

UNIVERZITA PARDUBICE  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Multicast routing - principy a využití

Lubor Mrkout

Bakalářská práce

2015

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lubor Mrkout**  
Osobní číslo: **I12189**  
Studijní program: **B2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Multicast routing - principy a využití**  
Zadávací katedra: **Katedra informačních technologií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je podrobně představit problematiku multicastového vysílání a vytvořit ukázkové úlohy na jeho využití. Student představí principy fungování multicatového vysílání, adresování a chování směrovačů při zpracovávání multicastových adres. V praktické části autor navrhne a realizuje tři ukázkové úlohy na využití multicatového vysílání s podrobným popisem řešení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**LAMMLE, Todd. CCNA: výukový průvodce přípravou na zkoušku 640-802. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010, 928 s. ISBN 978-802-5123-591.**

**ROSENBERG, Eric. A primer of multicast routing. London: Springer, c2012, x, 117 p. SpringerBriefs in computer science. ISBN 9781461418733.**

**MANYEM, Prabhu. Routing Problems in Multicast Networks Approximation lower bounds and heuristics. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, 2010, x, 117 p. SpringerBriefs in computer science. ISBN 978-363-9093-636.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Mgr. Josef Horálek, Ph.D.**

Katedra softwarových technologií

Datum zadání bakalářské práce:

**20. prosince 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce:

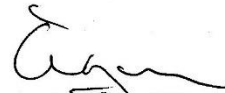
**11. května 2015**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Lukáš Čegán, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2015

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 11. 5. 2015

Lubor Mrkout

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Josefovi Horálkovi, Ph.D. za ochotu vést tuto práci a cenné rady při konzultacích. Dále paní Ing. Soně Neradové a panu Ing. Filipu Holíkovi za výpomoc při zpracování praktické části práce.

## **Anotace**

Práce se zabývá multicast směrováním. V teoretické části jsou popsány základní principy unicast a multicast směrování, jeho výhody a nevýhody. Praktická část je zaměřena na konfiguraci sítě a protokolu PIM-SM a PIM-DM, kde byl proveden rozbor komunikace. Praktické simulace jsou provedeny pro IPv4 i IPv6 adresaci.

## **Klíčová slova**

multicast, PIM, dense mode, sparse mode, distribuční strom, směrování, IPv4, IPv6, počítačová síť

## **Title**

Multicast routing - principles and utilization

## **Annotation**

The thesis deals with the multicast routing. The theoretical part describes basic principles of the unicast and multicast routing, its pros and cons. The practical part is focused on the configuration of a network and the PIM-SM and PIM-DM Protocol, where a communication analysis was carried out. Practical simulations are executed for the IPv4 and IPv6 address.

## **Keywords**

multicast, PIM, dense mode, sparse mode, distribution tree, routing, IPv4, IPv6, network

# Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Úvod	12
<b>1 Komunikace v počítačových sítích</b>	<b>13</b>
1.1 Počítačová síť	13
1.2 Model ISO/OSI	13
1.3 TCP/IP	14
1.4 Internet Protokol a směrování	15
1.4.1 Hlavička IPv4	15
1.4.2 Internet protokol verze 4 (IPv4)	16
1.4.3 Internet protokol verze 6 (IPv6)	17
1.4.4 Hlavička IPv6	18
1.4.5 Adresace v IPv6	19
<b>2 Multicast směrování</b>	<b>20</b>
2.1 Princip multicast směrování	20
2.2 Výhody multicast směrování	21
2.2.1 Šířka pásma	21
2.2.2 Zatížení serveru	22
2.2.3 Zatížení sítě	22
2.3 Nevýhodu multicast směrování	23
2.3.1 Nespolehlivý přenos datagramu	23
2.3.2 Zdvojený paket	23
2.3.3 Zahlcení sítě	23
2.4 Multicast adresace	23
2.4.1 Adresace v IPv4	23
2.4.2 Adresace v IPv6	24
2.4.3 Mapování multicast IPv4 adres na MAC adresy	25
2.4.4 Mapování multicast IPv6 adres na MAC adresy	26
2.5 Distribuční stromy	26
2.5.1 Zdrojové stromy	26
2.5.2 Sdílené stromy	27
2.6 Multicast směrovací protokoly	29
2.6.1 IGMP	29

