



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA  
TECHNICKÉ INFORMAČNÍCH  
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ



6

# IPv6 síťová vrstva

IPK 2021 L

# Obsah

## 1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Nové vlastnosti

## 2) IPv6 PAKET

## 3) ADRESOVÁNÍ

- Administrativní platnost adres
- Unicast, Multicast a Anycast adresy

## 4) PODPŮRNÉ PROTOKOLY PRO IPv6

- ICMPv6
  - NDP, MLDv1, MLDv2

## 5) KOEXISTENCE IPv4 A IPv6

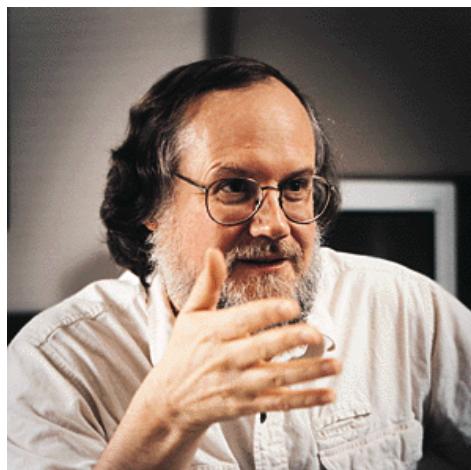
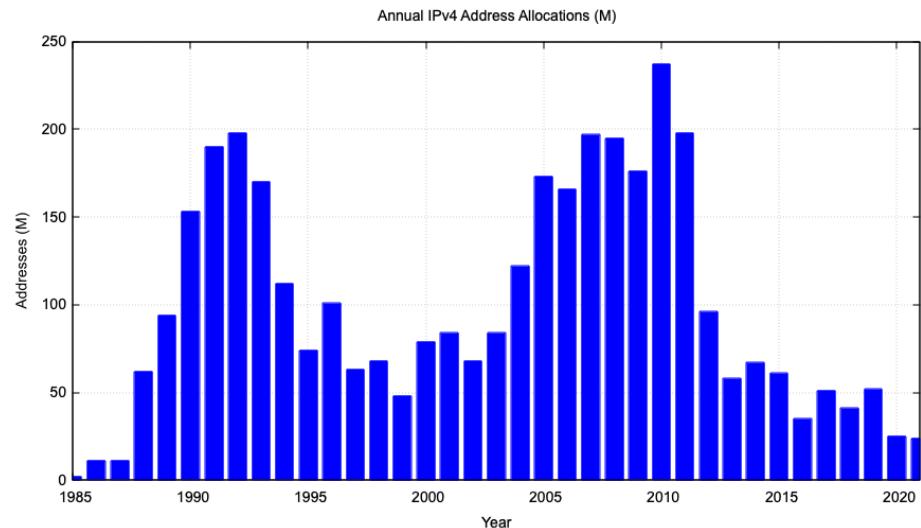
## 6) SMĚROVÁNÍ IPv6

- RIPng, OSPFv3, Multiprotocol BGP

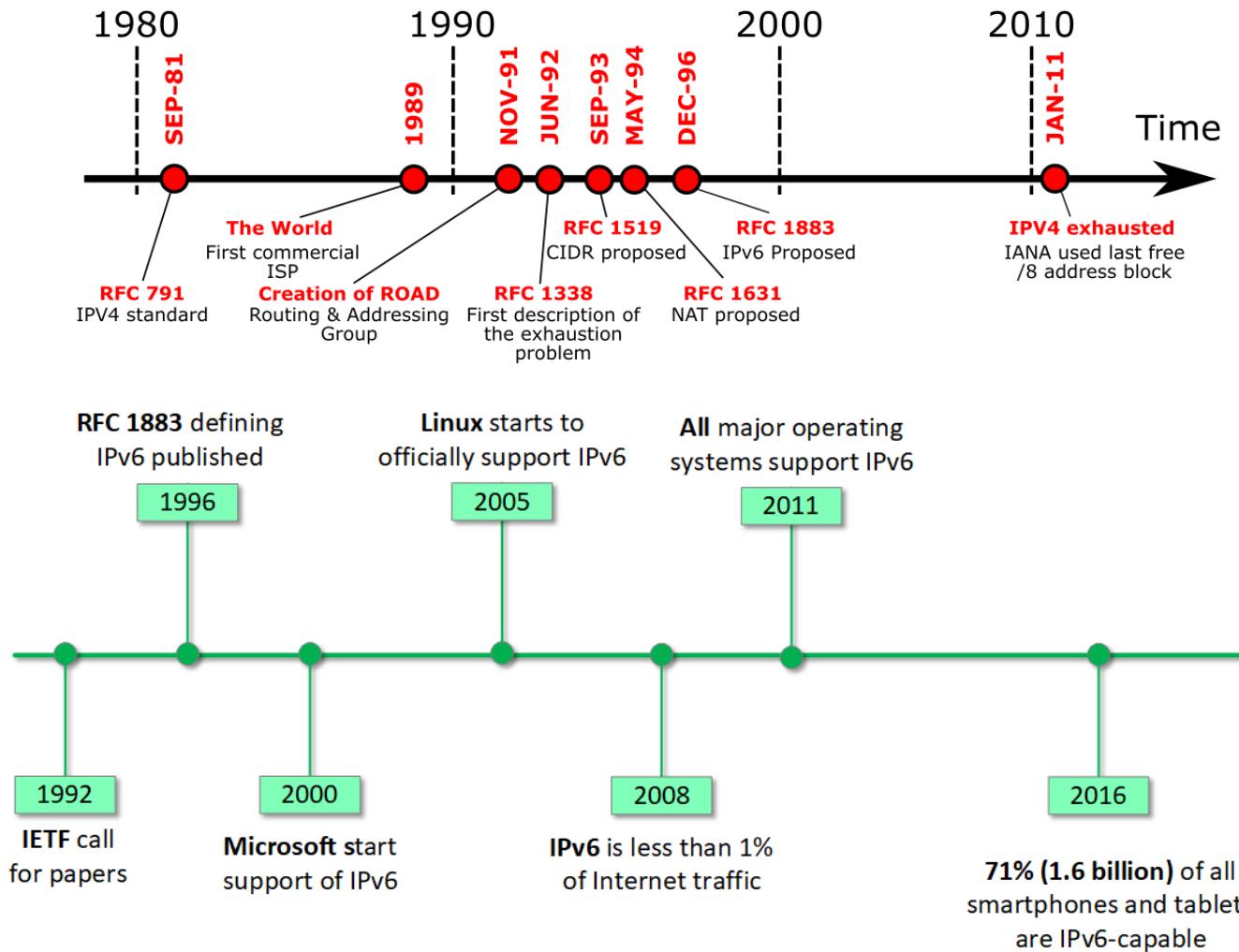
## 7) PROBLÉMY, ZHODNOCENÍ

# Jak se to stalo?

- 1992 address shortage
- IPv1-3 nejsou
- SIP->SIPP->IPv6->IPng
- RFC1883 -> RFC2460
- CLNS z ISO/OSI?



# Stav?



- <https://radar.cloudflare.com/notebooks/ipv6-adoption-2022>

# Motivace

1. Larger IP address space
2. Better end-to-end connectivity *NAT*
3. Ability for autoconfiguring devices *, bez DHCP přiřadit adresu*
4. Simplified header structures *lid IPV4 hlavně*
5. Better security (IPSEC – ESP, AH)
6. Better quality of services
7. Better multicast and anycast abilities *Doprava*
8. Mobility features
9. Ease of administration
10. Smooth transition from IPv4



# Nové vlastnosti

- Jedno rozraní má více než jednu IPv6 adresu
- Fragmentace a znovusestavení IP datagramu pouze na koncových systémech, nikoliv na směrovačích
  - Zvýšena minimální MTU na 1280 B
  - Path MTU Discovery for IP version 6 (RFC 1981)
- Zpracování hlavičky nevyžaduje přepočet kontrolního součtu
- Pevná velikost hlavičky – 40 bytů
- Není podporována broadcast adresa
  - Substituce obdobného chování multicastem

# Obsah

## 1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Nové vlastnosti

## 2) IPv6 PAKET

## 3) ADRESOVÁNÍ

- Administrativní platnost adres
- Unicast, Multicast a Anycast adresy

## 4) PODPŮRNÉ PROTOKOLY PRO IPv6

- ICMPv6
  - NDP, MLDv1, MLDv2

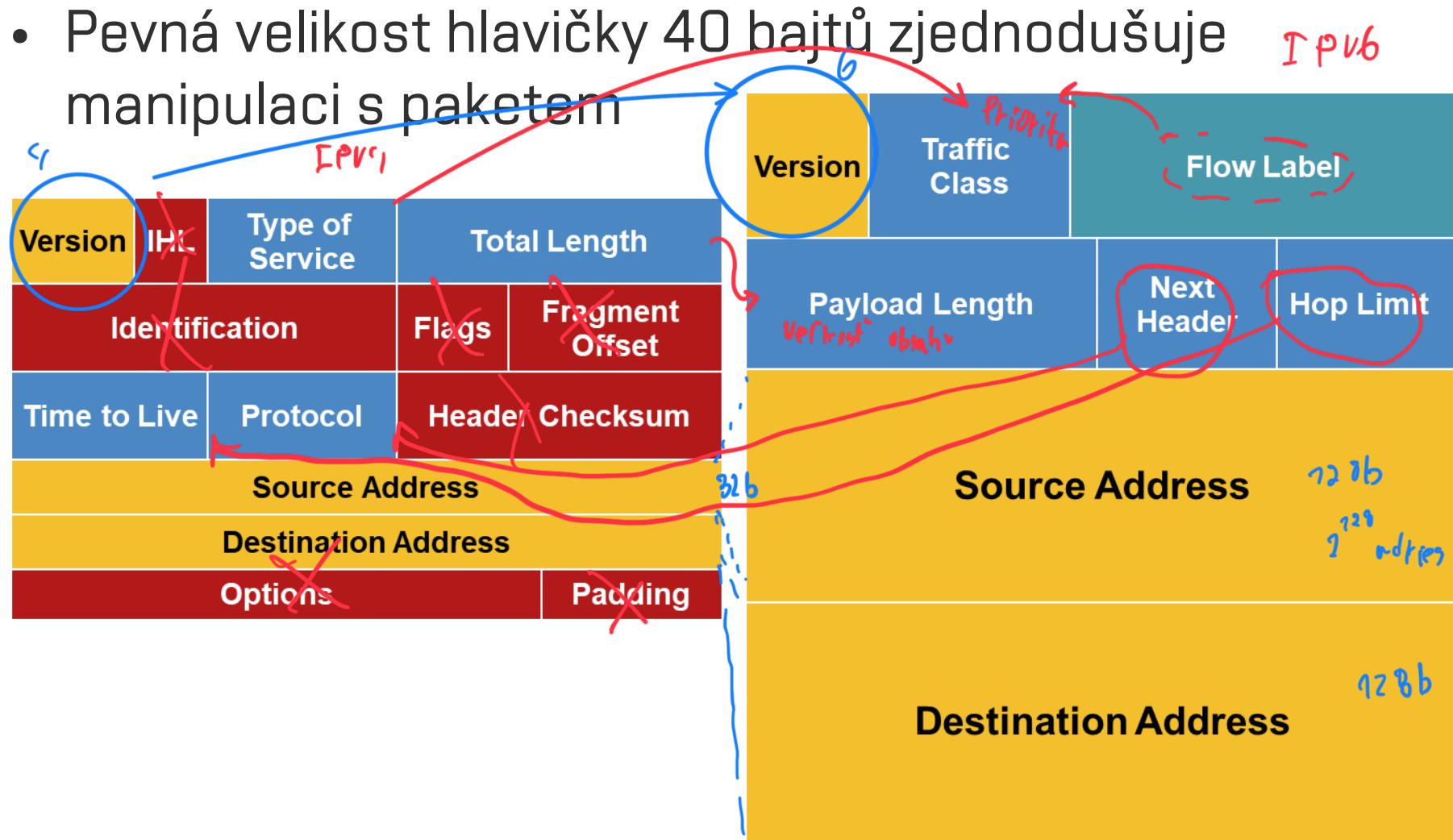
## 5) KOEXISTENCE IPv4 A IPv6

## 6) SMĚROVÁNÍ IPv6

- RIPng, OSPFv3, Multiprotocol BGP

## 7) PROBLÉMY, ZHODNOCENÍ

# Porovnání IPv4 a IPv6



# IPv6 příklad hlavičky

```
Internet Protocol Version 6, Src: fe80::e98c:aac:5b07:6d60, Dst: ff02::c
 0110 .... = Version: 6
> .... 0000 0000 .... .... .... .... .... = Traffic class: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
.... .... .... 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
Payload length: 154
Next header: UDP (17)
Hop limit: 1
Source: fe80::e98c:aac:5b07:6d60
Destination: ff02::c
```

# IPv6 datagram

- **Verze (Version)** – 4 bity, obsahuje hodnotu 6
- **Třída provozu (Traffic class)** – 8 bitů, pro potřeby služeb se zajištěnou kvalitou
- **Značka toku (Flow label)** – 20 bitů, identifikuje tok (proud souvisejících datagramů) (RFC 2460), umožňuje nestandardní prioritizaci přenosu, vysokorychlostní směrování
- **Délka dat (Payload length)** – 16 bitů, velikost dat následující hlavičku
- **Další hlavička (Next header)** – 16 bitů, určuje typ případné další volitelné/rozšiřující hlavičky (řetězení hlaviček) nebo identifikuje protokol vyšší vrstvy
- **Limit skoků (Hop count)** – počet možných přeposlání směrovači, snižována o 1 na každém směrovači, při vypšení zrušení datagramu, stejně jako TTL u IPv4
- **Zdrojová a cílová adresa (Source and destination address)** – adresa odesílatele a zdroje IP datagramu, dostatečně velká ?

# Řetězení hlaviček

- Rozšiřující hlavičky (Extension headers) se připojují za základní hlavičku datagramu, důležité je i pořadí těchto hlaviček [RFC 1883]
  - Hop-by-hop (Next header=0), Destination options (Next header=60), Routing (Next header=43), Fragment (Next header=44) [RFC 2460]
  - Authentication (AH) (Next header=51), Encapsulating Security Payload (ESP) (Next header=50) [RFC-2402],[RFC-2406]
  - No next header (Next header=59)
  - TCP/IP protokoly (TCP=6; UDP=17; OSPF=89 atd.)
- Rozšiřující hlavička obsahuje obvykle položky (Type-Length-Value) **TLV**
  - další hlavička
  - délka hlavičky
  - data hlavičky
  - 2 nejvyšší bity hlavičky určují co s datagramem, pokud směrovač typu rozšiřující hlavičky nerozumí (přejít na další hlavičku, zahodit datagram, zahodit s upozorněním podle adresy příjemce)

# Zřetězení hlaviček

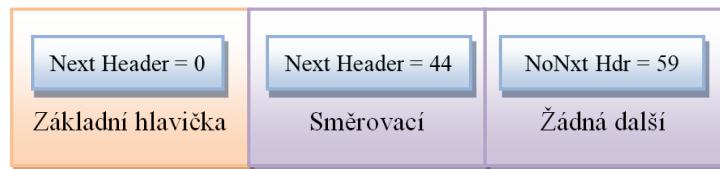
fITTP



Jen IPv6 Základní hlavička, za kterou následuje protokol a data vyšší vrstvy.



Základní hlavička se zřetězenými rozšiřujícími hlavičkami *Hop-By-Hop* a *Hlavičkou fragmentace*, za kterými následují fragmentovaná data.



