



PIKS, prednáška 8

Adresovanie v IPv6 sieťach

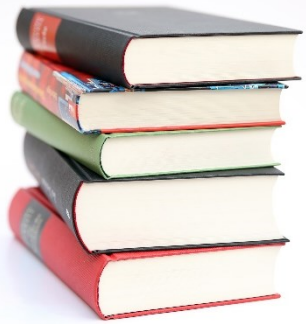
Introduction to Networks v6.0 – časti 7.2, 7.3.1, 8.3.1

Katedra informačných sietí

Fakulta riadenia a informatiky, UNIZA



Networking
Academy



Obsah prednášky

- 7.2 IPv6 adresy
 - 7.2.1: Problémy v IPv4
 - 7.2.2: Zápis IPv6 adresy
 - 7.2.3: Typy IPv6 adries
 - 7.2.4: Unicastové IPv6 adresy
 - 7.2.5: Multicastové IPv6 adresy
- 7.3.1 ICMPv6
- 8.3.1 Subsietovanie v IPv6



Časť 7.2: IPv6 adresy

Nájdeme odpovede na otázky:

- Aké problémy IPv4 adresovania rieši IPv6?
- Ako reprezentovať IPv6 adresu? Aké má časti?
- Aké sú typy IPv6 adries?
- Ako nakonfigurovať IPv6 adresu typu global unicast?
- Ako sa v IPv6 adresuje multicast?

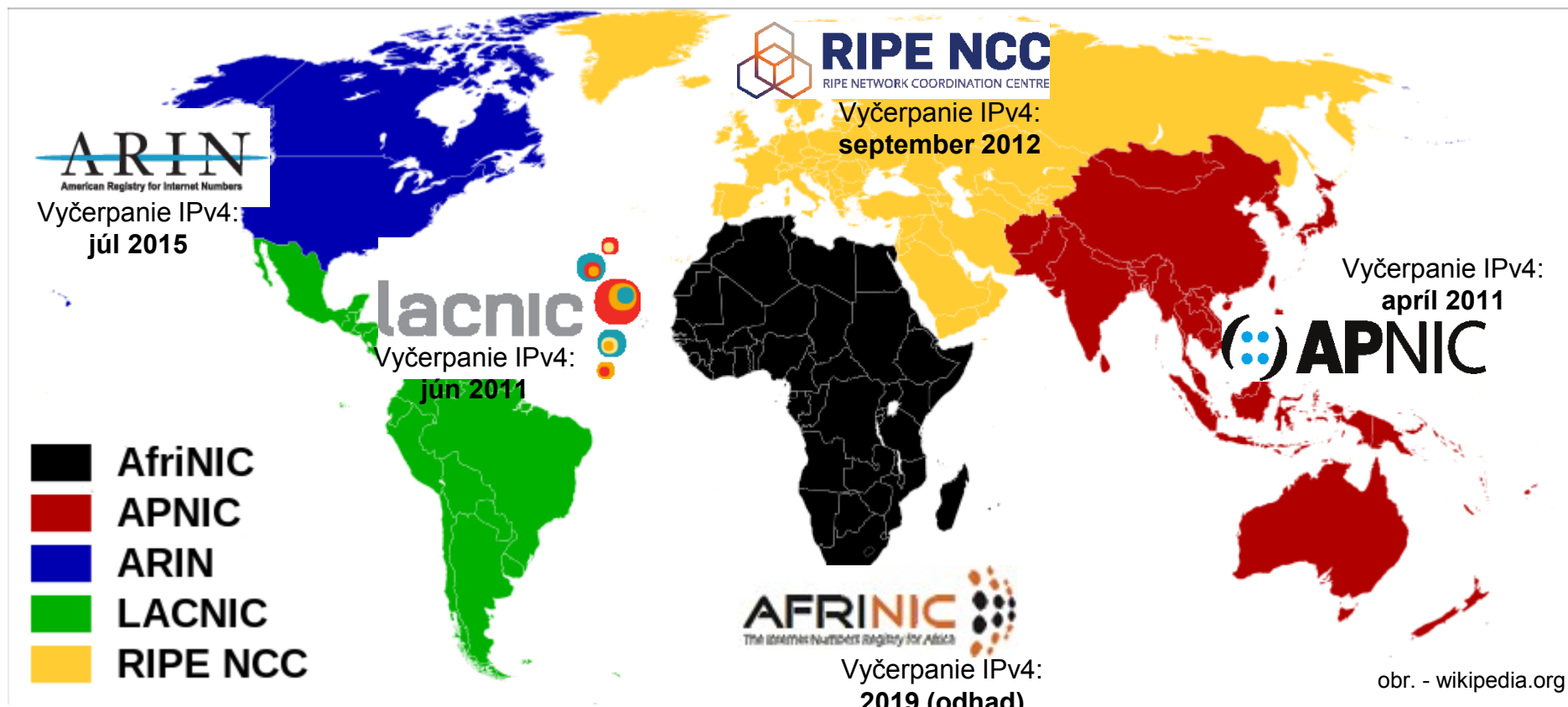


Téma 7.2.1: Problémy v IPv4

Regional internet registries

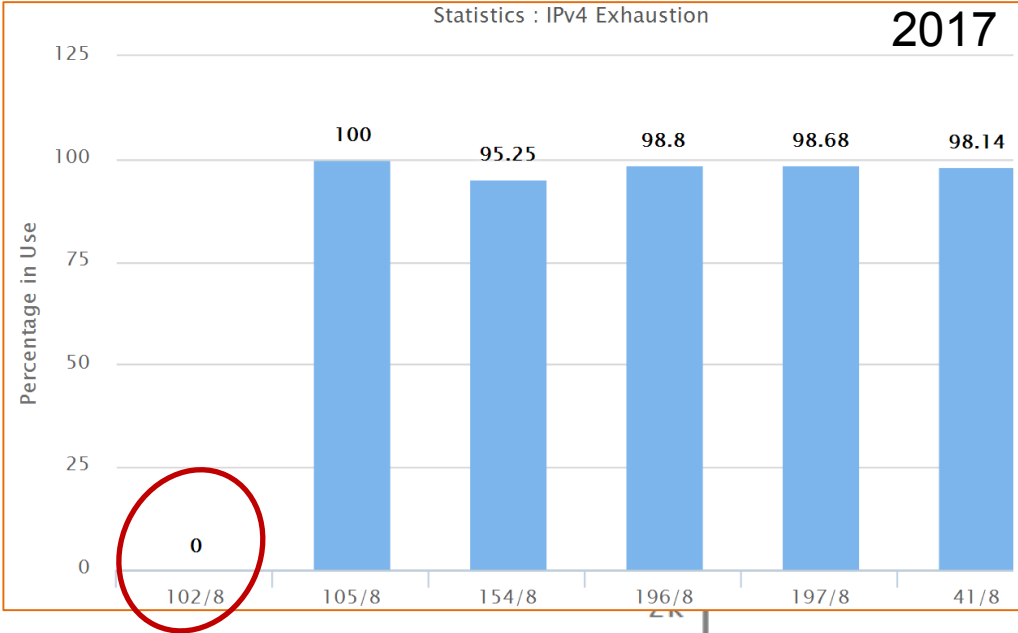
- Manažujú prideľovanie a registráciu IP adries pre daný región (IPv4 aj IPv6)
 - pre Európu je správcom RIPE

(aj čísiel autonómnych systémov – objavíte v predmetoch PS1,2)

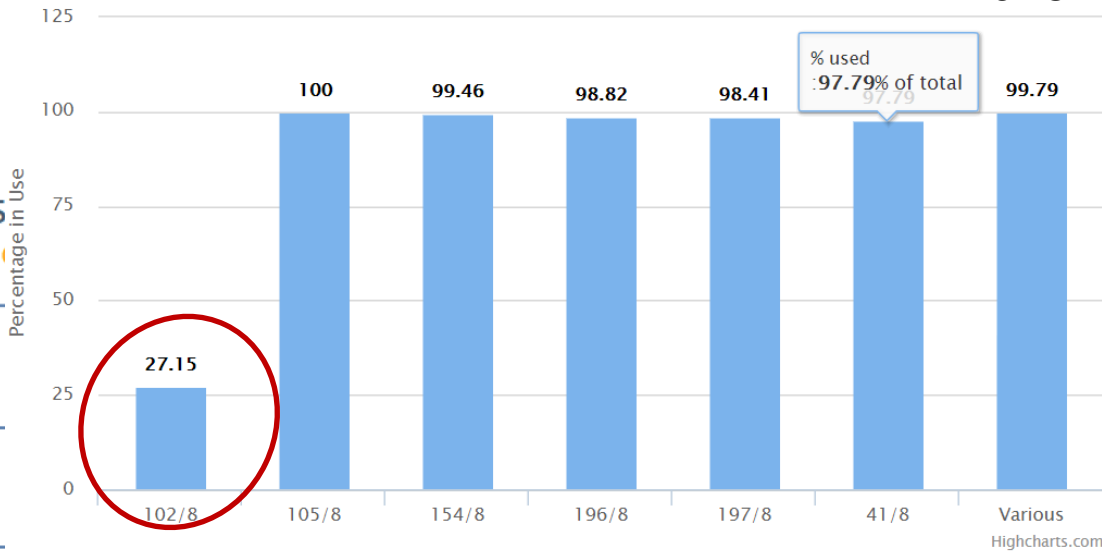


- African Network Information Center (AFRINIC) pre Afriku
- Asia-Pacific Network Information Centre (APNIC) pre Áziu, Austráliu, Nový Zéland a susedné krajiny.
- American Registry for Internet Numbers (ARIN) pre USA, Kanadu, niektoré časti Karibiku a Antarktídu.
- Latin America and Caribbean Network Information Centre (LACNIC) pre Latinskú Ameriku a časť Karibiku.
- Réseaux IP Européens Network Coordination Centre (RIPE NCC) pre Európu, Rusko, Stredný východ a centrálnu časť Ázie

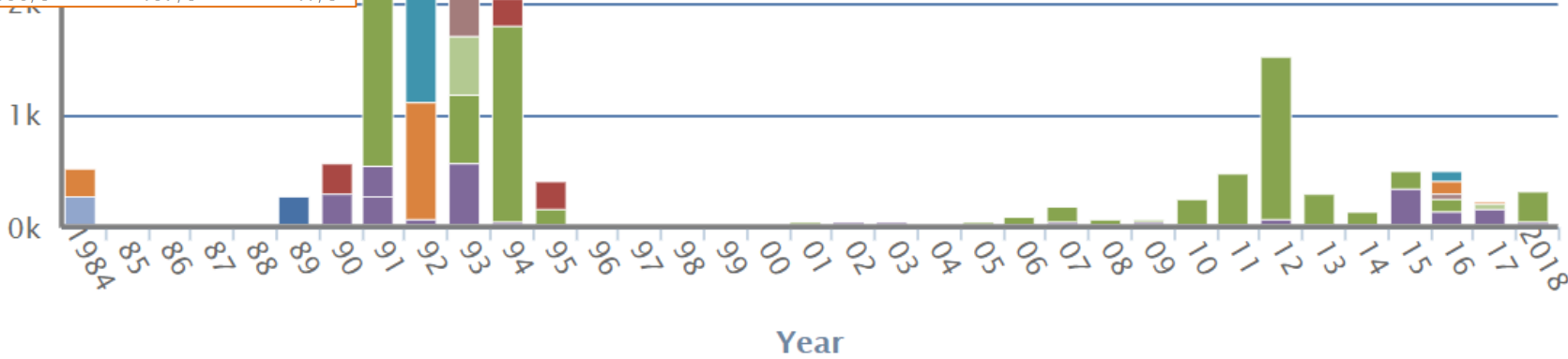
AFRINIC ako posledný Mohykán



IPv4 PI As
Click and



IPv4 PI Assignment By Prefix (/24s)
Click and drag in the plot area to zoom in

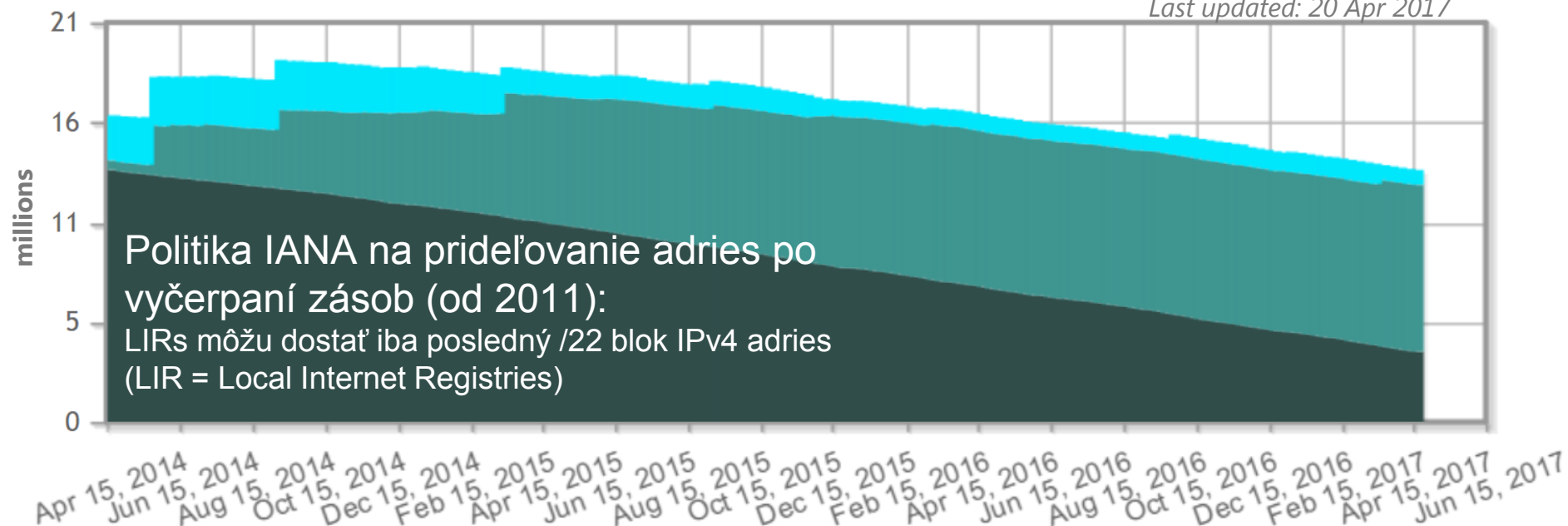


- 163/8
- 137/8
- 146/8
- 152/8
- 155/8
- 160/8
- 143/8
- 164/8
- 165/8
- 168/8
- 169/8
- 196/8
- Other

RIPE prideľuje z posledných zásob IPv4

RIPE NCC IPv4 Pool – Last 36 Months

Last updated: 20 Apr 2017



■ Posledný /8 blok dostupný na prideľovanie: 185.0.0.0

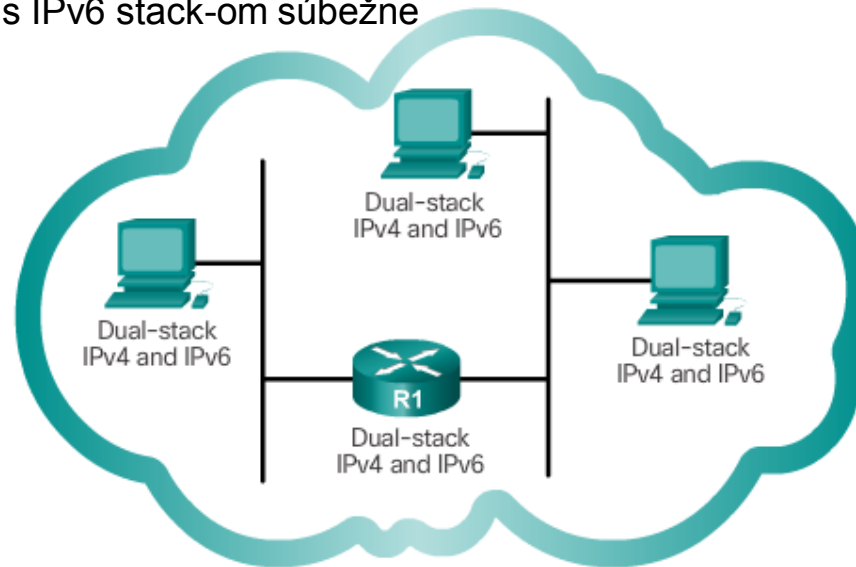
■ Ostatné dostupné adresy mimo bloku 185/8

- Adresy od IANA z tzv. „recovered IPv4 rozsahu“. Adresy už alokované, ktoré sa ale navrátia späť (napr. LIR ukončí svoje fungovanie, po určitej dobe sa môže jeho adresný rozsah(y) opäť prideľovať)

■ Rezervovaný rozsah (/13 pre dočasné prideľovanie, /16 pre IXPs, a /16 pre nepredvídateľné okolnosti, ako aj „recovered“ IPv4 rozsah ešte stále v karanténe)

