



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA
TECHNICKÉ INFORMAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ



5

Multicast

IPK2020/21 L

Agenda

1) ÚVODNÍ MOTIVACE

- Use-case
- Adresování

2) POHLED NA SKUPINOVÉ SMĚROVÁNÍ:

- Klienti
- Switche/Přepínače
- Routery/Směrovače

3) ZÁVĚR

Co je multicast?

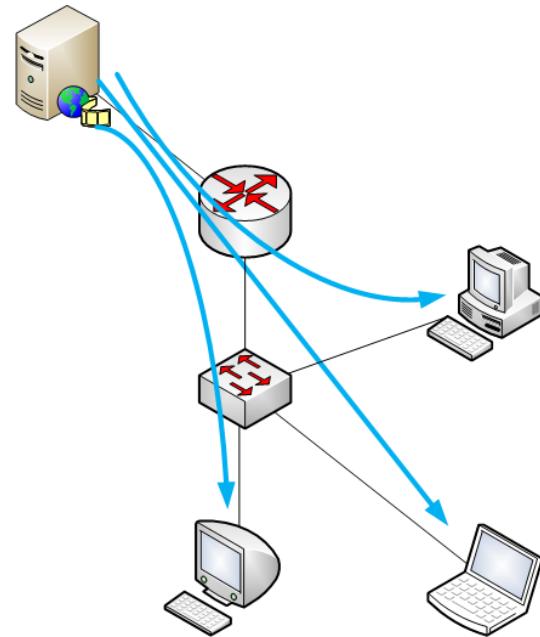
- Sedláčká definice ↳ komunikace mezi více než dvěma subjekty
- Multicast na úrovni:
 - Aplikační
 - Unicastové
 - Nativní

Applikační multicast

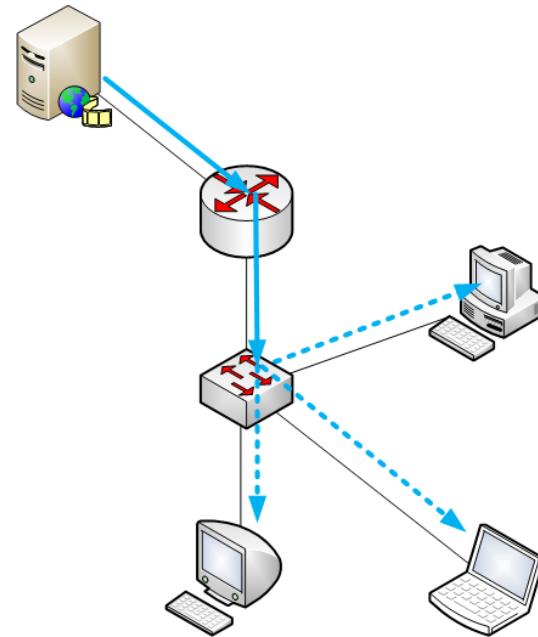
- Zcela v režii aplikací
- L7 vrstva
- Podle směru komunikace:
 - **One-to-Many**: 1 zdroj, >1 cíl (VoD, VoIP)
 - **Many-to-Many**: >1 zdroj, >1 cíl (distribuované výpočty)
 - **Many-to-One**: >1 zdroj, 1 cíl (aplikace ve finančnictví/pojišťovnictví hromadný sběr dat)

Unicast vs. Multicast

Unicast = 1 zdroj, 1 cíl, 1 tok



Multicast = ≥ 1 zdrojů, >1 cílů, 1 tok

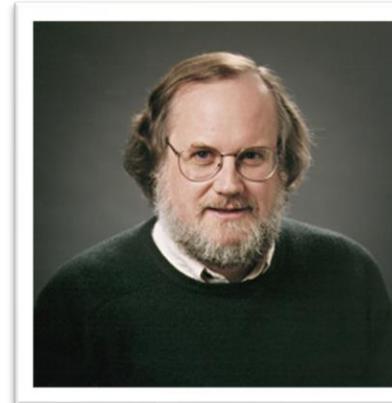


Nativní multicast

- Podpora ze strany aktivních síťových zařízení
- L3 a L2 vrstva
- *To, pod čím pojem multicast vnímáme dnes*
- Výhody
 - jednou linkou jde vždy jen jedna kopie dat
 - nepotřebuji znát adresy všech příjemců

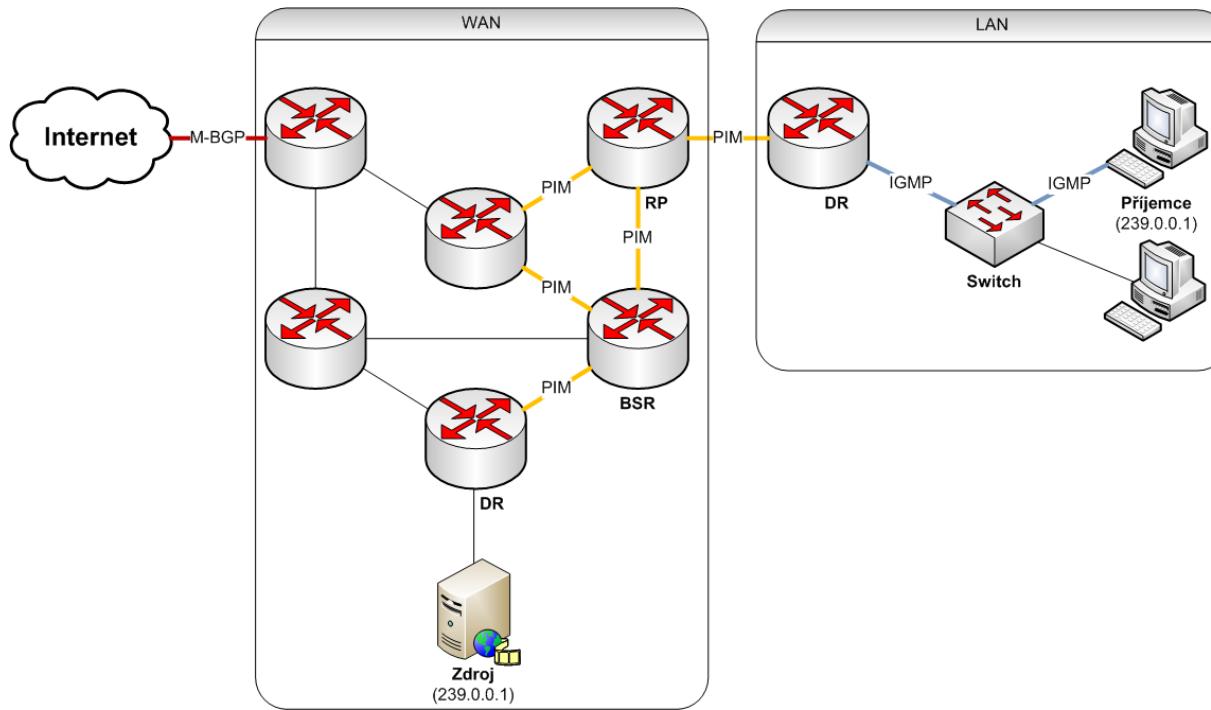
Historie

- Steve Deering – PhD výzkum 1987 až 1991
- Protokoly
 - 1986 – IGMP
 - 1988 – DVMRP
 - 1994 – MOSPF
 - 1997 – PIM
- **Systém MBONE**
 - 1992 – první aplikační multicastová páteř (DVMRP + tunel)
 - 1994 – první velký multicastový přes Internet streamovaný koncert (Rolling Stones v Cotton Bowl v Dallasu)
 - 1998 – kolem 10 000 uživatelů MBONE
- **Nativní multicast**
 - 1996 – Virgin Radio první evropské kontinuální streamování
 - 1999 – University of Oregon multimediální řešení výuky
 - 2005 – FIT VUT zavádí streaming svých přednášek v rámci celouniverzitní sítě



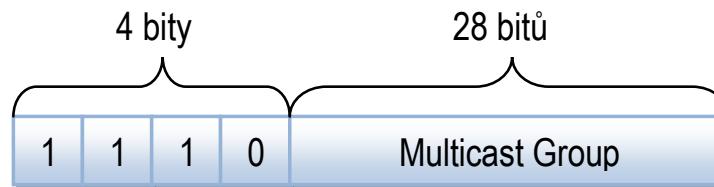
Adresování

- Multicastová adresa = Multicastová skupina
- Zdroje na multicastovou adresu vysílají data
- Příjemci z ní data odebírají



Adresování – L3 IPv4

- Adresy třídy D (rozsah 224.0.0.0 – 239.255.255.255)



- Dělení podle dosahu:

Dosah	Adresy	Příklady
Lokální	224.0.0.0 – 224.0.0.255	OSPF, RIP, EIGRP, PIM, IGMP, mDNS
Globální	224.0.1.0 – 224.0.1.255 224.0.2.0 – 238.255.255.255	NTP, RSVP, Nokia, Cisco-RP, NQDS*
Administrativní	239.0.0.0 – 239.255.255.255	Interní použití

- <http://www.iana.org/assignments/multicast-addresses>

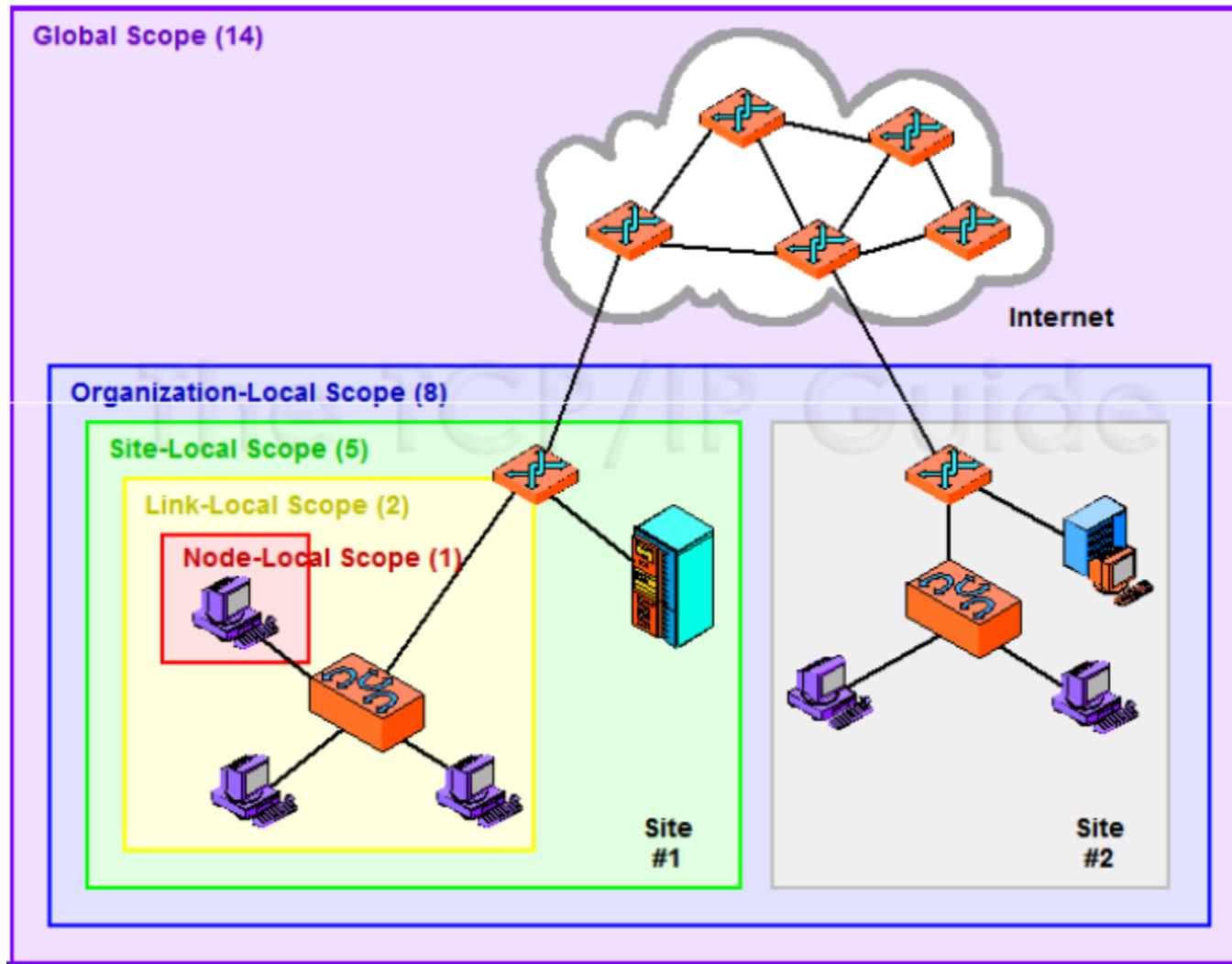
Adresování – L3 IPv6 (1)

- Adresy s prefixem FF**, kde ** určuje dosah:

Dosah	Adresy	TTL
Rozhraní	FF01:/8	0
Linka	FF02:/8	1
Lokalita	FF05:/8	<32
Organizace	FF08:/8	≤ 255
Globální	FF0E:/8	≤ 255
Rezervováno	FF0F:/8	

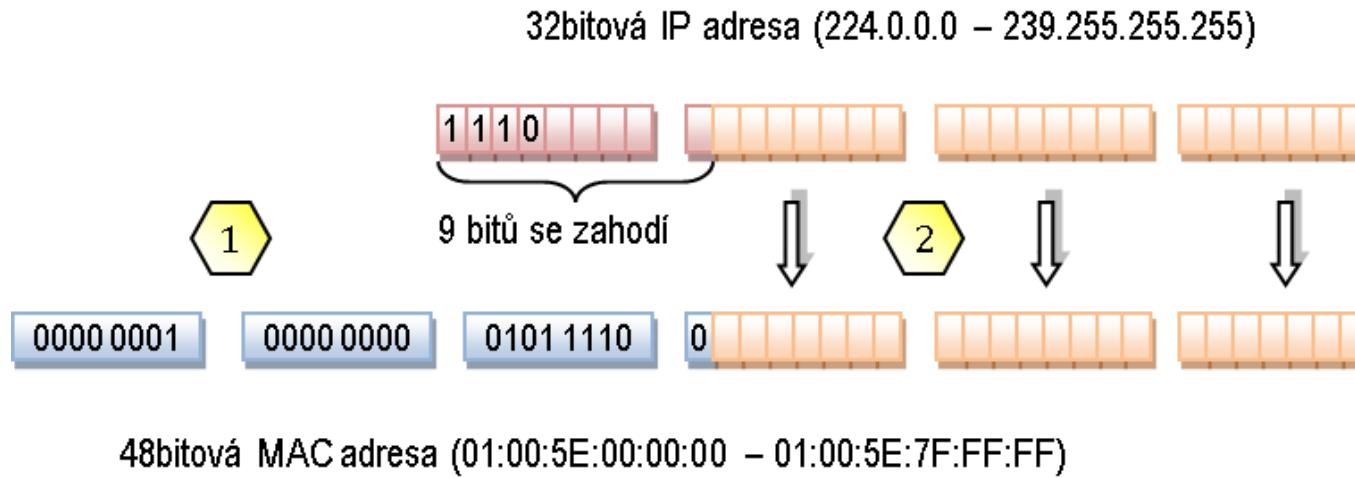
- <http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/>

Adresování – L3 IPv6 (2)



Adresování – L2 Ethernet (1)