Základní hlavička se zřetězenými rozšiřujícími *Směrovací hlavičkou* a *Žádnou další (No Next Header)* bez jakýchkoli dat.

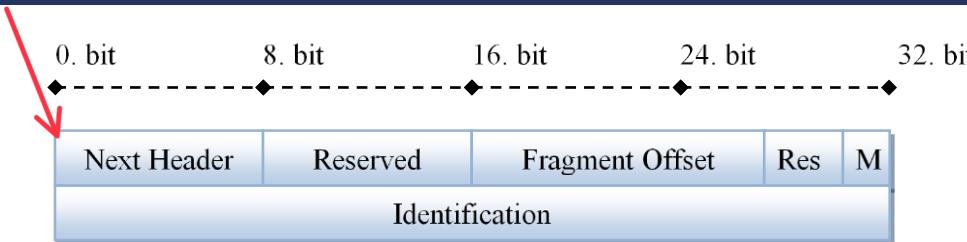
# Pořadí hlaviček

Odpovídá

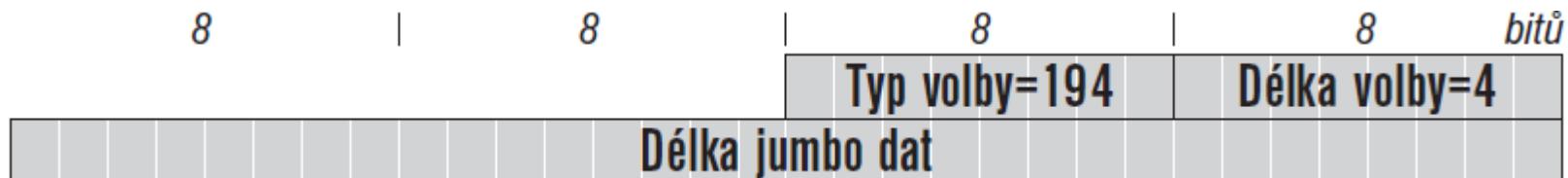
Pořadí	Next Header	Název + Popis
1.	-	Základní hlavička, tak jak je uvedena v předchozí podkapitole.
2.	0	<i>IPv6 Hop-by-Hop Option</i> obsahuje volby, které vykoná každý hop po cestě ke koncovému příjemci
3.	60	<i>IPv6-Opts</i> pro první cílovou adresu nebo adresy uvedené v hlavičce IPv6-Route.
4.	43	<i>IPv6-Route</i> obsahuje směrovací informace.
5.	44	<i>IPv6-Frag</i> značí, že datagram byl fragmentován na vícero kousků, podrobnější informace o procesu fragmentace jsou v další podkapitole.
6.	51	<i>AH</i> jako autentizace odesilatele, prokázání jeho totožnosti.
7.	50	<i>ESP</i> jako šifrování celého následujícího obsahu paketu za touto hlavičkou a zároveň i autentizace odesilatele.
8.	60	<i>IPv6-Opts</i> v něm jsou obsaženy informace pro konečného příjemce paketu.
9.	135	<i>Mobilita</i> a její podpora pomocí této speciální Rozšiřující hlavičky je nad rámec obsahu této technické zprávy.
10. – 11.	41	<i>IPv6 Encapsulation</i> sdělující, že paket byl odeslán tunelem 6to4.
10. – 11.	140	<i>Shim6</i> jiný tunelovací mechanismus místo 6to4, detaily k němu jsou k nalezení v [7].
12.	59	<i>IPv6-NoNxt</i> značí, že za kocem této hlavičky nenásleduje nic dalšího (žádný relevantní protokol ani vyšší vrstvy), veškerá za tím parsovaná data pomocí políčka Payload Length jsou ignorována.
13.	jiné	Všechny ostatní protokoly

# Fragmenty + Jumbogramy

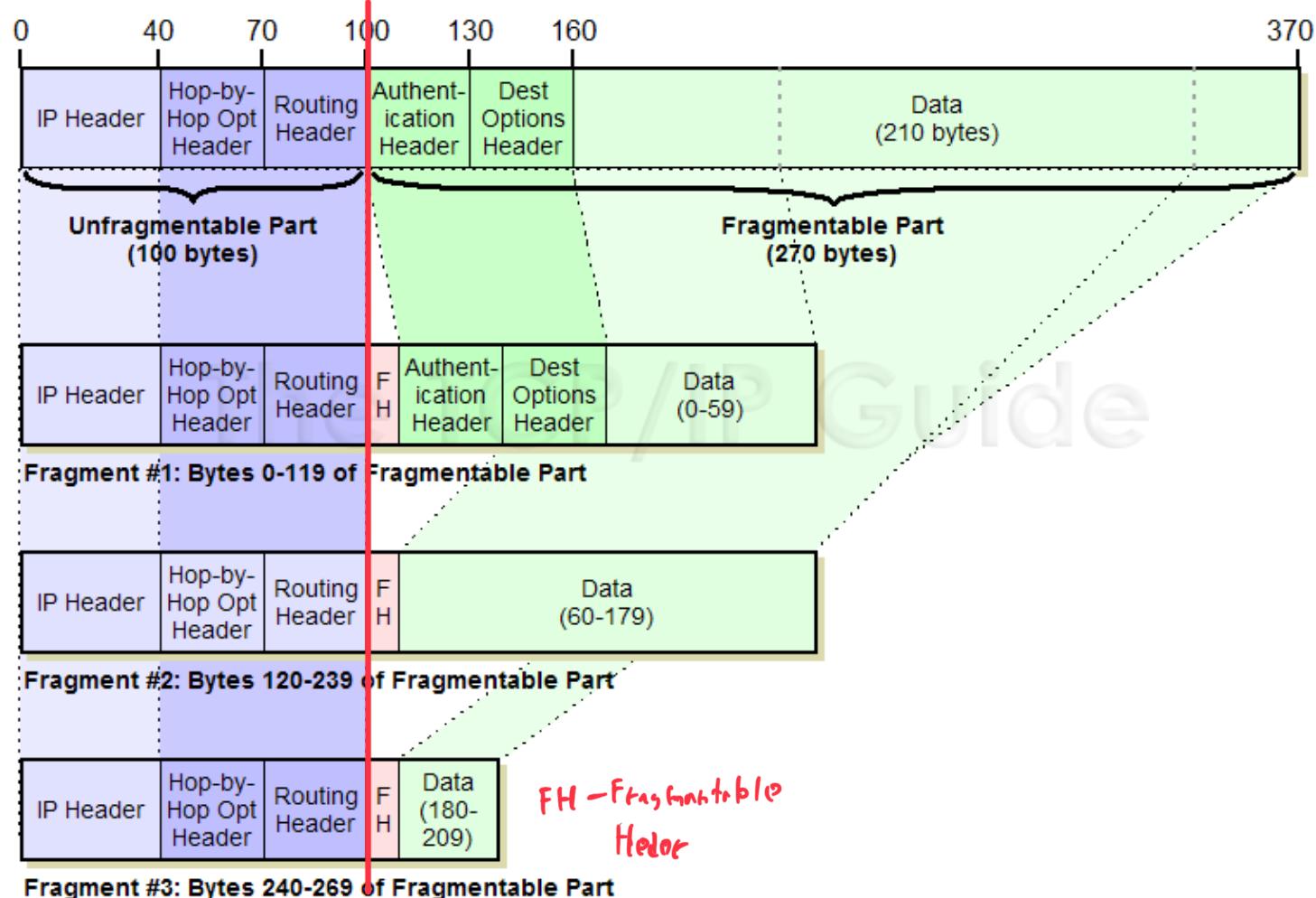
- **Fragmenty**



- minimální velikost MTU v IPv6 je 1280B (v IPv4 je to 576B)
- v IPv6 fragmentuje výhradně odesilatel
- směrovač s MTU menším než potřebné zahodí paket a odešle ICMPv6 zprávu
- nefragmentovatelná část – všechny hlavičky
- fragmentovatelná část – obsah datagramu
- objevování MTU cesty (RFC1981) je periodické, doporučeno každých 10 minut, používá se ICMPv6
- algoritmus objevování MTU cesty je volitelný, jinak používat 1280B
- **Jumbogramy**



# Ukázka fragmentace



# Obsah

## 1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Nové vlastnosti

## 2) IPv6 PAKET

## 3) ADRESOVÁNÍ

- Administrativní platnost adres
- Unicast, Multicast a Anycast adresy

## 4) PODPŮRNÉ PROTOKOLY PRO IPv6

- ICMPv6
  - NDP, MLDv1, MLDv2

## 5) KOEXISTENCE IPv4 A IPv6

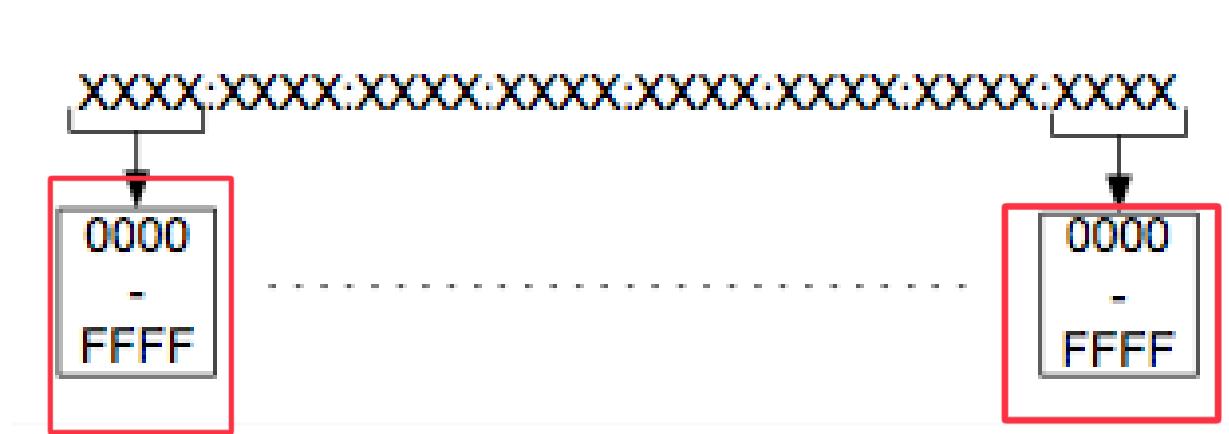
## 6) SMĚROVÁNÍ IPv6

- RIPng, OSPFv3, Multiprotocol BGP

## 7) PROBLÉMY, ZHODNOCENÍ

# IPv6 adresa

- Délka 128 bitů (16 bajtů) *IPv6 9 bajty - 9 krát více*
- Zápis v šestnáctkové soustavě, čtveřice číslic odděleny dvojtečkou



# IPv6 adresa

- Původně značná flexibilita zápisu

2001:**db8**:0:0:1:0:0:1

2001:db8::0:1:0:0:1

2001:0db8:0:0:1:0:0:1

2001:db8::1:0:0:1

2001:**dB8:0000**:0:1::1

2001:**DB8**:0:0:1::1

2001:**Odb8**::1:0:0:1

2001:db8:0:0:1::1

- Způsoby zápisu upravuje RFC 5952

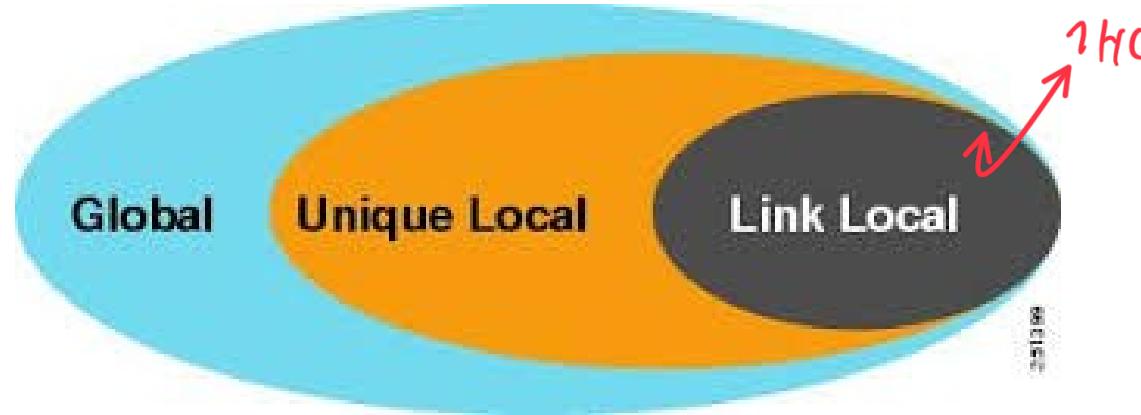
2001:db8::1:0:0:1

Nastoupí formát ale akce  
prvky se ↑

- Úvodní nuly ve čtveřici lze vyněchat Odb8 —> db8
- Nejdelší souvislou skupinu nulových čtveřic lze vyněchat a nahradit dvěma dvojtečkami 0000:0000 —> ::
- Hexadecimální znaky se píší malým
- 0000 se zkrátí na 0

# Administrativní platnost

- Název síť nebo podsíť je v IPv6 nahrazen pojmem „linka“ (link)
  - IPv6 uzel má na rozhraní více IPv6 adres
  - Adresy mají dosah (scope) a dobu platnosti (lifetime)
- 



# IPv6 adresový prostor

- **Individuální (Unicast) adresy**
  - Adresa nakonfigurována na rozhraní
  - Více různých typů (Link-local, Unique Local, Globální)
- **Skupinové (Multicast) adresy**
  - Adresace skupiny - komunikace one-to-many
  - Efektivní způsob komunikace, pokud je multicast na síti podporován
- **Výběrové (Anycast) adresy**
  - Identifikují službu nacházející se na více zařízeních než konkrétního hosta