Techniky migrácie z IPv4 na IPv6

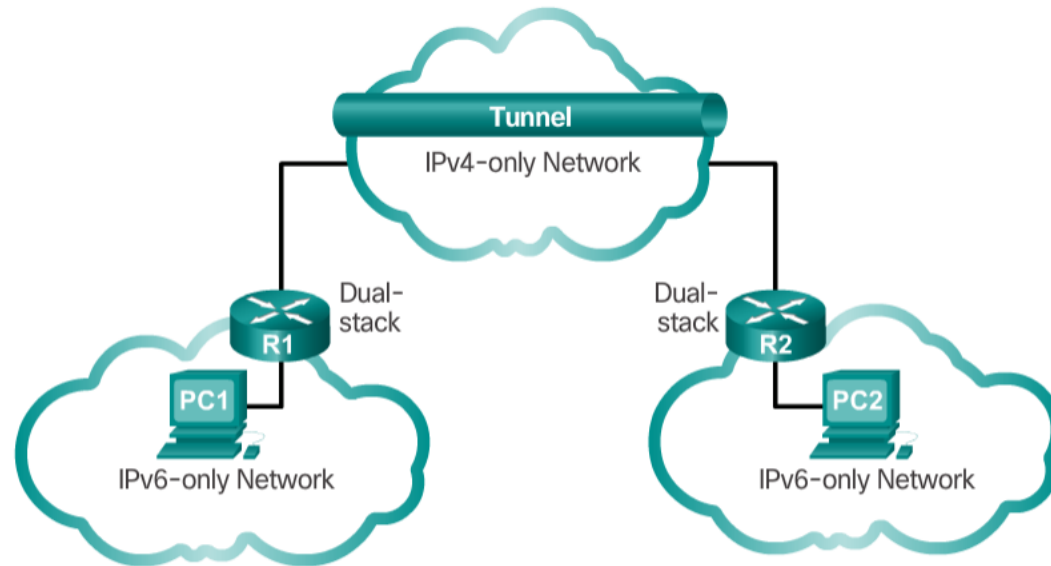
- Prechod na IPv6 bude trvať roky...
- IETF pomáha tomuto prechodu rôznymi protokolmi a nástrojmi pre migráciu na IPv6:
 - **Dual stack**
 - Zariadenia bežia s IPv4 aj s IPv6 stack-om súbežne



- Tunneling
- Translation
- V budúcnosti je cieľom mať IPv6 komunikáciu od zdroja až k cieľu

Techniky migrácie z IPv4 na IPv6

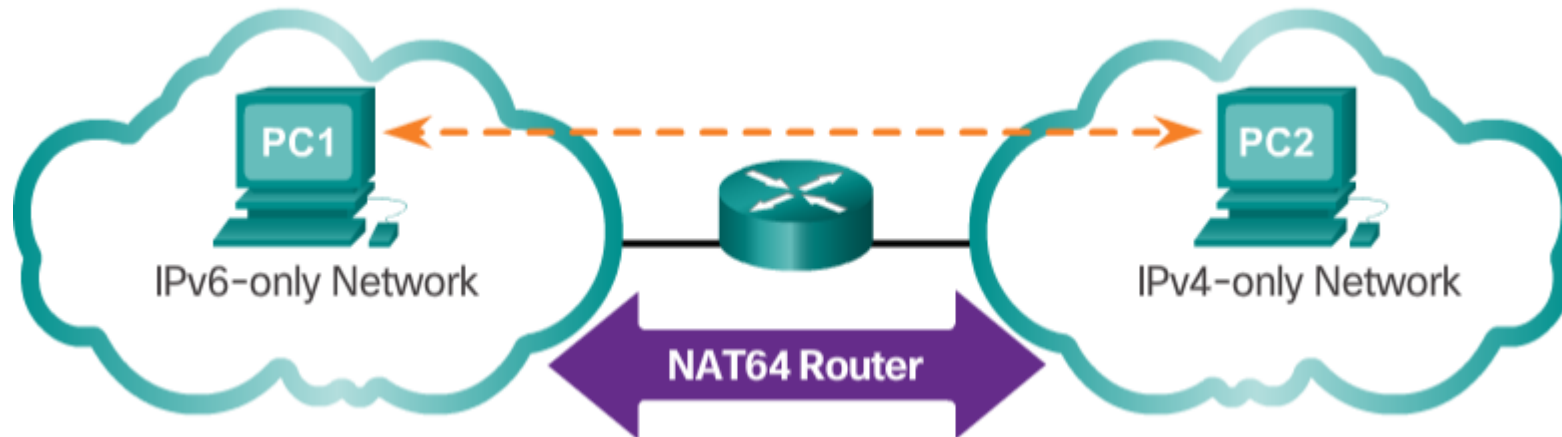
- IETF pomáha tomuto prechodu rôznymi protokolmi a nástrojmi pre migráciu na IPv6:
 - Dual stack
 - **Tunneling**
 - IPv6 sa zabalí do IPv4 a prenesie sa cez IPv4 sieť



- Translation
- V budúcnosti je cieľom mať IPv6 komunikáciu od zdroja až k cieľu

Techniky migrácie z IPv4 na IPv6

- IETF pomáha tomuto prechodu rôznymi protokolmi a nástrojmi pre migráciu na IPv6:
 - Dual stack
 - Tunneling
 - **Translation**
 - Na hraniciach sietí s IPv4 a IPv6 sa robí preklad z IPv6 do IPv4 alebo naopak:
 - Network Address Translation 64 (NAT64)



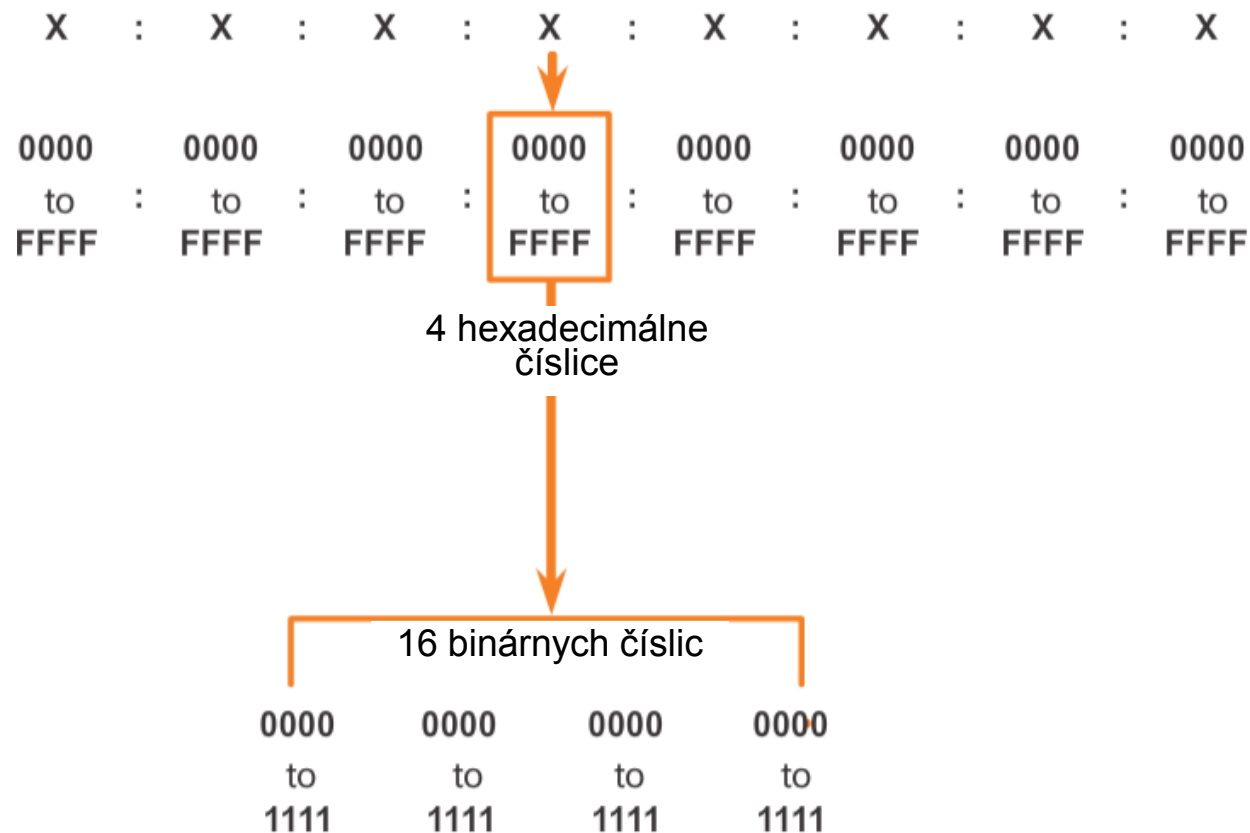
- V budúcnosti je cieľom mať IPv6 komunikáciu od zdroja až k cieľu



Téma 7.2.2: Zápis IPv6 adresy

Zápis IPv6 adres

- IPv6 adresa má 128 bitov, zapisujú sa ako:



- kde **x** je 16 bitové hexadecimalné pole
 - nazýva sa aj ako hextet = 4 hexadecimalné čísllice = 16 binárnych číslíc
 - nadobúda hodnoty od 0000 po FFFF, nie sú case-sensitive

Zápis IPv6 adries

Hexadecimal Numbering

Decimal and Binary equivalents of 0 to F Hexadecimal

Decimal	Binary	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Zápis IPv6 adres v plnom tvare

- Príklady IPv6 adres

2001 : 0DB8 : 0000 : 1111 : 0000 : 0000 : 0000 : 0200

2001 : 0DB8 : 0000 : 00A3 : ABCD : 0000 : 0000 : 1234

2001 : 0DB8 : 000A : 0001 : 0000 : 0000 : 0000 : 0100

2001 : 0DB8 : AAAA : 0001 : 0000 : 0000 : 0000 : 0200

FE80 : 0000 : 0000 : 0000 : 0123 : 4567 : 89AB : CDEF

FE80 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001

FF02 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001

FF02 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001 : FF00 : 0200

0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001

0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000

Zápis IPv6 adres v skrátenom tvare

- Pravidlo 1
 - Úvodné nuly v hextete sú nepovinné
- Príklady:

Preferred	2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
No leading 0s	2001: DB8: 0:1111: 0: 0: 0: 200

Preferred	FE80:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF
No leading 0s	FE80: 0: 0: 0: 123:4567:89AB:CDEF

Preferred	FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001
No leading 0s	FF02: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 1

Zápis IPv6 adries v skrátenom tvare

■ Pravidlo 2

- Za sebou idúce polia 0 sa dajú skrátit' zápisom ::
 - avšak len jedenkrát v adrese !
 - Prečo asi iba jedenkrát?
 - Ako potom parser IPv6 adresy vie interpretovať takto skrátenú IPv6 adresu?

■ Príklad:

Preferred	2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
No leading 0s	2001: DB8: 0:1111: 0: 0: 0: 200
Compressed	2001:DB8:0:1111::200

Zápis IPv6 adres v skrátenom tvare

Preferred	2001:0DB8:0000:0000:ABCD:0000:0000:0100
No leading 0s	2001: DB8: 0: 0:ABCD: 0: 0: 100
Compressed	2001:DB8::ABCD:0:0:100
or	
Compressed	2001:DB8:0:0:ABCD::100

Only one :: may be used.

Zápis IPv6 adres v skrátenom tvare

- Príklady

Preferred	FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001
No leading 0s	FF02: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 1
Compressed	FF02::1

Preferred	0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001
No leading 0s	0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 1
Compressed	::1

Preferred	0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000
No leading 0s	0: 0: 0: 0: 0: 0: 0: 0
Compressed	::



Téma 7.2.3: Typy IPv6 adres

Typy IPv6 adres

■ Unicast

- Adresa patrí jednému rozhraniu
- Existuje mnoho podtypov (napr. globálne a IPv4-mapované)
- Zdrojová adresa je vždy typu unicast

■ Multicast

- Pre adresovanie IPv6 paketu do viacerých cieľov
- Efektívnejšie využíva prostriedky siete
- Používa širší adresný rozsah
- Broadcast v IPv6 nemáme !
- Máme ale multicastovú adresu „all-nodes“

■ Anycast

- Ktorákoľvek IPv6 unicastová adresa, ale bude ju zdieľať viacero zariadení
- Všetky takéto zariadenia by mali poskytovať rovnaké služby
- Zdrojové zariadenia odosielajú pakety na anycast adresu
 - Nikdy nebude ako zdrojová adresa, vždy iba ako cieľová adresa v IPv6 pakete
- Smerovače smerujú takýto paket k najbližšiemu zariadeniu, ktoré má danú adresu
- Vhodné pre load balancing a poskytovanie obsahu (content delivery)

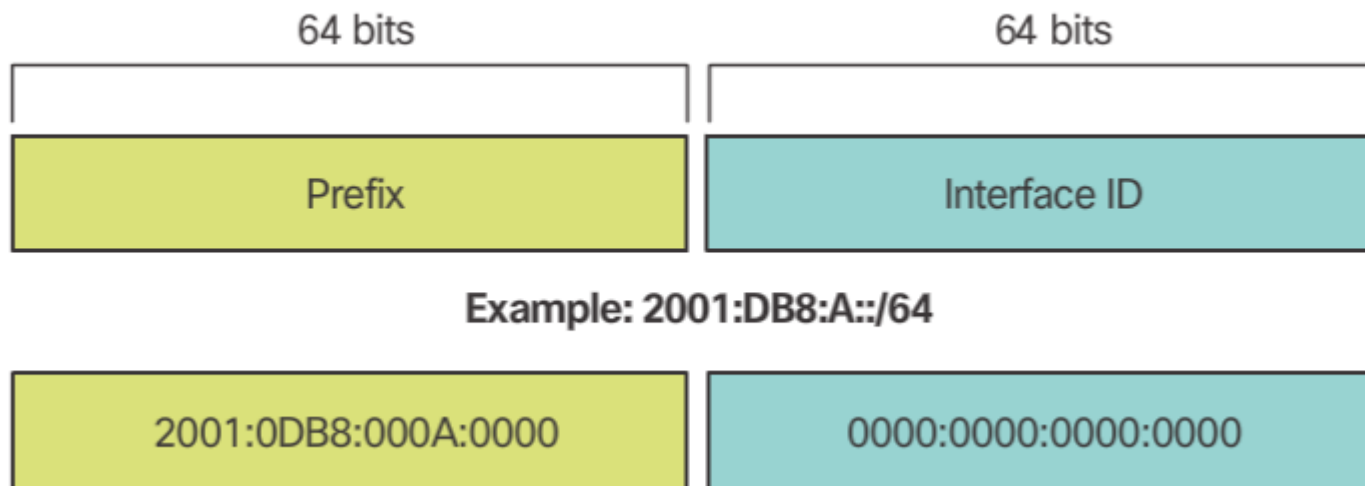
Typy IPv6 adries

Koľko adries pre jedno rozhranie?

- v IPv4 má rozhranie typicky len 1 adresu
- v IPv6 má rozhranie, až na výnimky, **niekoľko** adries

Zápis sieťovej masky v IPv6

- Hoci je v IPv6 možné podsieťovanie rovnakým princípom ako v IPv4 (požičiavanie si bitov do predčísľia), s ohľadom na obrovskú rezervu adries sa to nezvykne robiť
 - Interface ID má spravidla 64 bitov, vo výnimočných prípadoch (na point-to-point linkách) môže mať 126 alebo 127 bitov (RFC 6164)
- IPv6 nepoužíva bodkový desiatkový zápis sieťovej masky, iba **/dĺžka prefixu** (môže byť od 0 po 128, väčšinou ale **/64**)



Unicastové adresovanie v IPv6

Najbežnejšie typy IPv6 unicastových adries:

■ **Global unicast**

pr.: 2001:DB8:ABCD::1/64

- podobne ako verejné adresy v IPv4
- globálne jedinečné, smerovateľné v internete

■ **Link-local unicast**

FE80::/10

- pre komunikáciu so zariadeniami na tej istej lokálnej linke (subsieti)
- jedinečné musia byť iba v rámci danej linky, nesmerujú sa ďalej v Inete
 - nesmerujú sa pakety, ktoré majú zdrojovú alebo cieľovú adresu typu link-local
- pre účely automatickej konfigurácie adresy, neighbor discovery, ...

