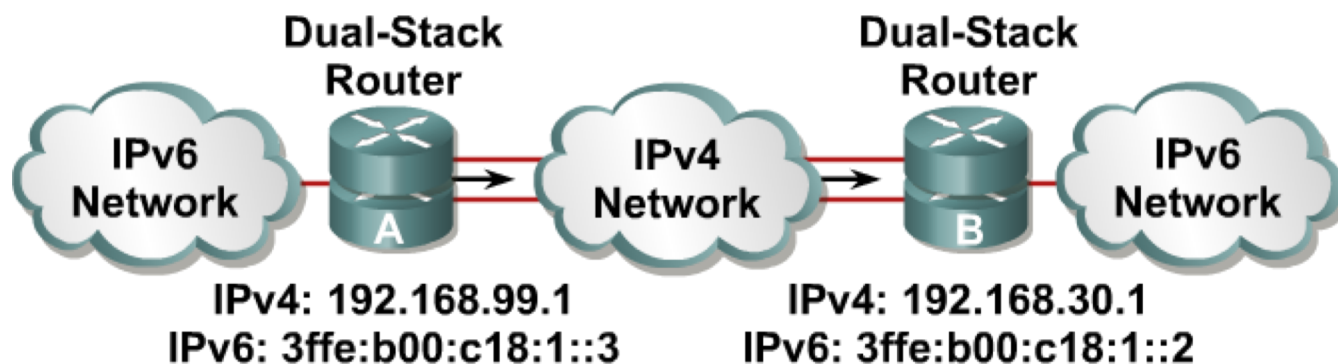
- Tunelovanie je integračná metóda, kde sa IPv6 paket zapúzdri do paketu iného protokolu, napr. IPv4 (číslo protokolu 41)
 - Overhead tohto tunela je 20B (hlavička IPv4 bez voliteľných častí)
 - Tento spôsob vyžaduje dual-stacked routery

Tunelovanie IPv6 v IPv4



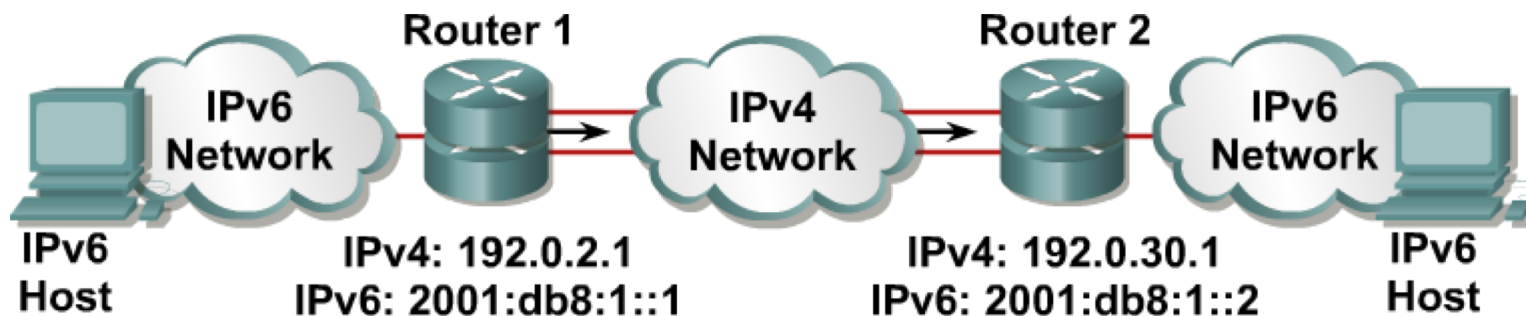
- Zapúzdrenie môže realizovať nielen router, ale aj stanica, ak jej operačný systém ovláda príslušný spôsob tunelovania

Konfigurácia statických tunelov



- Konfigurácia statických tunelov vyžaduje:
 - Dual-stack endpointy
 - IPv4 a IPv6 adresy konfigurované na oboch koncoch tunela