# Významné adresy a prefixy

- Nespecifikovaná adresa

$::/128$  dížka  
mužský  
sirotin  
 $0.0.0.0$  IPv4

- Loopback

$::1/128$

- Link-local

$FE80::/10$  - 7 hop count

- Multicast adresy

$FF00::/8$

- IPv4 mapované adresy

$::ffff:A.B.C.D$

- Unique local

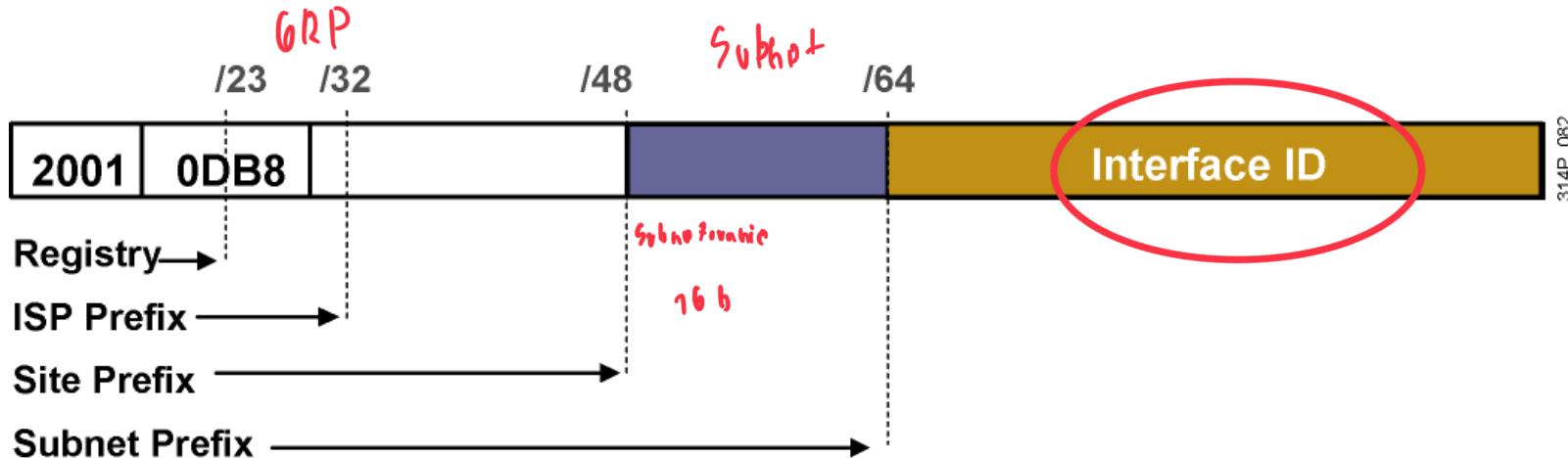
$FC00::/7$   
FC / FD

- Všechny ostatní jsou globální unicast adresy

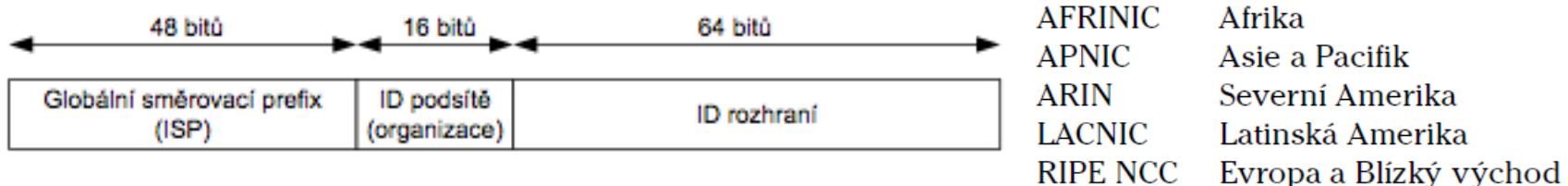
- až na pár výjimek v podobě rezervovaných prefixů pro technologie jako 6to4, Teredo, ISATAP

# Global Unicast and Anycast Addresses

- Global Unicast a Anycast adresa se nedají rozlišit
  - Global Routing Prefix
  - Subnet Prefix
  - Interface ID
- GRP and Subnet Prefix nemají pevně danou strukturu

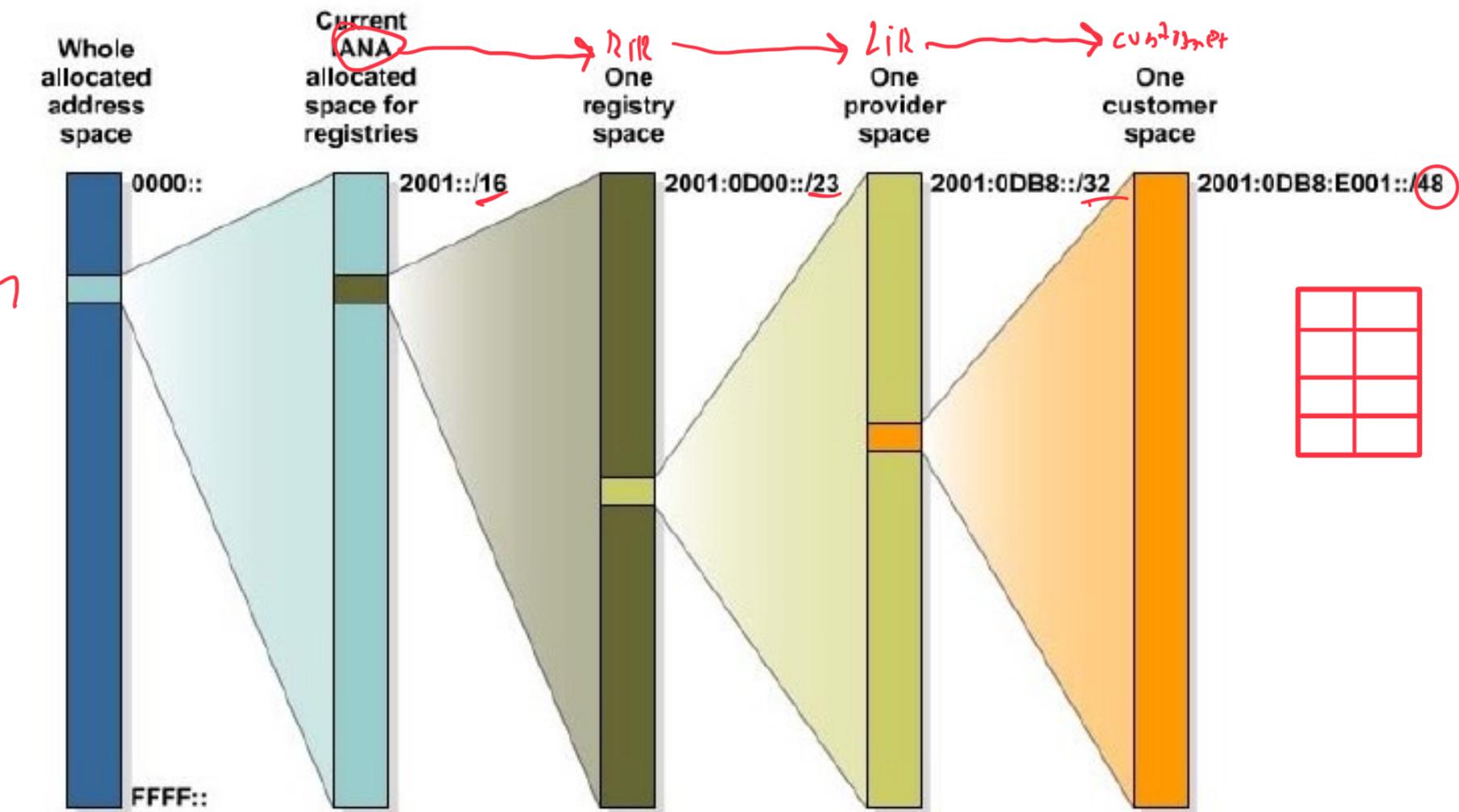


# Přidělování adres

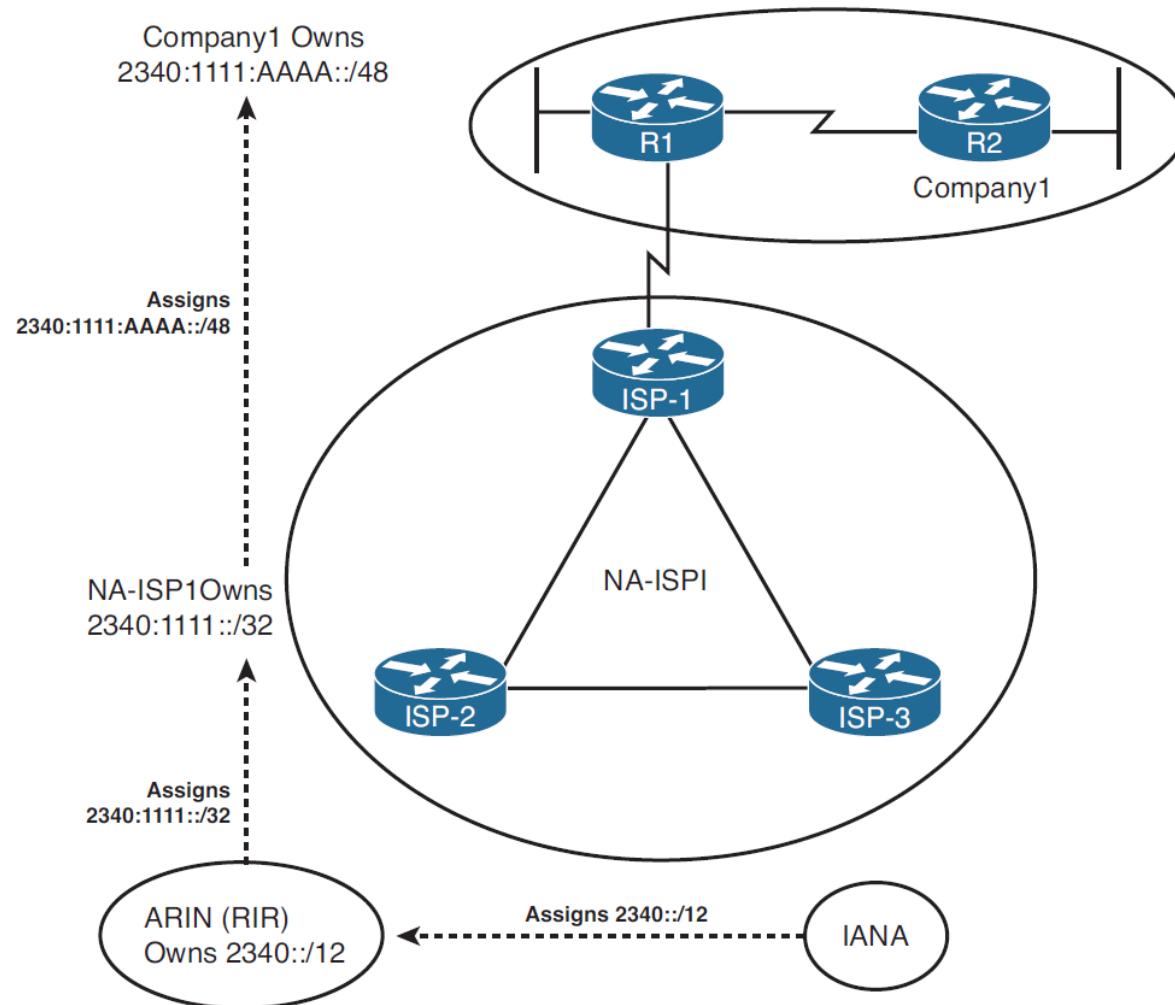


- IANA přiděluje prefix Regionálním registrátorů délky **/12** bitů
- RIPE NCC přiděluje lokálním registrům prefixy délky **/32** bitů
- Lokální registr má k dispozici 16 bitů pro rozlišení svých zákazníků (65536 zákazníků)
- Délka zákaznického prefixu je standardně **/48**
  - přidělován většině připojených sítí (malé i velké instituce, domácí sítě a podobně).
  - Prefix délky 64 bitů přidělovat v případech, kdy je zcela jisté, že dotyčná instalace nebude vyžadovat podsítě.
  - Pokud bude zcela jisté, že se připojuje jen jediné zařízení, lze přidělit prefix délky 128 bitů, tedy jedinou adresu.
- <http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments>

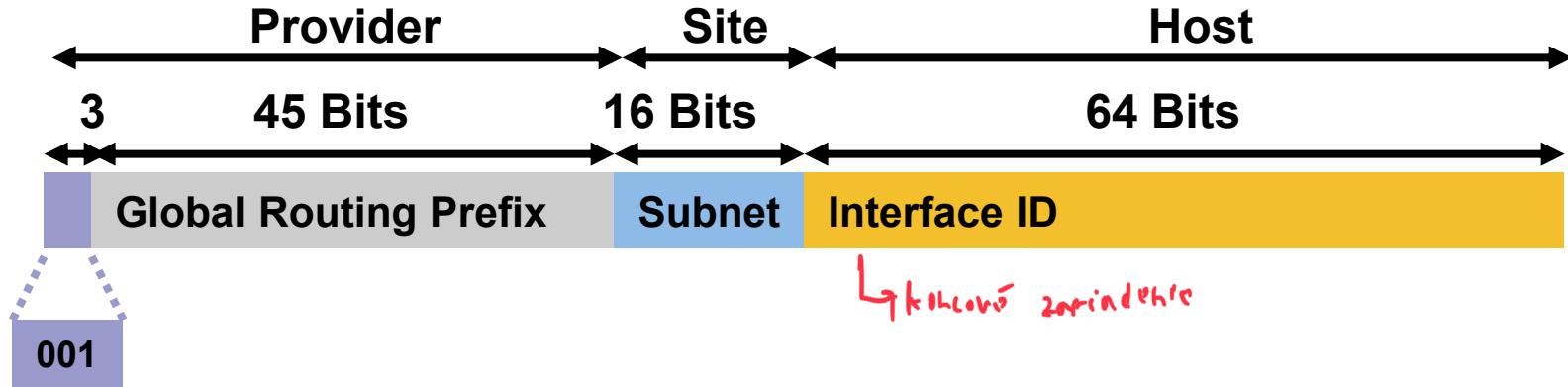
# Ukázka alokace



# Ukázka alokace



# IPv6 Global Unicast Address



- Globální směrovací prefix (**GRP**) identifikuje globální směrovací koncovou síť. Je síti přidělen lokálním internetovým registrem.
- Identifikátor podsítě (**Subnet ID**) slouží k rozlišení jednotlivých podsítí v rámci dané sítě. Spravuje administrátor sítě.
- Identifikátor rozhraní (**Interface ID**) umožňuje v jedné podsítí rozlišit  $18 \times 10^9$  různých rozhraní.

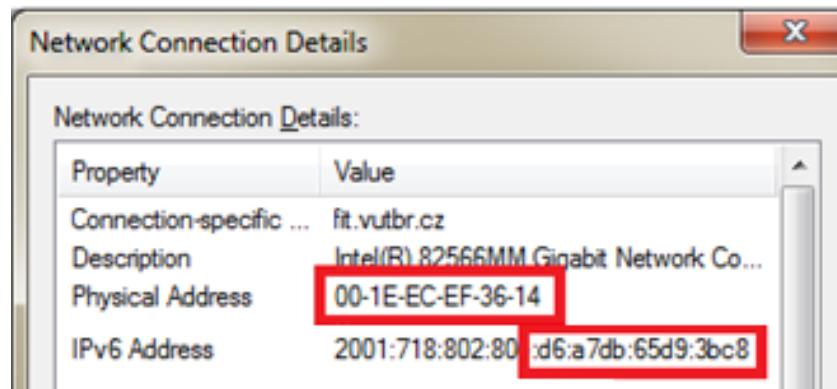
# Interface ID

- Interface ID může mít podobu

- EUI-64

```
Ethernet adapter Local Area Connection:  
Connection-specific DNS Suffix . :  
Description . . . . . : Intel(R) PRO/1000 MT Desktop Adapter  
Physical Address. . . . . : 08-00-27-0F-96-C0  
DHCP Enabled. . . . . : Yes  
Autoconfiguration Enabled . . . . . : Yes  
IPv6 Address. . . . . : 2001:db8:affe::1  
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::a00:27ff:fe0f:96c0%10
```

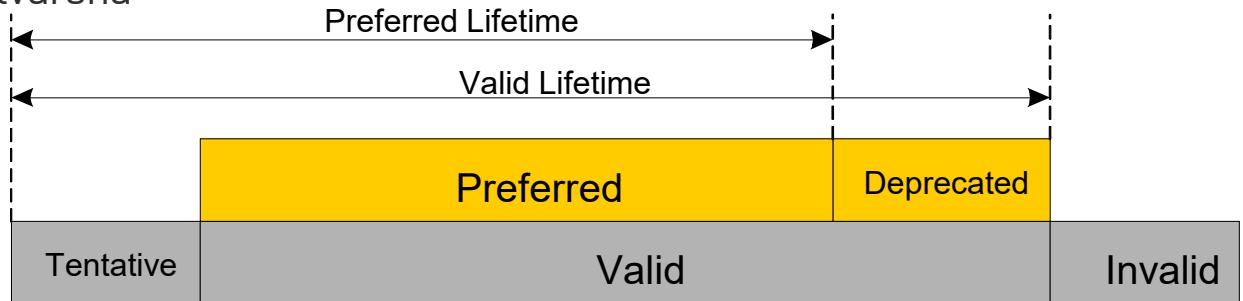
- Privacy Extension



- CGA

# Adresní stavy

- **Tentative**
  - fáze DAD
  - unicast komunikace je zakázaná
  - z multicastu je povolen jen NA
- **Valid**
  - adresa je unikátní a může být používána
  - validní adresa je ve dvou stavech **Preferred** and **Deprecated**
    - Preferred – adresa je používána
    - Deprecated – adresa je používána v rámci stávajících spojení, ale žádná nová na tuto adresu nesmí být vytvářena
- **Invalid**
  - po uplynutí Valid Lifetime
  - adresa nemůže být používána