■ **Unique local unicast** (RFC 4193)

FC00::/7

- na lokálne adresovanie v rámci nejakej časti siete, nebudú smerované smerovačmi do internetu (trochu sa podobá na IPv4 privátne adresy), ale **navyše** pre ne platí:
 - nerobí sa žiadny preklad na global unicast adresy, sú určené iba pre zariadenia, ktoré nemajú/nepotrebuju prístup do internetu (teraz ani nikdy neskôr)

Unicastové adresovanie v IPv6

- Aktuálna IPv6 adresná architektúra je popísaná v RFC 4291
- Ďalšie typy IPv6 unicastových adries:
 - `::/128` Nešpecifikovaná adresa
 - `::1/128` **Loopback** (ten istý účel ako v IPv4 !)
 - `::FFFF:A.B.C.D` IPv4-mapované adresy (nebudeme rozoberať, možno nájsť v apendixe ku kapitole 8)

Unicastové adresovanie v IPv6

- Ešte raz pohľad na global unicast...
- Adresa global unicast je každá iná adresa, ktorá nie je:
 - `::/128` Nešpecifikovaná adresa
 - `::1/128` Loopback
 - `FF00::/8` Multicast
 - `FE80::/10` Link-Local Unicast
 - `FEC0::/10` Site local Unicast, zrušené v RFC 3879
 - `FC00::/7` Unique Local Unicast, RFC 4193
 - `::A.B.C.D` IPv4-kompatibilné adresy (zastaralé)
 - `::FFFF:A.B.C.D` IPv4-mapované adresy

Unicastové adresovanie v IPv6

- Koľko adries pre jedno rozhranie?
 - v IPv4 má rozhranie typicky len 1 adresu
 - v IPv6 má rozhranie, až na výnimky, **niekoľko** adries
- 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 (Unique local unicast) či globálne adresy (Global unicast)

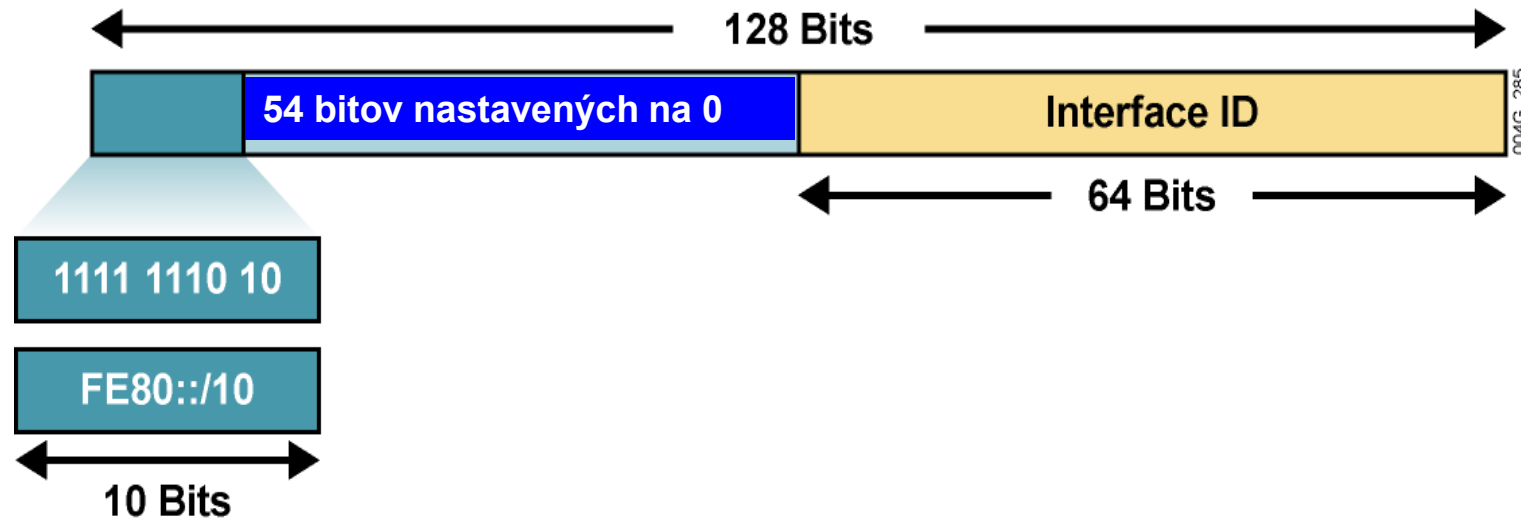


Téma 7.2.4: Bližší pohľad na IPv6 unicastové adresy (Global unicast, Link-local)

- .. ako vyzerajú?
- .. ako sa konfigurujú staticky?
- .. aké možnosti máme pre ich dynamickú konfiguráciu?

Link-Local Unicast

Unicastové IPv6 adresy

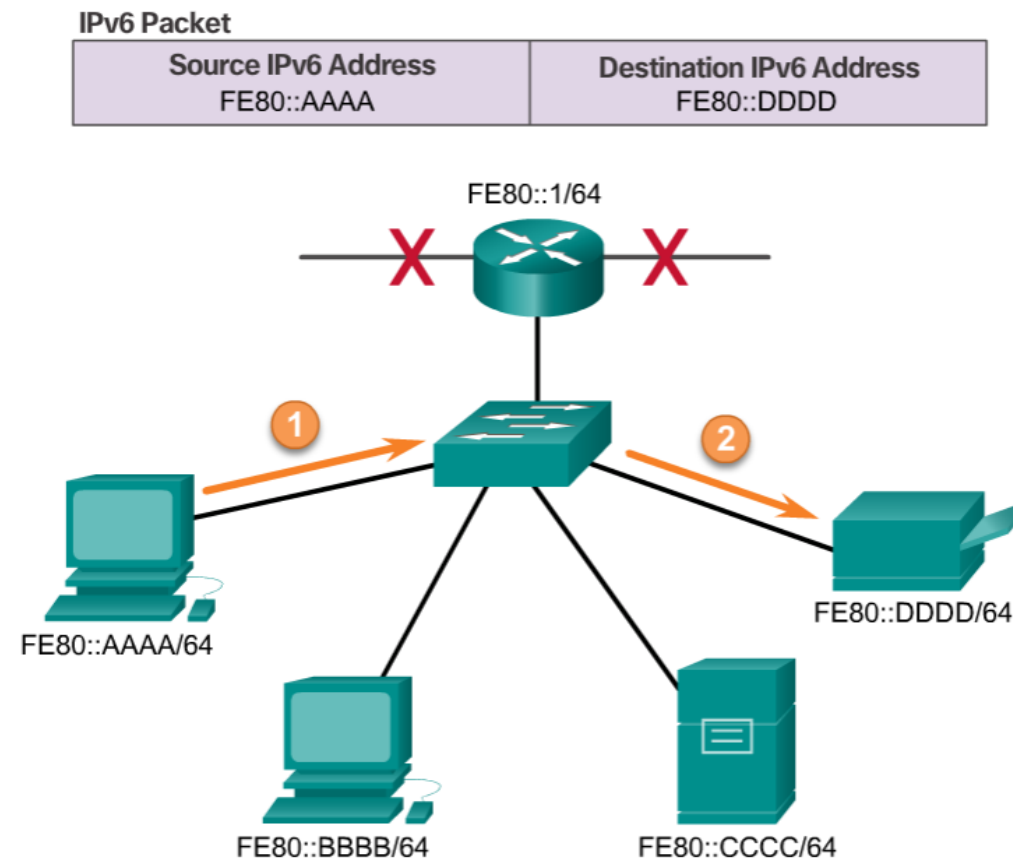


- Link-local adresa pozostáva z:
 - prefixu FE80::/10
 - 54 bitov nastavených na hodnotu 0
 - Interface ID
- Sú jedinečné a platné len v rámci broadcastovej domény

Link-Local Unicast

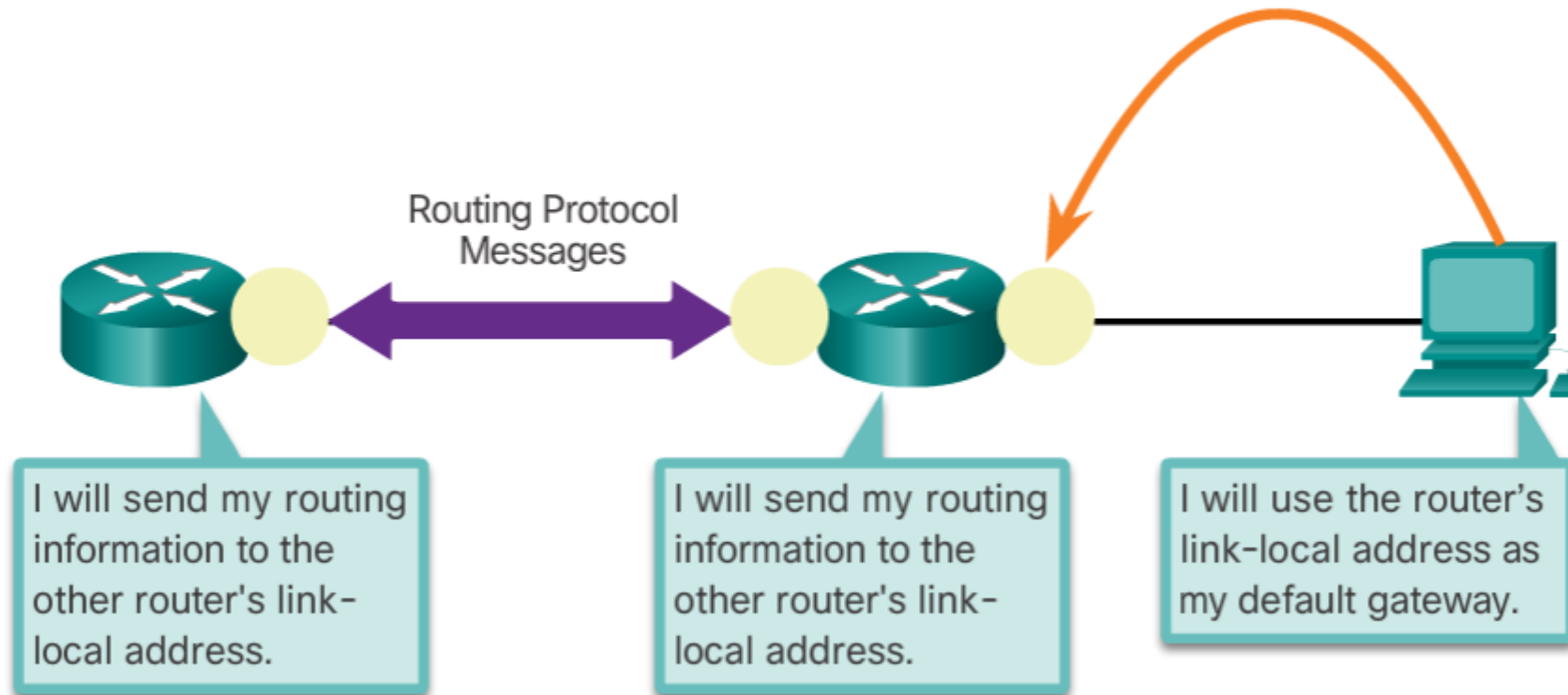
Unicastové IPv6 adresy

- Adresy povinné pre komunikáciu dvoch susedných zariadení
- Automaticky vytvorené na rozhraniach hneď po aktivácii IPv6, bez pomoci DHCP (môžem následne zmeniť konfiguračne)



Link-Local Unicast

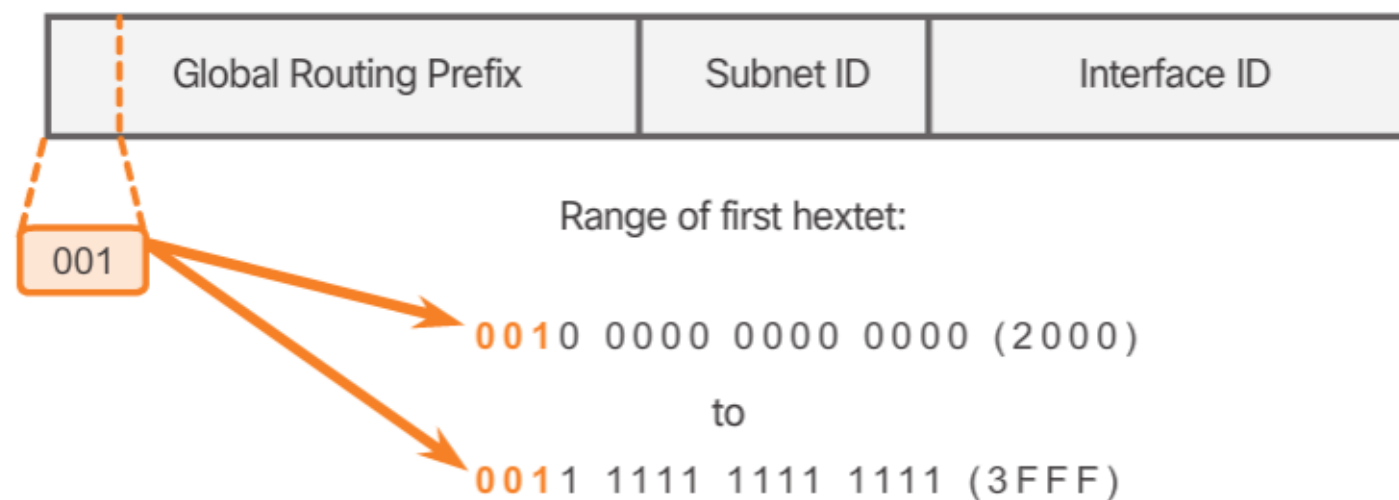
- Využívajú sa aj v smerovacích protokoloch ako **next-hop** adresy:



Global Unicast

Unicastové IPv6 adresy

- Musí byť jedinečná v celom Internete (podobne ako verejná adresa v IPv4)
- Je smerovateľná v internete

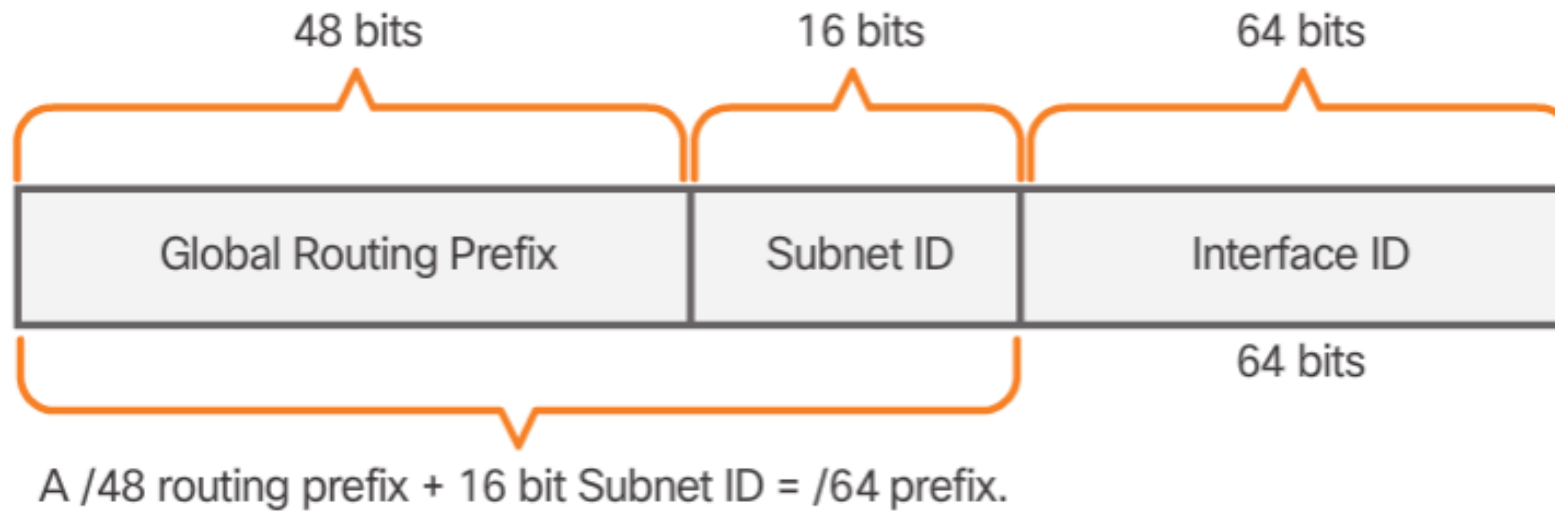


- Aktuálne sa prideľujú iba rozsahy **2000::/3**
 - t.j. iba 1/8 celého IPv6 priestoru adries
 - na 3 bitoch = 2^3 možností, ale prideľuje sa iba 1 možnosť z nich (001), preto:
 - prvý hextet je v rozsahu od 2000 po 3FFF
 - 2001:0DB8::/32 je vyhradená adresa pre dokumentačné účely