Príklad konfigurácie: statické tunely



Router1#	Router2#
<pre>interface Tunnel0 ipv6 address 2001:db8:1::1/64 tunnel source 192.0.2.1 tunnel destination 192.0.30.1 tunnel mode ipv6ip</pre>	<pre>interface Tunnel0 ipv6 address 2001:db8:1::2/64 tunnel source 192.0.30.1 tunnel destination 192.0.2.1 tunnel mode ipv6ip</pre>

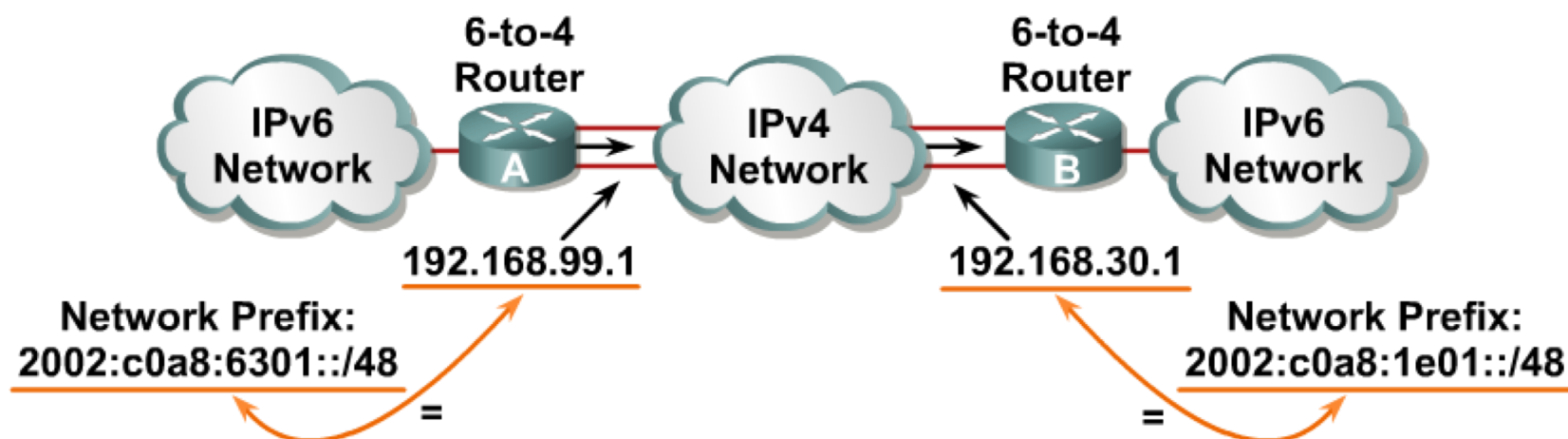
6to4 tunely (RFC 3056)

- 6to4 tunely sú (na rozdiel od trvalých statických tunelov) tunely, ktoré môžu mať mnoho koncových bodov
- IPv6 prefixy jednotlivých IPv6 ostrovov oddelených IPv4 internetom sú navrhnuté tak, aby v sebe obsahovali priamo IPv4 adresu tunelujúceho routera, ktorý je na okraji tohto ostrova
 - IPv6 adresy pri použití 6to4 tunelov využívajú prefix **2002::/16**
 - Ďalších 32 bitov vyjadruje IPv4 adresu routera, ktorý je na vstupe/výstupe nášho IPv6 ostrova a ktorý realizuje tunelovanie
 - Výsledný 48-bitový prefix je prefix spoločný pre celý IPv6 ostrov. Zostáva tak k dispozícii 16 bitov pre Subnet ID a 64 bitov pre Interface ID, rovnako ako v bežných Global Unicast adresách

6to4 tunely (RFC 3056)

- Príklad:
 - Router na vstupe do nášho IPv6 ostrovčeka má verejnú IPv4 adresu **192.0.2.36**
 - Hexadecimálny prepis tejto adresy je **C0.0.2.24**
 - Všetky IPv6 zariadenia v našom ostrovčeku majú teda IPv6 prefix **2002:C000:0224/48**
 - Routery na susedných IPv6 lokalitách musia mať akurát vhodne nastavené smerovanie, aby pre prístup do IPv6 sietí s prefixom **2002::/16** používali 6to4 tunel
- Postup konfigurácie:
 - Vytvoriť rozhranie pre tunel
 - Nastaviť režim tunela: **tunnel mode ipv6ip 6to4**
 - Vytvoriť primeraný adresový plán a nastaviť IPv6 adresy na rozhraniach
 - Nastaviť vhodnú IPv6 adresu na tuneli, alebo si ju vypožičať cez príkaz **unnumbered**
 - Nastaviť IPv6 smerovanie cez tunel