2.6.2	DVMRP .....	30
2.6.3	Multicast OSPF .....	30
2.6.4	Core Based Trees protokol .....	30
2.6.5	Protocol Independent Multicast .....	30
<b>3</b>	<b>Konfigurace počítačové sítě a multicast komunikace .....</b>	<b>32</b>
3.1	Simulace 1: PIM-DM IPv4 .....	32
3.1.1	Topologie.....	32
3.1.2	Zařízení v síti.....	32
3.1.3	Adresace a konfigurace zařízení.....	32
3.1.4	PIM Dense Mode.....	34
3.1.5	Simulace multicast komunikace.....	35
3.1.6	Rozbor komunikace .....	40
3.2	Simulace 2: PIM-SP IPv6.....	43
3.2.1	Topologie.....	43
3.2.2	Zařízení v síti.....	43
3.2.3	Adresace a konfigurace zařízení v síti .....	44
3.2.4	PIM Sparse Mode .....	45
3.2.5	Simulace multicast komunikace.....	45
3.2.6	Rozbor komunikace.....	47
3.3	Simulace 3: PIM-SM IPv4.....	49
3.3.1	Topologie.....	49
3.3.2	Zařízení v síti.....	50
3.3.3	Adresace a konfigurace zařízení.....	50
3.3.4	Multicast komunikace .....	51
3.3.5	Rozbor komunikace .....	51
	<b>Závěr.....</b>	<b>55</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>56</b>
	<b>Příloha A - Konfigurace směrovačů ze simulace 1 .....</b>	<b>58</b>
	<b>Příloha B - Konfigurace směrovačů ze simulace 2 .....</b>	<b>61</b>
	<b>Příloha C - Konfigurace směrovačů ze simulace 3 .....</b>	<b>64</b>
	<b>Příloha D - CD .....</b>	<b>72</b>



## Seznam zkratek

<b>BiDir</b>	Bi-directional
<b>CBT</b>	Core based tree
<b>DR</b>	Designated router
<b>DVMRP</b>	Distance vector multicast routing protocol
<b>FE</b>	FastEthernet
<b>GE</b>	GigabitEthernet
<b>IGMP</b>	Internet group management protocol
<b>IGRP</b>	Interior gateway routing protocol
<b>IHL</b>	Internet header length
<b>IOS</b>	Internetwork operating system
<b>IPv4</b>	Internet protocol version 4
<b>IPv6</b>	Internet protocol version 6
<b>ISO</b>	International organization for standardization
<b>LAN</b>	Local area network
<b>lo</b>	Loopback
<b>MAC</b>	Media access control
<b>MLD</b>	Multicast listener discovery
<b>MOSPF</b>	Multicast open shortest path first
<b>NIC</b>	Network interface controller
<b>OSI</b>	Open system interconnection
<b>OSPF</b>	Open shortest path first
<b>PC</b>	Personal computer
<b>PIM</b>	Protocol independent multicast
<b>PIM-DM</b>	Protocol independent multicast dense mode
<b>PIM-SM</b>	Protocol independent multicast sparse mode
<b>QoS</b>	Quality of service
<b>R</b>	Router
<b>RFC</b>	Request for comments
<b>RIP</b>	Routing information protocol
<b>RP</b>	Rendezvous point
<b>RPT</b>	Rendezvous point tree
<b>SPT</b>	Shortest path tree
<b>SSM</b>	Source specific multicast
<b>TCP</b>	Transmission control protocol
<b>TTL</b>	Time to live
<b>UDP</b>	User datagram protocol
<b>WAN</b>	Wide area network
<b>Wi-Fi</b>	Wireless fidelity