Global Unicast

Unicastové IPv6 adresy

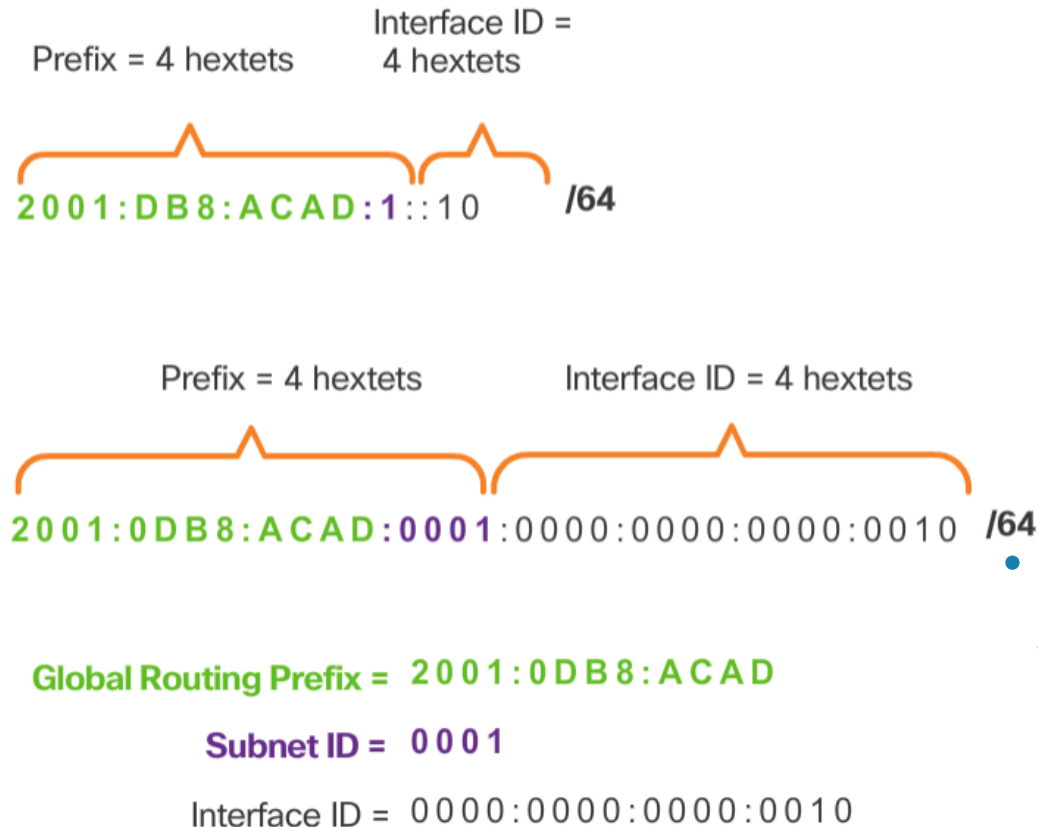
- Kto ich prideľuje?
 - ICANN ako výkonný orgán organizácie IANA prideľuje IPv6 adresné rozsahy pre 5 Regional Internet Registries (RIRs)



Global Unicast

Ako ju čítať a intepretovať

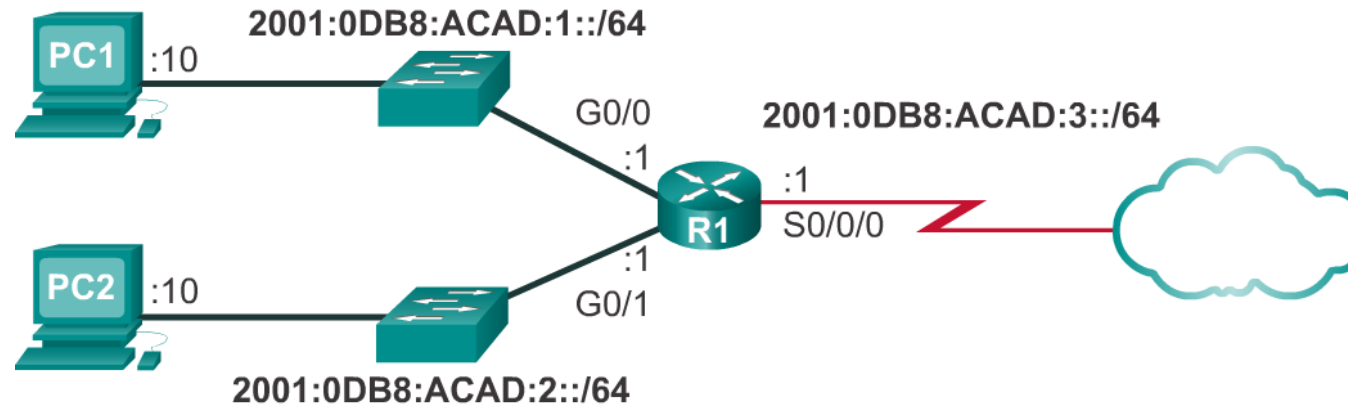
- **Interface ID** - podobne ako „host portion“ v IPv4, ale volá sa inak, lebo v IPv6 1 host môže mať **viac** IPv6 adries pre každé svoje rozhranie



- To čo v IPv4 boli vyhradené adresy vrámci nejakého subnetu (adresa siete a broadcast), už v IPv6 nie sú vyhradené:
- **Samé 1tky** – možno použiť, lebo v IPv6 nemáme broadcast, ale.. vrchných 128 adries je **rezervovaných** pre adresy: „Subnet anycast“)
 - 2001:DB8:ACAD:1::
od FFFF:FFFF:FFFF:FF00
do FFFF:FFFF:FFFF:FFFF
 - Aktuálne sa využíva iba jednaFE, pre Mobile IPv6 Home-Agents anycast
- **Samé 0** – možno použiť, ale... je to **rezervované** pre anycastovú adresu „Subnet-Router“, takže sa prideľuje iba smerovačom
 - 2001:DB8:ACAD:1::

Global Unicast

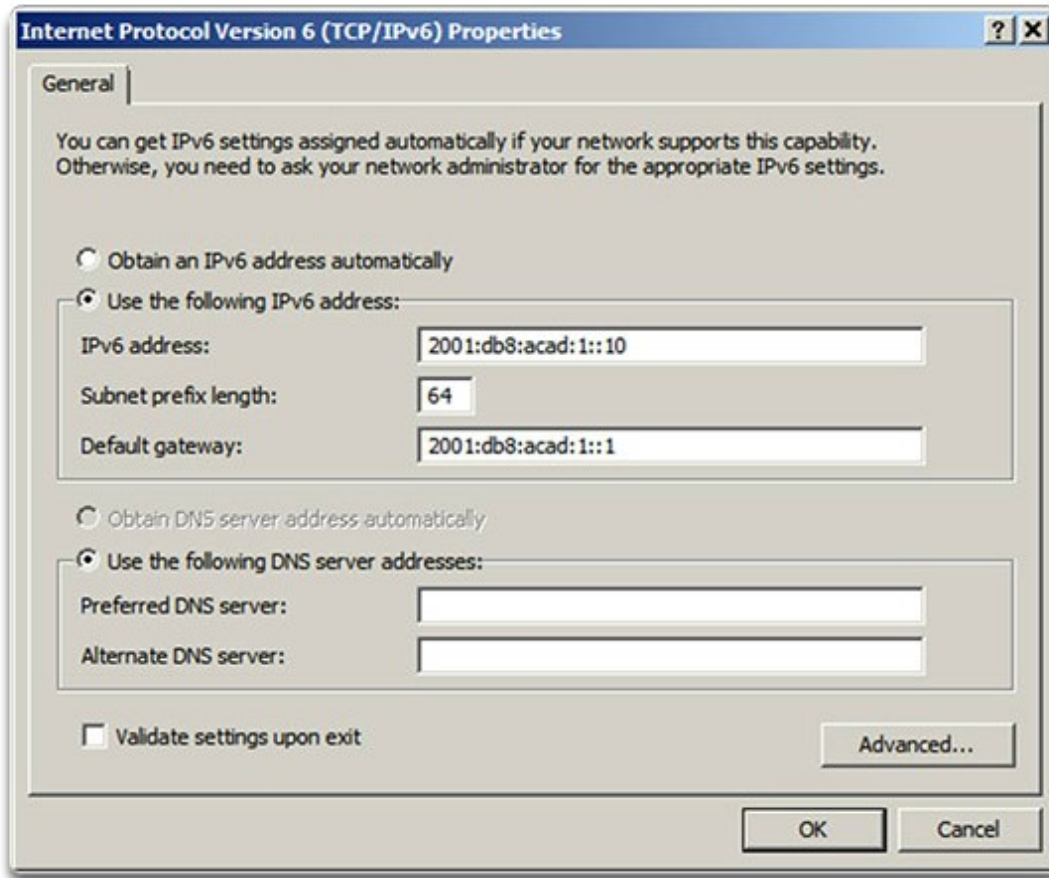
Statická konfigurácia na smerovači



```
R1(config)#interface gigabitethernet 0/0
R1(config-if)#ipv6 address 2001:db8:acad:1::1/64
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface gigabitethernet 0/1
R1(config-if)#ipv6 address 2001:db8:acad:2::1/64
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface serial 0/0/0
R1(config-if)#ipv6 address 2001:db8:acad:3::1/64
R1(config-if)#clock rate 56000
R1(config-if)#no shutdown
```

Global Unicast

Statická konfigurácia na počítači



- Rovnako by to fungovalo, keby sme použili **link-local** adresu pre GW

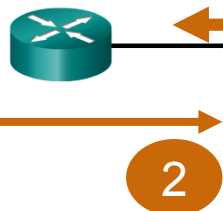
Global Unicast

Dynamická konfigurácia IPv6 adresy

Smerovač posiela rozhraním informácie všetkým IPv6 uzlom na sieti - tzv. **router advertisement** správy (RA)

- Pravidelne každých 200 s
- Aj ako odpoveď na RS správu
- Aké presne info záleží na danej voľbe v RA (Option 1,2,3)

Host pošle žiadosť o svoje adresné informácie všetkým IPv6 smerovačom - tzv. **router solicitation** správu (RS)



DHCPv6 Server

Host si pozrie zdrojovú adresu IPv6 paketu, v ktorom prišla zabalená RA správa od routra, a nastaví si na túto (zväčša link-local adresa) ako default gateway vo svojich nastaveniach

Toto sa deje vždy bez ohľadu na option v RA {1, 2, 3}

Správa router advertisement má tieto možnosti (options):

1. SLAAC = Stateless address autoconfiguration

- RA: Poskytnem ti všetko čo potrebuješ (Prefix, Prefix-length, DNS)

2. SLAAC + DHCPv6 (stateless)

- RA: Poskytnem ti niečo (Prefix, Prefix-length), ale pre zvyšné info požiadaj DHCPv6 (DNS)

3. DHCPv6 (stateful)

- RA: Neviem ti pomôcť, požiadaj DHCPv6 server o info

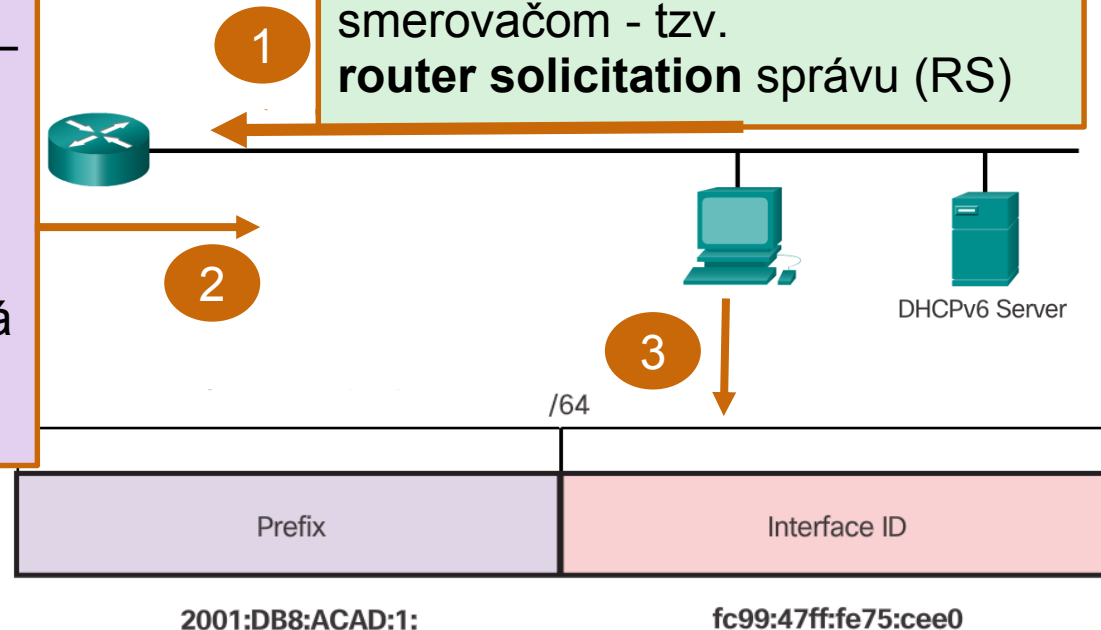
1. option: SLAAC = Stateless address autoconfiguration

Dynamická konfigurácia

Smerovač pošle rozhraním informácie v správe **RA** s **option 1**:

- **Network prefix a prefix length** – do ktorej subsiete patrí host
- **DNS adresy**, doménové meno
- **Default gateway** (IPv6 link-local adresa smerovača) – nie je ako položka v RA, je iba ako zdrojová adresa v hlavičke paketu nesúcim správu RA

Host pošle žiadosť o svoje adresné informácie všetkým IPv6 smerovačom - tzv. **router solicitation** správu (RS)



Host si dokáže sám prideliť adresu tak, že k prefixu siete, ktorý prijal od routra v RA správe, pripojí svoj 64-bitový Interface ID, ktoré môže získať 2 spôsobmi:

- **Modified EUI-64** = modified extended universal identifier (napr. Cisco zariadenia)
- **Náhodné 64bitové číslo** (napr. Windows preferuje tento spôsob) RFC 3041

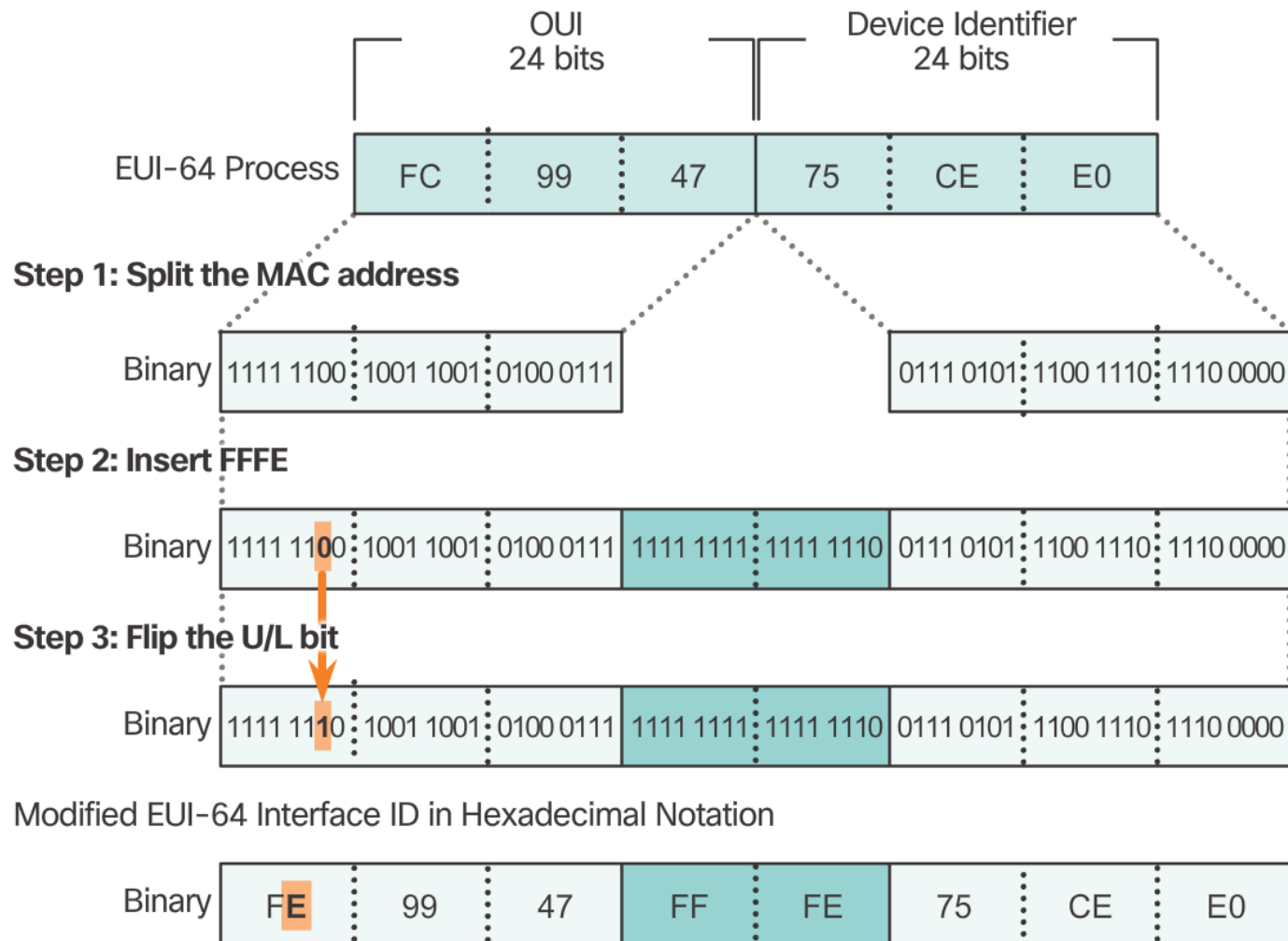
Výsledok je 128-bitová adresa, ktorá je použiteľná a garantovane globálne unikátna

Modified EUI-64

Ako získať interface ID z MAC adresy

- 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 (Universal/Local) (druhý najnižší bit 1. bajtu MAC)