# Příklad

```
C:\Users\Wrathion>netsh interface ipv6 show addresses
Interface 3: Ethernet

          Addr Type  DAD State   Valid Life Pref. Life Address
-----  -----
Dhcp      Preferred    1h4m42s    30m57s 2001:67c:1220:80e:4a:2148:aa92:da50
Temporary Deprecated   3d26m48s    0s   2001:67c:1220:80e:20ef:9b34:690e:7999
Temporary Deprecated   5d21m44s    0s   2001:67c:1220:80e:28b7:4f72:c62e:1dce
Public     Preferred   29d23h59m49s 6d23h59m49s 2001:67c:1220:80e:3574:1271:1faf:6c48
Temporary Deprecated   6d19m12s    16m45s 2001:67c:1220:80e:d872:9eed:c14:bd76
Temporary Deprecated   4d24m16s    0s   2001:67c:1220:80e:fd62:a061:c1c7:cfee
Other      Preferred    infinite  infinite fe80::3574:1271:1faf:6c48%3
```

```
C:\Users\Wrathion>netsh interface ipv6 show dnsservers
```

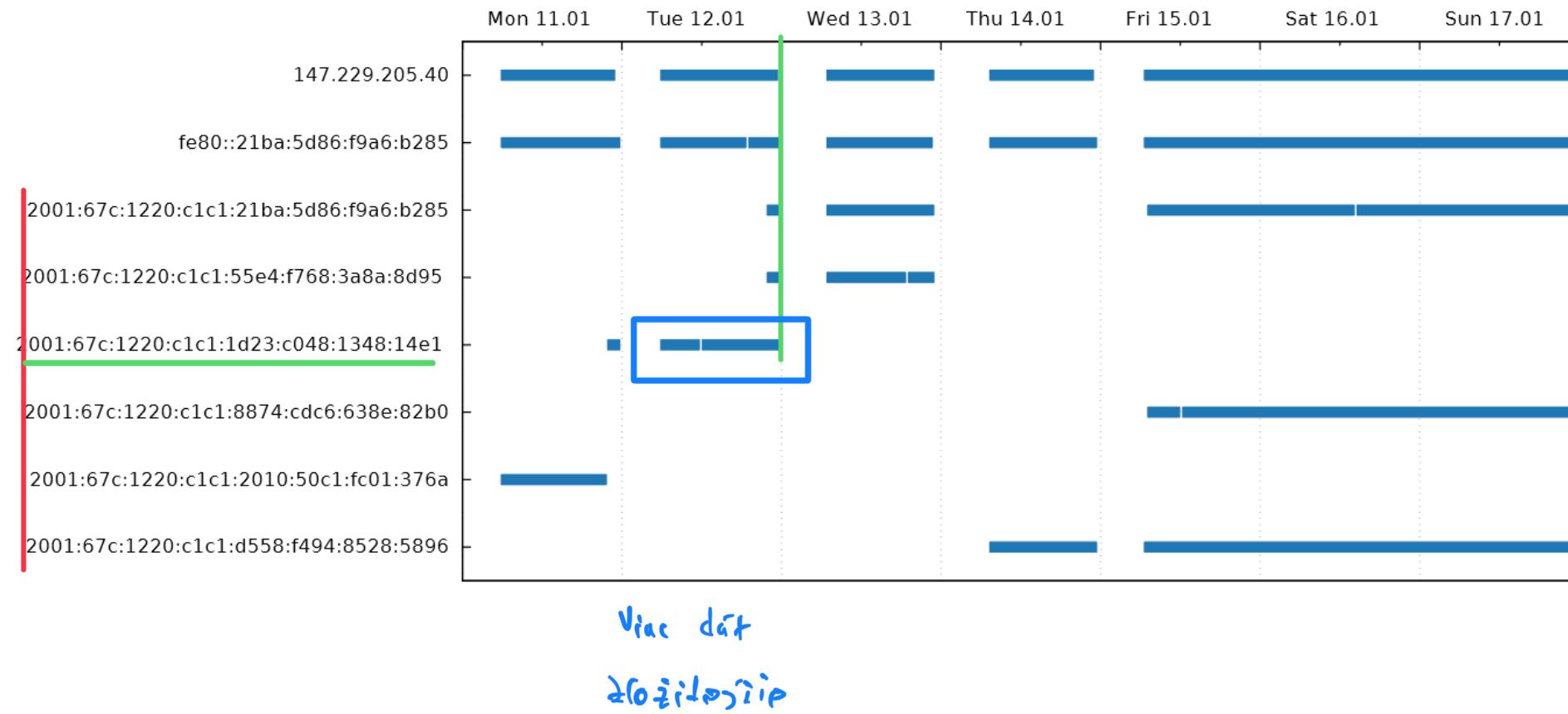
```
Configuration for interface "Ethernet"
DNS servers configured through DHCP: 2001:67c:1220:809::93e5:92b
                                         2001:67c:1220:808::93e5:92b
Register with which suffix:           Primary only
```

```
C:\Users\Wrathion>netsh interface ipv6 show joins
```

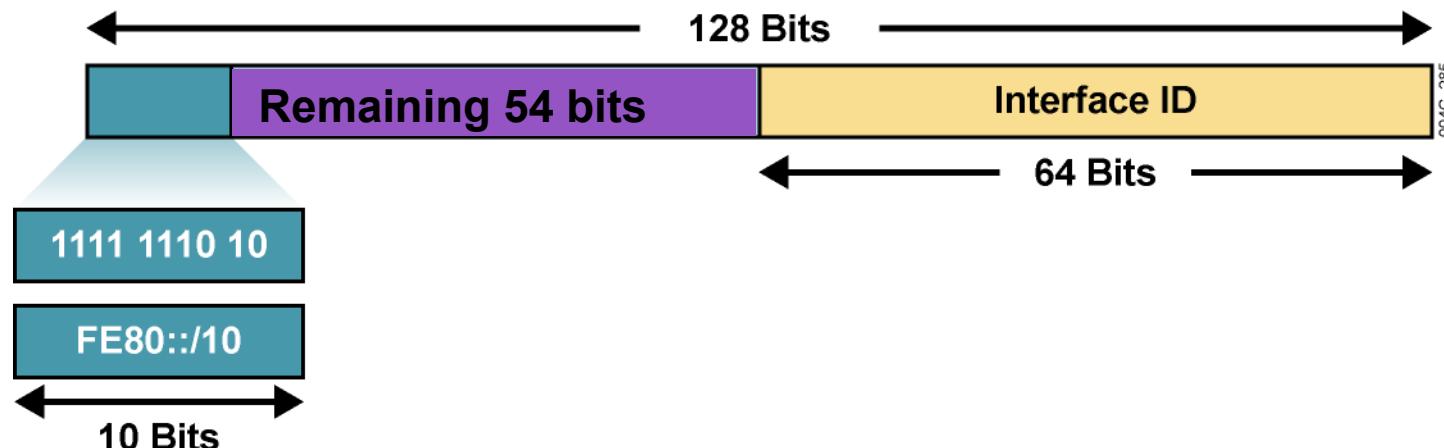
```
Interface 3: Ethernet
```

Scope	References	Last	Address
0	0	Yes	ff01::1
0	0	Yes	ff02::1
0	1	Yes	ff02::c
0	1	Yes	ff02::fb
0	1	Yes	ff02::1:3
0	1	Yes	ff02::1:ff0e:7999
0	1	Yes	ff02::1:ff14:bd76
0	1	Yes	ff02::1:ff2e:1dce
0	1	Yes	ff02::1:ff92:da50
0	2	Yes	ff02::1:ffaf:6c48
0	1	Yes	ff02::1:ffc7:cfee

# Realita s počtem adres



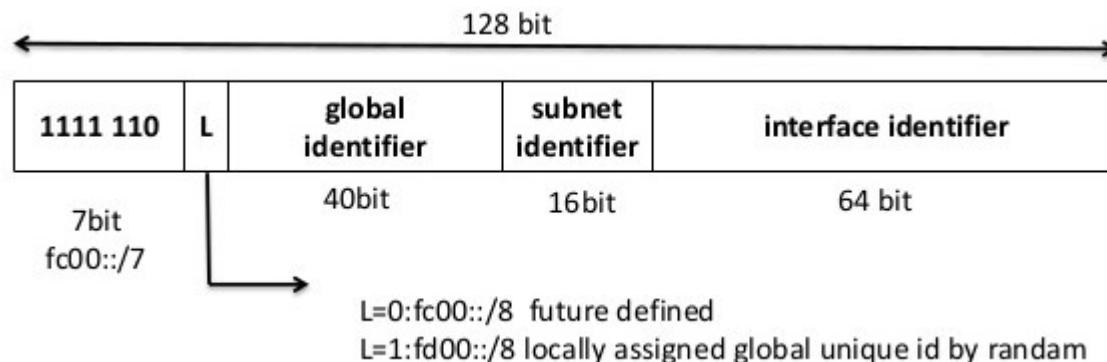
# Link-Local Address



- **Link-local address** has specific FE80::/10
  - random 54 bits (usually zero) and Interface ID in EUI-64 format or created by Privacy extensions
  - Mandatory address for communication between two IPv6 devices
  - **Automatically assigned by router as soon as IPv6 is enabled**
  - Also used for next-hop calculation in routing protocols
  - Unique and valid only in one broadcast domain
    - Usage of **zone** to differentiate interface --> ff08::9abc%10/64

# ULA adresy

- a.k.a. „privátní“ a.k.a Unique Local IPv6 unicast Address



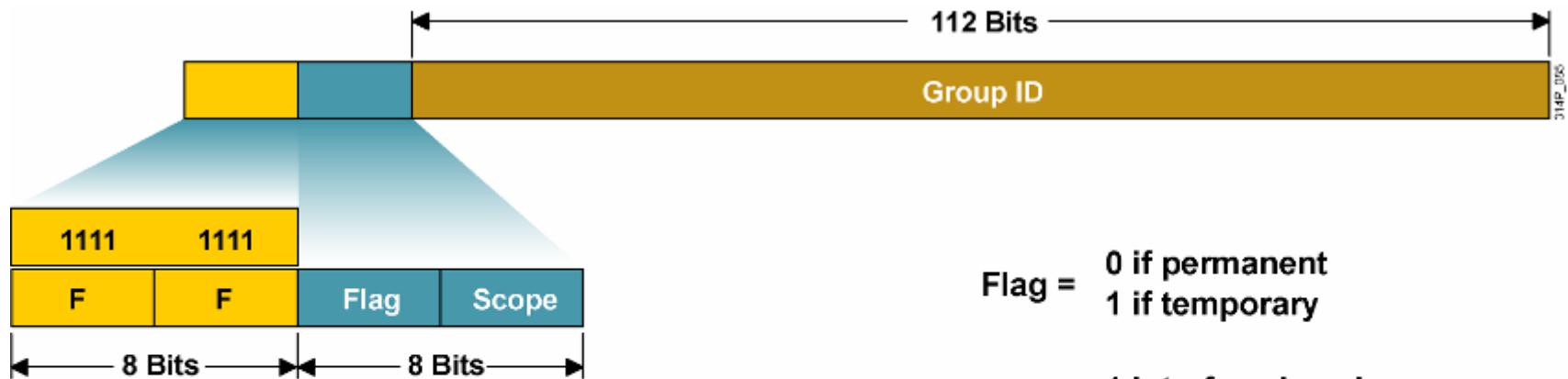
- ULA address generator

*Pseudo-Random Global ID Algorithm:*

- 1) Obtain the current time of day in 64-bit NTP format
- 2) Obtain EUI-64 identifier (from MAC for example) or any suitably unique ID
- 3) Concatenate the time (1) with the system ID (2)
- 4) Compute SHA-1 digest of (3) and use the least significant 40 bits as <sub>15</sub> Global ID

- <https://www.sixxs.net/tools/grh/ula/>

# Skupinové adresy



- Příznaky – první 3 bity rezervovány = 0, poslední = 0 (permanentní adresa, well-known), = 1 (adresa je určená pro privátní použití)
- Rozsah – určuje topologické hranice skupinového přenosu

Flag =  
0 if permanent  
1 if temporary

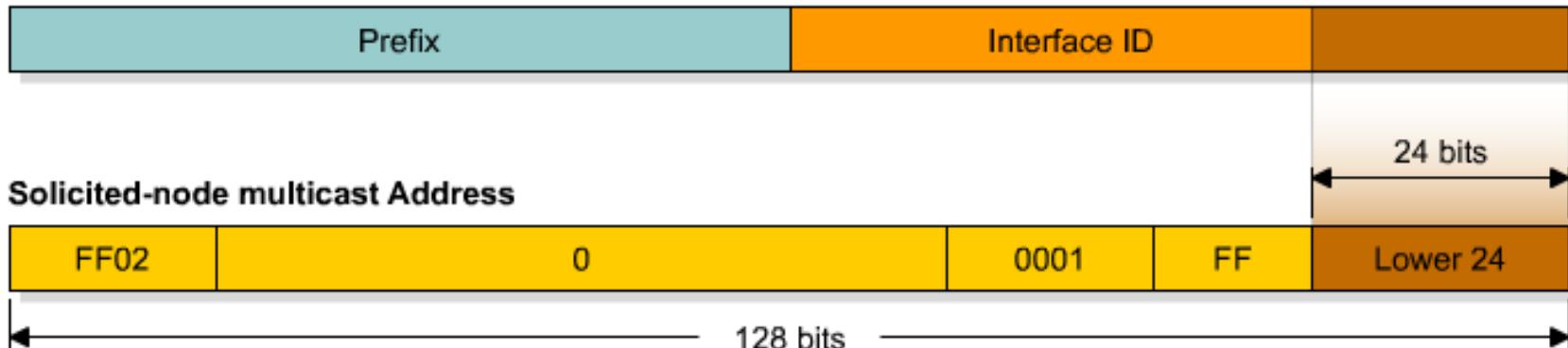
Scope =  
1 Interface-Local  
2 Link-Local  
3 Subnet-Local  
4 Admin-Local  
5 Site-Local  
8 Organization  
E Global

# Příklady MA

	Meaning	Scope
FF02::1	229.0.0.1 All nodes	 Link-local
FF02::2	229.0.0.2 All routers	 Link-local
FF02::9	229.0.0.9 All RIP routers	 Link-local
FF02::1:FFXX:XXXX	Solicited-node	 Link-local
FF05::101	All NTP servers	 Site-local