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Směrování .....	15
Obrázek 2 - Hlavička datagramu .....	15
Obrázek 3 - Hlavička IPv6 .....	18
Obrázek 4 - Multicast .....	21
Obrázek 5 - Stream videa: unicast vs. multicast .....	22
Obrázek 6 - IPv6 multicast adresa .....	24
Obrázek 7 - Mapování IPv4 adresy na MAC adresu .....	26
Obrázek 8 - Zdrojový strom .....	27
Obrázek 9 - Sdílený strom .....	27
Obrázek 10 - Obousměrný sdílený strom .....	28
Obrázek 11- Jednosměrný distribuční strom .....	29
Obrázek 12 - Simulace 1 - topologie .....	32
Obrázek 13 - VLC - nastavení multicast proudu .....	35
Obrázek 14 - VLC - přidání dat, které se budou odesílat .....	36
Obrázek 15 - VLC - spuštění průvodce pro vysílání .....	36
Obrázek 16 - VLC - výběr transportního protokolu .....	37
Obrázek 17 - VLC - deaktivace překódování .....	37
Obrázek 18 - VLC - nastavení IP adresy proudu .....	38
Obrázek 19 - VLC - nastavení TTL hodnoty .....	38
Obrázek 20 - VLC - nastavení přijímače .....	39
Obrázek 21- VLC - vyplnění multicast adresy .....	40
Obrázek 22 - Simulace 1 - R2 vyřízení požadavku o zařazení PC2 do skupiny .....	41
Obrázek 23 - Simulace 1 - R1 při začátku multicast vysílání .....	41
Obrázek 24 - Simulace 1 - R2 při začátku multicast směrování .....	42
Obrázek 25 - Simulace 1 - R1 multicast směrovací tabulka .....	42
Obrázek 26 - Simulace 1 - R2 multicast směrovací tabulka .....	42
Obrázek 27 - Simulace 2 - topologie .....	43
Obrázek 28 - VLC - nastavení IPv6 adresy multicast proudu .....	46
Obrázek 29 - VLC - příjem IPv6 multicast proudu .....	46
Obrázek 30 - Simulace 2 - R1 začátek vysílání a rozpoznání přijímače .....	47
Obrázek 31 - Simulace 2 - R2 žádost PC2 o přiřazení do multicast skupiny .....	48
Obrázek 32 - Simulace 2 - R1 multicast směrovací tabulka .....	48
Obrázek 33 - Simulace 2 - R2 multicast směrovací tabulka .....	49
Obrázek 34 - Simulace 3 - topologie .....	49
Obrázek 35 - Simulace 3 - R1 multicast směrovací tabulka .....	51
Obrázek 36 - Simulace 3 - R2 multicast směrovací tabulka .....	51
Obrázek 37 - Simulace 3 - R3 multicast směrovací tabulka .....	51
Obrázek 38 - Simulace 3 - R5 multicast směrovací tabulka .....	52
Obrázek 39 - Simulace 3 - tok dat sítě .....	52
Obrázek 40 - Simulace 3 - PC1 zasílá data .....	53
Obrázek 41 - Simulace 3 - PC2 přijímá data .....	54
Obrázek 42 - Simulace 3 - IGMPv2 komunikace mezi PC2 a R5 .....	54

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vrstvy modelu ISO/OSI.....	14
Tabulka 2- Třídy sítí IPv4 .....	17
Tabulka 3 - Třídy IPv6 adres .....	19
Tabulka 4 - Výčet vyhrazených multicast adres .....	24
Tabulka 5 - Hodnoty scope .....	25
Tabulka 6 - Simulace 1 - adresace zařízení v síti .....	33
Tabulka 7 - Simulace 2 - adresace zařízení v síti .....	44
Tabulka 8 - Simulace 3 - adresace zařízení v síti .....	50

## Úvod

Dnešní svět, kdy lidé a společnosti potřebují přenášet data na dlouhé vzdálenosti, si těžko představit bez počítačových sítí. Díky nim lze během několika málo okamžiků přenést obrovské množství informací. Ať už se jedná o písemné dokumenty, video, audio nebo obrázky. Pokud jde o přenosy video a audio nahrávek v reálném čase, stále se může narazit na několik omezení, jako je kvalita a kapacita spojení.