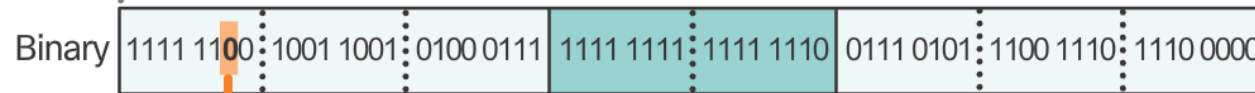


Modified EUI-64

Ako získať interface ID z MAC adresy

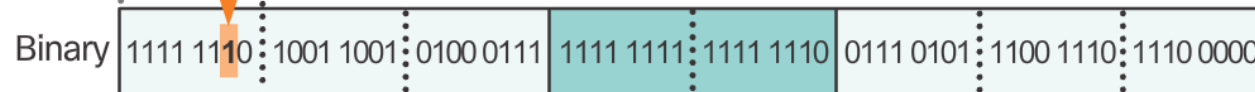
Step 2: Insert FFFE

Binary 1111 1100 1001 1001 0100 0111 1111 1111 1111 1110 0111 0101 1100 1110 1110 0000



Step 3: Flip the U/L bit

Binary 1111 1110 1001 1001 0100 0111 1111 1111 1111 1110 0111 0101 1100 1110 1110 0000



- U/L bit identifikuje, či toto **interface ID**:
 - je administrované lokálne, vtedy U/L bit=0, alebo
 - je globálne jedinečné, vtedy U/L bit=1
- avšak pre **MAC adresu** platí (presný opak), že ak bola:
 - vytvorená lokálne, tak U/L bit=1
 - vydaná IEEE ako globálne jedinečná, tak U/L bit=0
- preto sa robí (malo by sa) invertovanie, aby to odrážalo skutočnosť:
 - „interface ID vytvorené z globálne jedinečnej adresy bude tiež globálne jedinečné“
 - RFC 4291, časť 2.5.1

Modified EUI-64 vs. náhodné generovanie

Ako získať interface ID

Interface ID získané procesom **modified EUI-64**

```
PCA> ipconfig
Windows IP Configuration
Ethernet adapter Local Area Connection:
    Connection-specific DNS Suffix  : 
    IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:fc99:47ff:FE75:cee0
    Link-local IPv6 Address . . . . : fe80::fc99:47FF:FE75:CEE0
    Default Gateway . . . . . : fe80::1
```

- Admin podľa interface ID vie zistiť o ktorú stanicu ideje tam skrytá MAC (**výhoda**)
- Prináša to ale problém so zachovaním súkromia, „Stanica je vystopovateľná“ (**nevýhoda**)
 - Preto existuje aj druhá možnosť ako generovať interface ID

Interface ID získané generovaním **náhodného 64 bitového čísla**

```
PCB> ipconfig
Windows IP Configuration
Ethernet adapter Local Area Connection:
    Connection-specific DNS Suffix  : 
    IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:50a5:8a35:a5bb:66e1
    Link-local IPv6 Address . . . . : fe80::50a5:8a35:a5bb:66e1
    Default Gateway . . . . . : fe80::1
```


Modified EUI-64

Automatická konfigurácia adresy global unicast na smerovači

- IPv6 smerovanie nie je defaultne povolené
 - Treba zadať: **ipv6 unicast-routing** (v globálnom konfiguračnom režime)
 - IPv6 adresa sa dá nakonfigurovať aj bez predošlého príkazu, ale smerovač nebude posilať RA správy
- ICMPv6 RA správa je len návrhom od smerovača pre ostatné koncové zariadenia – ako môžu získať IPv6 adresu global unicast
 - To ako sa nakoniec host rozhodne, je závislé na OS
- Na smerovači možno nastaviť autokonfigurovanú adresu vo formáte Modified EUI-64 príkazom:

```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0/0
R1(config-if)# ipv6 address ipv6-prefix/prefix-length eui-64

R1(config-if)# ipv6 address 2001:DB8::/64 eui-64
```

- Zväčša sa ale pre rozhrania smerovača nepoužívajú autokonfigurované adresy, ale staticky nastavené adresy (platí aj pre global unicast, aj pre link-local)

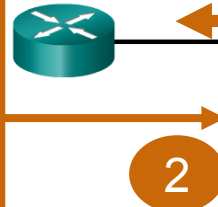
2. option: SLAAC + DHCPv6

Dynamická konfigurácia

Smerovač pošle rozhraním informácie v správe **RA** s **option 2**:

- **Network prefix a prefix length** – do ktorej subsiete patrí host
- **Default gateway** (IPv6 link-local) – nie je ako položka v RA, je iba ako zdrojová adresa v hlavičke paketu nesúcom správu RA
- Neposiela DNS (treba požiadať DHCPv6 server)

Host pošle žiadosť o svoje adresné informácie všetkým IPv6 smerovačom - tzv. **router solicitation** správu (RS)



Host požiada DHCPv6 server o zvyšné info (DNS, doménové mená) – tzv. **DHCPv6 solicitation** správa s **option 2**

/64	
Prefix	Interface ID
2001:DB8:ACAD:1:	fc99:47ff:fe75:cee0

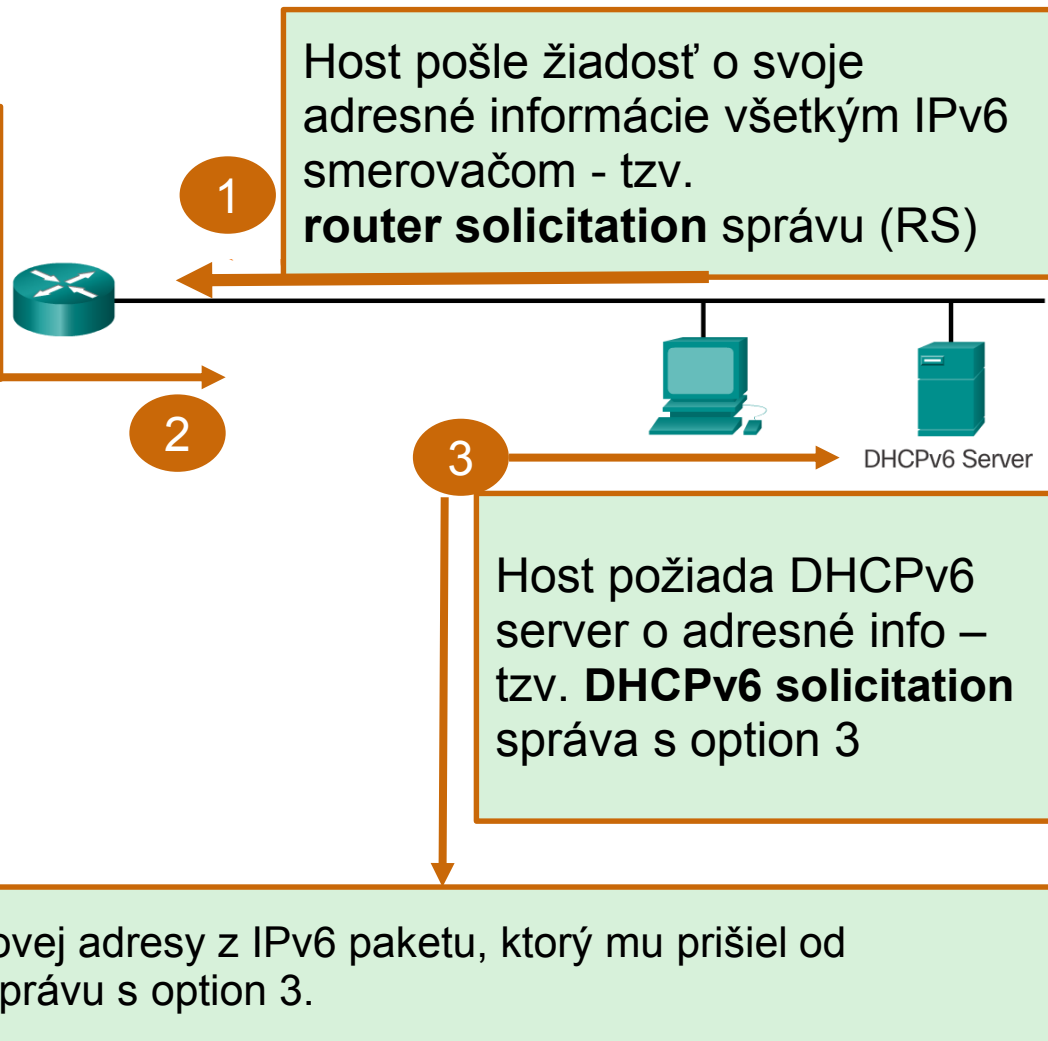
Host si sám prideli adresu (prefix z RA od smerovača + interface ID), interfaced ID môže získať:

- **Modified EUI-64** = modified extended universal identifier (napr. Cisco zariadenia)
- **Náhodné 64bitové číslo** (napr. Windows preferuje tento spôsob) RFC 3041

Výsledok je 128-bitová adresa, ktorá je použiteľná a garantovane globálne unikátna

3. option: DHCPv6 Dynamická konfigurácia

Smerovač nepošle rozhraním žiadne užitočné info v správe **RA** s **option 3**, iba odkáže hosta na DHCPv6.

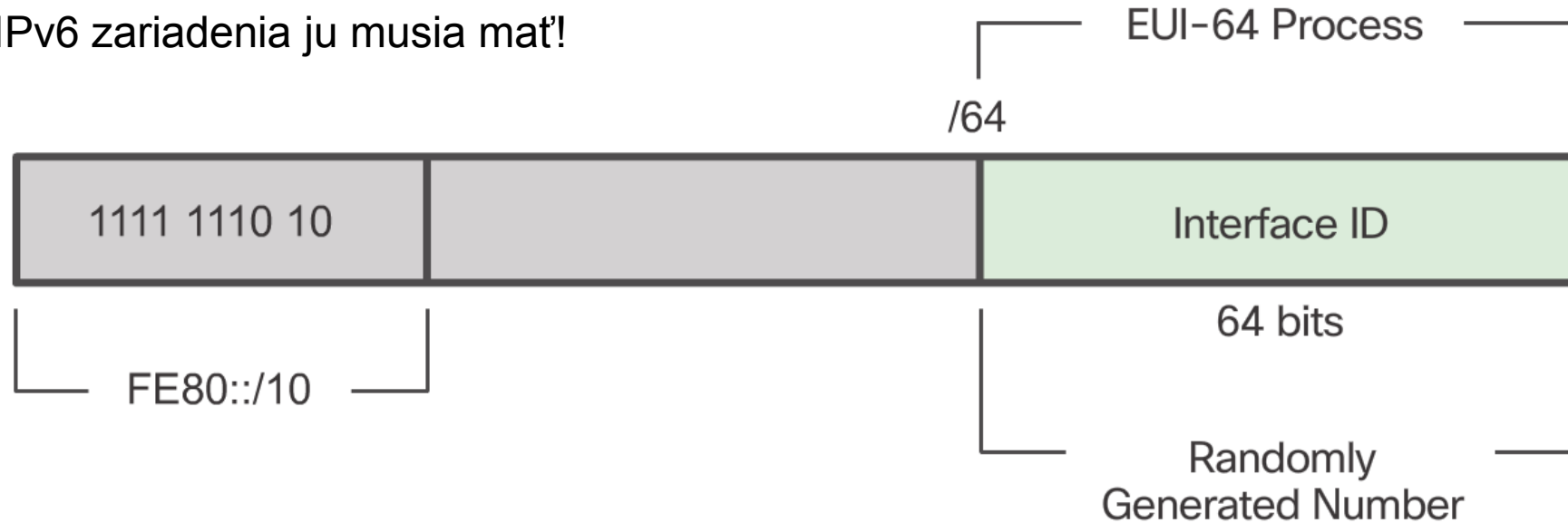


Toto sa deje vždy bez ohľadu na option v RA {1, 2, 3}

Link-local unicast

Dynamická konfigurácia

- Všetky IPv6 zariadenia ju musia mať!



- Zväčša OS použije tú istú metódu pri tvorbe interface ID (aj pri SLAAC pre adresu global unicast, aj pre adresu link-local) – t.j. buď EUI-64 alebo náhodné generovanie pre obe
 - Cisco smerovače používajú EUI-64
 - Ale je zvykom následne prestaviť link-local adresy na smerovači staticky (lepšie sa pamätá FE80:1 ako FE80::FC99:47FF:FE75:CEE0)
 - Windows používa náhodné generovanie

Link-local unicast

Dynamická konfigurácia na počítači

- Interface ID generované ako EUI-64

```
PCA> ipconfig
Windows IP Configuration

Ethernet adapter Local Area Connection:

    Connection-specific DNS Suffix  :
    IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:fc99:47ff:fe75:cee0
    Link-local IPv6 Address . . . . : fe80::fc99:47ff:fe75:cee0
    Default Gateway . . . . . : fe80::1
```

- Interface ID generované náhodne

```
PCB> ipconfig
Windows IP Configuration

Ethernet adapter Local Area Connection:

    Connection-specific DNS Suffix  :
    IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:acad:1:50a5:8a35:a5bb:66e1
    Link-local IPv6 Address . . . . : fe80::50a5:8a35:a5bb:66e1
    Default Gateway . . . . . : fe80::1
```

Link-local unicast

Dynamická konfigurácia na smerovači

- Smerovače používajú EUI-64 pre automatickú konfiguráciu

```
R1# show interface gigabitethernet 0/0
GigabitEthernet0/0 is up, line protocol is up
  Hardware is CN Gigabit Ethernet, address is fc99.4775.c3e0
(bia fc99.4775.c3e0)
<Output Omitted>

R1# show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0 [up/up]
  FE80::FE99:47FF:FE75:C3E0
  2001:DB8:ACAD:1::1
GigabitEthernet0/1 [up/up]
  FE80::FE99:47FF:FE75:C3E1
  2001:DB8:ACAD:2::1
Serial0/0/0 [up/up]
  FE80::FE99:47FF:FE75:C3E0
  2001:DB8:ACAD:3::1
Serial0/0/1 [administratively down/down]
  unassigned
```

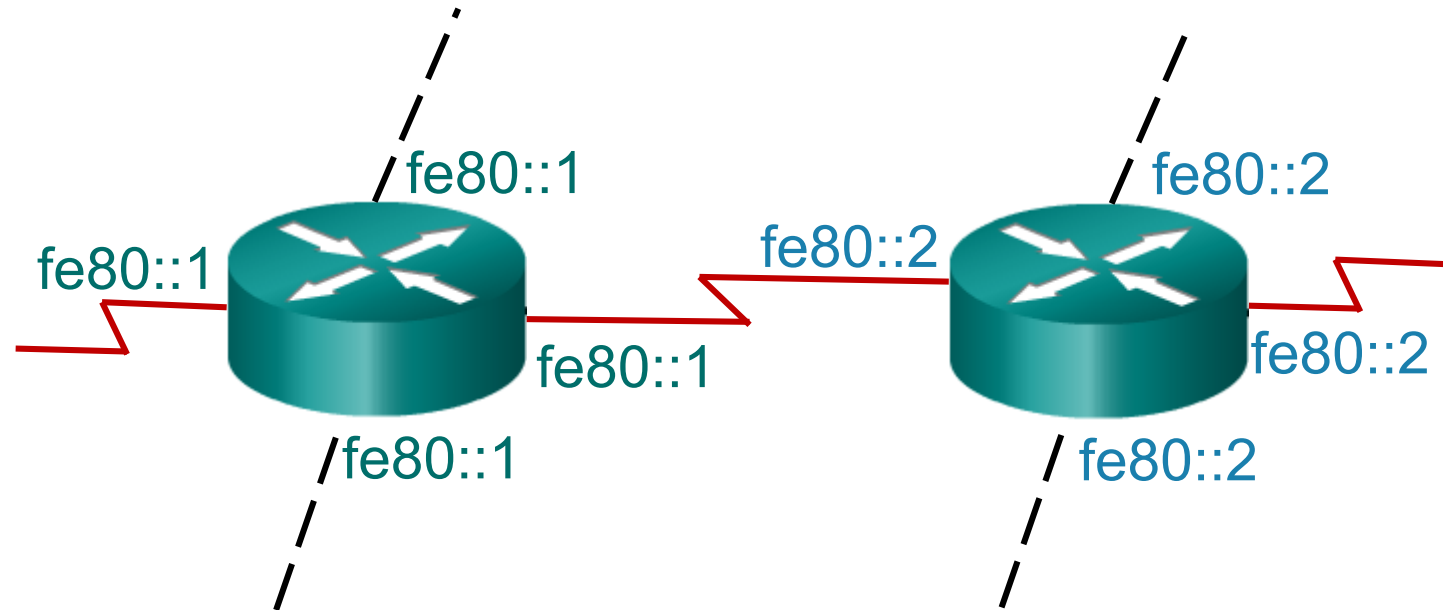


- Sériové rozhranie ale nemá ethernetovú MAC adresu, ako spraviť EUI-64?
- Použije sa MAC adresa prvého možného ethernetového rozhrania