# Solicited-Node MA

IPv6 Address

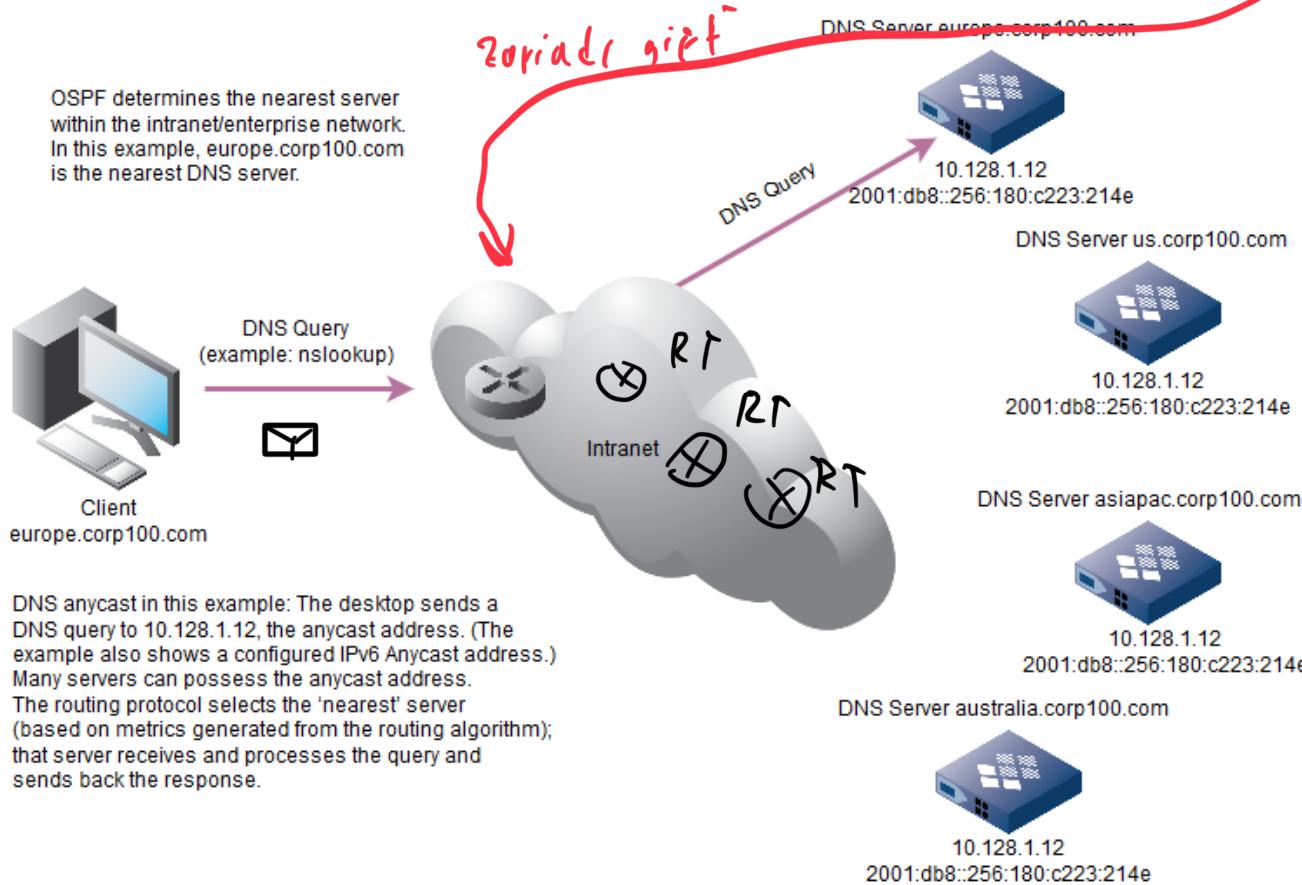


- **Solicited-node multicast address** consists of prefix FF02::1:FF:/104 + lower 24 bits corresponding unicast or anycast address of the node
- Used by ICMPv6
  - ICMPv6 is encapsulated in IPv6 packet, Solicited-Node address is used as destination IPv6 address
  - Address with link-local scope

# Princip anycast

Kohouti - 1 → řešení

- Formát pro rezervované výběrové adresy definuje RFC 2526, teoreticky může být i individuální adresa.



# Reálný příklad anycastu

- DNS kořenové servery <https://www.iana.org/domains/root/servers>

The screenshot shows the 'Root Servers' section of the IANA Domain Names website. A callout bubble highlights the title 'Root Servers'. An arrow points from the 'Root Servers' link in the sidebar to the table below.

**Domain Names**

**Root Zone Management**

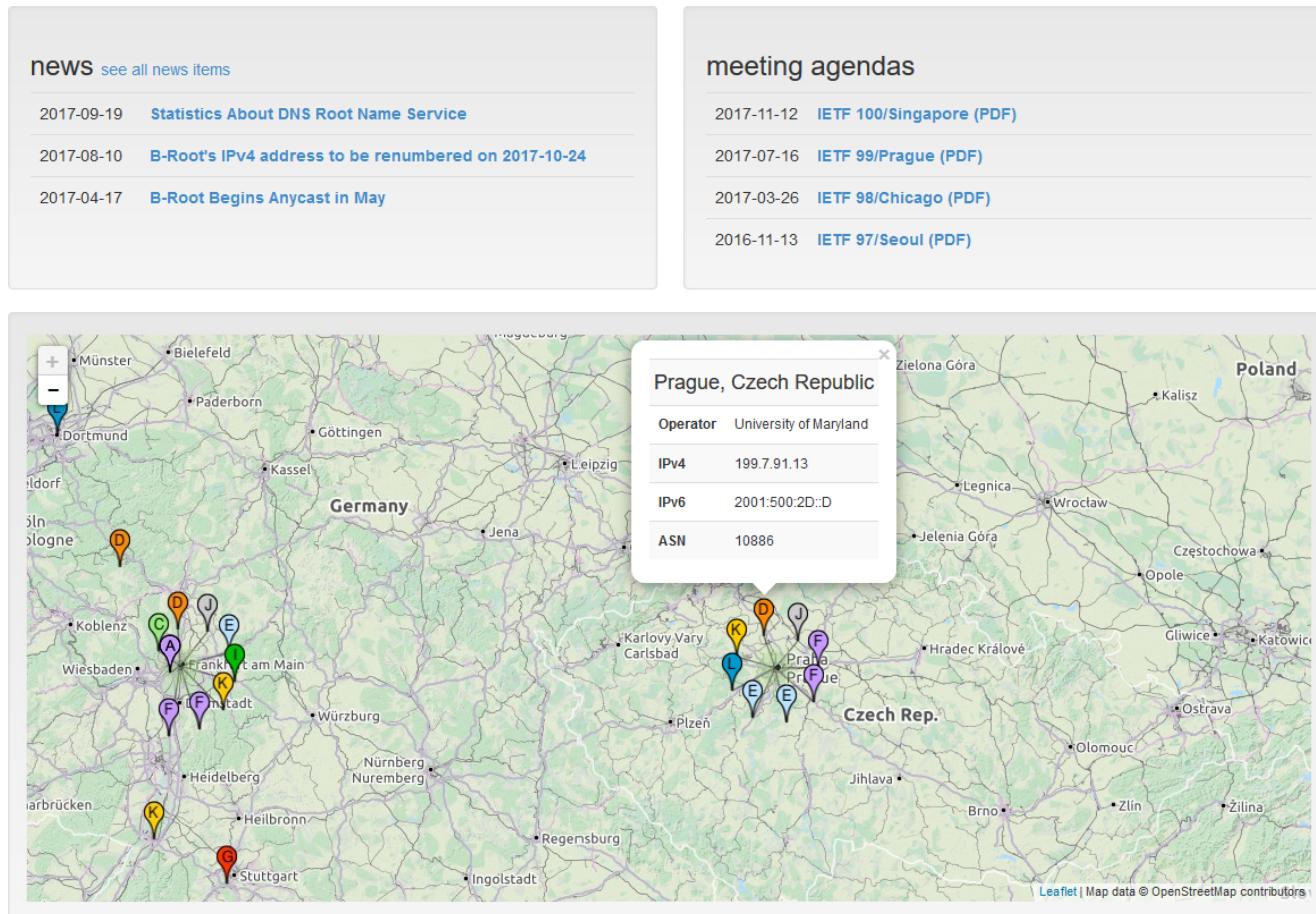
- Root Servers

**List of Root Servers**

HOSTNAME	IP ADDRESSES	MANAGER
a.root-servers.net	198.41.0.4, 2001:503:ba3e::2:30	VeriSign, Inc.
b.root-servers.net	199.9.14.201, 2001:500:200::b	University of Southern California (ISI)
c.root-servers.net	192.33.4.12, 2001:500:2::c	Cogent Communications
d.root-servers.net	199.7.91.13, 2001:500:2d::d	University of Maryland
e.root-servers.net	192.203.230.10, 2001:500:a8::e	NASA (Ames Research Center)
f.root-servers.net	192.5.5.241, 2001:500:2f::f	Internet Systems Consortium, Inc.
g.root-servers.net	192.112.36.4, 2001:500:12::d0d	US Department of Defense (NIC)
h.root-servers.net	198.97.190.53, 2001:500:1::53	US Army (Research Lab)
i.root-servers.net	192.36.148.17, 2001:7fe::53	Netnod
j.root-servers.net	192.58.128.30, 2001:503:c27::2:30	VeriSign, Inc.
k.root-servers.net	193.0.14.129, 2001:7fd::1	RIPE NCC
l.root-servers.net	199.7.83.42, 2001:500:9f::42	ICANN
m.root-servers.net	202.12.27.33, 2001:dc3::35	WIDE Project

# Reálný příklad anycastu

- DNS kořenové servery <http://www.root-servers.org/>



# Poznámky k anycastu

## Motivace k zavedení

- Přibližné rozkládání zátěže – dotazy z určité části sítě se sejdou vždy na jednomz uzlů poskytujících výběrově adresovanou služu. Dochází k rozdělení sítě na spádové oblasti.
- Zrychlení doby odezvy díky kratší cestě mezi klientem a serverem. ✓
- Lepší odolnost proti útokům typu DoS a DDoS – útočníci jsou schopni „dosáhnout“ jen na servery, v jejichž spádových obastech se sami nacházejí.
- Zmenšení počtu adres, na nichž je služba poskytována.

## Problémy

- výběrová adresa je z rozsahu globální unikátních adres
- směrování
  - v rámci sítě
  - v rámci Internetu
- stavové informace služeb

# Obsah

## 1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Nové vlastnosti

## 2) IPv6 PAKET

## 3) ADRESOVÁNÍ

- Administrativní platnost adres
- Unicast, Multicast a Anycast adresy

## 4) PODPŮRNÉ PROTOKOLY PRO IPv6

- ICMPv6
  - NDP, MLDv1, MLDv2

## 5) KOEXISTENCE IPv4 A IPv6

## 6) SMĚROVÁNÍ IPv6

- RIPng, OSPFv3, Multiprotocol BGP

## 7) PROBLÉMY, ZHODNOCENÍ

# ICMPv6

↳

- IPv6 vyžaduje podobně jako IPv4 řídicí protokol pro zasílání informačních a chybových zpráv [RFC 2463]

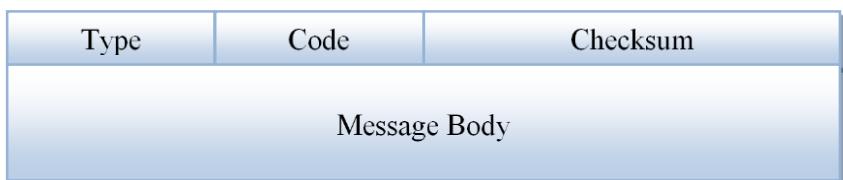
- Součástí jsou i podpůrné protokoly

- ICMP

- IGMP (↳ MLD)

- ARP (↳ NDPU)

0. bit      8. bit      16. bit      24. bit      32. bit



<i>chyby</i>
1      cíl je nedosažitelný
2      příliš velký paket
3      vypršela životnost paketu
4      problém s parametry
<i>echo</i>
128     požadavek na echo
129     odpověď na echo
<i>MLD (skupinové adresování)</i>
130     dotaz na členství ve skupině
131     ohlášení členství ve skupině
132     ukončení členství ve skupině
143     ohlášení členství ve skupině (MLDv2)
<i>objevování sousedů</i>
133     výzva směrovači
134     ohlášení směrovače
135     výzva sousedovi
136     ohlášení souseda
137     přesměrování
148     žádost o certifikační cestu
149     ohlášení certifikační cesty
<i>informace o uzlu</i>
139     dotaz na informace
140     odpověď s informacemi
<i>inverzní objevování sousedů</i>
141     IND výzva
142     IND ohlášení
<i>mobilita</i>
144     žádost o adresy domácích agentů
145     odpověď s adresami domácích agentů
146     žádost o mobilní prefix
147     ohlášení mobilního prefixu
154     rychlé předání
<i>objevování skupinových směrovačů</i>
151     ohlášení skupinového směrovače
152     výzva skupinovému směrovači
153     ukončení skupinového směrovače

# ICMP Informace o uzlu

- RFC4620: IPv6 Node Information Queries
- získání informací o uzlech v síti:
  - jméno uzlu (plně kvalifikované doménové jméno)
  - seznam IPv6 adres
  - seznam IPv4 adres
- Možné použití při objevování počítačů v síti
  - Bezpečnost (ping sweeping)?