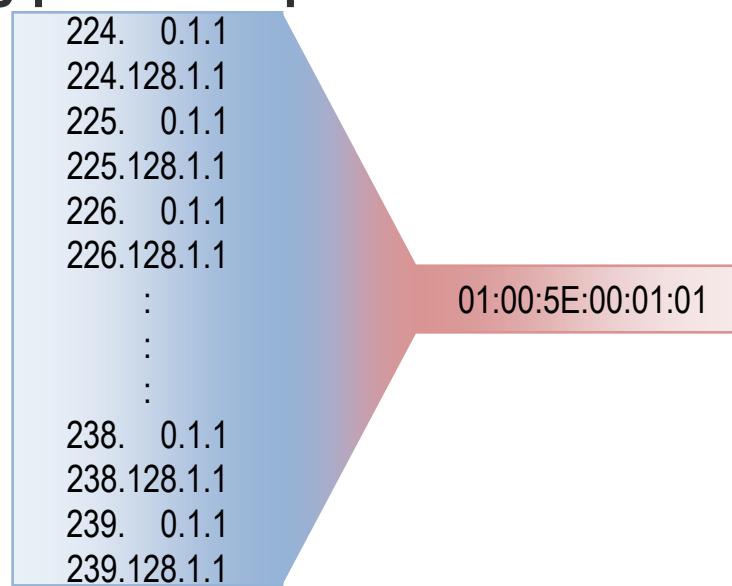
- *I přepínače musejí vědět, jak směrovat IPv4 multicastové rámce*
- První tři oktety **01:00:5E**
- Mapování IP adresy na MAC:



- Historický problém

Adresování – L2 Ethernet (2)

- *Co nám takový způsob mapování přinesl?*
- **32-to-1 overlapping problem pro IPv4 multicast**



- Pro IPv6 jsou první dva oktety **33:33**
- Posledních 32 bitů IPv6 multicastové adresy **OR**
- Přemapovávání z IPv4 na IPv6 je díky tomu úplné

Agenda

1) ÚVODNÍ MOTIVACE

- Use-case
- Adresování

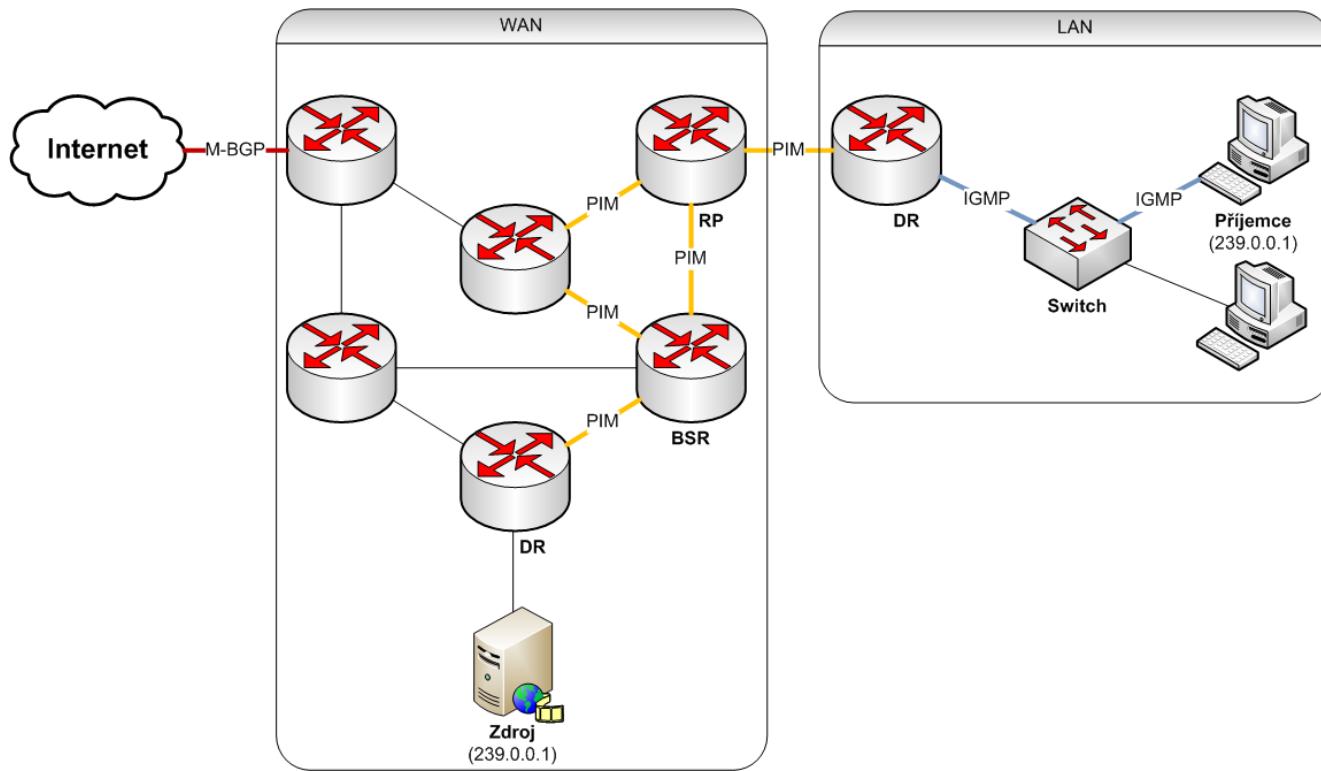
2) POHLED NA SKUPINOVÉ SMĚROVÁNÍ:

- Klienti
- Switche/Přepínače
- Routery/Směrovače

3) ZÁVĚR

Motivace

- Jakým způsobem dávají klientské stanice (příjemci multicastu) vědět, že mají zájem o multicastová data?



IGMP

- Čím je ICMP pro unicast, tím je IGMP pro multicast
- **IGMP** protokol mezi stanicí a směrovačem/přepínačem umožňující:
 - stanicím se přihlašovat/odhlašovat k multicastové skupině
 - směrovačům/přepínačům vyzvídat, jestli má někdo na daném síťovém segmentu zájem o odběr dat z multicastové skupiny
- L3 vrstva - zapouzdřen do IPv4
- Pozor, určen jen pro IPv4, pro IPv6 protokol MLD!!!

IGMP – Hierarchie

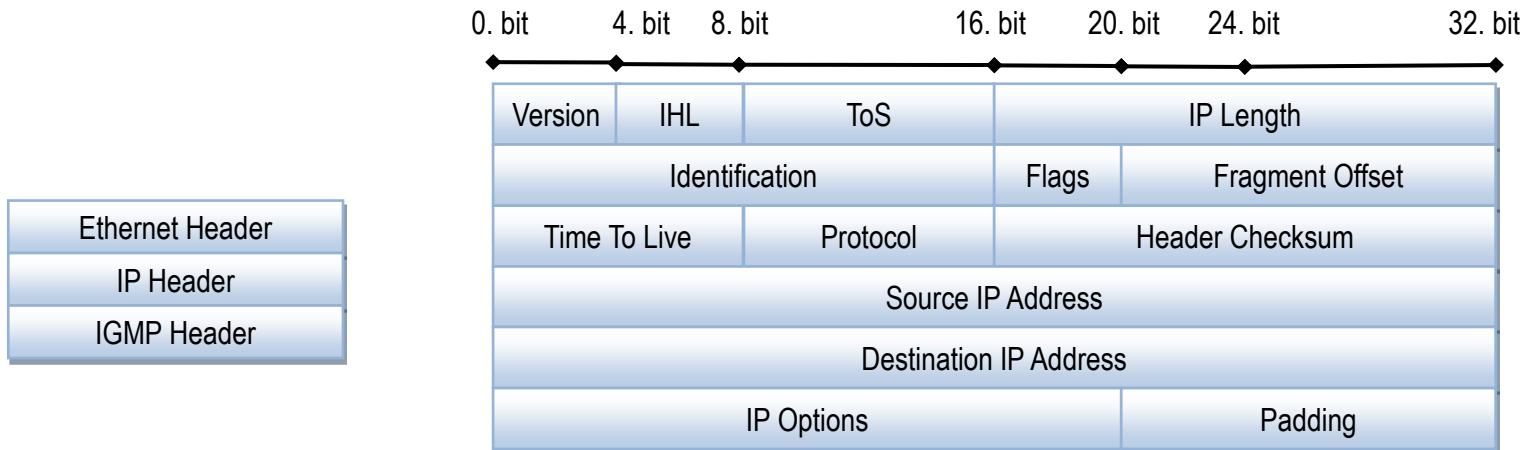
- Směrovače/Přepínače se dotazují na adresu
224.0.0.1 = all multicast nodes address
- Klienti jim odpovídají na adresu
224.0.0.2 = all routers address
- *Co když je na segmentu více IGMP směrovačů?*
- Autoritativním mluvčím (**designated routerem DR**) je ten s nejnižší IP adresou

IGMP – Historie vývoje

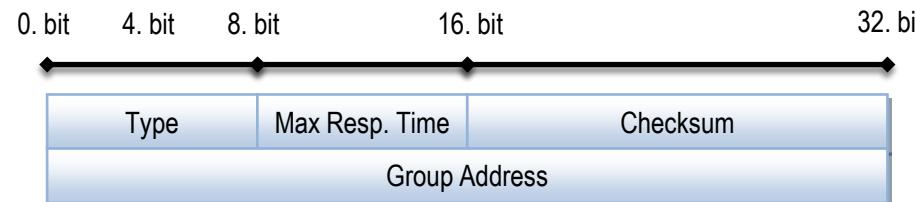
- **IGMPv1**
 - Směrovač: *Má někdo zájem o jakýkoli multicast?*
 - Klient: *Já mám zájem o tento multicast!*
- **IGMPv2**
 - Směrovač: *Má někdo zájem o tento multicast?*
 - Klient: *Já už nemám zájem o tento multicast!*
- **IGMPv3**
 - Směrovač: *Má někdo zájem o tento multicast od právě tohoto zdroje?*
 - Klient: *Já mám zájem o tento multicast přičemž ho chci od tohoto zdroje!*

IGMP – Hlavička

- Zapouzdřování paketu a IP hlavička:



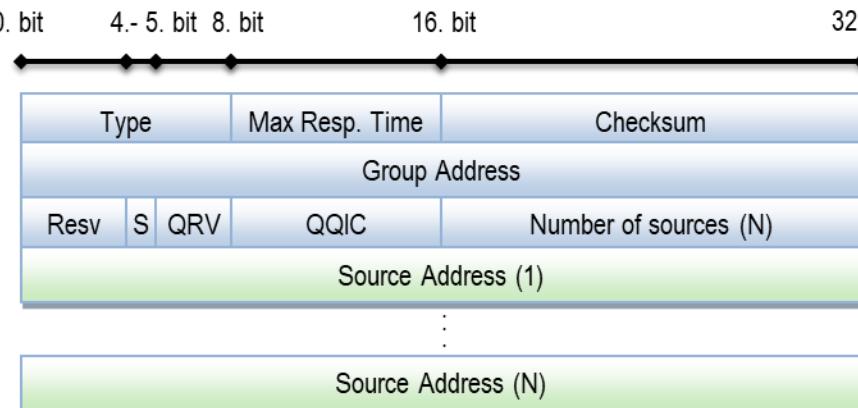
- Struktura zprávy typu IGMPv2:



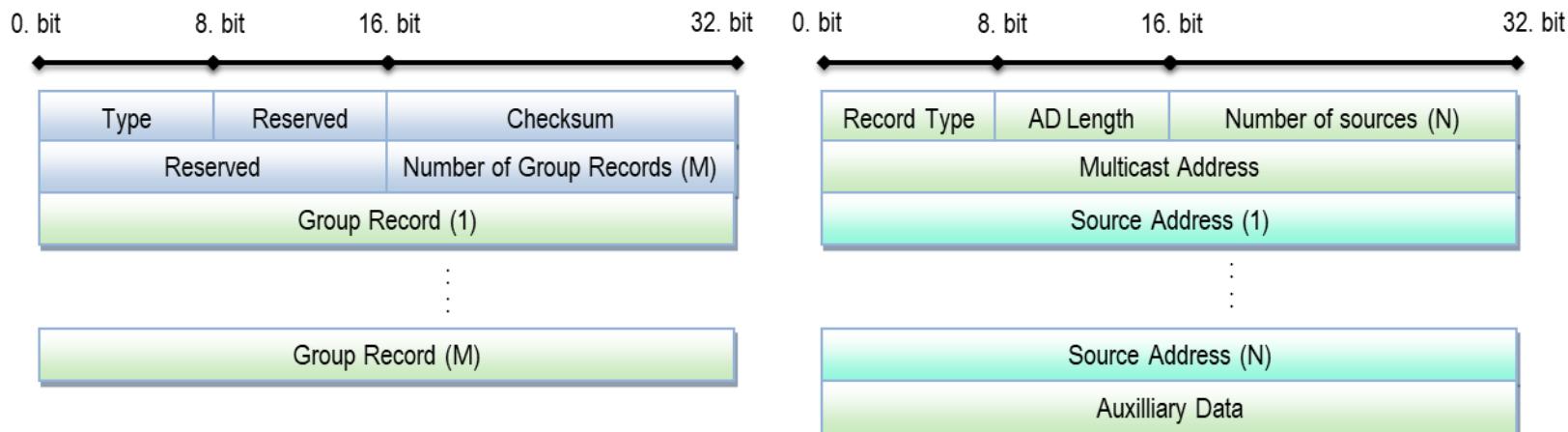
IGMP – Hlavíčka

- **IGMPv3 (RFC3376)**

- Membership Query rozšířen o variantu **Group-And-Source-Specific Query**, jehož struktura je:



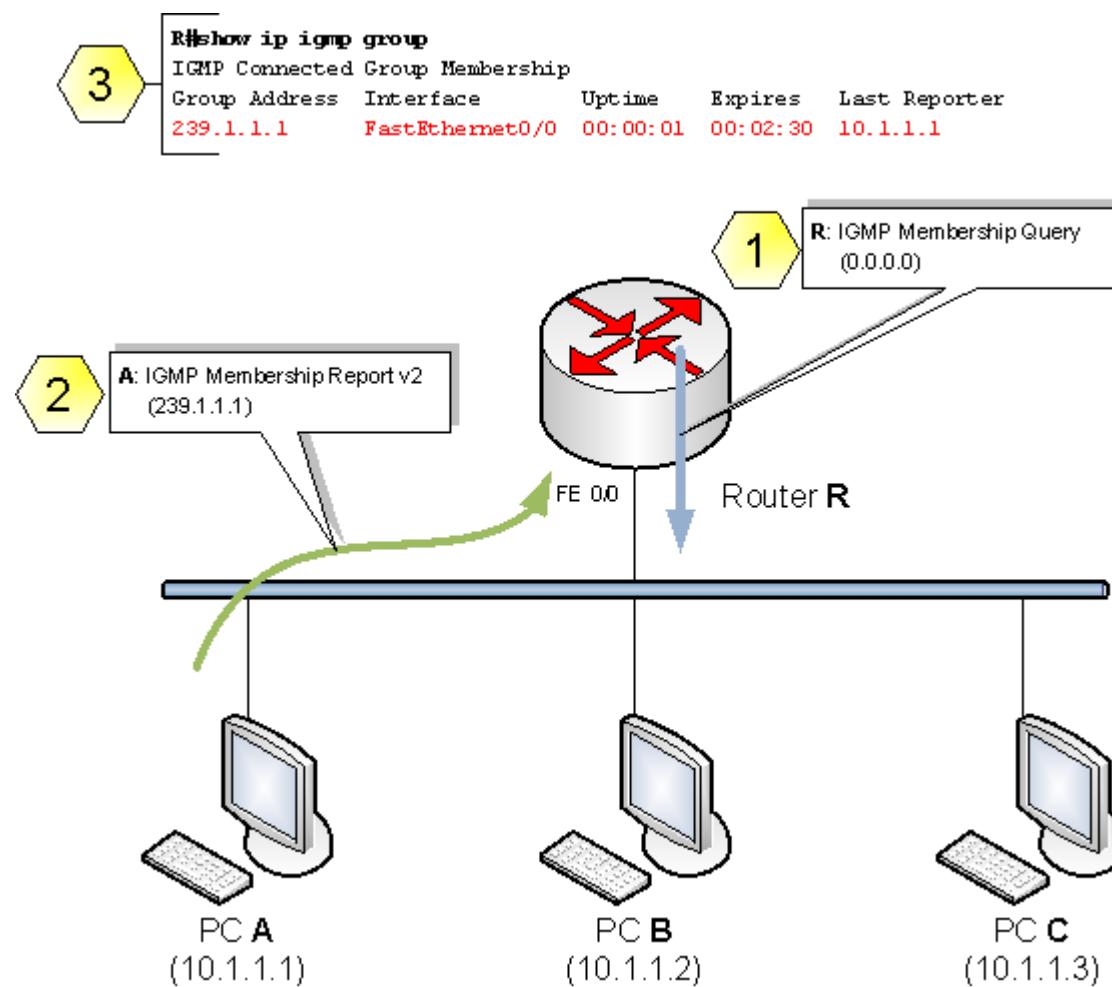
- **Membership Report v3 (0x22) struktura:**



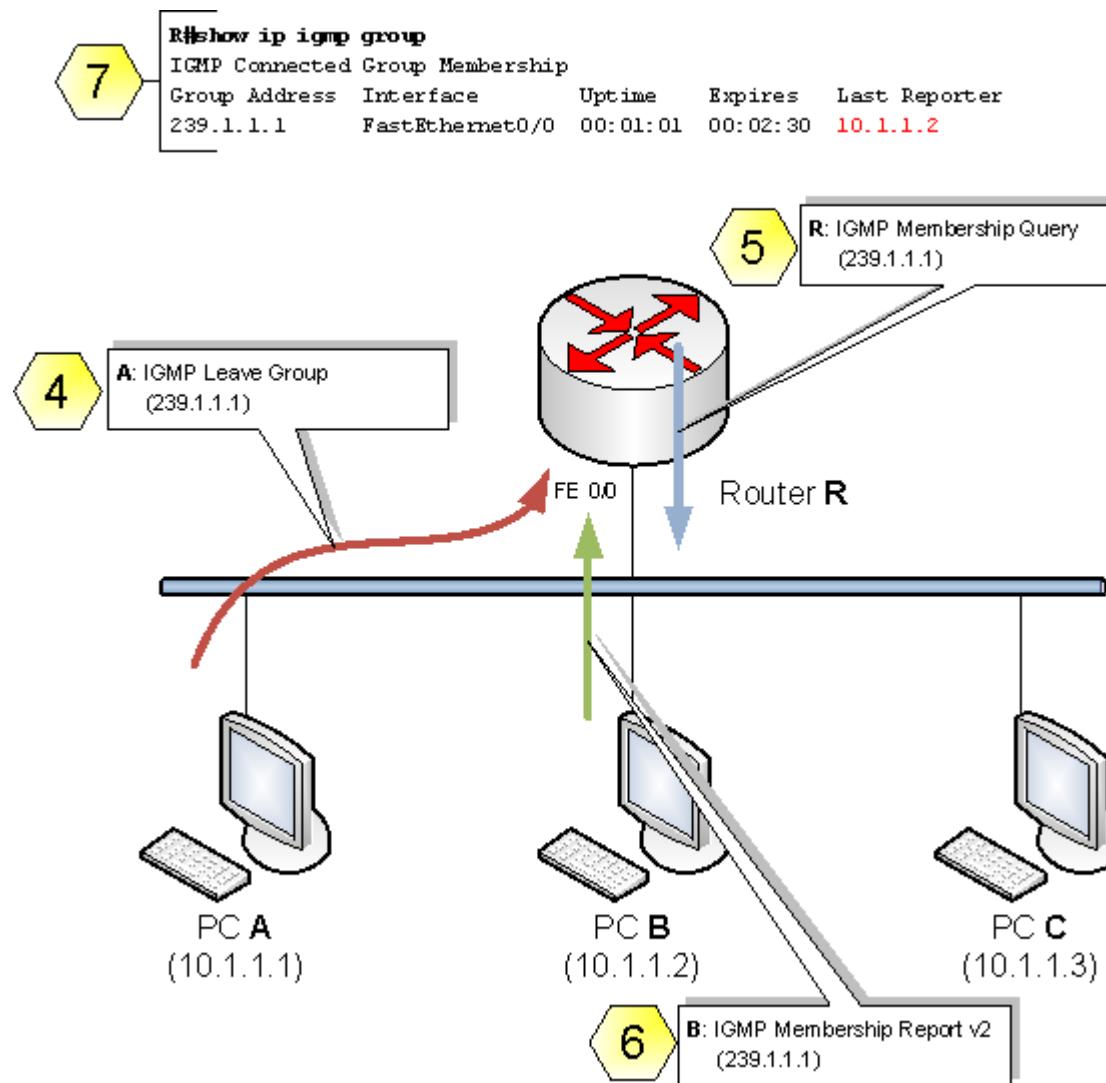
IGMP – Zprávy

Zpráva	Posílá	Cíl	GA
Membership Query Group-Specific Group-and-Source-Specific	Směrovač Přepínač	224.0.0.1 GA GA	0.0.0.0 GA GA
Membership Report v1	Host	GA	GA
Membership Report v2	Host	GA	GA
Membership Report v3	Host	GA	GA
Leave Group	Host	224.0.0.2	GA

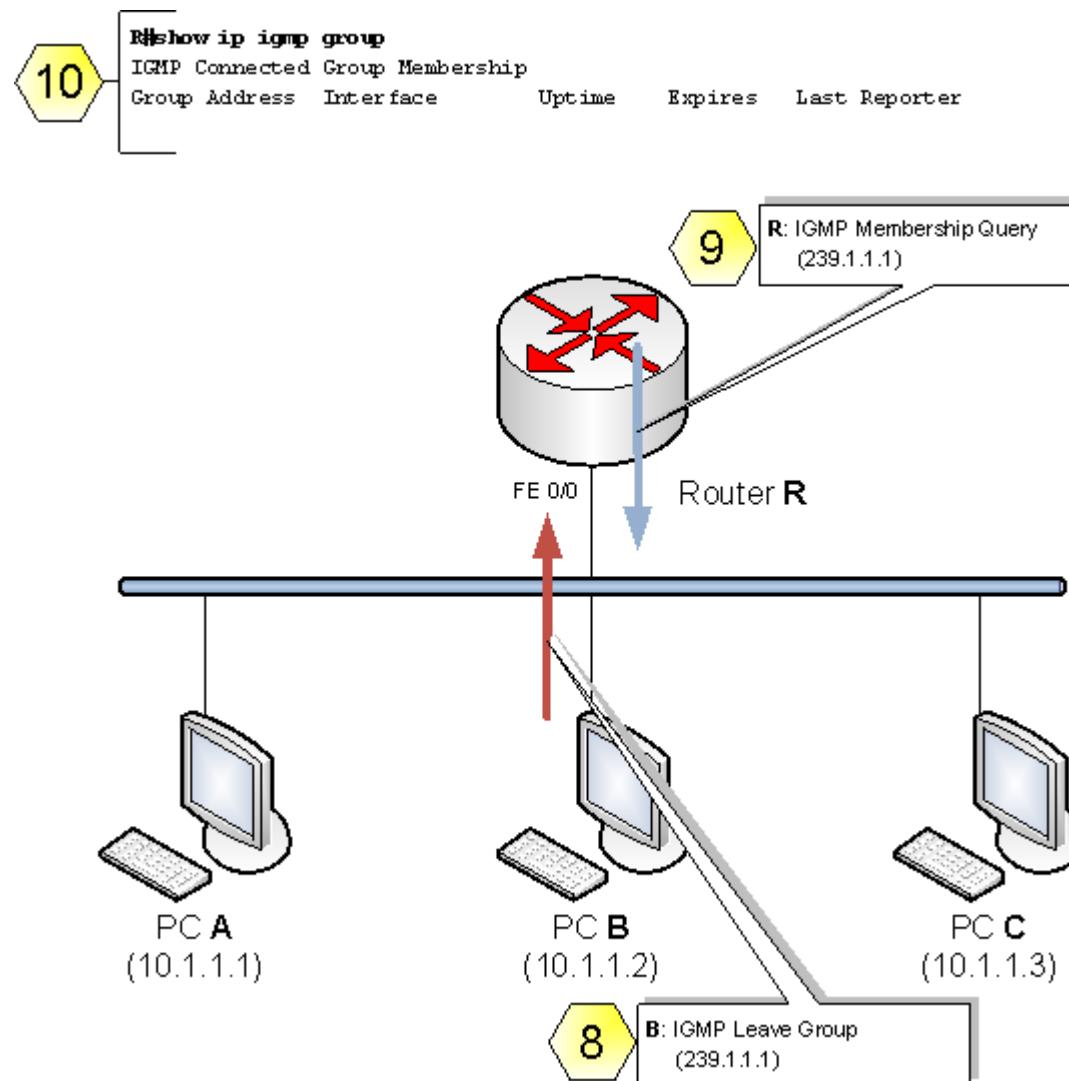
IGMP – Příklad (1)



IGMP – Příklad (2)



IGMP – Příklad (3)



IGMPv2 ve Wiresharku

The screenshot shows a Wireshark capture titled "igmp" with 554 total packets and 12 displayed. The packet list highlights a specific IGMPv2 Membership Report frame (packet 492) from source 172.1.3.12 to destination 239.69.69.69. The details pane shows the following structure:

- Frame 492: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0
- Ethernet II, Src: c2:12:0c:a0:00:00 (c2:12:0c:a0:00:00), Dst: IPv4mcast_45:45:45 (01:00:5e:45:45:45)
- Internet Protocol Version 4, Src: 172.1.3.12, Dst: 239.69.69.69
- Internet Group Management Protocol [IGMP Version: 2]
 - Type: Membership Report (0x16)
 - Max Resp Time: 0.0 sec (0x00)
 - Checksum: 0xb574 [correct]
 - [Checksum Status: Good]
 - Multicast Address: 239.69.69.69

The bytes pane shows the raw hex and ASCII data for the selected frame, starting with 0000 01 00 5e 45 45 45 c2 12 0c a0 00 00 08 00 45 c0 ...^EEE..E.

Frame (frame), 60 bytes | Packets: 554 · Displayed: 12 (2.2%) | Profile: Default

IGMPv3 ve Wireshark'u

Filter: igmp Expression... Clear Apply

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1652577	17344.182616	192.168.0.20	224.0.0.22	IGMP	V3 Membership Report / Leave group 239.13.13.13
1652578	17344.902576	192.168.0.20	224.0.0.22	IGMP	V3 Membership Report / Join group 239.13.13.13 for any
1652588	17350.161616	192.168.0.20	224.0.0.22	IGMP	V3 Membership Report / Join group 239.13.13.13 for any

► Frame 1652588 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)
► Ethernet II, Src: Inventec_3b:5a:94 (00:1e:33:3b:5a:94), Dst: IPv4mcast_00:00:16 (01:00:5e:00:00:16)
▼ Internet Protocol, Src: 192.168.0.20 (192.168.0.20), Dst: 224.0.0.22 (224.0.0.22)
 Version: 4
 Header length: 24 bytes
 Differentiated Services Field: 0xc0 (DSCP 0x30: Class Selector 6; ECN: 0x00)
 Total Length: 40
 Identification: 0x0000 (0)
 Flags: 0x02 (Don't Fragment)
 Fragment offset: 0
 Time to live: 1
 Protocol: IGMP (0x02)
 Header checksum: 0x433d [correct]
 Source: 192.168.0.20 (192.168.0.20)
 Destination: 224.0.0.22 (224.0.0.22)
▼ Options: (4 bytes)
 Router Alert: Every router examines packet
▼ Internet Group Management Protocol
 [IGMP Version: 3]
 Type: Membership Report (0x22)
 Header checksum: 0xdde3 [correct]
 Num Group Records: 1
▼ Group Record : 239.13.13.13 Change To Exclude Mode
 Record Type: Change To Exclude Mode (4)
 Aux Data Len: 0
 Num Src: 0
 Multicast Address: 239.13.13.13 (239.13.13.13)

Agenda

1) ÚVODNÍ MOTIVACE

- Use-case
- Adresování

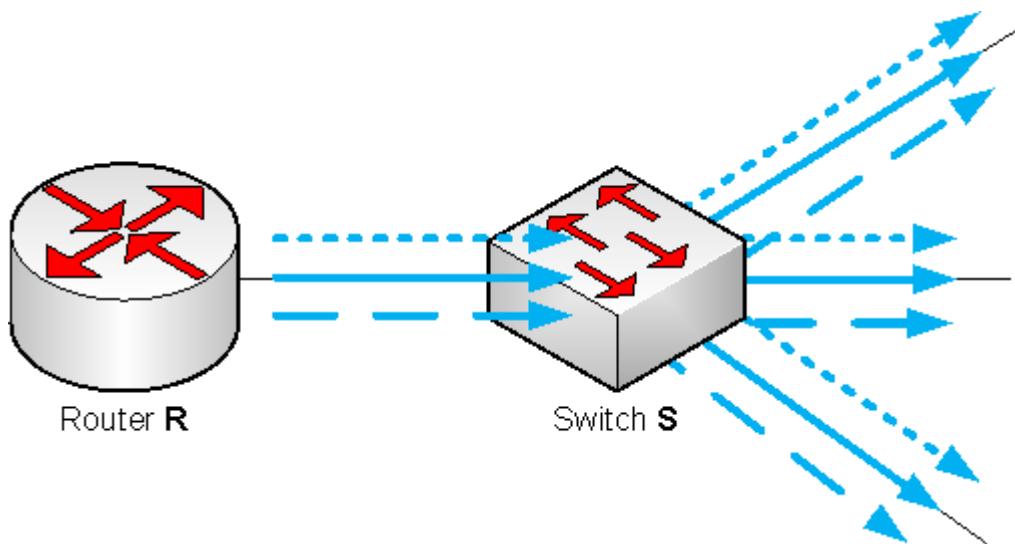
2) POHLED NA SKUPINOVÉ SMĚROVÁNÍ:

- Klienti
- Switche/Přepínače
- Routery/Směrovače

3) ZÁVĚR

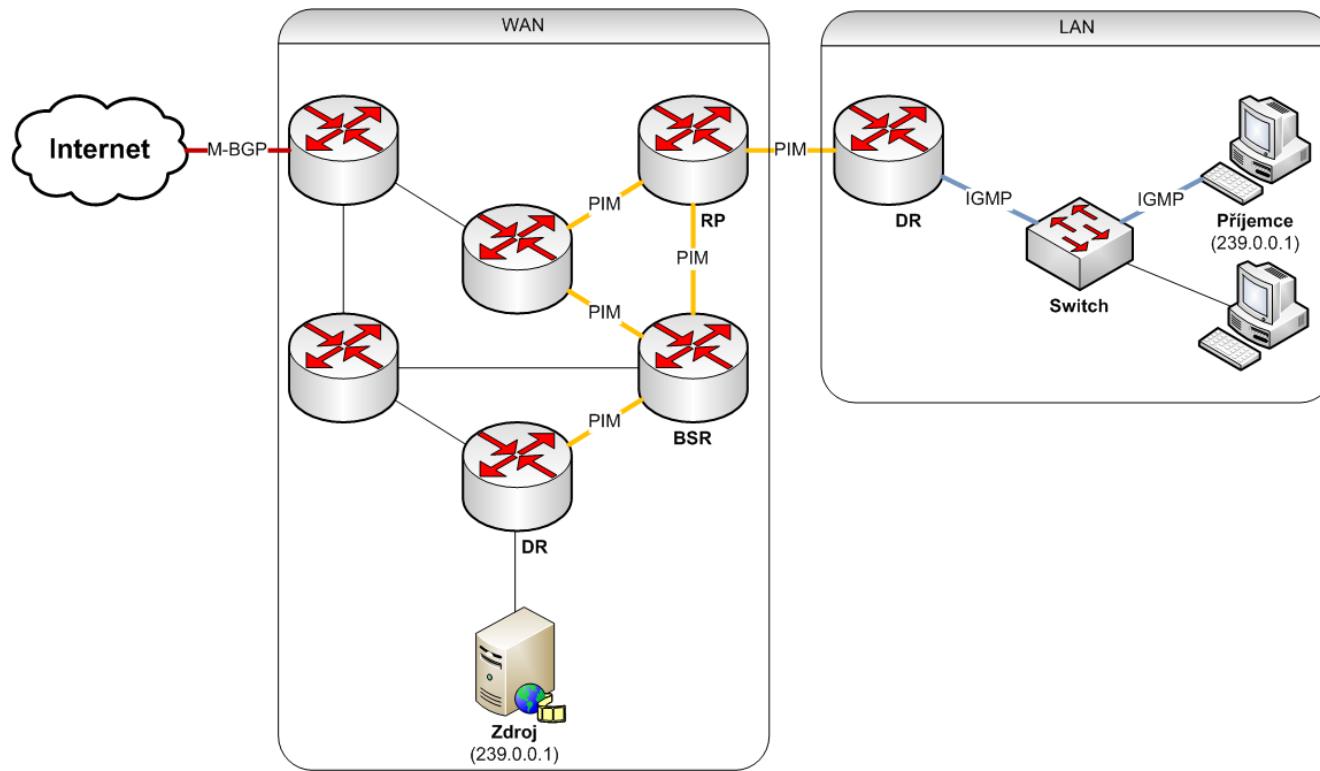
Motivace

- *Jak se chová přepínač, který dostane rámec, o jehož cílové adrese neví, na kterém rozhraní mu leží?*



Motivace

- A stejně tak se chová i „hloupý“ přepínač v případě libovolného multicastového rámce...
- Jak to tedy dělá „chytrý“ přepínač?



Řešení

- Naivním je **statická konfigurace**
 - Ve spojení s dynamicky připojujícími se klienty = špaténka
 - Příkaz:

```
Switch(config)#mac-address-table static mac_address vlan vlan-id
{interface {type slot/port} | port-channel number}
```

- Automatizované
 - IGMP snooping
 - CGMP

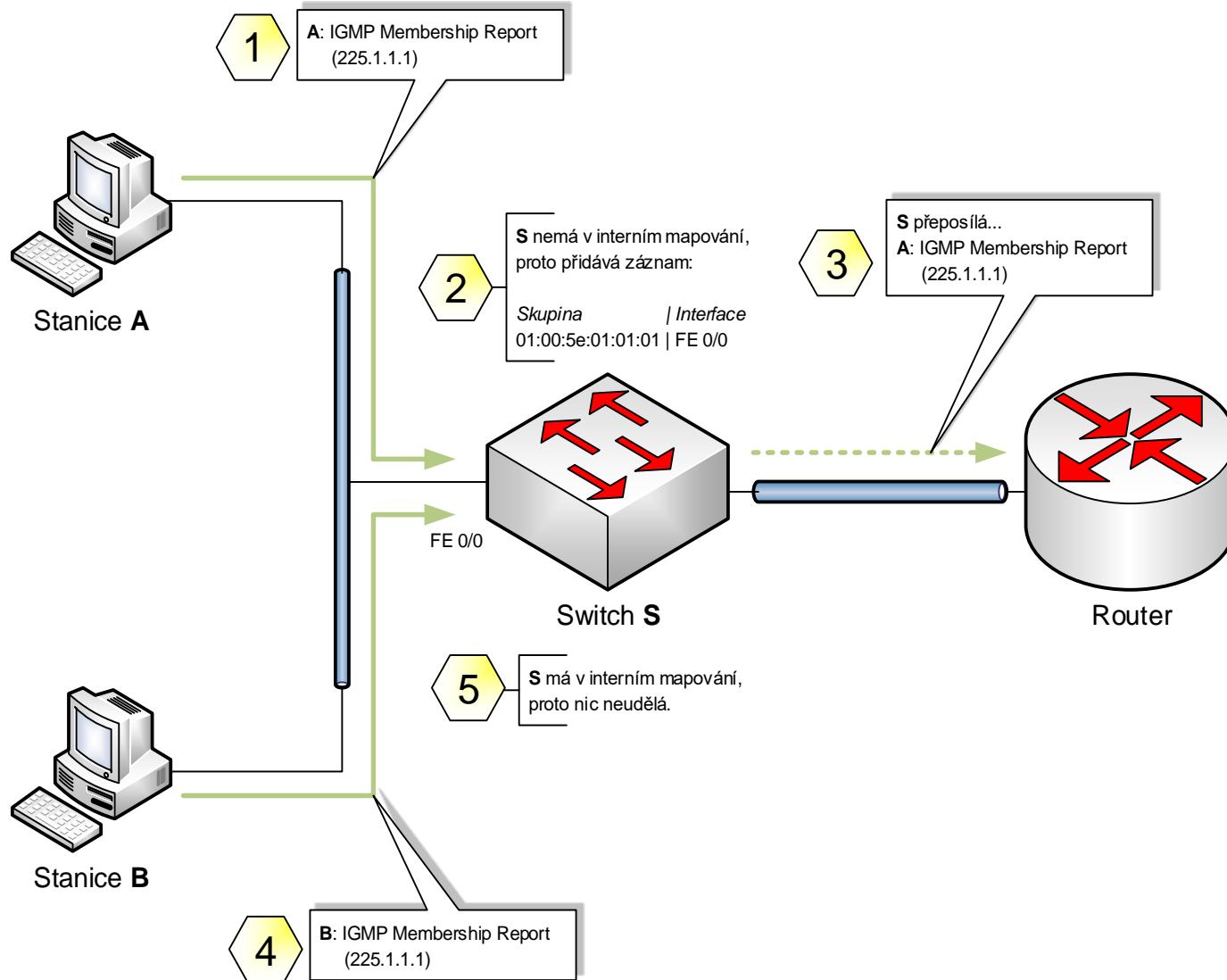
IGMP Snooping – Idea

- Původní idea: *Aby přepínač zjistil, na kterých rozhraních má multicastová zařízení, tak bude zkoumat každý paket a podívá se, jestli nemá co dočinění s multicastem...*
- Rozpor: *Ale vždyť takhle musíme zkoumat každý paket, což přepínač zbytečně zdržuje! Nehledě na to, že má být přepínač jen L2 zařízení!*
- Současné řešení: *Dobře, dobře... budeme tedy zkoumat jen „některé“ pakety.*

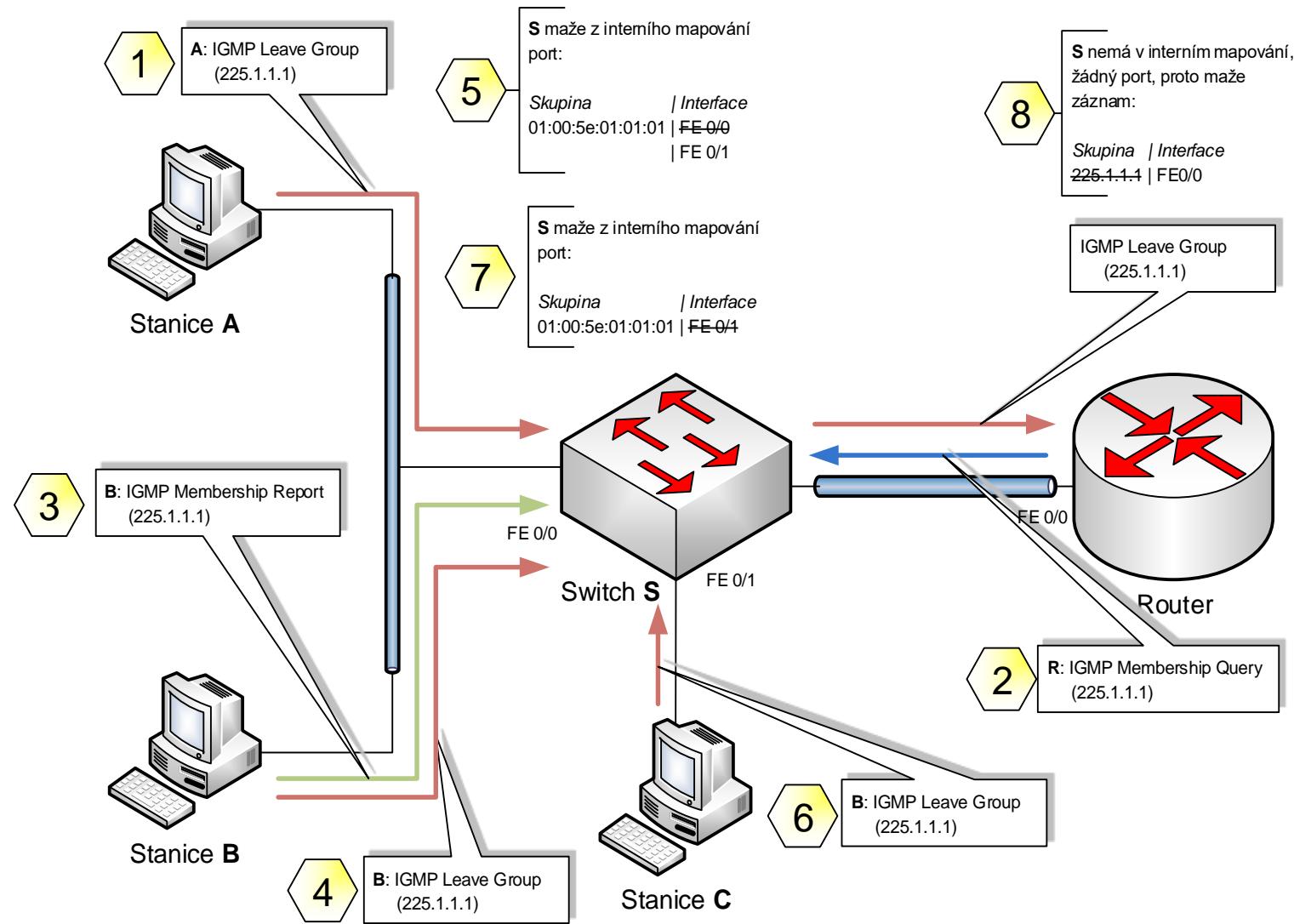
IGMP Snooping

- Každý přepínač si vytváří tabulku mapování multicastových skupin na svá rozhraní
- CISCO přepínače kontrolují každý paket a slídí po:
 - IGMP Membership Query (01:00:5E:00:00:01)
 - PIMv1 Hello (01:00:5E:00:00:02)
 - PIMv2 Hello (01:00:5E:00:00:0D)
 - DVMRP probes (01:00:5E:00:00:04)
 - MOSPF Group-Membership-LSA (01:00:5E:00:05 nebo 01:00:5E:00:06)

IGMP Snooping – Příklad (1)



IGMP Snooping – Příklad (2)



Agenda

1) ÚVODNÍ MOTIVACE

- Use-case
- Adresování

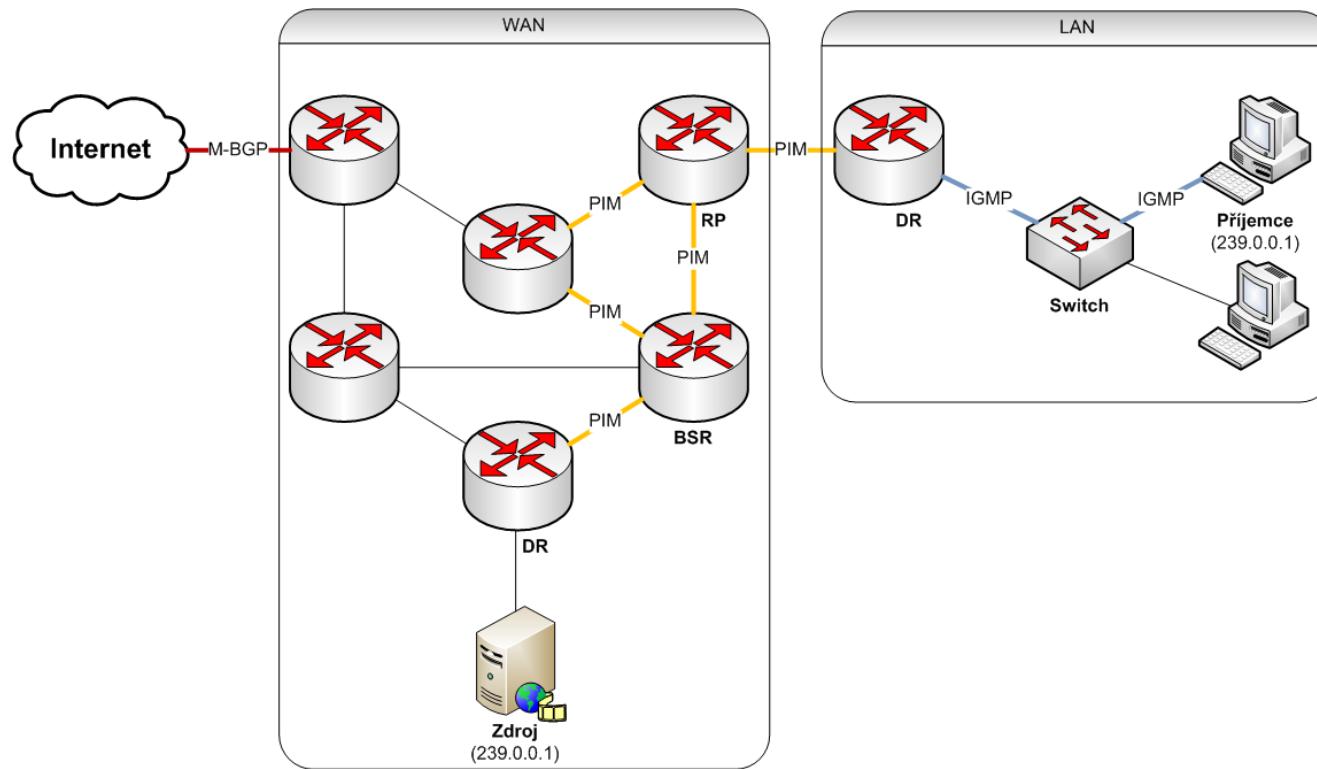
2) POHLED NA SKUPINOVÉ SMĚROVÁNÍ:

- Klienti
- Switche/Přepínače
- Routery/Směrovače

3) ZÁVĚR

Motivace

- Stále nevíme, jak přenášet multicastová data mezi síťovými segmenty potažmo různými autonomními systémy...