Link-local unicast

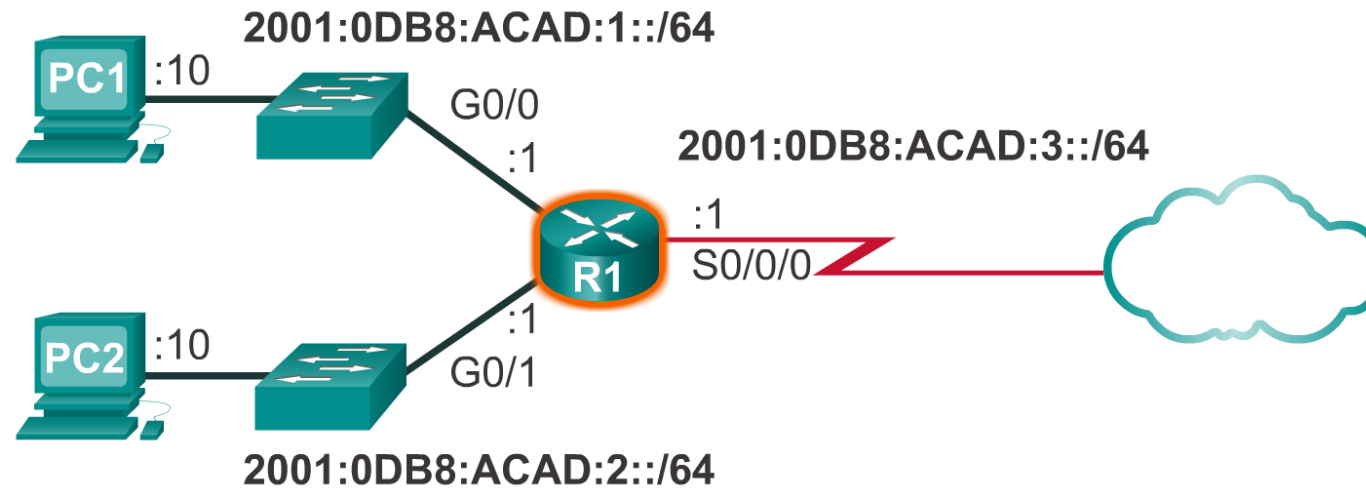
Statická konfigurácia na smerovači

- Zväčša admin dynamickú/autokonfigurovanú adresu zmení na statickú adresu
- Všetky rozhrania smerovača môžu mať tú istú link-local adresu
 - Výhoda: ľahko sa pamätá (ľahšie ako autokonfigurovaná adresa)



```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0/0
R1(config-if)# ipv6 address fe80:: 1 link-local
```

Overenie konfigurácie IPv6 adries



```
R1# show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0      [up/up]
    FE80::FE99:47FF:FE75:C3E0
    2001:DB8:ACAD:1::1
GigabitEthernet0/1      [up/up]
    FE80::FE99:47FF:FE75:C3E1
    2001:DB8:ACAD:2::1
Serial0/0/0              [up/up]
    FE80::FE99:47FF:FE75:C3E0
    2001:DB8:ACAD:3::1
Serial0/0/1              [administratively down/down]
    unassigned
```


Overenie konfigurácie IPv6 adries

```
R1# show ipv6 route
```

```
IPv6 Routing Table - default - 7 entries
```

```
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, U - Per-user  
Static
```

```
<output omitted>
```

```
C   2001:DB8:ACAD:1::/64 [0/0]  
    via GigabitEthernet0/0, directly connected  
L   2001:DB8:ACAD:1::1/128 [0/0]  
    via GigabitEthernet0/0, receive  
C   2001:DB8:ACAD:2::/64 [0/0]  
    via GigabitEthernet0/1, directly connected  
L   2001:DB8:ACAD:2::1/128 [0/0]  
    via GigabitEthernet0/1, receive  
C   2001:DB8:ACAD:3::/64 [0/0]  
    via Serial0/0/0, directly connected  
L   2001:DB8:ACAD:3::1/128 [0/0]  
    via Serial0/0/0, receive  
L   FF00::/8 [0/0]  
    via Null0, receive
```

Overenie konfigurácie IPv6 adries

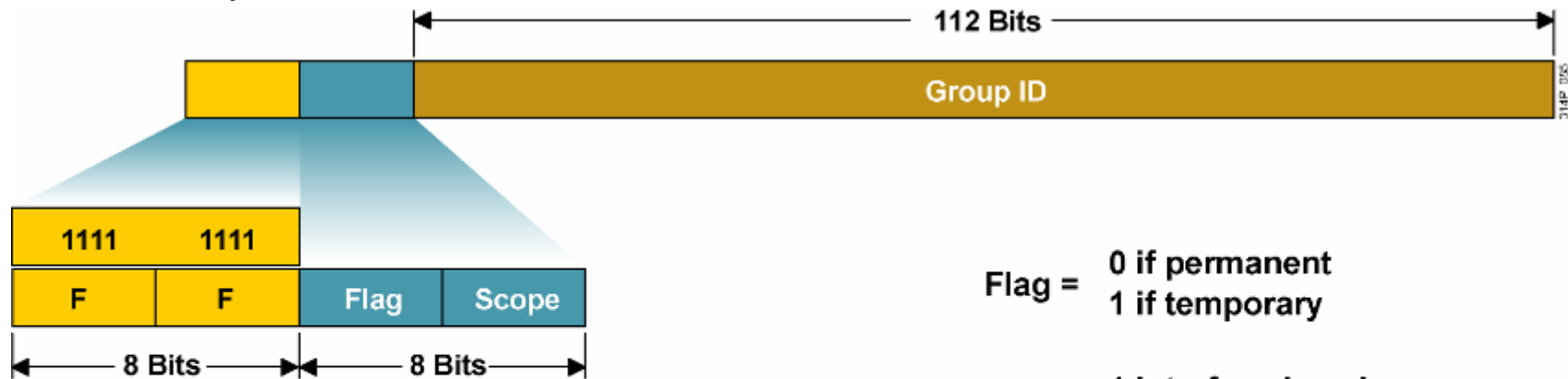
```
R1# ping 2001:db8:acad:1::10
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:DB8:ACAD:1::10, timeout
is 2 seconds:
!!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5)
R1#
```



Téma 7.2.5: Multicastové IPv6 adresy

Multicastové IPv6 adresy

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



Flag =
0 if permanent
1 if temporary

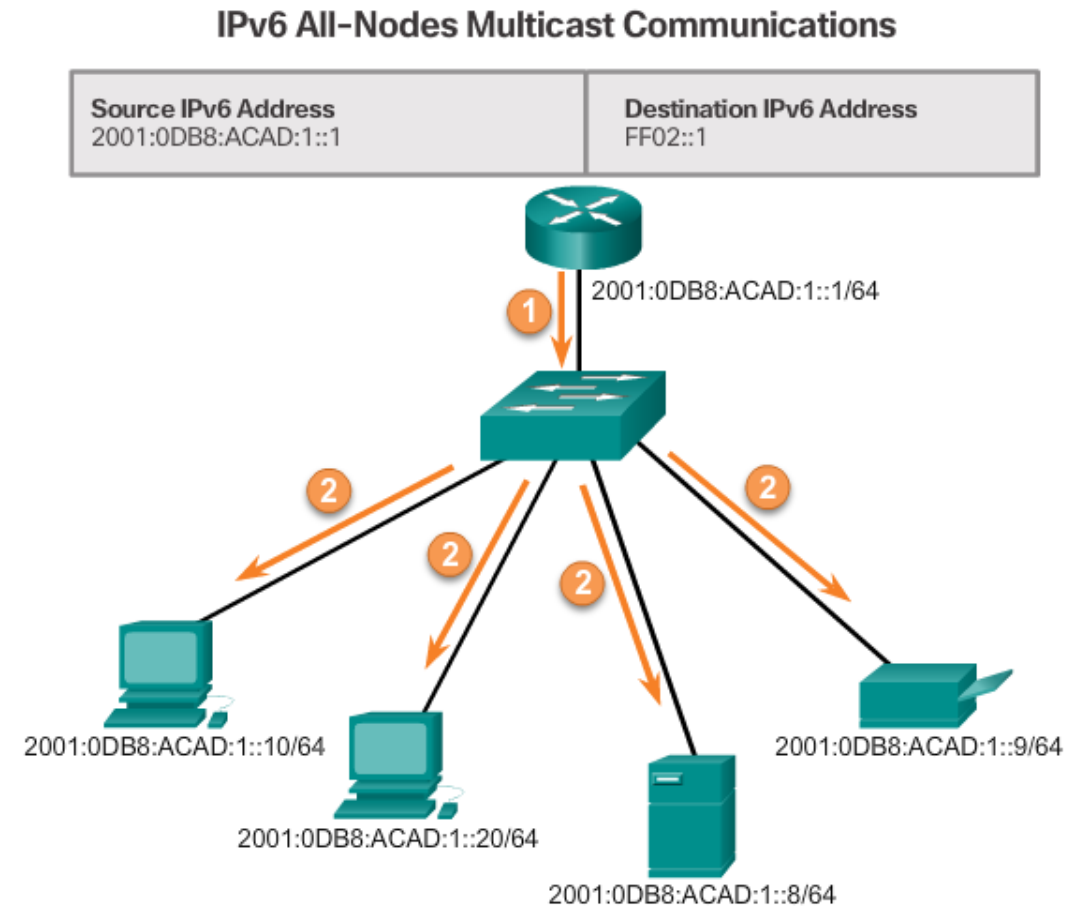
Scope =
1 Interface-Local
2 Link-Local
3 Subnet-Local
4 Admin-Local
5 Site-Local
8 Organization
E Global

- Majú prefix FF00::/8.
- Existujú dva typy IPv6 multicastových adries:
 - Assigned multicast
 - Solicited node multicast

Assigned multicast

Multicastové adresy v IPv6

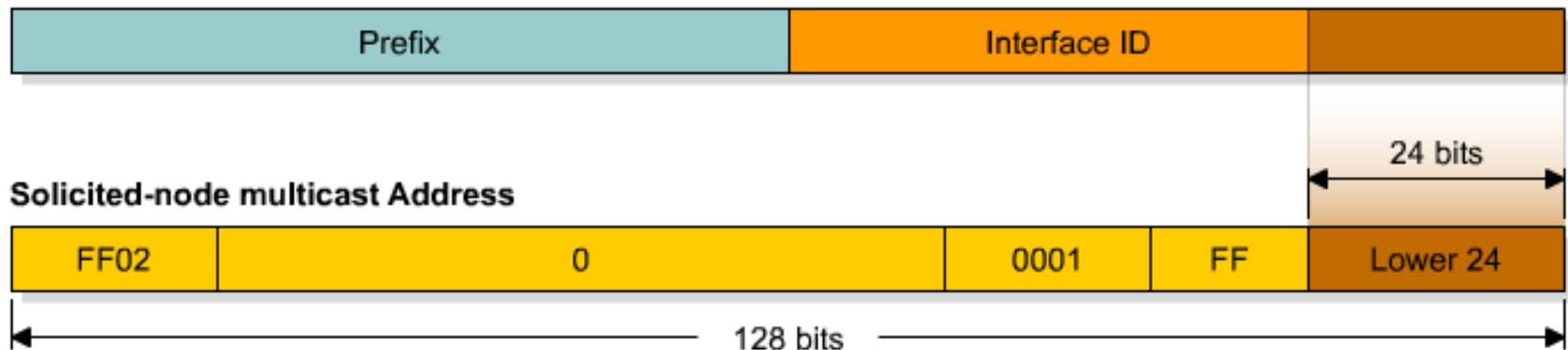
- Rezervované multicastové adresy pre preddefinovanú skupinu zariadení
 - so spoločným protokolom – napr. DHCPv6,
 - alebo službou
- FF02::1
 - Všetky IPv6 uzly na danej linkae/subsieti
 - Podobne ako broadcast v IPv4
 - Používa sa ako cieľová adresa pre správy Router Advertisement (ICMPv6)
- FF02::2
 - Všetky IPv6 smerovače na danej linke/subsieti
 - Smerovač sa stane členom tejto skupiny automaticky keď na ňom nastavíme: ipv6 unicast-routing
 - Používa sa ako cieľová adresa pre správy Router Solicitation (ICMPv6)



Solicited-Node

Multicastové adresy v IPv6

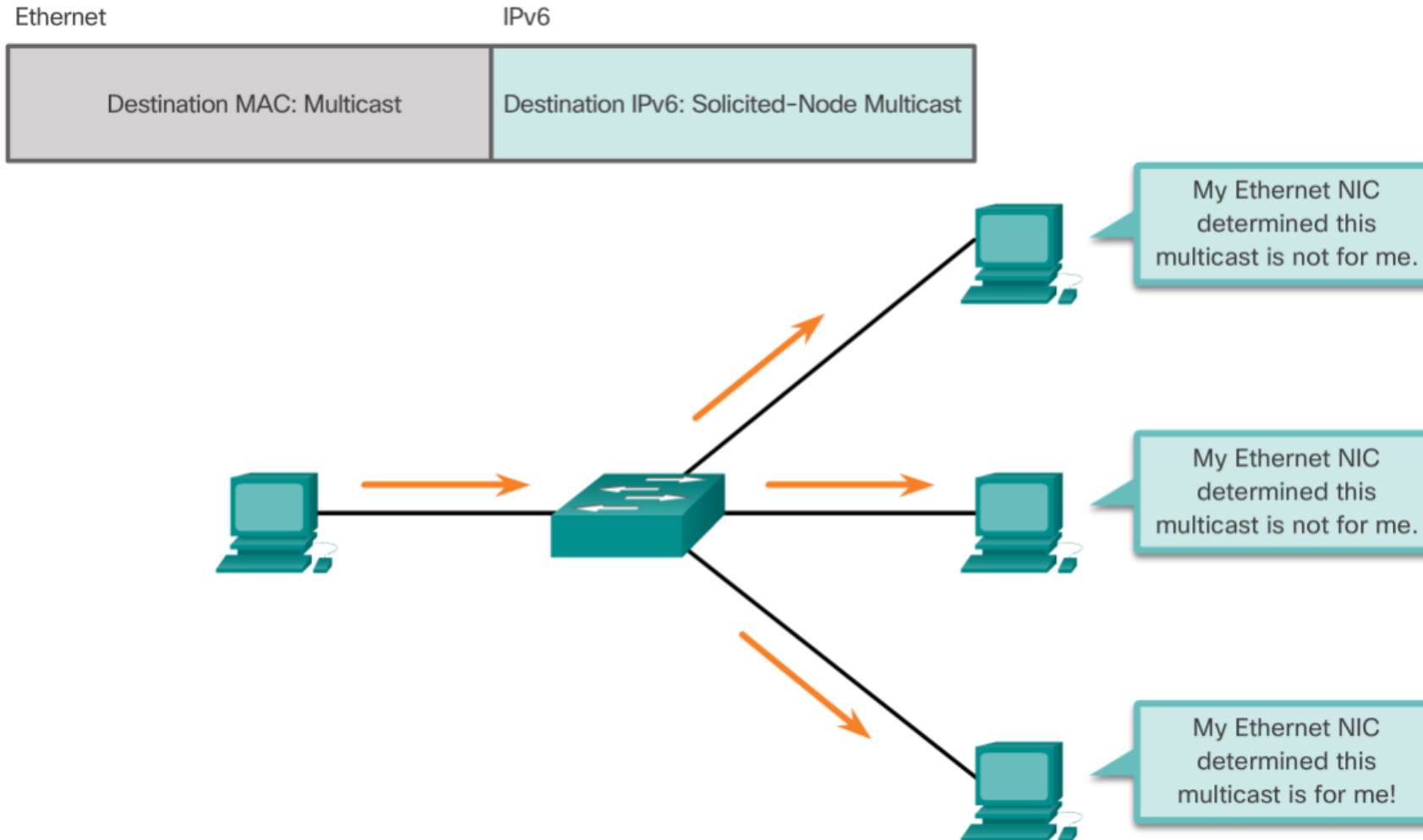
IPv6 Address



- Solicited-node multicast adresa pozostáva z prefixu FF02::1:FF00:/104 a spodných 24 bitov IPv6 adresy hľadaného suseda
 - Celá IPv6 adresa hľadaného suseda (28 bitov) je potom až v tele paketu
 - Mapuje sa na špeciálnu ethernetovú MAC adresu (33:33:00: ...)
- Používa sa pri procese prekladu IPv6 adresy na MAC adresu
 - Výzvu na preklad IPv6 adresy na MAC spracujú len tie stanice, ktorých vlastná IPv6 adresa sa v posledných troch bajtoch zhoduje s hľadanou IPv6 adresou
 - V IPv6 neexistuje ARP. Jeho funkcie na seba prevzal protokol ICMPv6.