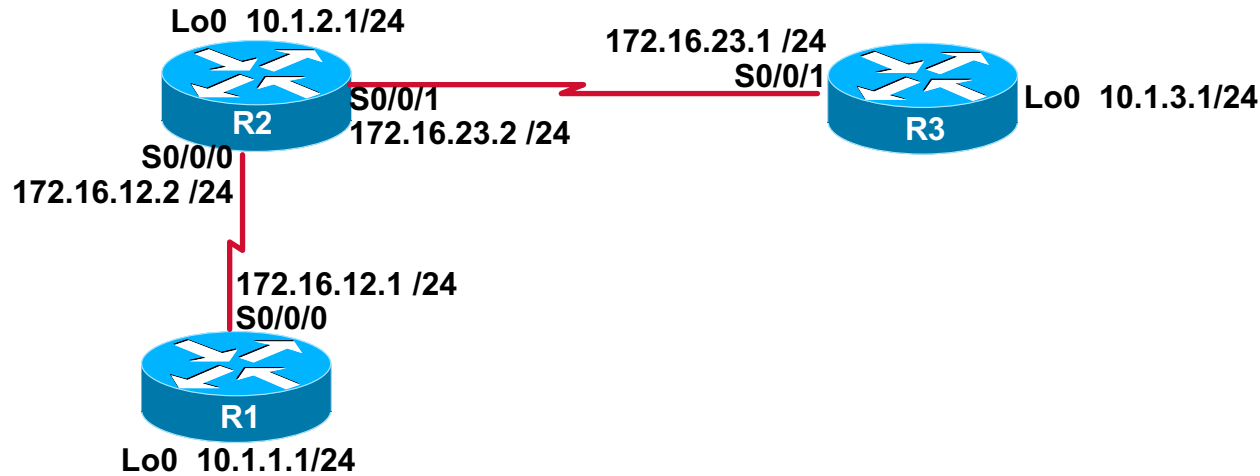
6to4 tunely (RFC 3056)



■ 6to4:

- Na tuneloch nie je potrebné definovať endpoint (druhý koniec)
- Každý IPv6 ostrov má jednoznačný globálne platný prefix

Príklad konfigurácie: 6to4 tunel



```
R1
R1(config)# interface tunnel 0
R1(config-if)# tunnel mode ipv6ip 6to4
R1(config-if)# ipv6 address 2002:AC10:0C01:1::1/64
R1(config-if)# tunnel source s0/0/0
Exit
R1(config)# ipv6 route 2002::/16 tunnel 0
```

Verification

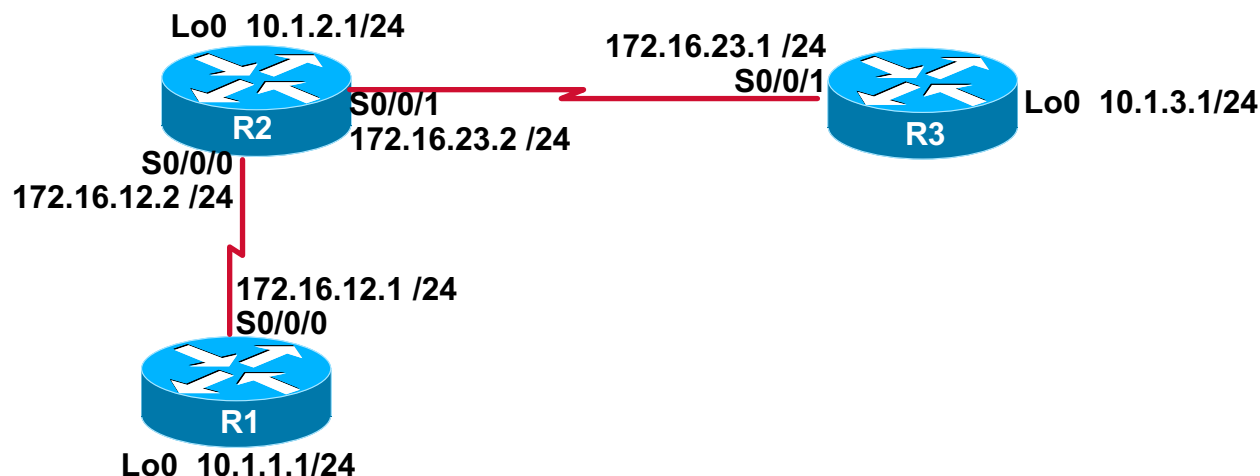
```
R1#ping 2002:AC10:1703:1::3
```

```
R3
R3(config)# interface tunnel 0
R3(config-if)# tunnel mode ipv6ip 6to4
R3(config-if)# ipv6 address 2002:AC10:1703:1::3/64
R3(config-if)# tunnel source s0/0/1
Exit
R3(config)# ipv6 route 2002::/16 tunnel 0
```