Multicastové směrování

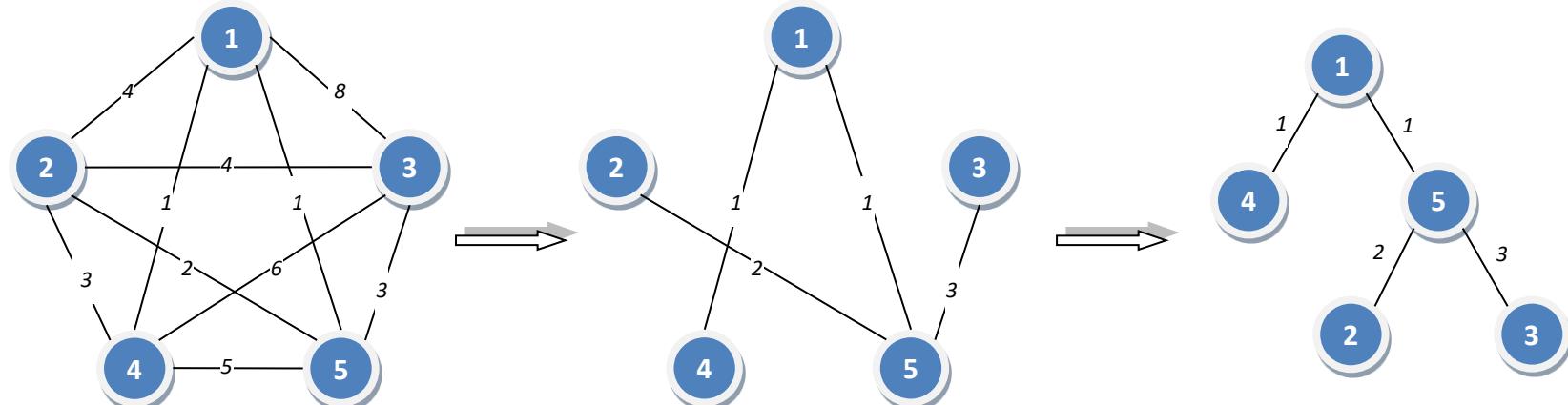
- Unicast
 - *směrování na základě toho, kam mají být data doručena*
 - zajišťují unicastové směrovací protokoly jako OSPF, EIGRP či IS-IS
- Multicast
 - *směrování na základě toho, kdo je zdrojem dat*
 - distribuční stromy

Multicastové protokoly

- Směrovací protokoly:
 - **MOSPF** – rozšíření OSPF, ale neujalo se
 - **DVMRP** – základ MBONE inspirovaný RIPvem
 - **PIM** – nejpoužívanější IGP
 - **M-BGP** – nádstavba nad BGP pro podporu multicastového směrování
- Podpůrné protokoly:
 - **MSDP** – šíření zdrojů multicastu mezi autonomními systémy
 - **RGMP** – CGMP pro routery v páteřní vrstvě

Distribuční stromy (1)

- Shortest path tree (SPT)
 - $\stackrel{\text{def}}{=}$ acyklický spojitý faktor grafu s nezáporně ohodnocenými hranami, kde cesta mezi kořenovým uzlem a všemi ostatními uzly je nejmenší možná
 - \rightsquigarrow abstraktní stromová struktura, kde mezi dvěma body existuje jediná, a to nejkratší cesta
 - Dijkstrův algoritmus, Floyd-Warshallův algoritmus

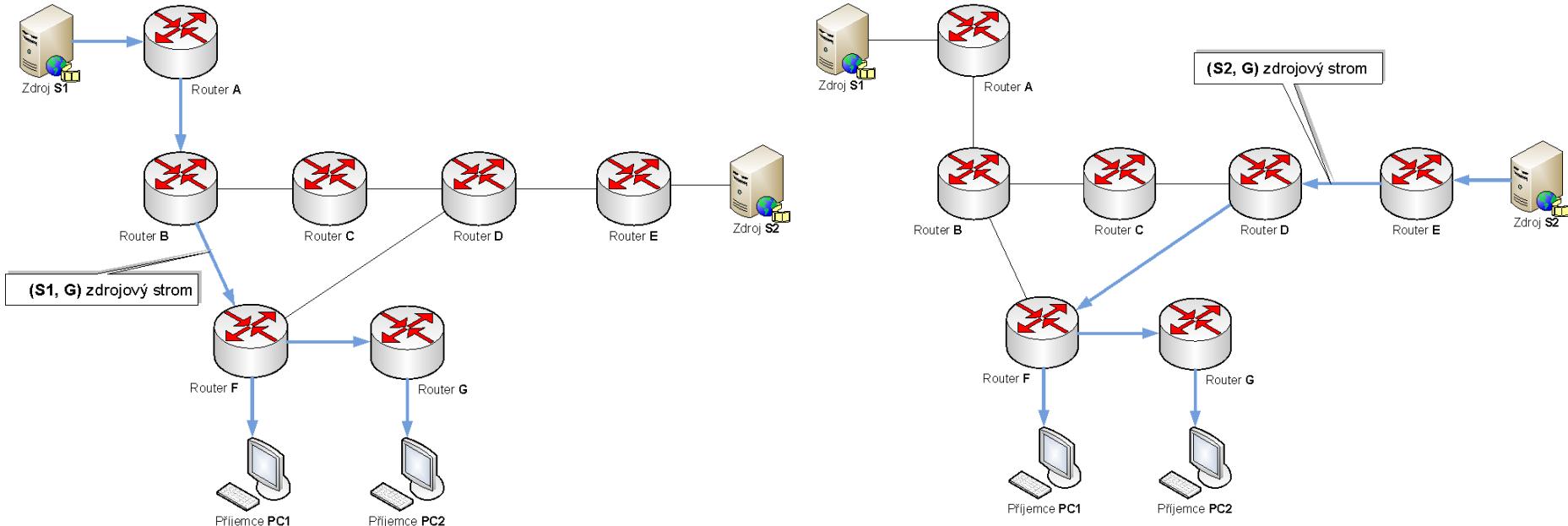


Distribuční stromy (2)

- *Směrovače znají celou topologii sítě pomocí stromů a na základě této znalosti si budují směrovací tabulky*
- Multicastové distribuční stromy vychází z SPT
- **(S, G) – source trees/zdrojové stromy**
 - pro každý zdroj multicastového provozu je vybudováván SPT ke všem jeho příjemcům se zdrojem jakožto kořenem stromu
- **(*, G) shared trees (sdílené stromy)**
 - existence nějakého společného bodu (tzv. **rendezvous pointu RP**) v topologii sdružujícího provoz od zdrojů multicastu, od kterého (jakožto kořene) je pak vybudován SPT k příjemcům

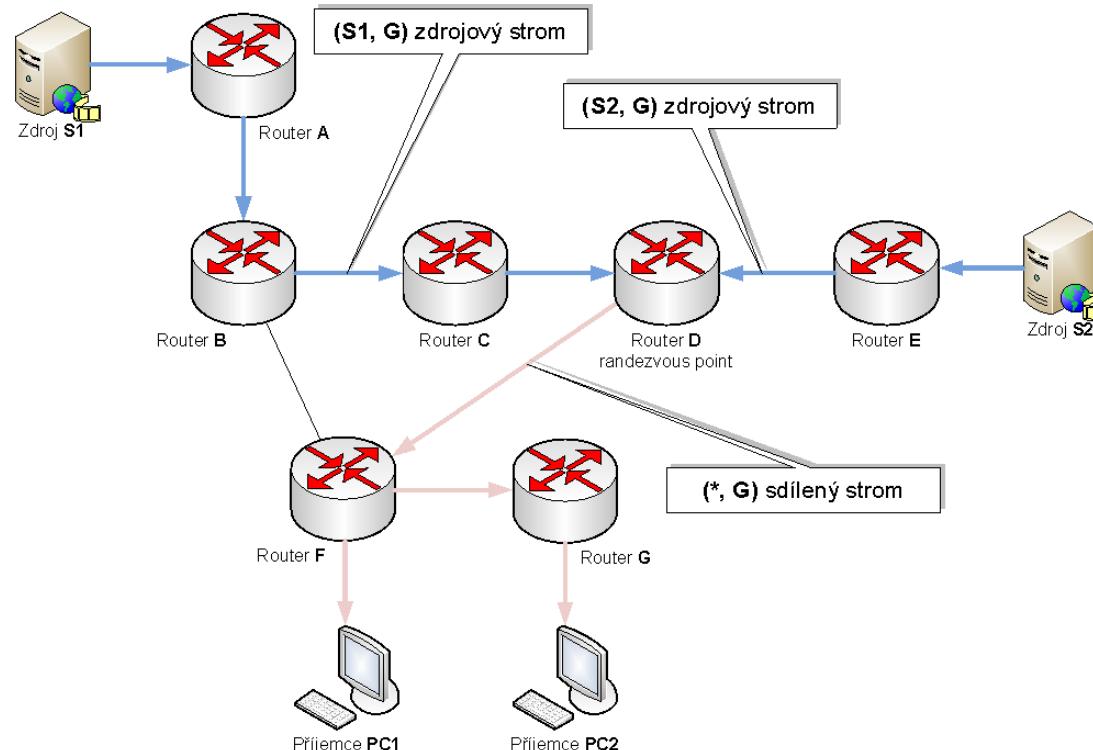
Distribuční stromy – (S, G)

- Nejkratší cesta = nejmenší zpoždění
- Paměťově náročné – pro každý zdroj vlastní strom



Distribuční stromy – $(*, G)$

- Suboptimální cesta může být příčinou zpoždění
- Lépe škálují provoz od více stejných zdrojů
- Paměťově méně náročné



PIM

- PIM neboli Protocol Independent Multicast je IGP
- [RFC3973](#) a [RFC4601](#)
- PIM kooperuje s unicastovým směrovacím protokolem = získává z něj informace o topologii, na základě které si buduje své distribuční stromy, jež jsou využívány pro multicast
- Všechny PIM směrovače si povídají na adrese:
 - 224.0.0.13 u IPv4
 - FF02::D u IPv6

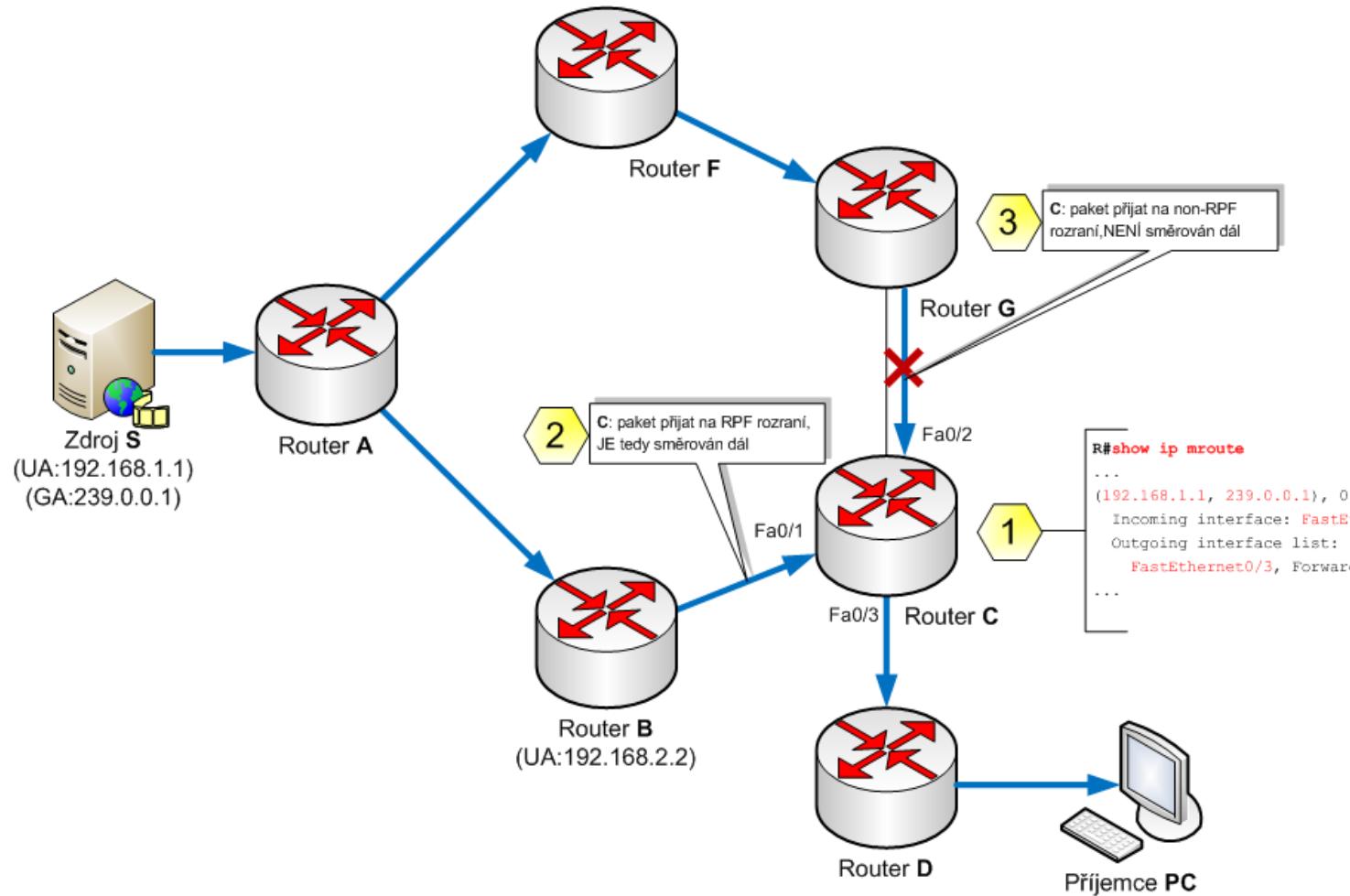
PIM – RPF (1)

- *V multicastové topologii obvykle dochází k replikaci dat, musíme tedy nějak filtrovat stejné pakety, které na směrovač dorazily různými cestami*
- **RPF = Reverse Path Forwarding**
- Princip zajišťující, že se při směrování multicastu eliminují smyčky
- Idea: *Za platný prohlásíme jen ten paket, který přichází z rozhraní ležícího nejblíže zdroji*

PIM – RPF (2)

- Algoritmus při přijetí multicastového paketu:
 - 1) Zdroj dat multicastové skupiny je ověřen vůči unicastové směrovací tabulce
 - 2) Zjistí se, jestli rozhraní leží ve směru zdroje dané multicastové skupiny, jestli:
 - a) ANO – rozhraní je označeno jako „*Incoming*“ nebo „*RPF*“
 - b) NE – rozhraní není nijak označeno nebo jako „*non-RPF*“
 - 3) Směrování multicastového paketu je pak rozhodnuto podle označení rozhraní, ze kterého přišel, jestli:
 - a) „*RPF*“ rozhraní – paket je směrován dál
 - b) „*non-RPF*“ rozhraní – paket je zahozen