Solicited-Node

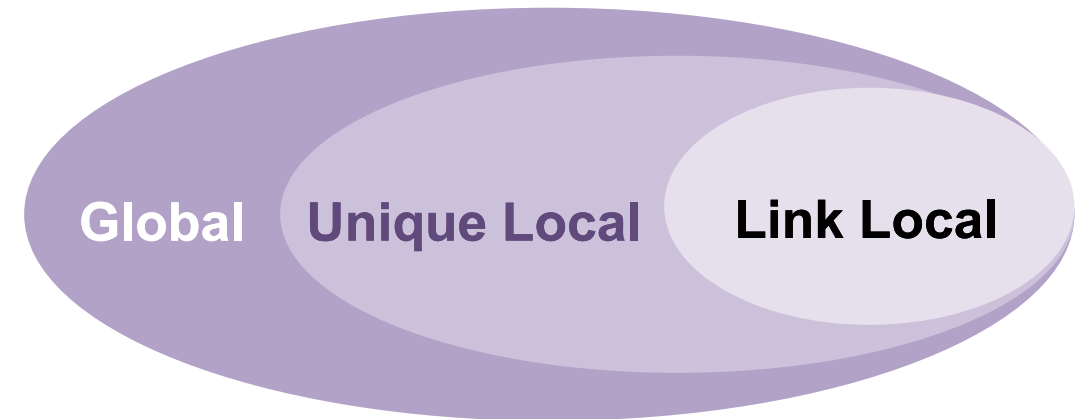
Multicastové adresy v IPv6



Adresový model v IPv6

Zhrnutie

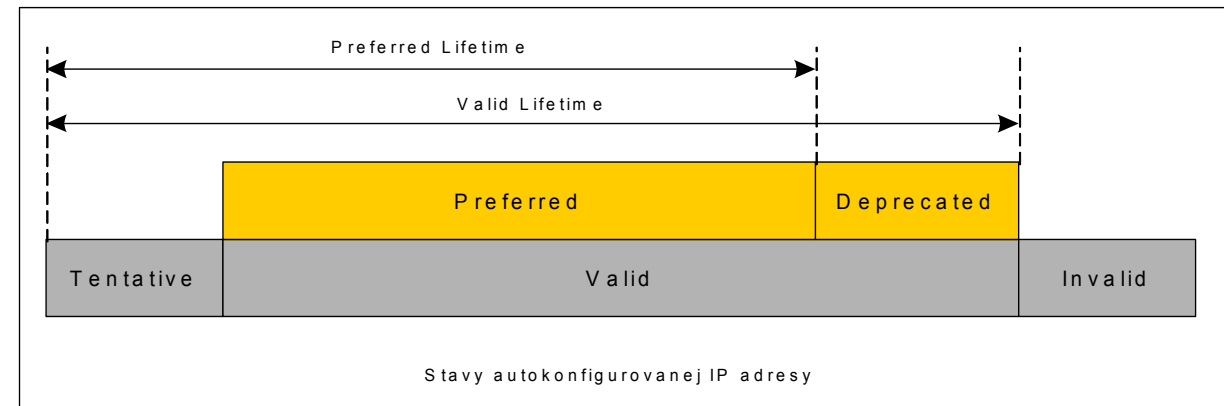
- Adresy sa priradujú rozhraniam
- Rozhranie v IPv6 má spravidla niekoľko adries
 - V IPv4 má rozhranie typicky len 1 adresu
- Adresy majú svoj rozsah (scope)
 - Link Local
 - Unique Local
 - Global
- Adresy majú čas platnosti
 - **Platnosť a preferovaný čas platnosti**
 - Týka sa adries získaných bezstavovou autokonfiguráciou
- Adresy majú svoj typ
 - Unicast, Multicast, Anycast
 - V IPv6 neexistujú broadcastové adresy



Platnosť autokonfigurovanej adresy

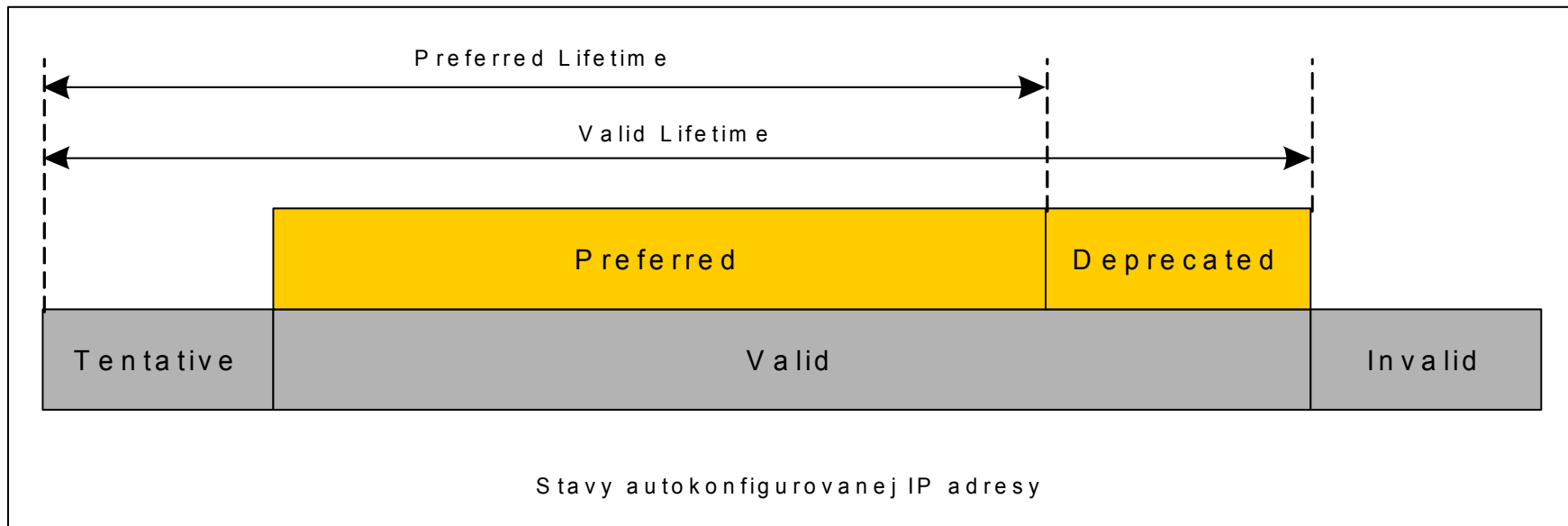
- Stavy automaticky nastavenej adresy:

- Tentative (neoverená, pokusná)
 - V procese preverovania unikátnosti (Duplicate Address Detection)
 - Unicast komunikácia je zakázaná
 - Multicast komunikácia – len správy Neighbor Advertisement
- Valid (platná)
 - Unikátnosť adresy bola potvrdená
 - Adresu je možné používať
 - Stav Valid obsahuje v sebe ďalšie 2 stavy: Preferred a Deprecated
 - Preferred (normálny stav) – adresa je platná
 - Deprecated (neschválená) – adresa je platná, ale je zbavená schopnosti nadväzovať nové spojenia, existujúca komunikácia môže prebiehať ďalej
- Invalid (neplatná)
 - Do tohto stavu sa adresa dostane po uplynutí časovača Valid Lifetime
 - Adresa v tomto stave nie je použiteľná



Preferovaný čas platnosti autokonfigurovanej adresy

- Autokonfigurovaná adresa prechádza týmito stavmi cyklicky, trvanie stavov získa zo správy **Router Advertisement**
- Autokonfigurované adresy obvykle patria na koncové stanice, smerovače ich spravidla nevyužívajú



Unicastové adresovanie v IPv6

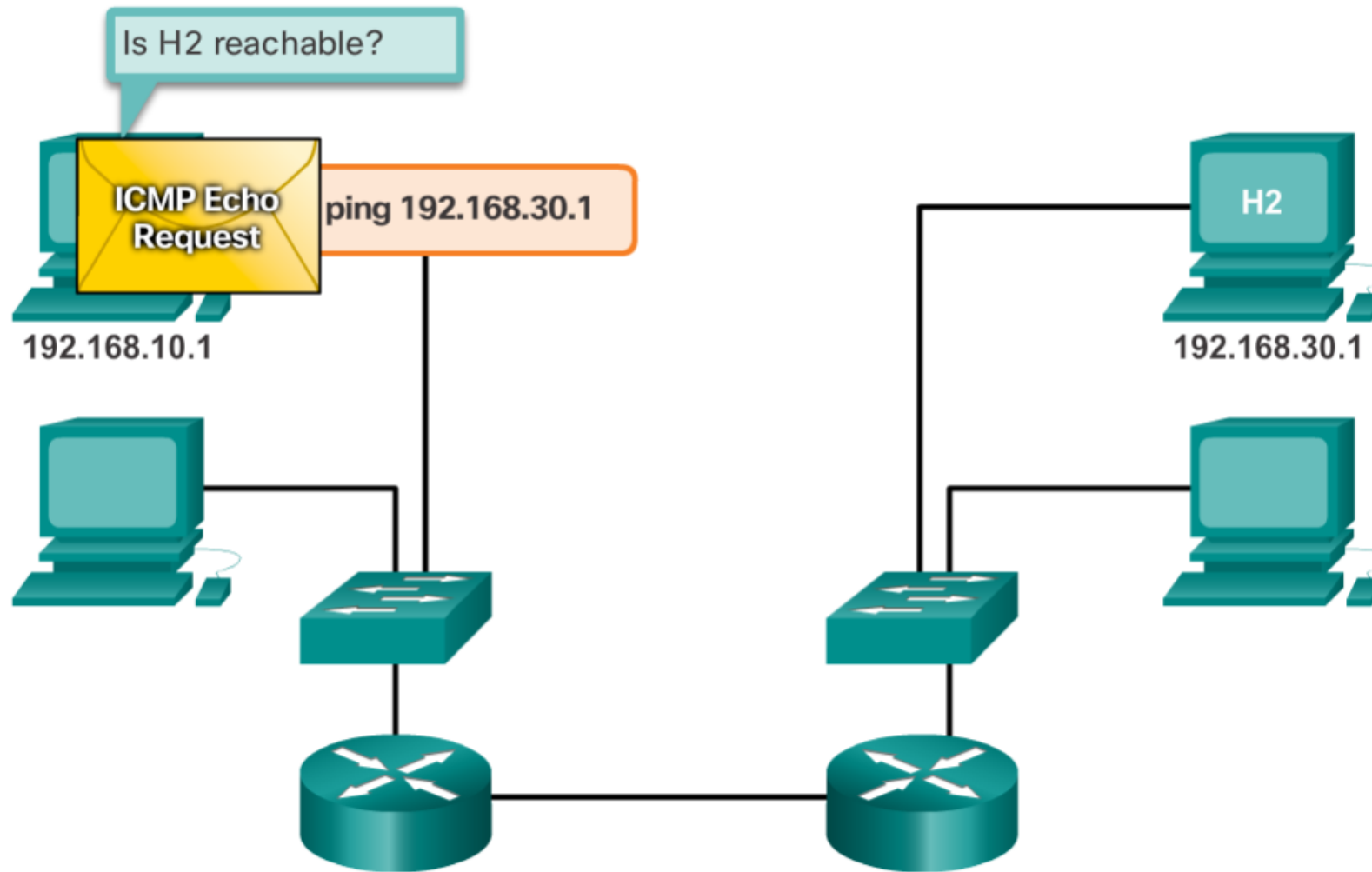
- Rozhranie v IPv6 má, až na výnimky, niekoľko adries
 - V IPv4 má rozhranie typicky len 1 adresu
- Aktuálna IPv6 adresová architektúra je popísaná v RFC 4291
 - `::/128` Nešpecifikovaná adresa
 - `::1/128` Loopback
 - `FF00::/8` Multicast
 - `FE80::/10` Link-Local Unicast
 - `FEC0::/10` Site local Unicast, zrušené v RFC 3879
 - `FC00::/7` Unique Local Unicast, RFC 4193
 - `::A.B.C.D` IPv4-kompatibilné adresy (zastaralé)
 - `::FFFF:A.B.C.D` IPv4-mapované adresy
 - Všetko ostatné Global Unicast



Téma 7.3.1: ICMPv6

ICMPv4 a ICMPv6

- ICMPv4 už poznáme z predošlej prednášky



Internet Control Message Protocol

- Protokol ICMP je pomocný signalizačný protokol, ktorý asistuje protokolom IPv4 a IPv6 pri ich činnosti
 - Umožňuje otestovať základnú konektivitu s ďalším IP uzlom
 - Typy ICMP správ: **Ping (Echo Request, Echo Reply)**
 - Informuje o nedoručiteľnosti konkrétneho paketu a dôvode
 - Typy ICMP správ: **Destination Unreachable (mnoho podtypov), TTL Exceeded**
 - Informuje o potenciálne lepšej ceste
 - Typy ICMP správ: **Redirect**
 - V IPv6 poskytuje funkcie pre objavenie smerovača, automatickú konfiguráciu adres a nahrádza protokol ARP
 - Typy ICMP správ: **Router Discovery, Neighbor Discovery**
- Správy ICMP protokolu sa vkladajú priamo do IP paketov
 - ICMP správu môže vytvoriť ktorýkoľvek IP uzol pozdĺž cesty medzi zdrojom a cieľom (zdroj, cieľ, medzilaňový smerovač)
 - ICMP správa je spravidla určená odosielateľovi pôvodného paketu

Formát ICMP správy

- ICMP správa má svoj typ a kód:
 - Typ = čoho sa daná správa týka
 - Kód = bližšie špecifikuje daný typ správy

	0	1	2	3	Octet offset
ICMP hlavička (header) 8 bytes	Typ	Kód	Header checksum		0
	Ďalšie ICMP polia hlavičky (podľa konkrétneho typu a kódu správy, nemusí sa využiť)				4
ICMP telo (payload) ľubovoľnej dĺžky	ICMP dáta (voliteľné, nemusí sa využiť vôbec)				8

Typy ICMPv6 správ

Type		Code	
Value	Meaning	Value	Meaning
ICMPv6 Error Messages			
1	Destination Unreachable	0	no route to destination
		1	communication with destination administratively prohibited
		2	beyond scope of source address
		3	address unreachable
		4	port unreachable
		5	source address failed ingress/egress policy
		6	reject route to destination
		7	Error in Source Routing Header
2	Packet Too Big	0	
3	Time Exceeded	0	hop limit exceeded in transit
		1	fragment reassembly time exceeded
4	Parameter Problem	0	erroneous header field encountered
		1	unrecognized Next Header type encountered
		2	unrecognized IPv6 option encountered
100	Private experimentation		
101	Private experimentation		
127	Reserved for expansion of ICMPv6 error messages		

ICMPv6 Informational Messages			
128	Echo Request	0	
129	Echo Reply	0	
130	Multicast Listener Query	0	There are two subtypes of Multicast Listener Query messages: - General Query, used to learn which multicast addresses have listeners on an attached link. - Multicast-Address-Specific Query, used to learn if a particular multicast address has any listeners on an attached link. These two subtypes are differentiated by the contents of the Multicast Address field, as described in section 3.6 of RFC 2710.
131	Multicast Listener Report	0	
132	Multicast Listener Done	0	
133	Router Solicitation (NDP)	0	
134	Router Advertisement (NDP)	0	
135	Neighbor Solicitation (NDP)	0	
136	Neighbor Advertisement (NDP)	0	
137	Redirect Message (NDP)	0	

NDP (Neighbor Discovery Protocol)

- Definuje 5 typov **ICMPv6** správ:

1. Router Solicitation (RS)
[Typ 133]

2. Router Advertisement (RA)
[Typ 134]

- posielané medzi smerovačom a IPv6 zariadením pre bezstavovú autokonfiguráciu IPv6 adres

3. Neighbor Solicitation (NS)
[Typ 135]

4. Neighbor Advertisement (NA)
[Typ 136]

- posielané medzi IPv6 zariadeniami:
 - Pre zistenie fyzickej MAC adresy k odpovedajúcej IPv6 adrese (Address resolution) - ako ARP pre IPv4
 - Pre detekciu duplicitnej IPv6 adresy (Duplicate address detection, DAD)

5. Redirect
[Typ 137]

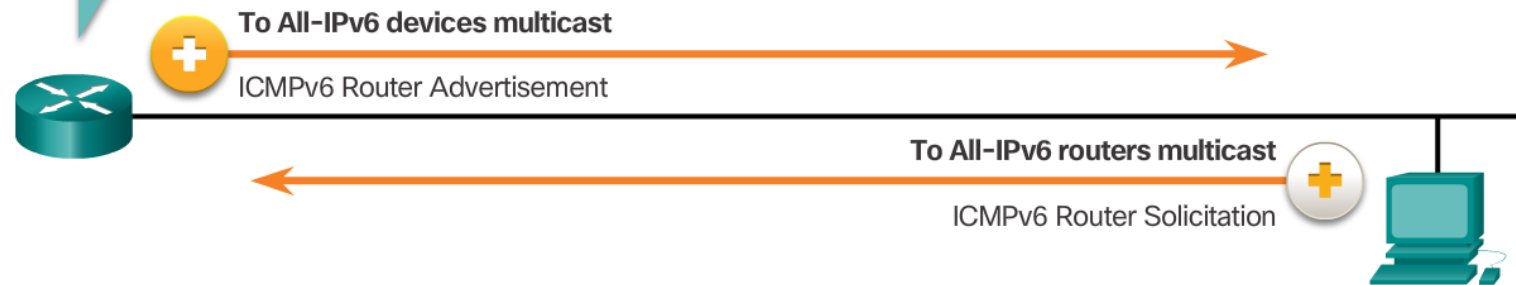
- posiela smerovač hostom, aby si zmenili next-hop adresu pre vybrané cieľové siete