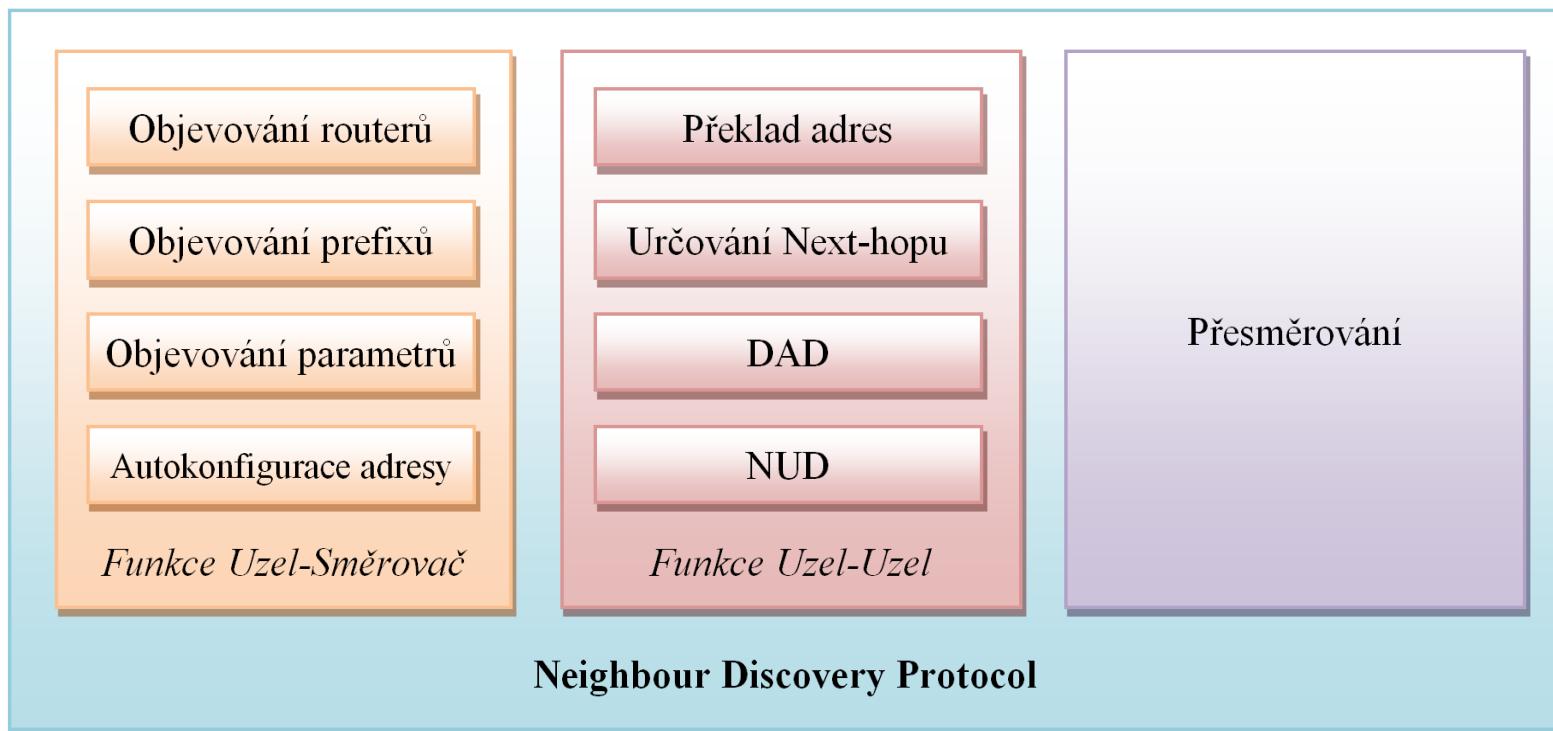
informace o uzlu

139 dotaz na Informace

140 odpověď s Informacemi

# Objevování sosedů

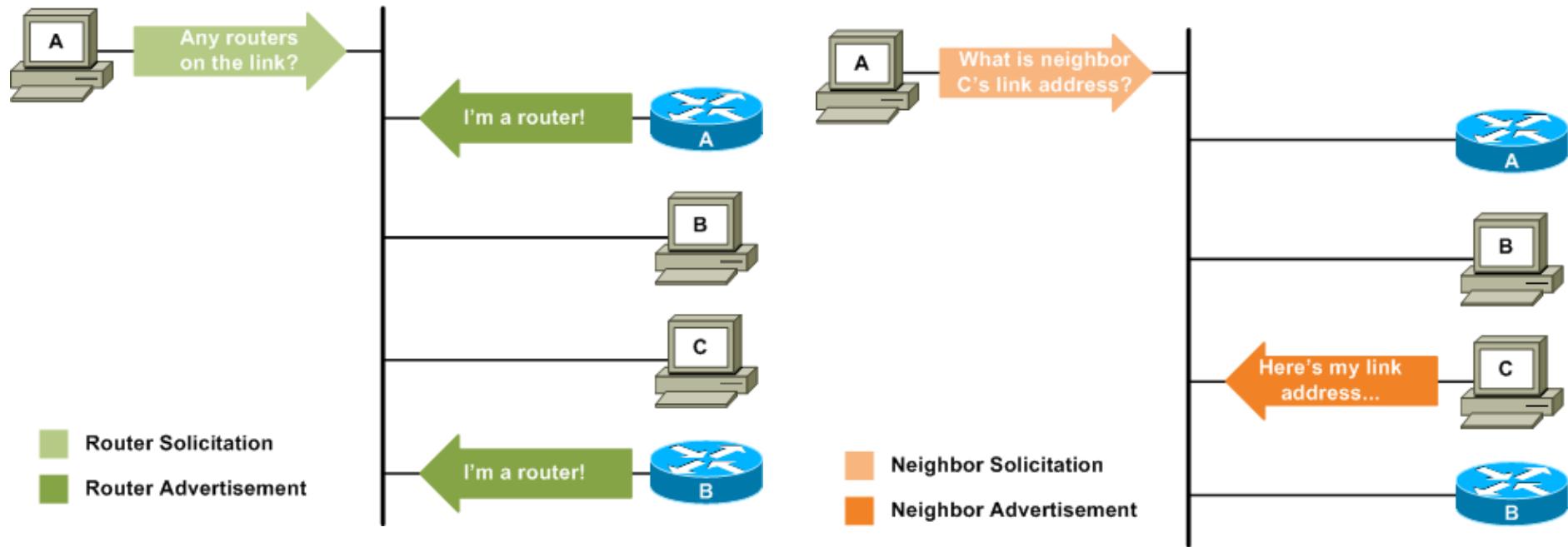
- Tento protokol řeší spoustu provozních otázek souvisejících s vrstvami L2 a L3



# NDP zprávy

- **Router Advertisement (RA)**
  - periodické zprávy směrovače oznamující jeho existenci, specifické parametry jako prefix linky, MTU
  - vysílány také jako odpovědi na SA *SLACK*
- **Router Solicitation (RS)**
  - požadavek hosta na zaslání RA
- **Neighbor Solicitation (NS)**
  - požadavek na získání linkové adresy, pro detekci duplikované adresy
- **Neighbor Advertisement**
  - odpověď na NS
  - při změně linkové adresy vyšle unsolicited NA
- Redirect – přesměrování na jiný směrovač
- Inverzní objevování sousedů

# NDP Illustrace



# NDP a Solicited-Node adresy

My IPv6!  
Here is the  
MAC?



MAC Address  
00-1B-24-04-A2-1E

2001:DB8:CAFE:1::200/64

FF02::1:FF00:200 (Solicited Node Multicast)

## Solicited-Node Example

4

Neighbor  
Advertisement

2001:DB8:CAFE:1::/64

3

Neighbor  
Solicitation

Know  
IPv6, what  
is the  
MAC?



MAC Address  
00-21-9B-D9-C6-44

2001:DB8:CAFE:1::100/64

2 5

### Neighbor Cache

2001:DB8:CAFE:1::200  
00-1B-24-04-A2-1E

1

PC1> ping 2001:DB8:CAFE:1::200

- ICMPv6 NS: Target IPv6 Address (GUA of PC2)
- Destination IPv6: **Solicited-Node Multicast**
- Destination MAC Address: **Layer 2 Multicast**

Ethernet

IPv6

ICMPv6 Neighbor Solicitation

Destination MAC:  
33-33-FF-00-02-00

Destination Address:  
FF02::1::FF00:200

Target IPv6 Address  
2001:DB8:CAFE:1::200

# Neighbor Cache

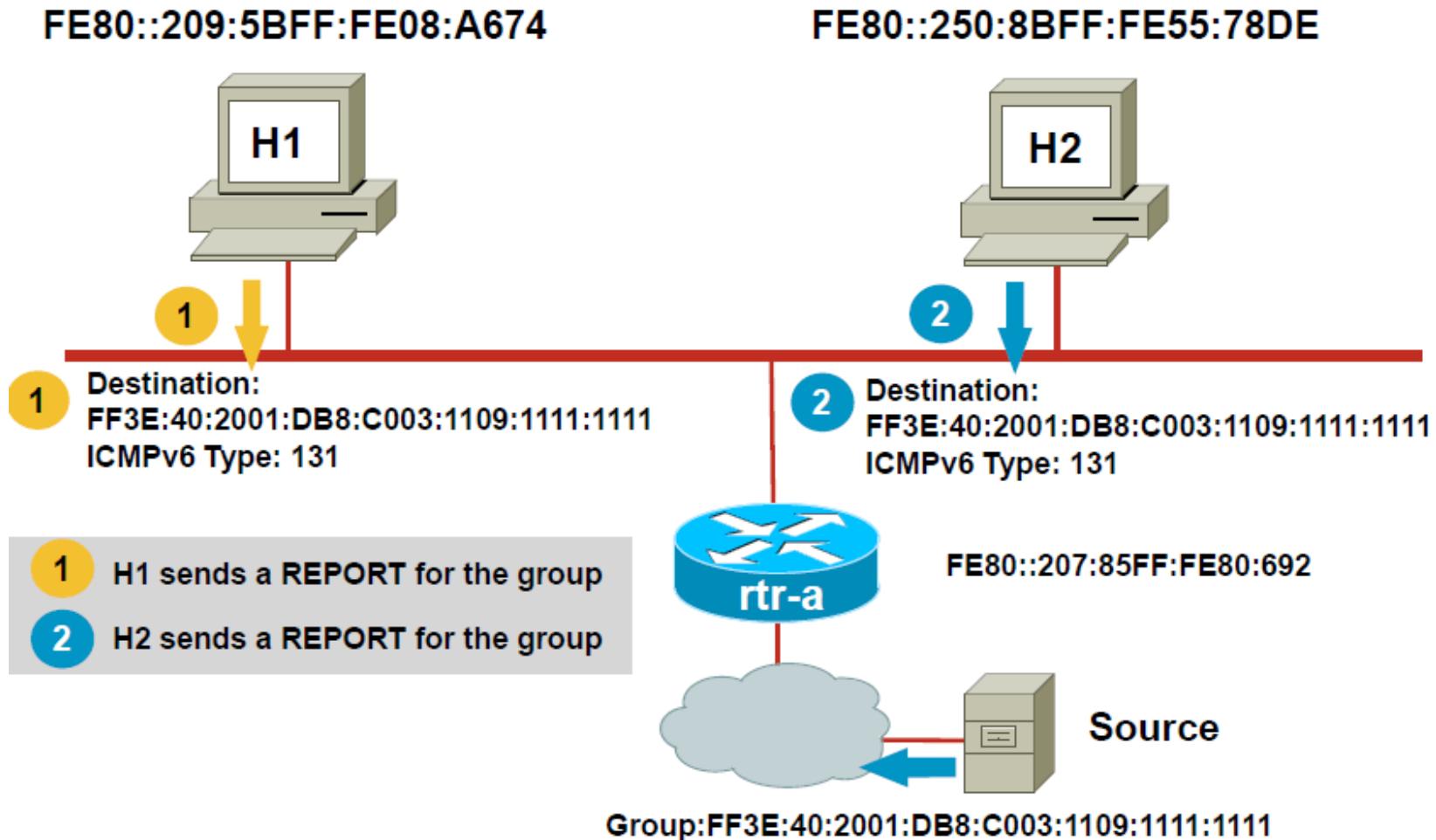
- Instead of ARP table, there is **Neighbor Cache** for IPv6 hosts
- Command
  - ndp -a on unix *ARP MIDDLE*
  - netsh interface ipv6 show neighbors

```
Soubor Upravit Zobrazit Terminál Nápověda
[ivesely@pcvesely /usr/home/ivesely]$
[ivesely@pcvesely /usr/home/ivesely]$ arp -a
pcdrahansky.fit.vutbr.cz (147.229.12.94) at 00:0f:fe:76:5d:25 on em0 [ethernet]
? (147.229.13.255) at (incomplete) on em0 [ethernet]
pcvesely.fit.vutbr.cz (147.229.13.223) at 00:1c:c0:59:20:b5 on em0 permanent [ethernet]
strade.fit.vutbr.cz (147.229.12.188) at 00:21:85:62:7a:09 on em0 [ethernet]
scminolta.fit.vutbr.cz (147.229.12.83) at 00:20:6b:38:6a:04 on em0 [ethernet]
bda-boz.fit.vutbr.cz (147.229.12.1) at 00:04:96:1d:34:20 on em0 [ethernet]
[ivesely@pcvesely /usr/home/ivesely]$ ndp -a
Neighbor Linklayer Address Netif Expire S Flags
ip6-boz.fit.vutbr.cz 0:30:48:d6:ad:4b em0 23h55m47s S R
fe80::230:48ff:fed6:ad4a%em0 0:30:48:d6:ad:4b em0 23h55m42s S R
2001:718:802:80c:21c:c0ff:fe59:20b5 0:1c:c0:59:20:b5 em0 permanent R
fe80::21c:c0ff:fe59:20b5%em0 0:1c:c0:59:20:b5 em0 permanent R
[ivesely@pcvesely /usr/home/ivesely]$
```

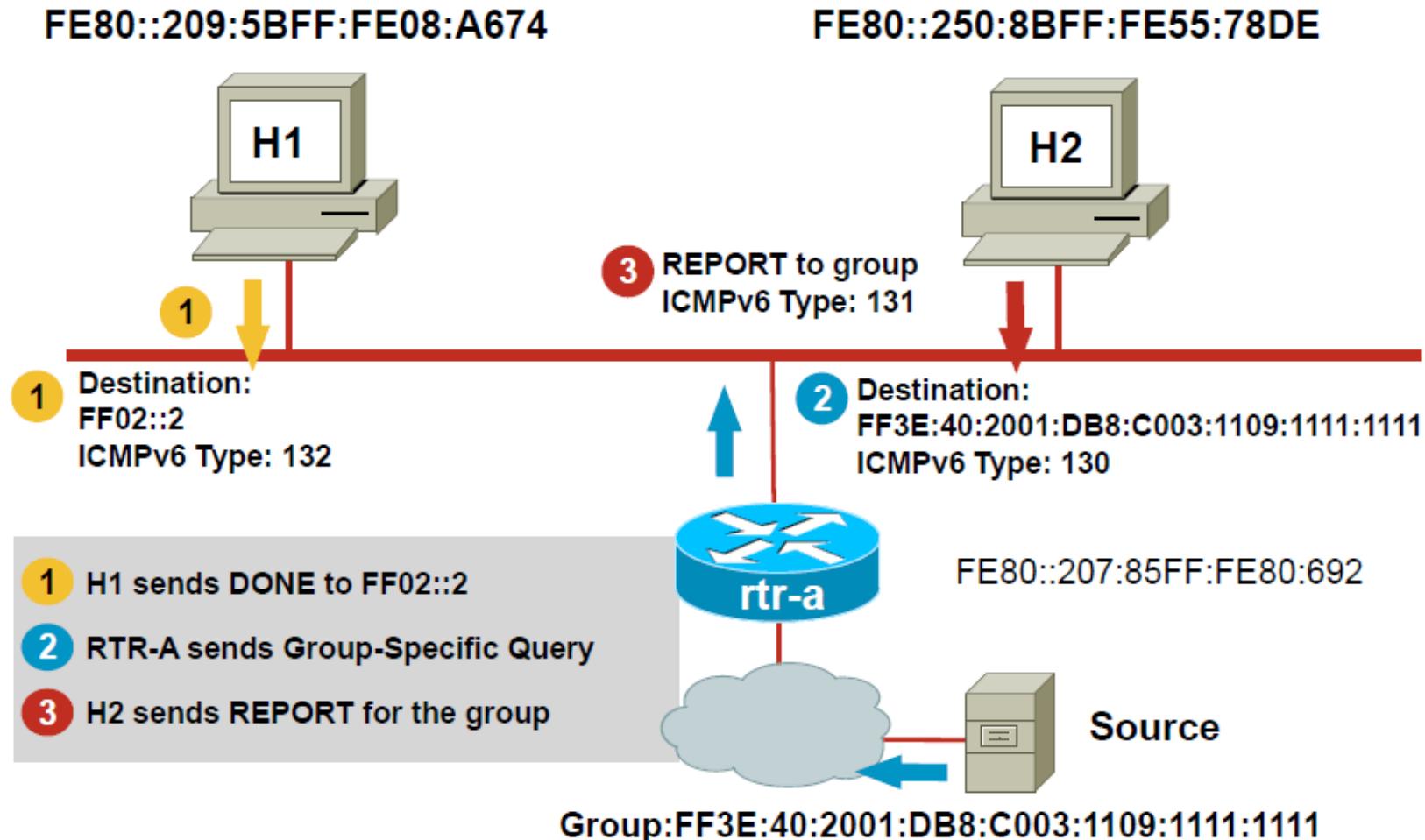
# Správa skupin pro multicast v IPv6

- Využívá ICMPv6
- Protokoly MLDv1 a MLDv2 (Multicast Listener Discovery)
- Typy oznamovacích zpráv:
  - **Membership Query** - *touží po poslání či chce Multicast*
  - **Membership Report**
  - **Done Report**
- Protokoly odvozeny od IGMPv2
- Směrovač posílá periodicky dotazy na zjištění MC skupin, které chce host přijímat.