Každým dnem jsou lidmi zvyšovány nároky na kvalitu a pohodlí. Před pár lety se člověk spokojil s tím, že může během několika minut poslat skrz místní síť, a nebo Internet, textovou zprávu. Dnes je pohodlnější natočit video nebo nahrát zvuk a posléze jej odeslat. To ale znamená, že je potřeba poslat mnohem více dat. A každý dnes bere jako samozřejmost, že během pár vteřin budou data doručena. Nebo existují stroje, které jsou zapojené do sítě a zpoždění třeba jen o několik málo sekund může mít fatální následky.

Tato práce se právě zabývá možnostmi, jak posílat video nahrávku v reálném čase a to více uživatelům najednou. Jako jednoduchý příklad si lze představit tzv. streamovanou přednášku na univerzitě, kde každý koncový uživatel (student) sedí doma nebo v jiné posluchárně před monitorem a poslouchá přednášku na dané téma. A to vše v reálném čase téměř bez zpoždění. V případě standardní komunikace one-to-one by docházelo k redundanci dat a tak by byly velice vysoké požadavky na síť. Technologie multicast řeší tuto problematiku a umožňuje v celku jednoduchým způsobem komunikaci one-to-many nebo many-to-many.

# 1 Komunikace v počítačových sítích

## 1.1 Počítačová síť

Samotný pojem *počítačová síť* je velmi rozmanitý. Nejjednodušší počítačovou sítí si můžeme představit jako 2 zařízení (počítače) schopné komunikace dle daných pravidel. Dnes se už nepřipojují jen počítače, ale i chytré telefony, tablety, datová uložení, tiskárny a spoustu dalších, které si mezi sebou předávají data.

Základem je sdílené médium, po kterém si zařízení mohou předávat data. Tím může být koaxiální kabel, kroucená dvojlinka, optické vlákno nebo bezdrátové technologie.

Každé zařízení má své rozhraní, nejběžnější je síťová karta (NIC) nebo Wi-Fi modul. Pro komunikaci jsou využity standardy, tzv. síťové protokoly, aby každé zařízení mohlo odesílat a přijímat data.

*„Kritérii, podle nichž můžeme síť dělit, je více. Mezi hlavní patří klasifikace sítí podle rozlehlosti.“*

*Síť LAN (Local area networks): ty jsou omezeny na jedno lokální místo jeden podnik, místnost, budovu. Zajišťují sdílení lokálních prostředků (tiskáren, dat, aplikací).*

*Síť WAN (Wide area networks): rozlehlé síť. Ty se skládají z více vzájemně propojených sítí LAN. Jejich spojování se provádí speciálními linkami či bezdrátově. Rozlehlost sítí může být různá, od sítí městských či firemních (firma s pobočkami ve více městech, zemích či kontinentech), až po nejznámější celosvětovou síť – Internet.“ (Horák a Keršláger, 2006, s. 9)*

## 1.2 Model ISO/OSI

Mezinárodní ústav pro normalizaci ISO (International Standards Organization) vypracoval referenční model OSI (Open Systems Interconnection), který rozděluje síťovou práci na 7 vrstev. (Horák a Keršláger, 2006)

*„Princip spočívá v tom že vyšší vrstva převezme úkol od podřízené vrstvy, zpracuje jej a předá vrstvě nadřazené. Vertikální spolupráce mezi vrstvami (nadřazená s podřízenou) je věcí výrobce sítě. Model ISO/OSI doporučuje jak mají vrstvy spolupracovat horizontálně - dvě stejné vrstvy modelu mezi různými sítěmi (či síťové prvky různých výrobců) musejí spolupracovat.“ (Horák a Keršláger, 2006, s. 18)*

### Tabulka 1 - Vrstvy modelu ISO/OSI

Zdroj: Zpracováno dle (Horák a Keršláger, 2006)