PIM – RPF (3)



PIM – Módy činnosti

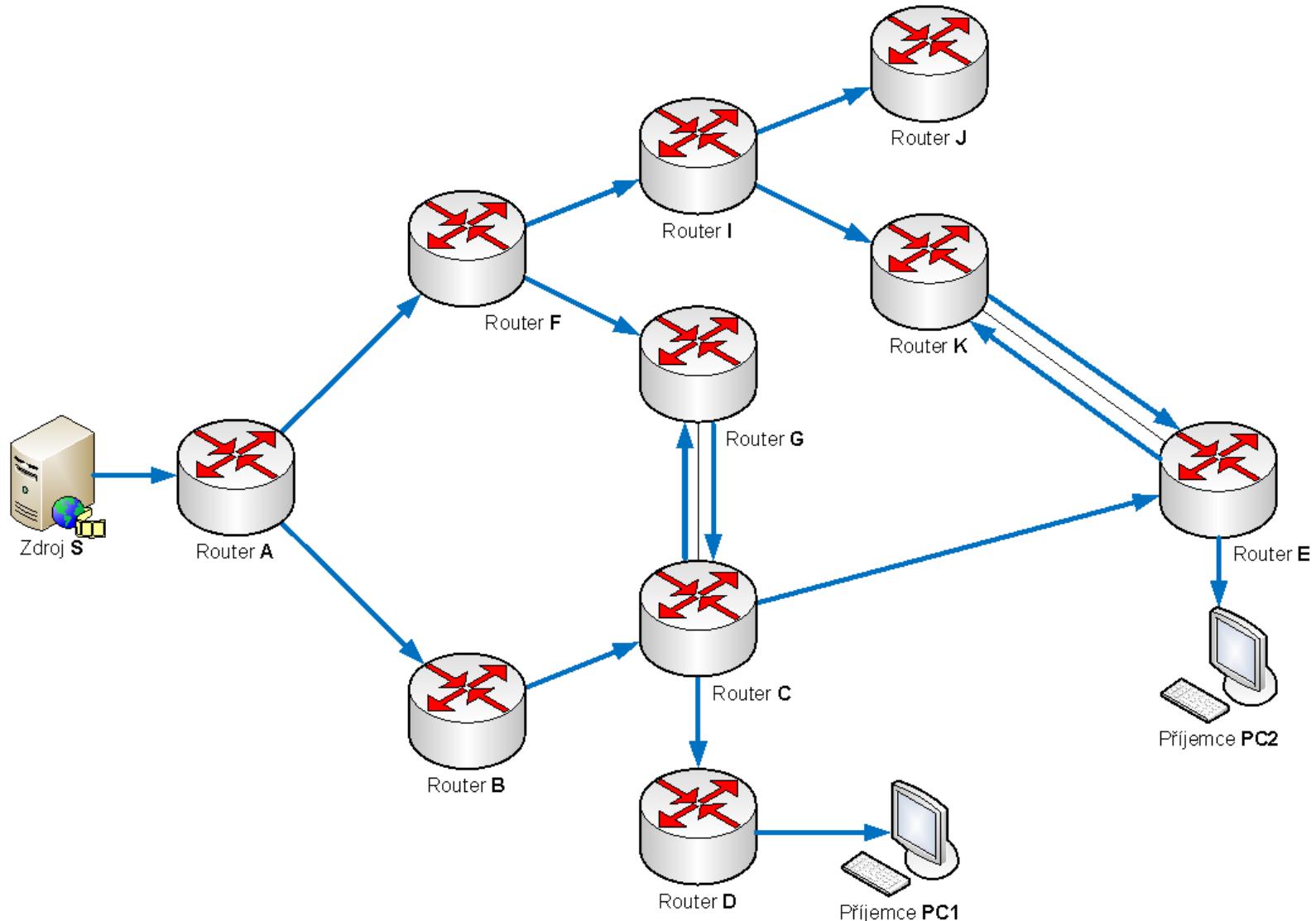
- **Dense (hustý) mód**
 - pracuje inkluzívním přístupem
 - pravidelně zaplavuje celou síť multicastovým provozem, přičemž ty části stromu, na kterých nejsou žádní odběratelé, explicitně kořen upozorňují, aby jim nic nezasílal
 - každé 3 minuty
- **Sparse (řídký) mód**
 - pracuje exkluzivním přístupem
 - strom je budován podle poptávky příjemců, kteří kořen explicitně upozorňují, že mají zájem odebírat data z nějaké multicastové skupiny

PIM-DM

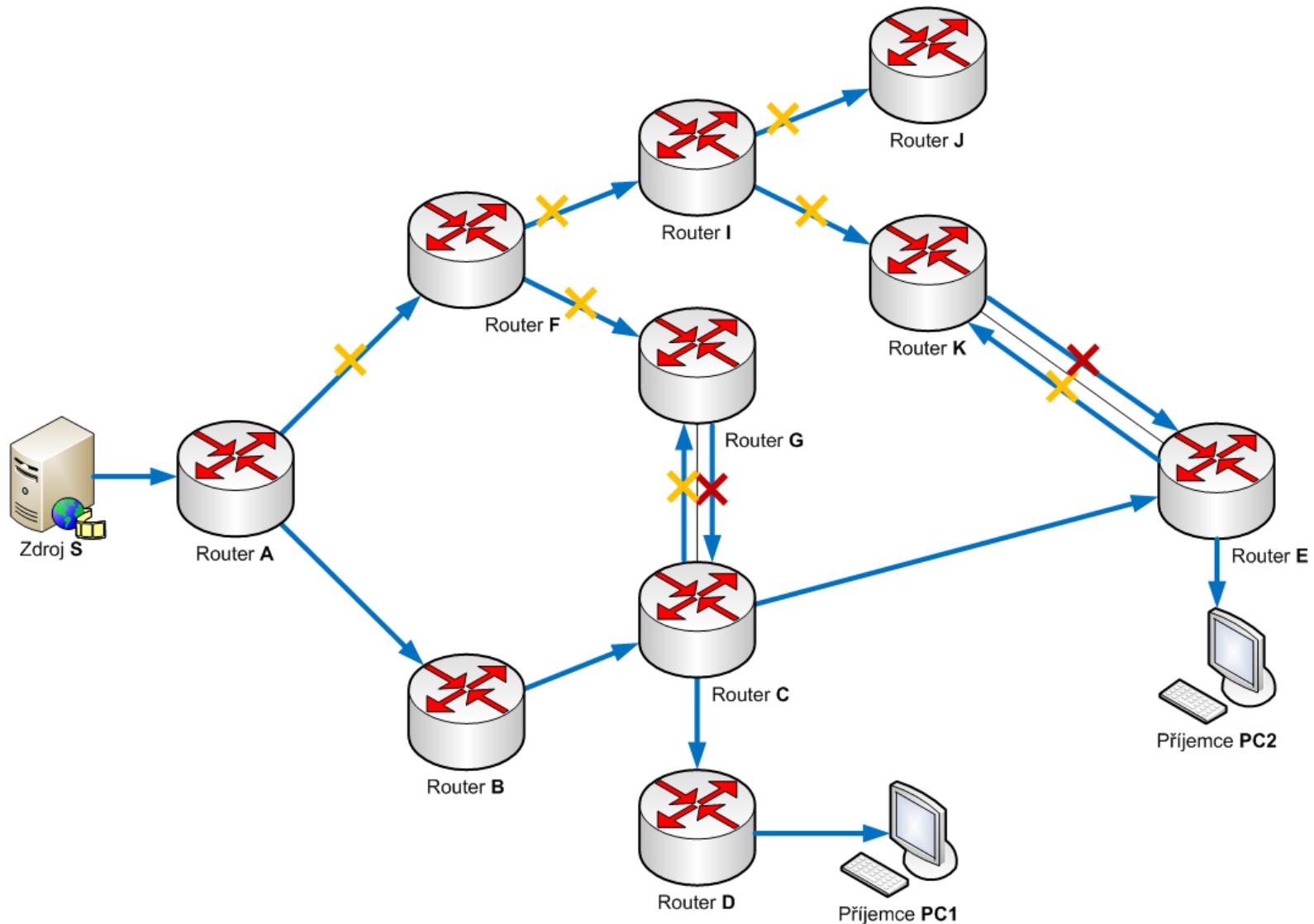
- Používá jen (S, G) stromy, které jsou budovány od zdroje až k příjemcům
- Vhodný do topologií s jedním zdrojem multicastu
- Zasílá zprávy:

Zpráva	Cílová adresa
Hello	224.0.0.13
Prune	224.0.0.13
Assert	224.0.0.13
Graft	Připojovaný směrovač
Graft-Ack	Připojující se směrovač

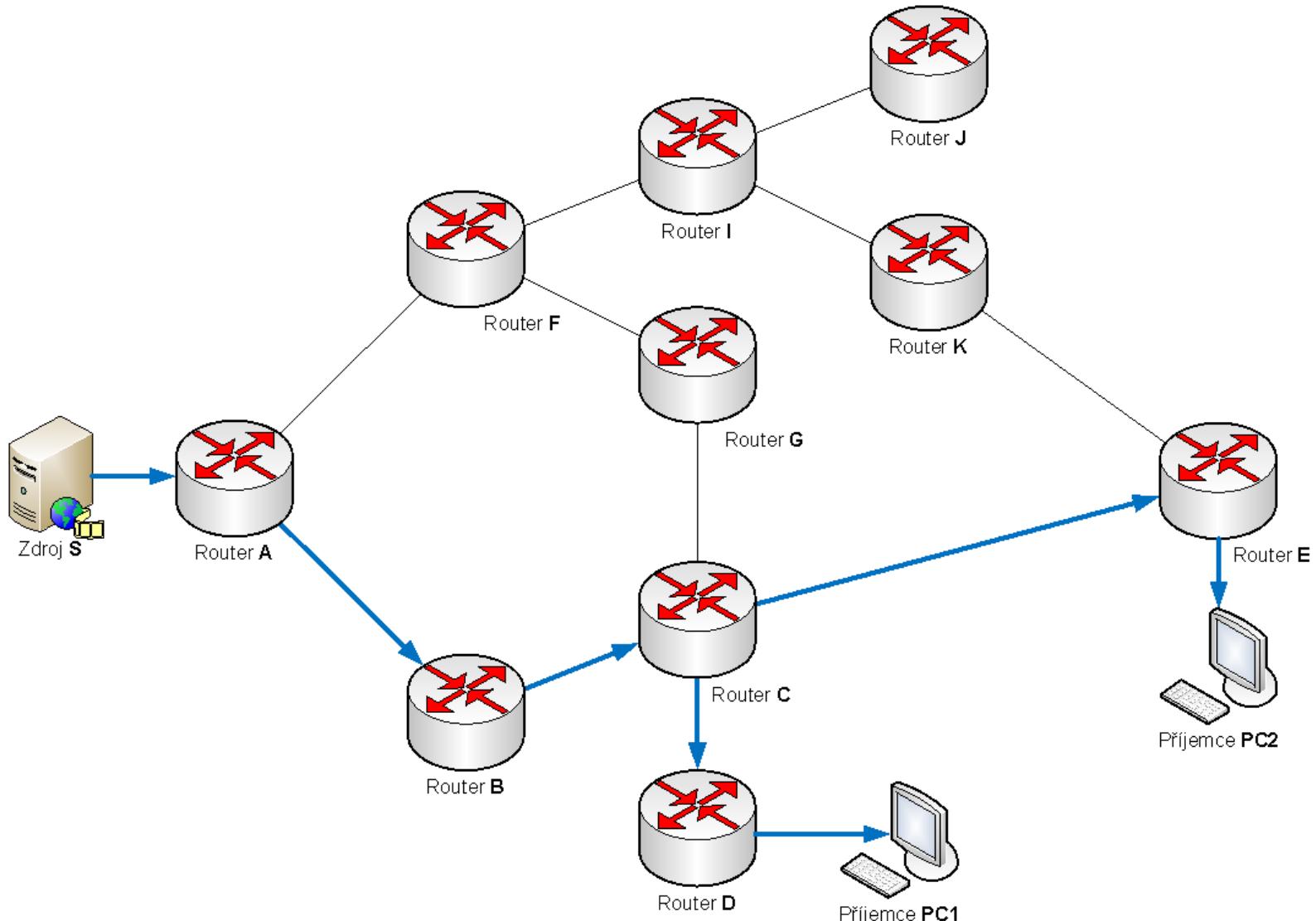
PIM-DM – Příklad (1)



PIM-DM – Příklad (2)



PIM-DM – Příklad (3)



PIM-SM

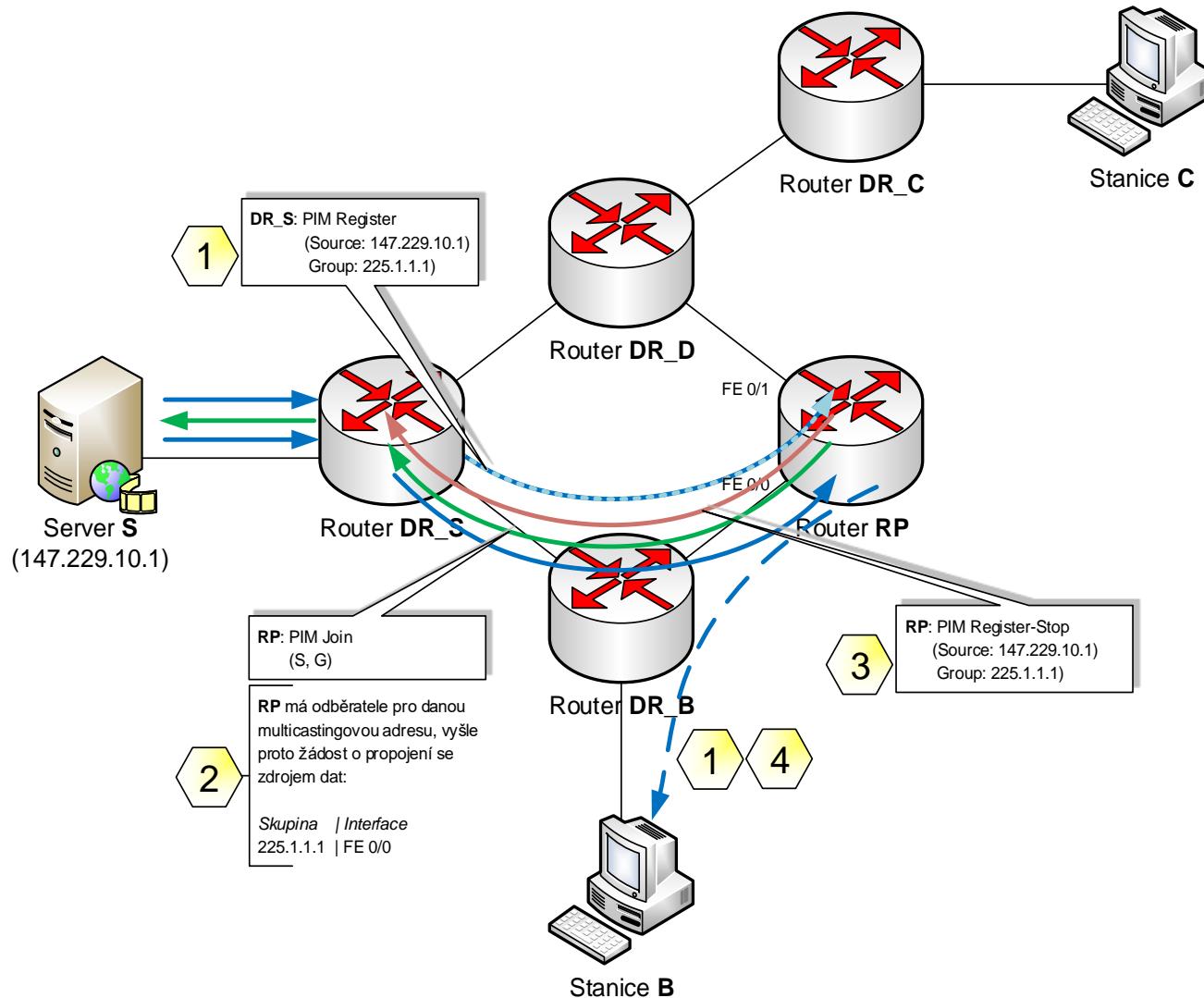
- Pracuje s oběma typy distribučních stromů:
 - Zdrojové stromy jsou budovány od zdrojů k RP
 - Sdílené stromy pak od RP k příjemcům
- Používáme v topologiích s více zdroji multicastu
- PIM-SM nefunguje, pokud všichni neznají RP!!!
- Zasílá zprávy:

Zpráva	Cílová adresa
Hello	224.0.0.13
Register	RP
Register-Stop	Registrující
Join/Prune	224.0.0.13

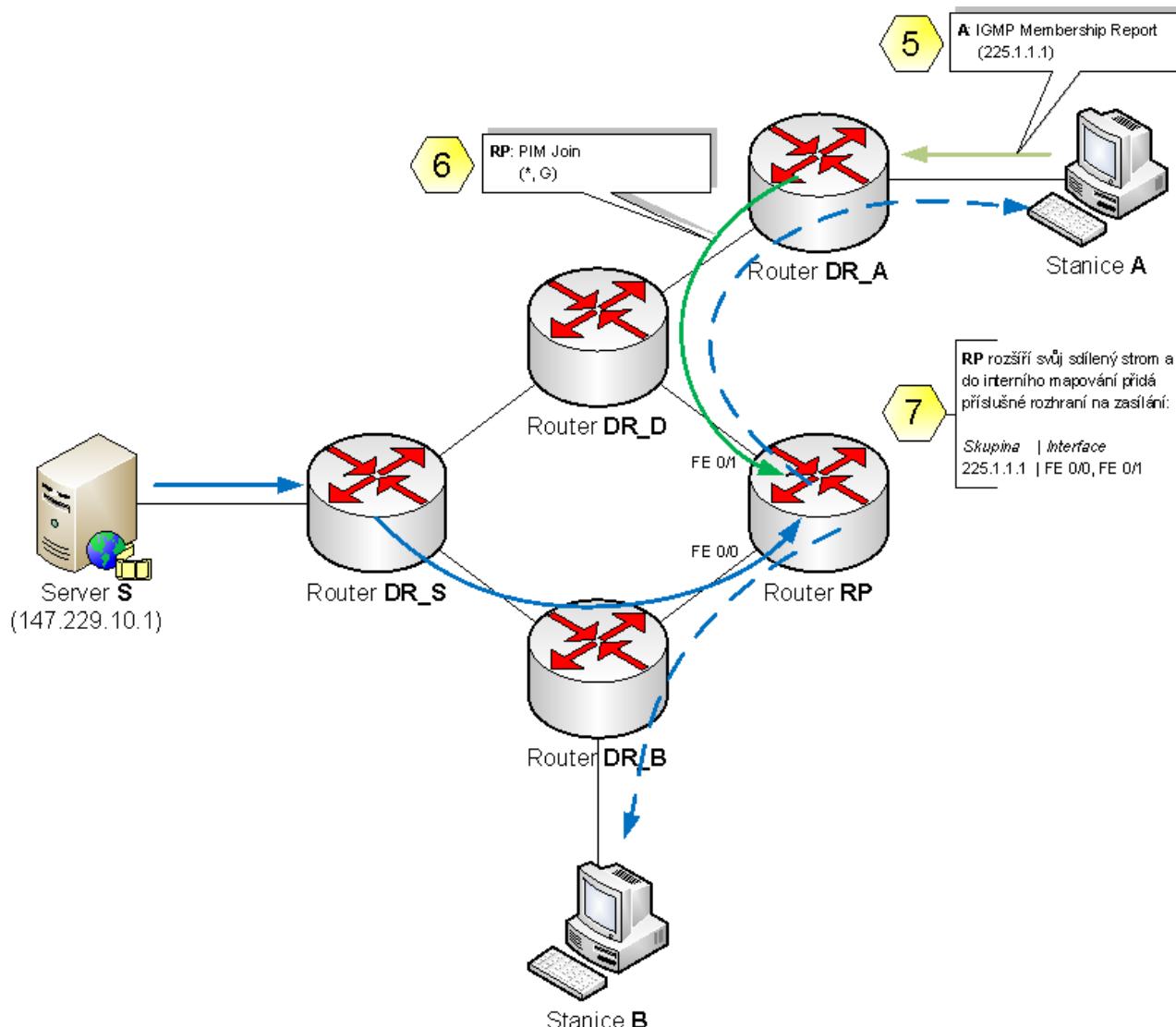
PIM-SM – Hierarchie

- Rendezvous Point (RP)
 - volen tak, aby ležel co nejblíže jak ke zdrojům, tak k příjemcům
- Designated Router (DR)
 - ten s nejvyšší IP adresou – kontrola pomocí PIM Hello
 - stará se v daném segmentu o registraci zdrojů a o napojování se a odpojování k distribučnímu stromu

PIM-SM – Příklad (1)



PIM-SM – Příklad (2)



Agenda

1) ÚVODNÍ MOTIVACE

- Use-case
- Adresování

2) POHLED NA SKUPINOVÉ SMĚROVÁNÍ:

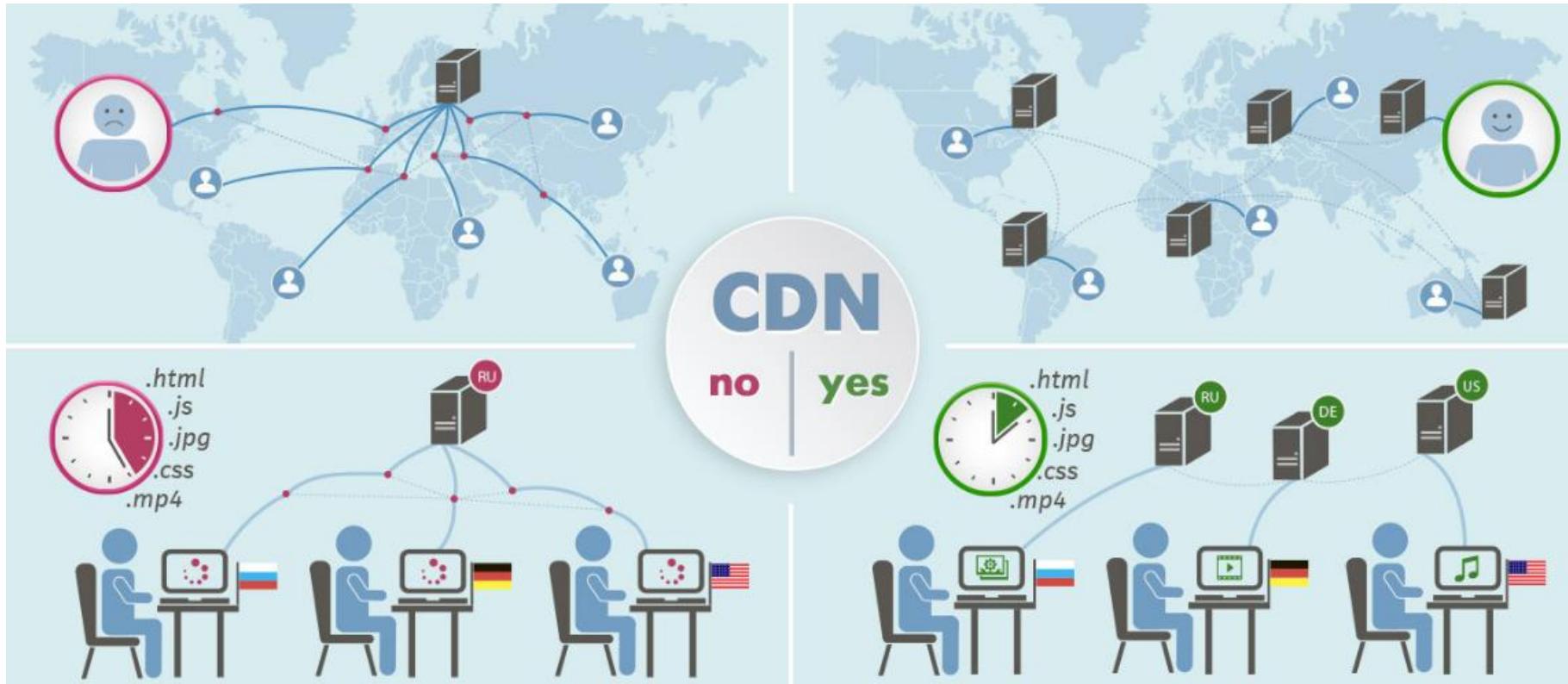
- Klienti
- Switche/Přepínače
- Routery/Směrovače

3) ZÁVĚR

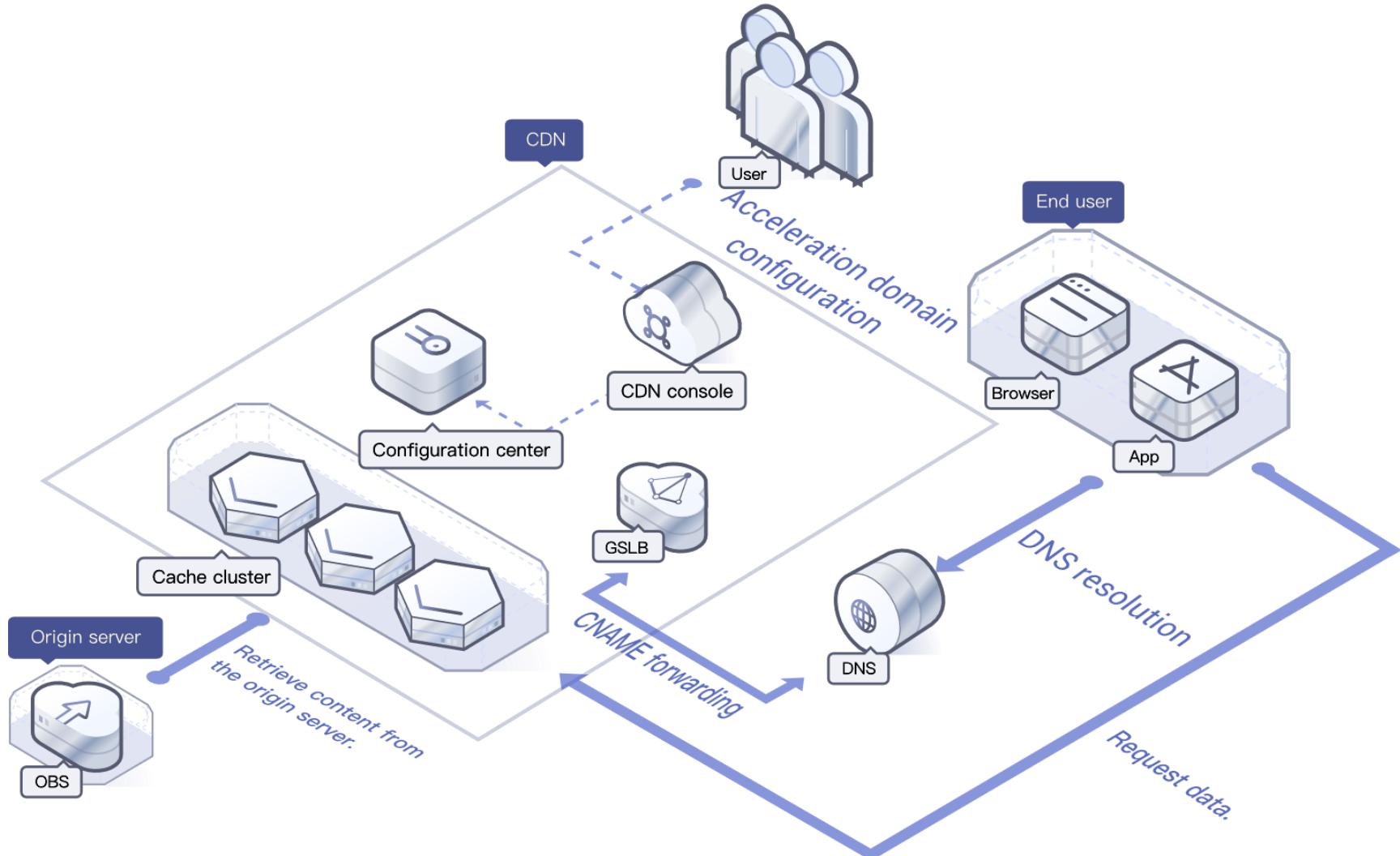
Současnost

- Multicast se používá jen a pouze pro specifický audio-video přenos v reálném čase
 - IPTV od Netbox v Brně
- Multicast se nepoužívá
 - Video on demand (protože každý se dívá na jinou část)
 - Streaming (protože neexistuje globální multicastový routing)
 - „Chytré“ tahání dat, třeba aktualizace (protože nefunguje s TCP)

CDN (1)

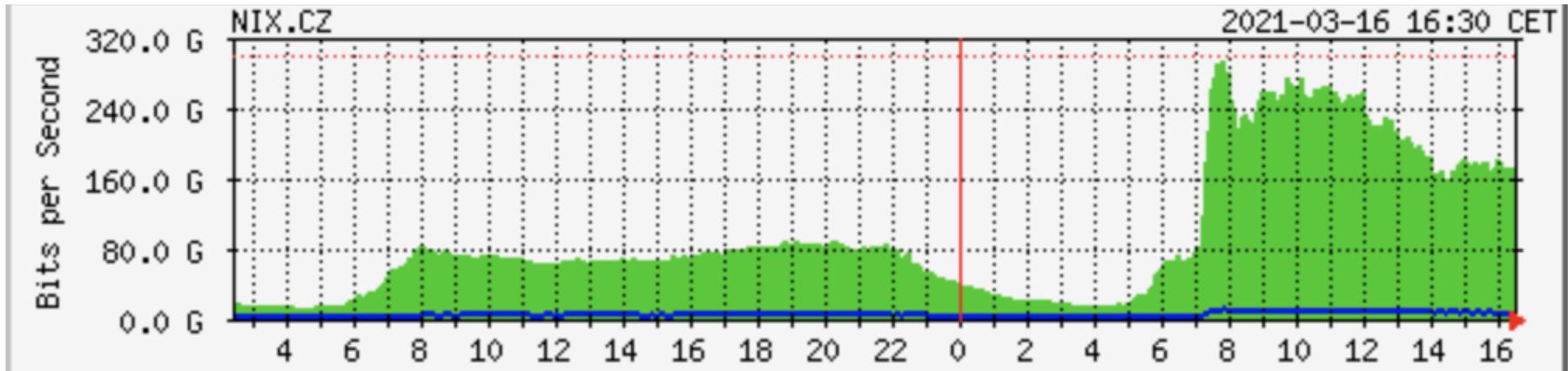


CDN (2)