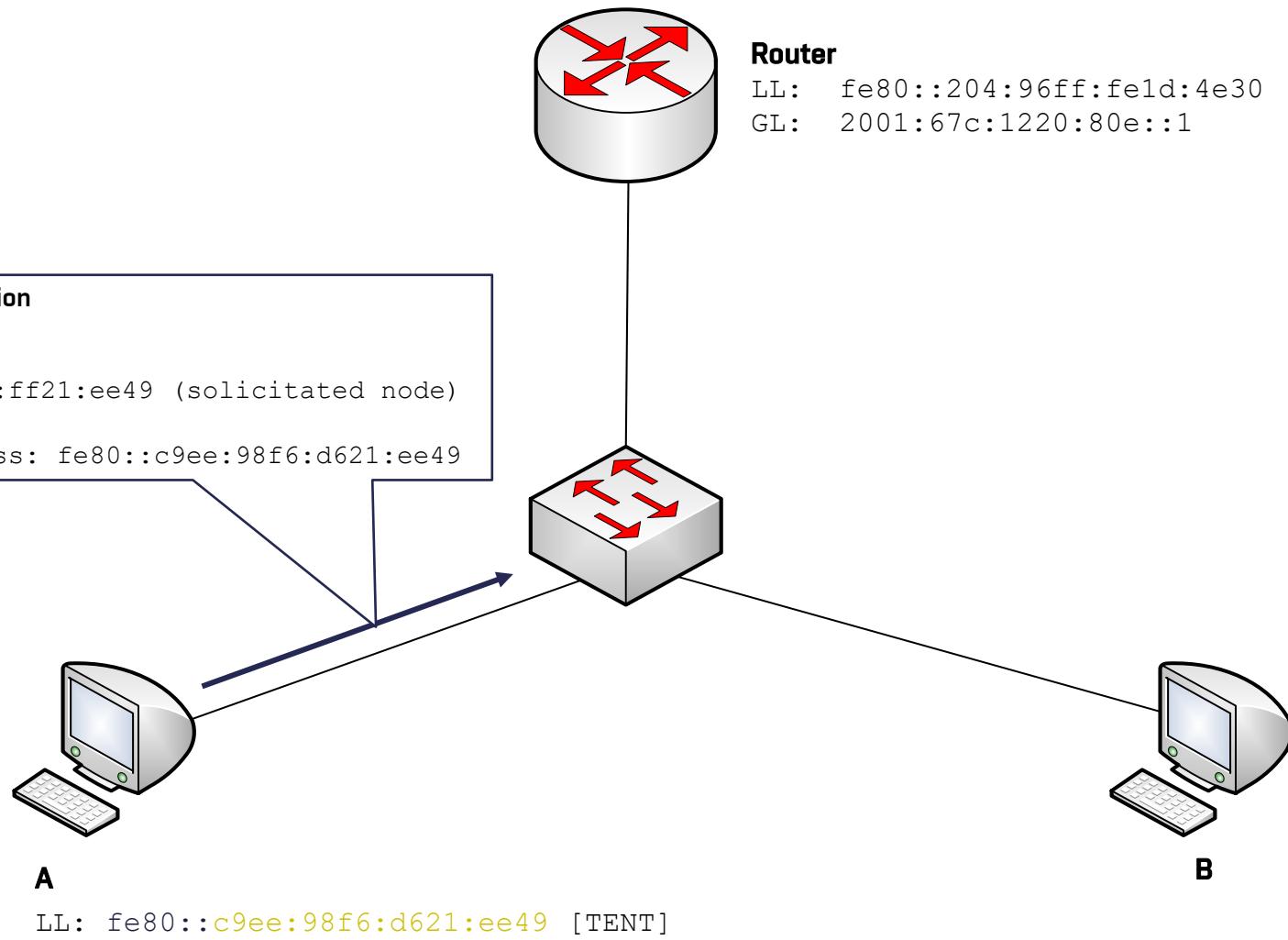
# Multicast Listener Discovery



# Multicast Listener Discovery



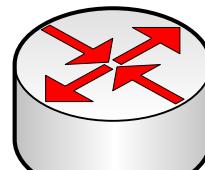
# Link local adresa



# MLD Report

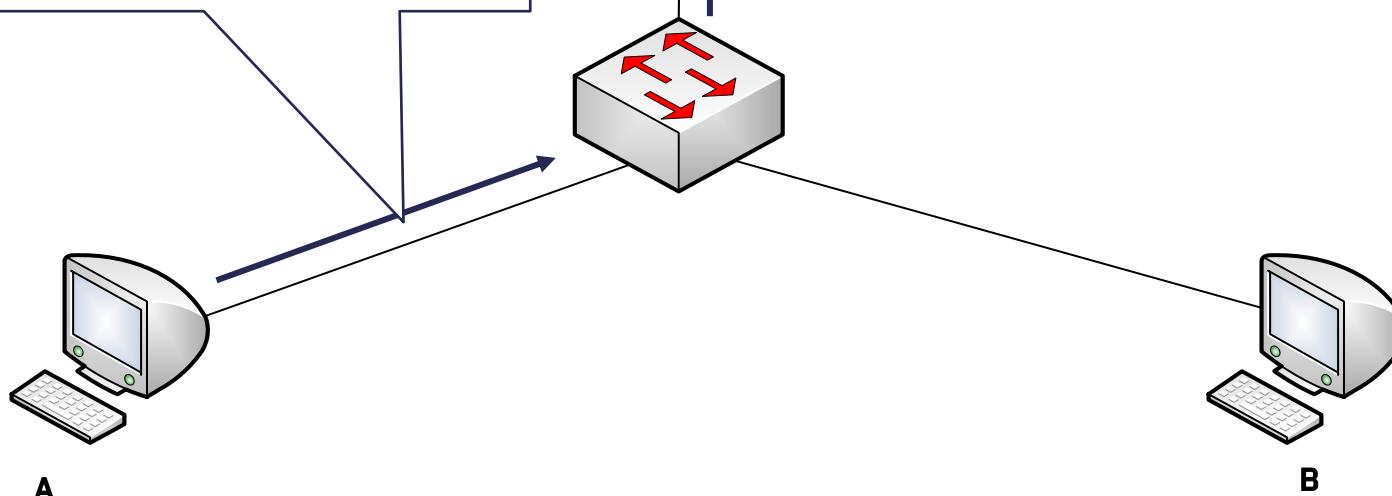
## Multicast Listener Report v2

```
src: ::  
dst: ff02::16 (All MLDv2-capable routers)  
  
Hop-by-hop - Router Alert  
  
Changed to exclude: ff02::1:ff21:ee49
```



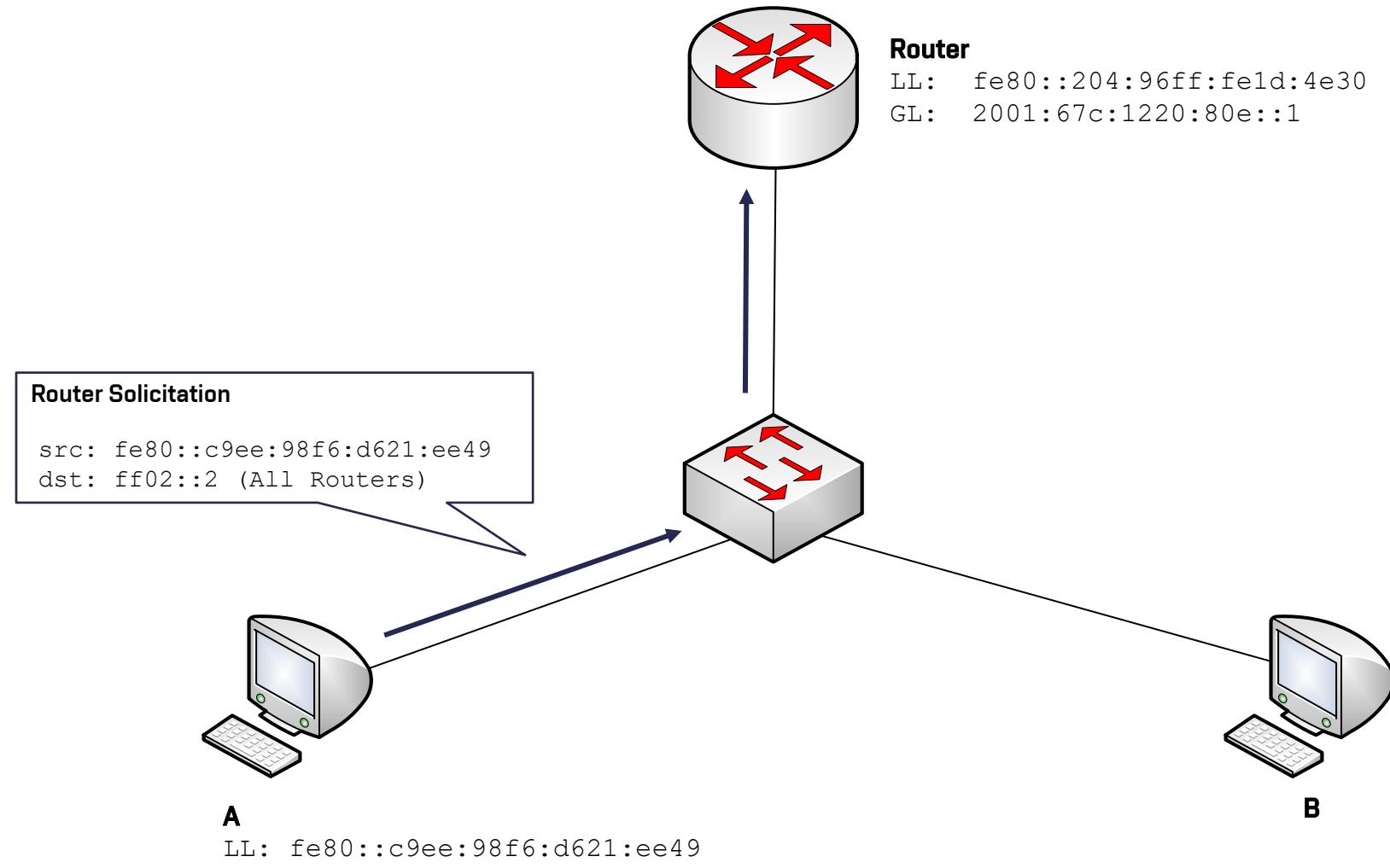
### Router

LL: fe80::204:96ff:fe1d:4e30  
GL: 2001:67c:1220:80e::1

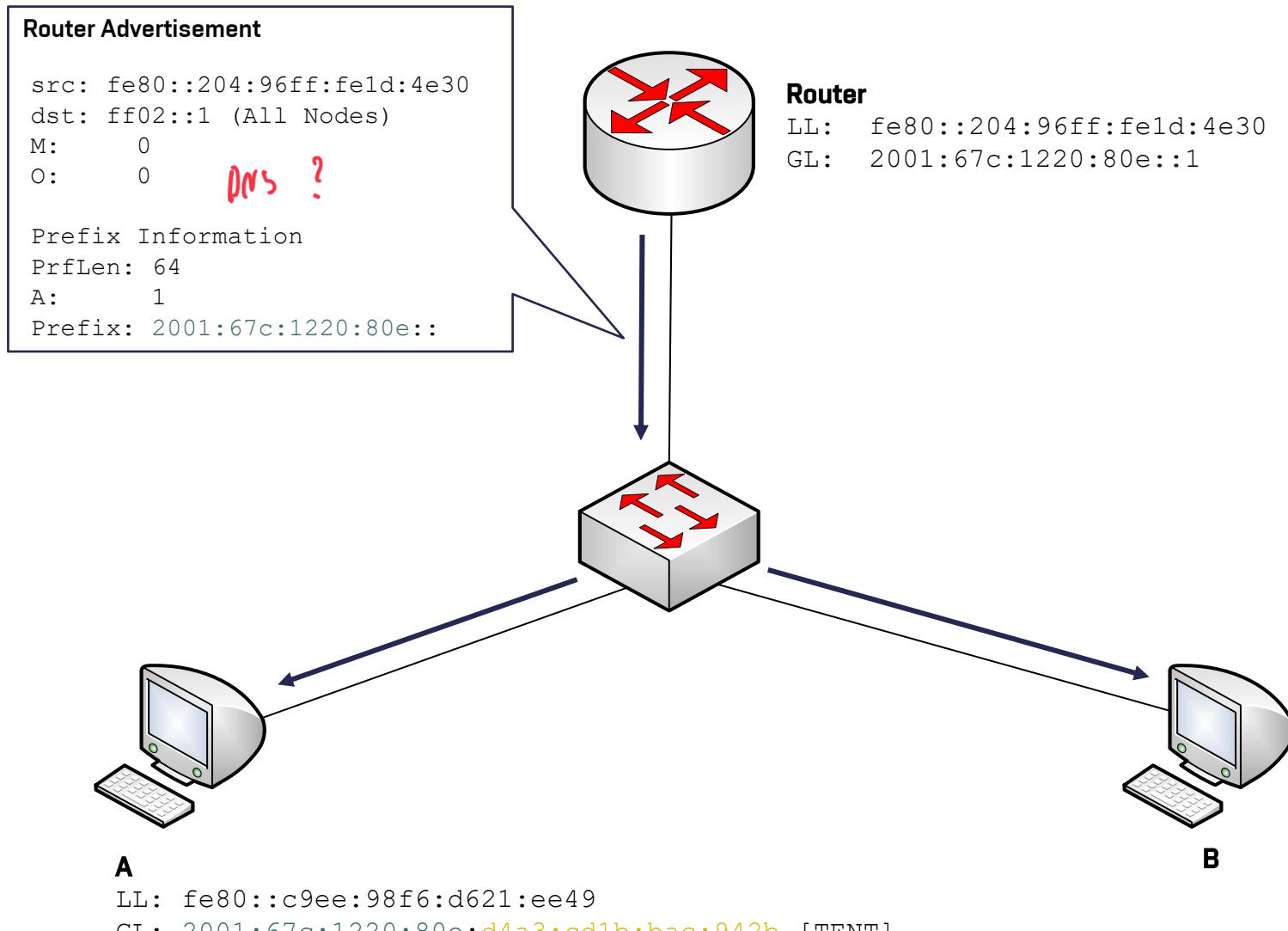


LL: fe80::c9ee:98f6:d621:ee49 [TENT]