Verification

```
R3#ping 2002:AC10:1::1
```

Konfigurácia statického smeru cez 6to4 tunel



Router 1

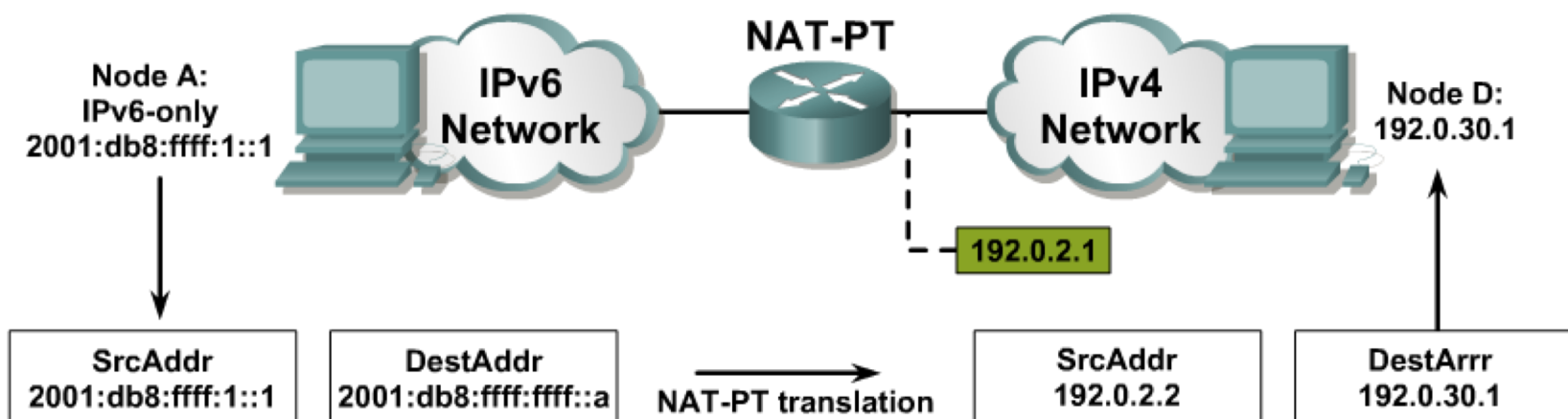
```
Router1(config)# ipv6 unicast-routing  
Router1(config)# ipv6 route FEC0::3:0/112 2002:AC10:1703:1::3
```

Router 3

```
Router3(config)# ipv6 unicast-routing  
Router3(config)# ipv6 route FEC0::1:0/112 2002:AC10:C01:1::1
```

**Next hop oboch smerovačov je IPv6 adresa
prot'ajšieho konca tunela**

Preklad protokolov: NAT-PT



- NAT-Protocol Translation (NAT-PT) je prekladový mechanizmus na rozhraní medzi IPv6 a IPv4 sieťou
- Jeho úlohou je prekladať IPv6 pakety na IPv4 a naopak
- Tento prístup je vhodný pre umožnenie spolupráce medzi uzlami, z ktorých jeden je IPv4-only alebo IPv6-only