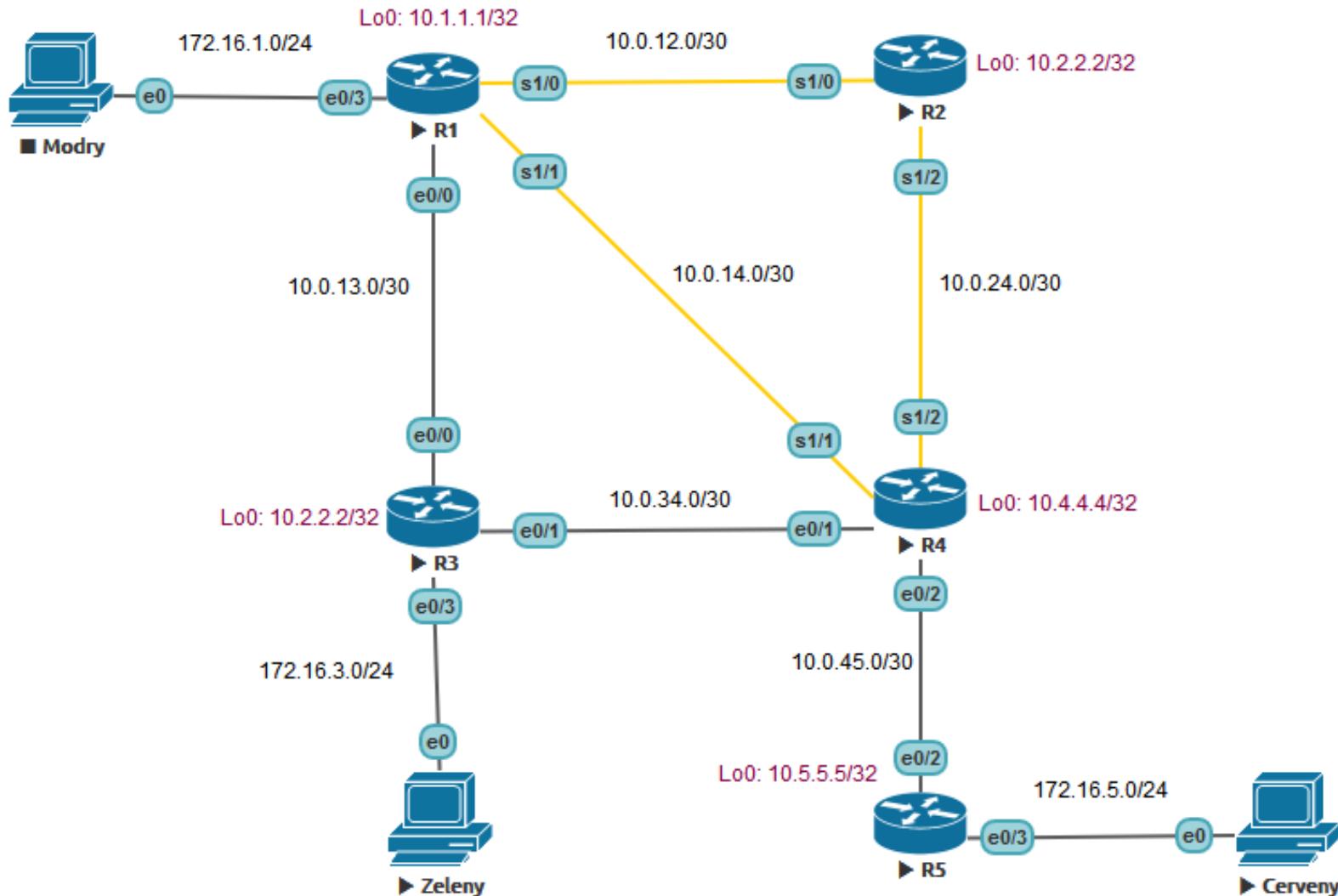
CDN v Praxi

- Na VUT
 - Google a ACAMAI

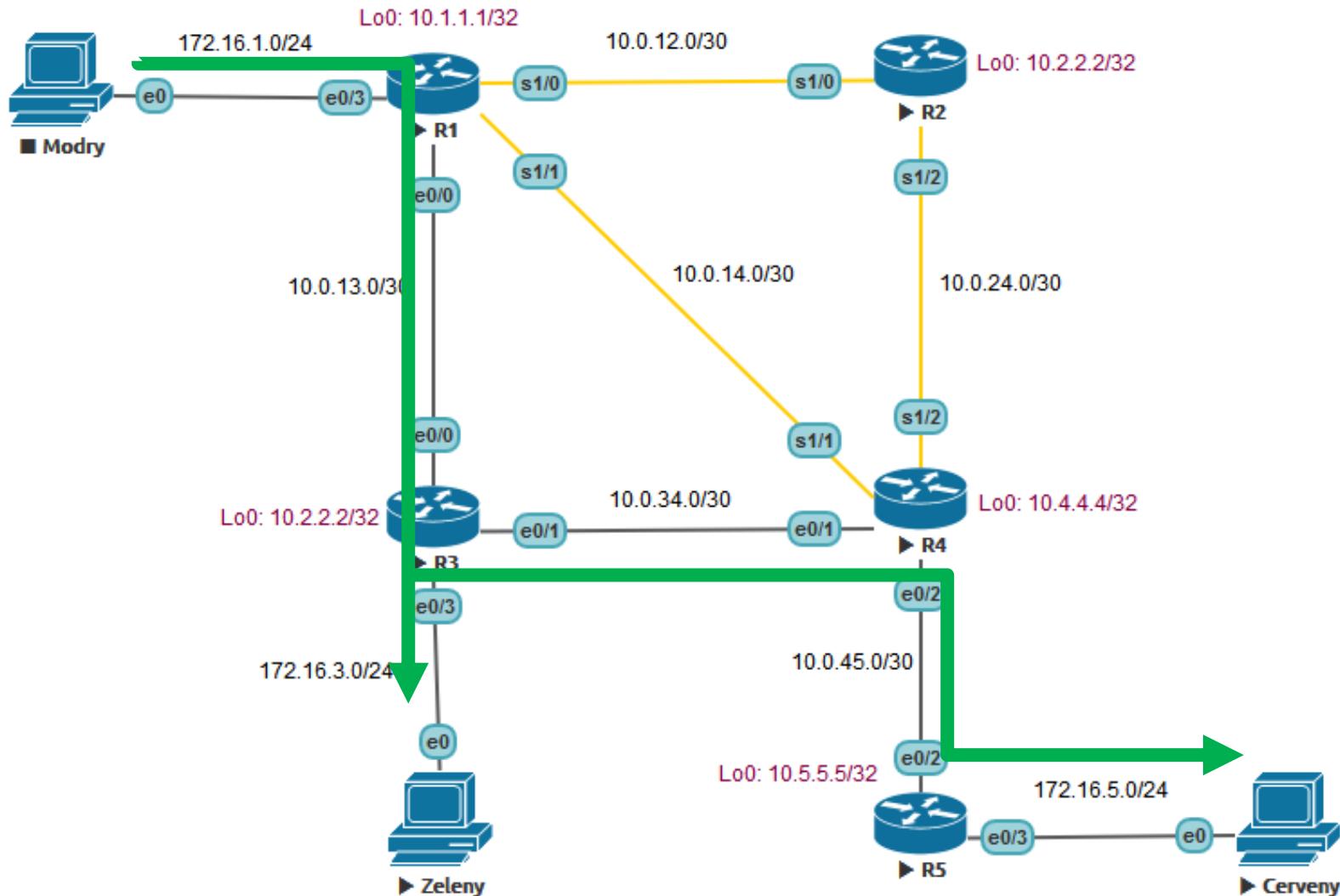


- <https://www.root.cz/clanky/jak-se-stavi-cdn-uvod-a-pouzite-komponenty/>

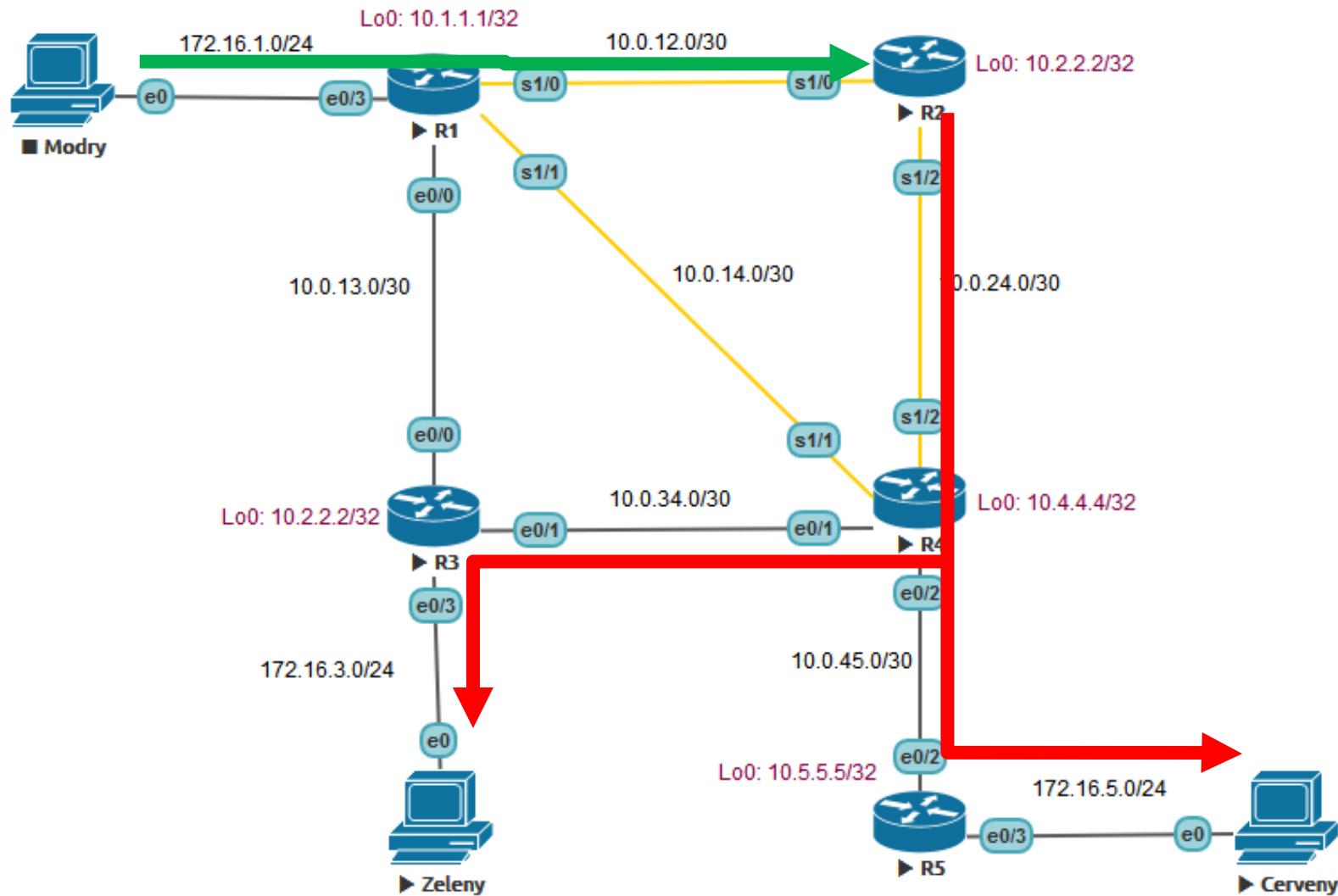
Ukázka



Ukázka: PIM-DM



Ukázka: PIM-SM



Příkazy IOSu

- Globální povolení multicastového směrování:

```
(config)#ip multicast-routing
```

- Povolení protokolu PIM na rozhraní:

```
(config-if)#ip pim dense-mode
```

```
(config-if)#ip pim sparse-mode
```

```
(config-if)#ip pim sparse-dense-mode
```

- Explicitní přihlášení daného rozhraní do skupiny:

```
(config-if)#ip igmp join-group IP
```

- Nastavení bootstrap elekce RP:

```
(config)#ip pim bsr-candidate interface hash priorita
```

- Nastavení kandidáta na RP:

```
(config)#ip pim rp-candidate interface group-list ACL
```

- Přístupové pravidlo ACL:

```
(config)#access-list ID permit IP wildcard
```

- Ověřování výsledků:

```
#show ip mroute
```

```
#show ip pim neighbour
```

```
#show ip pim bsr-router
```

```
#show ip rp
```

Kvíz pozornosti

- Jaké známe typy aplikačního multicastu podle směru komunikace?
- Jaký je ROZSAH multicastových adres v IPv4?
- Jaké známe tři typy DOSAHu multicastových adres v IPv4?
- Jak poznáme multicastovou MAC adresu?
- Co je problém 32-to-1 overlapping?
- Jaký port má na L4 vrstvě vyčleněn protokol IGMP?
- Jak se liší v IGMP Membership Query varianta General Query od varianty Group-Specific Query?
- Jak se zachová směrovač, pokud dostane zprávu IGMP Leave Group?
- Jak nakládá s multicastovým rámcem „hloupý“ přepínač?
- Z výrazu „snooping“ odvod'te funkci IGMP Snoopingu?

Kvíz pozornosti

- Jmenujte tři unicastové a tři multicastové směrovací protokoly!
- Co je to SPT a jak ho lze v daném grafu vybudovat?
- Vymenujte oba druhy distribučních stromů a k nim výhody a nevýhody, jež s nimi souvisí!
- Co je RPF a proč je tak důležitý?
- Popište směrování příchozího multicastového paketu na směrovači s přihlédnutím k RPF!
- Vyberte si tři libovolné zprávy PIM a popište je!
- Jmenujte dva módy činnosti PIM, čím se od sebe liší a v jakých topologiích byste ten který nasadili?
- Jakou informaci musí směrovač mít, pokud chce používat PIM-SM?

Kam dál?

- <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/rpfile.php?id=1995>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/IGMP>
- http://en.wikipedia.org/wiki/IP_Multicast
- <http://www.commsdesign.com/article/printableArticle.jhtml?articleID=52200253>
- <http://www.networksorcery.com/enp/protocol/igmp.htm>
- <http://www.ciscosystems.com/en/US/docs/switches/datacenter/nexus5000/sw/configuration/guide/cli/MACAddress.pdf>
- http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps708/products_tech_note09186a00800b0871.shtml#cgmp
- <http://www.netcraftsmen.net/resources/archived-articles/376-pim-dense-mode.html>
- <http://www.netcraftsmen.net/resources/archived-articles/424-pim-sparse-mode.html>
- http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_2/ip/configuration/guide/1cfmulti.html
- <http://www.netcraftsmen.net/resources/archived-articles/375-ip-multicast-and-pim-rendezvous-points.html>
- <http://tools.ietf.org/html/rfc1112>
- <http://tools.ietf.org/html/rfc2236>
- <http://tools.ietf.org/html/rfc3376>
- <http://tools.ietf.org/html/rfc4541>
- <http://tools.ietf.org/html/rfc1075>
- <http://tools.ietf.org/html/rfc1584>