# Globální adresa



# Globální adresa



# Obsah

## 1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Nové vlastnosti

## 2) IPv6 PAKET

## 3) ADRESOVÁNÍ

- Administrativní platnost adres
- Unicast, Multicast a Anycast adresy

## 4) PODPŮRNÉ PROTOKOLY PRO IPv6

- ICMPv6
  - NDP, MLDv1, MLDv2

## 5) KOEXISTENCE IPv4 A IPv6

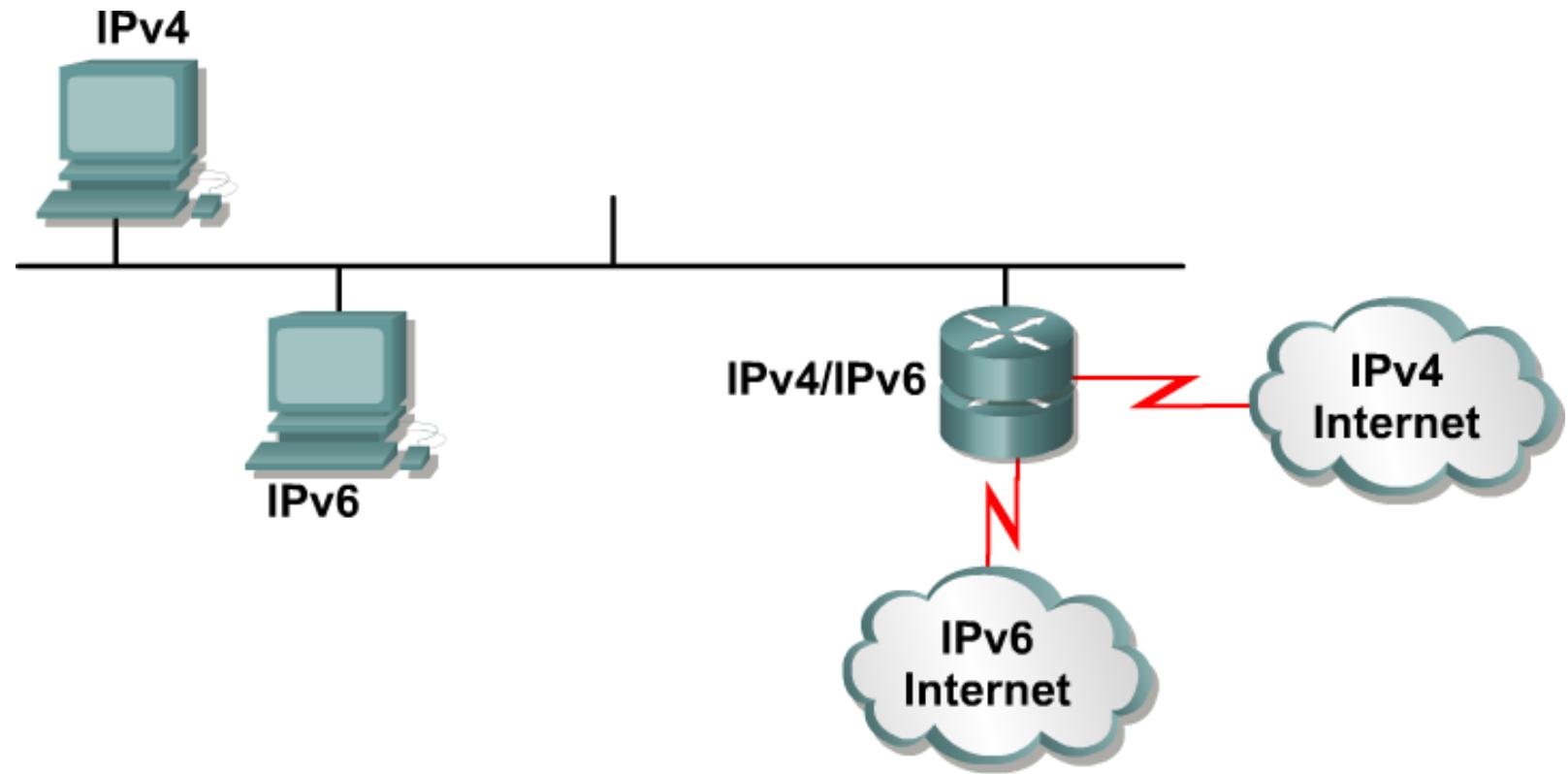
## 6) SMĚROVÁNÍ IPv6

- RIPng, OSPFv3, Multiprotocol BGP

## 7) PROBLÉMY, ZHODNOCENÍ

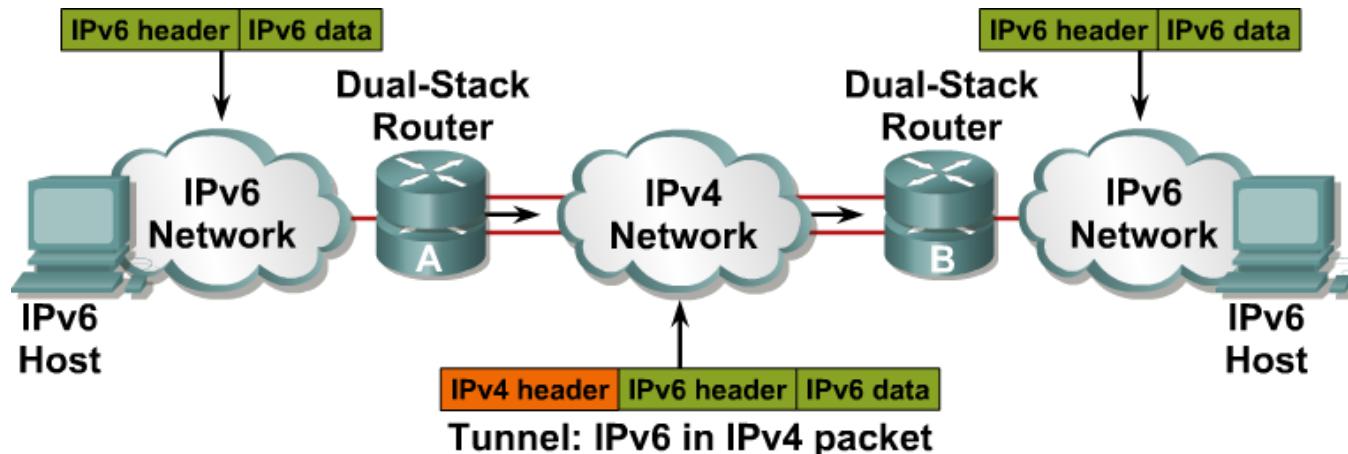
# Dual Stack

- Dual stack is an integration method where a node has “implementation and connectivity” to both an IPv4 and IPv6 network.

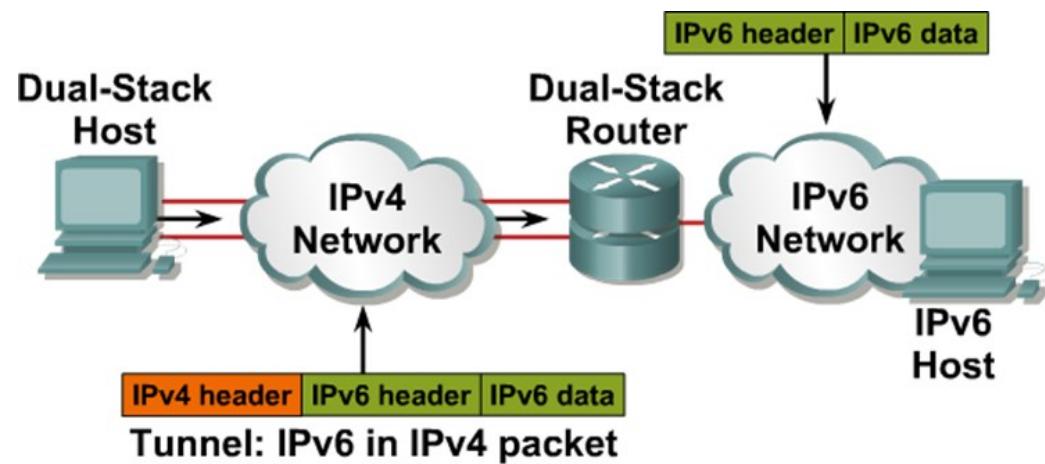


# Tunneling IPv6 in IPv4

1



- Tunneling is an integration method where an IPv6 packet is encapsulated within another protocol, such as IPv4. This method of encapsulation is IPv6-in-IPv4 protocol 41:
  - This includes a 20-byte IPv4 header with no options and an IPv6 header and payload
  - Dual stack routers are necessary



# IPv6 směrovací protokoly

- Adaptace existujících protokolů pro IPv4
- **RIPng**
  - funkčně shodný s RIPv2 s malými odlišnostmi, podporuje jen IPv6, multicast FF02::9, UDP port 521, do směrovací tabulky se jako next-hop ukládá link-local adresa [RFC 2080]
- **OSPFv3**
  - funkčně shodný s OSPFv2, směrovače mají pořád identifikátor 32-bitový. Jiný formát OSPF paketů. Multicast na FF02::5 a FF02::6, podpora jen IPv6 [RFC 2740]
- **Multiprotocol BGP**
  - [RFC 2528, RFC 2545], nové atributy

# Obsah

## 1) ÚVODNÍ INFORMACE

- Motivace
- Nové vlastnosti

## 2) IPv6 PAKET

## 3) ADRESOVÁNÍ

- Administrativní platnost adres
- Unicast, Multicast a Anycast adresy

## 4) PODPŮRNÉ PROTOKOLY PRO IPv6

- ICMPv6
  - NDP, MLDv1, MLDv2

## 5) KOEXISTENCE IPv4 A IPv6

## 6) SMĚROVÁNÍ IPv6

- RIPng, OSPFv3, Multiprotocol BGP

## 7) PROBLÉMY, ZHODNOCENÍ

# Zhodnocení

- Oddelovač v adrese : byla vhodná volba?
  - V URL [http://\[2001::8:800:200C:4713\]:8080/index.html](http://[2001::8:800:200C:4713]:8080/index.html)
- NDP se dá (nedá) zabezpečit pomocí IPSec
- Možnost zneužití ICMPv6 pro přenos „jiných“ dat – viry ...
- Odolnost vůči reconnaissance útokům – útoky téměř nemožné, velký rozsah adres.
- Zpracování IPv6 adresy: regulární výraz?

```
/^\s*((([0-9A-Fa-f]{1,4}:\){7}(([0-9A-Fa-f]{1,4})|:))|(([0-9A-Fa-f]{1,4}:\){6}(:|((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})|(:[0-9A-Fa-f]{1,4})))|(([0-9A-Fa-f]{1,4}:\){5}(:((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})?)|(:[0-9A-Fa-f]{1,4}:\){4}(:[0-9A-Fa-f]{1,4})\{0,1\}(:((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})?)|(:[0-9A-Fa-f]{1,4}:\){3}(:[0-9A-Fa-f]{1,4})\{0,2\}(:((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})?)|(:[0-9A-Fa-f]{1,4}:\){2}(:[0-9A-Fa-f]{1,4})\{0,3\}(:((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})?)|(:[0-9A-Fa-f]{1,4}:\){1,4}(:[0-9A-Fa-f]{1,4})\{0,4\}(:((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})?)|(:[0-9A-Fa-f]{1,4}:\){1,2})))|(:([0-9A-Fa-f]{1,4})\{0,5\}(:((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})?)|(:([0-9A-Fa-f]{1,4})\{1,2\}))|(((25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2})\.(25[0-5]|2[0-4]\d|[01]?\d{1,2}))\{3\})))(%.+)?\s*$/
```

# Router Advertisement flood

- Posílání velkého množství RA paketů
- thc-toolkit (<http://thc.org/thc-ipv6/>):
- Windows Vista/7/8, MAC zamrznout/spadnou
- Linux útok ustojí
- O problému se ví cca 3 roky
- <http://6lab.cz/article/ipv6-ra-flood-dos-attack-in-windows-8/>

# Bypassing RA guard

- Rozšířené hlavičky!



- <http://6lab.cz/article/rogue-router-advertisement-attack/>

# Objective Design of IPv6

1. Larger IP address space
2. Better end-to-end connectivity
3. Ability for autoconfiguring devices
4. Simplified header structures
5. Better security (IPSEC – ESP, AH)
6. Better quality of services
7. Better multicast and anycast abilities
8. Mobility features
9. Ease of administration
10. Smooth transition from IPv4

# After Several Years

- |   |   |
|---|---|
| 1. Larger IP address space                | ✓ |
| 2. Better end-to-end connectivity         | ✓ |
| 3. Ability for autoconfiguring devices    | ✗ |
| 4. Simplified header structures           | ~ |
| 5. Better security (IPSEC – ESP, AH)      | ~ |
| 6. Better quality of services             | ~ |
| 7. Better multicast and anycast abilities | ~ |
| 8. Mobility features                      | ~ |
| 9. Ease of administration                 | ✗ |
| 10. Smooth transition from IPv4           | ✗ |

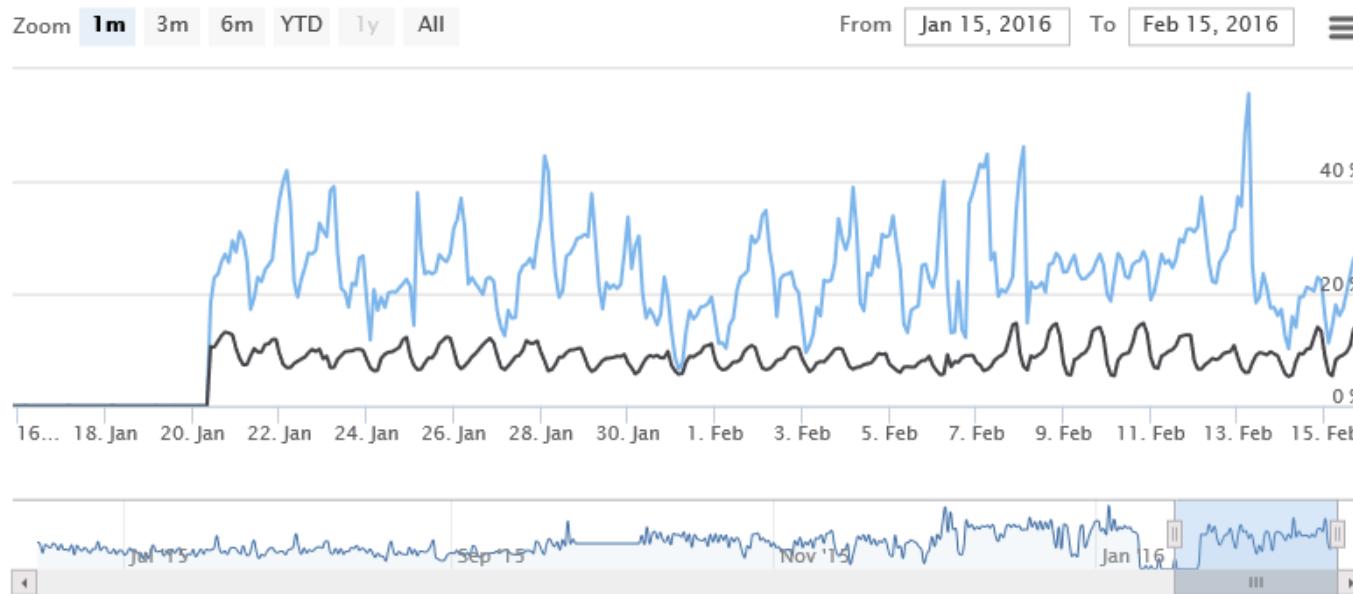
# 6<sup>th</sup> June

- <https://www.potaroo.net/ispcol/2022-02/ipv6-2021.html>



# Statistiky

- Brno University of Technology is leading IPv6 in CZ
  - <http://www.zive.cz/clanky/pet-internetovych-zebricku-ze-kterych-cechum-naroste-ego/sc-3-a-172279/default.aspx>
  - <http://6lab.cz/live-statistics/ipv6-brno-university-of-technology/>



# Studijní materiály

- M. Grégr: **USER ACCOUNTING IN NEXT GENERATION NETWORKS**, <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/PD.php?id=448&file=t>
- Kurose J.F., Ross K.W.: **Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Internet**. Addison-Wesley, 2003.
- Puzanova, R.: **Routing and Switching, Time of Convergence?** Addison-Wesley, 2003.
- Jeff Doyle, Jennifer De Haven-Carroll: **Routing TCP/IP**. Cisco Press 2006.
- Pavel Satrapa: **IPv6**, cz.nic, 2008,  
[http://knihy.nic.cz/files/nic/edice/pavel\\_satrapa\\_ipv6\\_2008.pdf](http://knihy.nic.cz/files/nic/edice/pavel_satrapa_ipv6_2008.pdf)