Router Solicitation, Router Advertisement

Správy ICMPv6

Smerovač posiela rozhraním informácie všetkým IPv6 uzlom na sieti - tzv. **router advertisement** správy (RA)

- Pravidelne každých 200 s
- Aj ako odpoveď na RS správu
- Aké presne info záleží na danej voľbe v RA (Option 1,2,3)



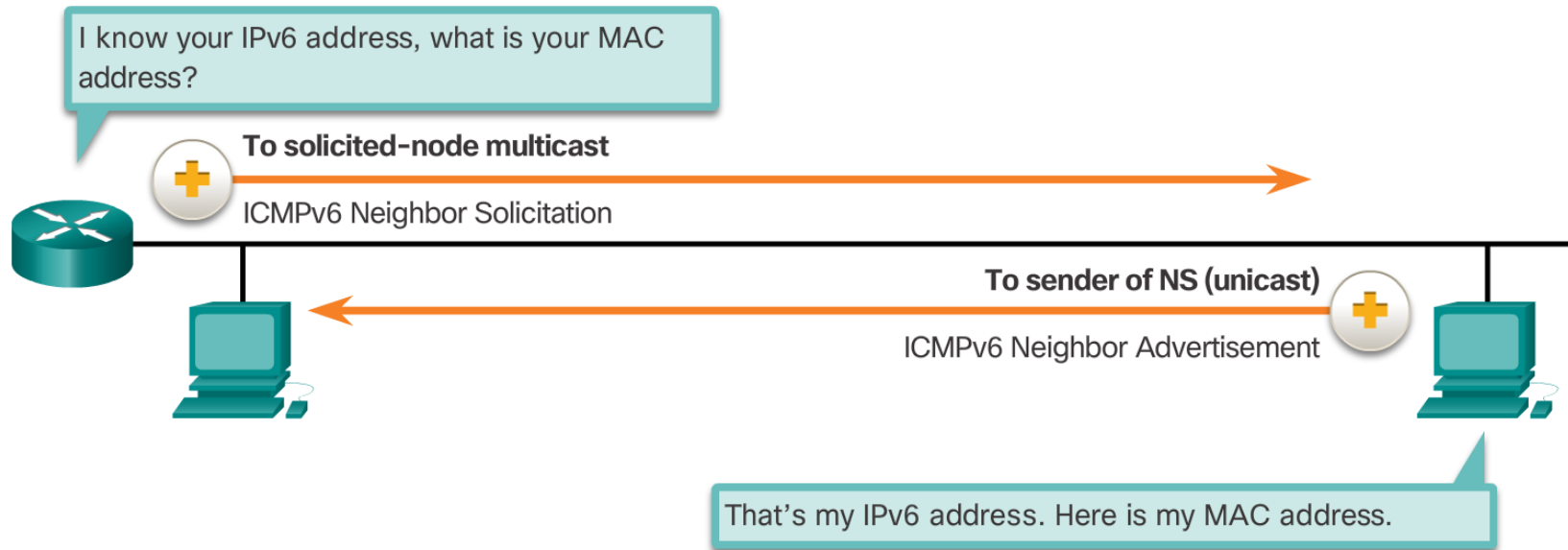
Host pošle žiadosť o svoje adresné informácie všetkým IPv6 smerovačom - tzv. **router solicitation** správu (RS)

Neighbor Solicitation, Neighbor Advertisement

Správa ICMPv6

Address Resolution

- Na zistenie fyzickej MAC adresy k odpovedajúcej IPv6 adrese - ako ARP v IPv4
- Zariadenie pošle správu NS na **solicited-node** multicastovú adresu (v tele bude celá hľadaná IPv6 adresa)
- Odpovie iba zariadenie, ktoré sa identifikuje podľa danej IPv6 adresy v NS správe, a odpovie správou typu NA (v tele bude jeho ethernetová MAC adresa)

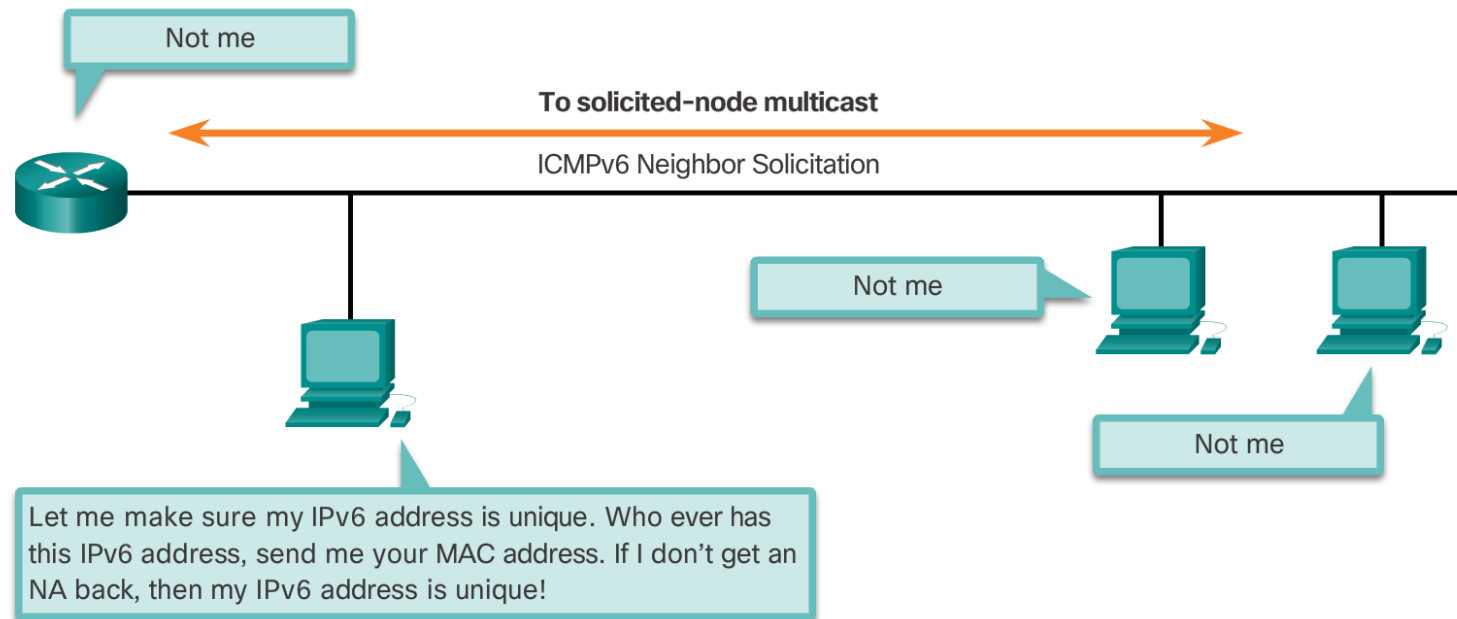


Neighbor Solicitation, Neighbor Advertisement

Správy ICMPv6

Duplicate Address Detection (iba odporúčané v RFC 4861)

- Odporúča sa vykonať vždy keď sa zariadeniu nakonfiguruje IPv6 adresa global unicast alebo link-local unicast, či je naozaj jedinečná
- Zariadenie pošle správu NS s cieľovou IPv6 adresou = jeho vlastná IPv6 adresa, ktorú chce otestovať na jedinečnosť
 - Ak nejaké iné zariadenia má túto adresu, odpovie správou NA
 - Ak nepríde žiadna NA správa do stanoveného času, považuje sa daná IPv6 za unikátnu a použiteľnú





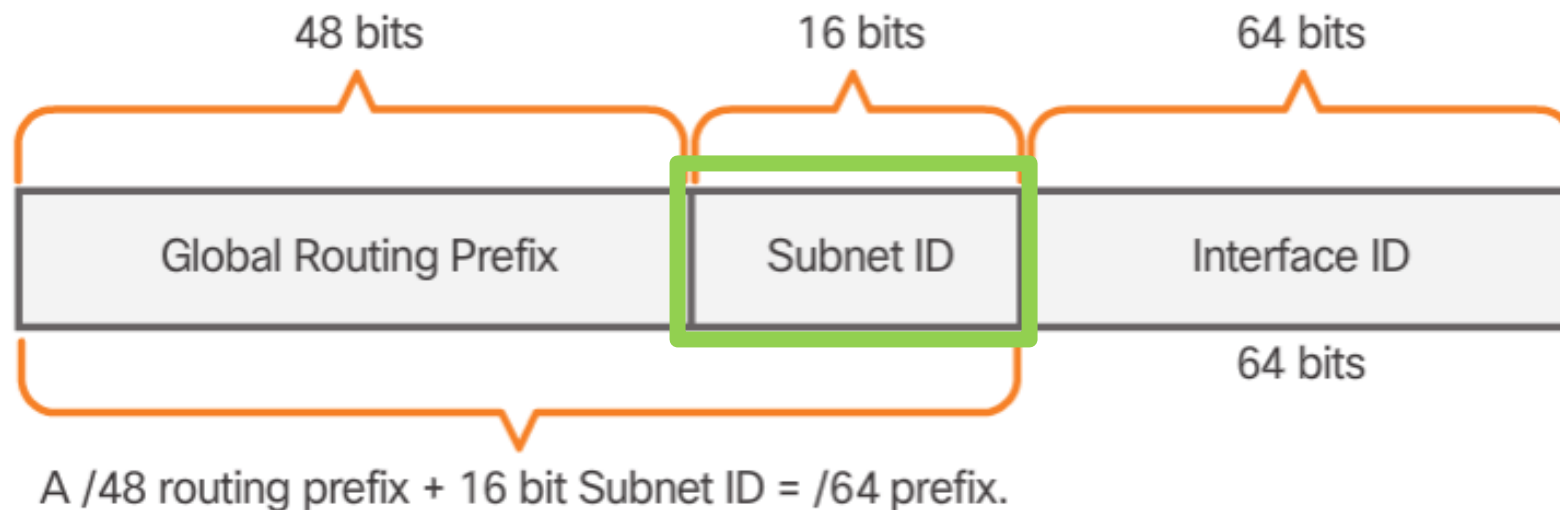
Téma 8.3.1

Subsiet'ovanie v IPv6

Subsiet'ovanie

Odlišný prístup v IPv6

- Dôvodom nie je šetrenie adresného priestoru (v IPv6 máme dostatok)
 - Subnet ID bohate stačí na tvorbu podsietí
- Dôvodom je vytvoriť hierarchiu v IPv6 adresovaní
- Link-local adresy sa nikdy nesubsiet'ujú
 - Majú len lokálny význam v rámci danej linky, mimo nej nie
- Global unicast adresy sa môžu subsiet'ovať



Subsiet'ovanie pomocou Subnet ID

- **16 bitov** je dostatok na tvorbu interných subsietí pre akúkoľvek organizáciu
 - **65,536 subsietí** s dĺžkou prefixu /64
 - 18,000,000,000,000,000,000 (18 quintillion) IPv6 adres v každej podsieti
 - Nie je potrebný prevod do binárnej sústavy, stačí počítať v hexa
- Subsiet'ovanie vrámci Interface ID (ako host portion v IPv4) je možné, ale málokedy potrebné
- Napr. naša fakulta má k dispozícii global routing prefix **2001:4118:300::/48**
 - 16 bitový Subnet ID sa používa na tvorbu subsietí na celej FRI

Address Block: 2001:0DB8:ACAD::/48

Increment subnet ID to create 65,536 subnets

2001:0DB8:ACAD:0000::/64
2001:0DB8:ACAD:0001::/64
2001:0DB8:ACAD:0002::/64
2001:0DB8:ACAD:0003::/64
2001:0DB8:ACAD:0004::/64
2001:0DB8:ACAD:0005::/64
2001:0DB8:ACAD:0006::/64
2001:0DB8:ACAD:0007::/64
2001:0DB8:ACAD:0008::/64
2001:0DB8:ACAD:0009::/64
2001:0DB8:ACAD:000A::/64
2001:0DB8:ACAD:000B::/64
2001:0DB8:ACAD:000C::/64

Subnets 13 – 65,534 not shown

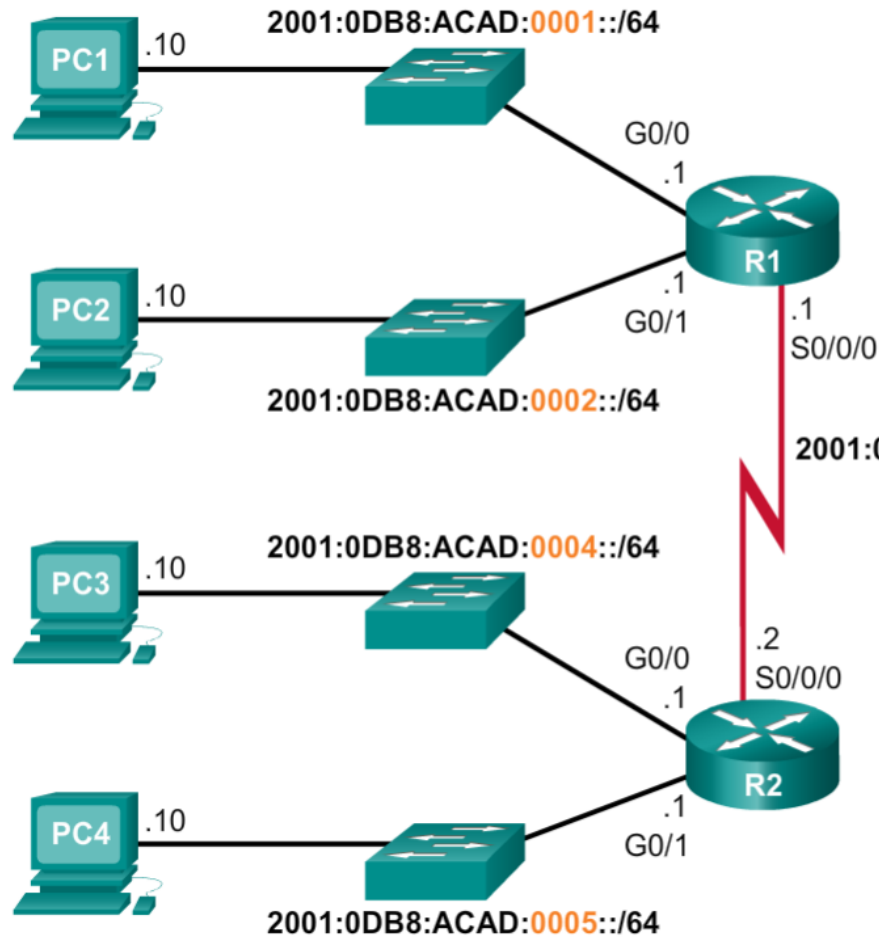
2001:0DB8:ACAD:FFFF::/64

Subsiet'ovanie pomocou Subnet ID

- To čo v IPv4 boli vyhradené adresy vrámci nejakého subnetu (adresa siete a broadcast), už v IPv6 nie sú vyhradené:
 - **Samé 1tky** – možno použiť, lebo v IPv6 nemáme broadcast, ale.. vrchných 128 adries je **rezervovaných** pre adresy: „**Subnet anycast**“
 - Napr. pre prefix **2001:DB8:ACAD:1:**

od	FFFF:FFFF:FFFF:FF00
do	FFFF:FFFF:FFFF:FFFF
 - Aktuálne sa využíva iba jedna **FFFF:FFFF:FFFF:FFFE**
pre Mobile IPv6 Home-Agents anycast
 - **Samé 0** – možno použiť, ale... je to **rezervované** pre anycastovú adresu „**Subnet-Router**“, takže sa prideľuje iba smerovačom
 - Napr. **2001:DB8:ACAD:1::**
 - Zamýšľaná pre aplikácie, v ktorých uzol potrebuje komunikovať s ktorýmkoľvek smerovačom z množiny smerovačov dostupných na danej linke (subsieti)

Subsiet'ovanie pomocou Subnet ID



Address Block: 2001:0DB8:ACAD::/48

2001:0DB8:ACAD:0000::/64
2001:0DB8:ACAD:0001::/64
2001:0DB8:ACAD:0002::/64
2001:0DB8:ACAD:0003::/64
2001:0DB8:ACAD:0004::/64
2001:0DB8:ACAD:0005::/64
2001:0DB8:ACAD:0006::/64
2001:0DB8:ACAD:0007::/64
2001:0DB8:ACAD:0008::/64
⋮
2001:0DB8:ACAD:FFFF::/64

```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:1::1/64
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface gigabitethernet 0/1
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:2::1/64
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface serial 0/0/0
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:3::1/64
R1(config-if)# end
R1#
```



Ďakujem za pozornosť



Ohodnot' našu CNA na google:

- <https://goo.gl/maps/BAnFvQKYCBpffcEX7>