Vrstva	Popis
Aplikační	Je určitou aplikací (např. oknem v programu) zpřístupňující uživatelům síťové služby. Nabízí a zajišťuje přístup k souborům (na jiných počítačích), vzdálený přístup k tiskárnám, správu sítě, elektronické zprávy (včetně e-mailu)...
Prezentační	Má na starosti konverzi dat, přenášená data mohou totiž být v různých sítích různě kódována. Tato vrstva zajišťuje sjednocení formy vzájemně přenášených údajů. Dále data komprimuje, případně šifruje... V praxi často splývá s relační vrstvou.
Relační	Navazuje a po skončení přenosu ukončuje spojení. Může provádět ověřování uživatelů, zabezpečení přístupu k zařízením...
Transportní	Typickou činností transportní vrstvy je dělení přenášené zprávy na pakety a opětovné skládání přijatých paketů do zpráv (při přenosu se mohou pakety pomíchat či ztratit).
Síťová	Je zodpovědná za spojení a směrování mezi dvěma počítači nebo celými sítěmi (tj. uzly), mezi nimiž neexistuje přímé spojení. Zajišťuje volbu trasy při spojení (mezi uzly bývá více možných cest pro přenos paketu)... (Volbu trasy nazýváme směrováním – routingem).
Linková	Uskutečňuje přenos údajů (datových rámců) po fyzickém médiu, pracuje s fyzickými adresami síťových karet, odesílá a přijímá rámce, kontroluje cílové adresy každého přijatého rámce, určuje, zda bude rámeček odevzdán vyšší vrstvě...
Fyzická	Popisuje elektrické (či optické), mechanické a funkční vlastnosti: jakým signálem je reprezentována logická jednička, jak přijímací stanice rozezná začátek bitu, jaký je tvar konektoru, k čemu je který vodič v kabelu použit...

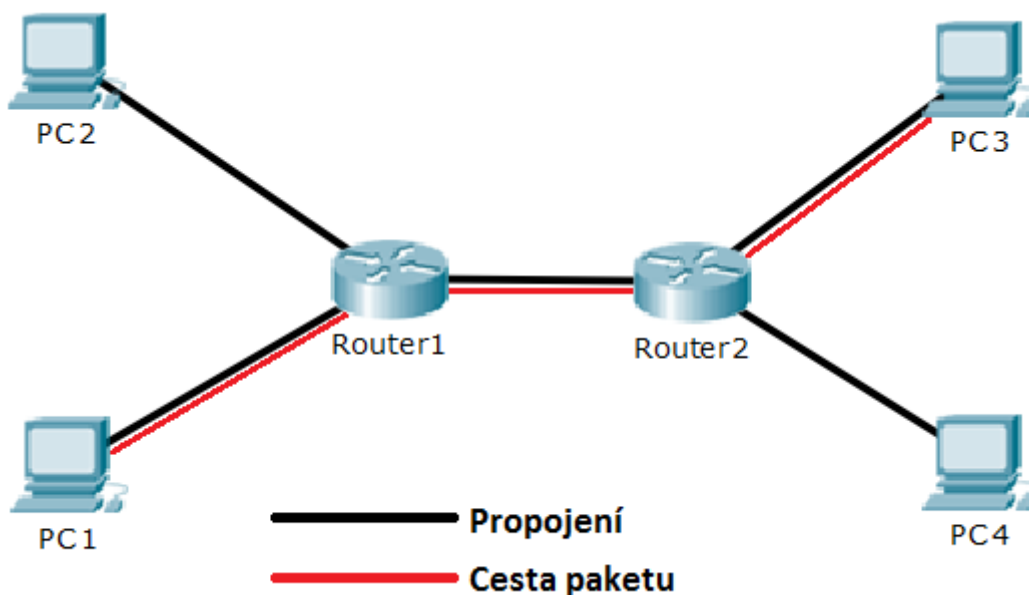
### 1.3 TCP/IP

Sada protokolů TCP/IP je pojmenována podle dvou nejdůležitějších protokolů: Transmission Control Protocol (TCP) a Internet Protocol (IP) (Parziale, 2006).

Dnes téměř veškeré sítě a Internet jsou postaveny na těchto protokolech. Jedním z nejdůležitějších protokolů je Internet Protokol.

## 1.4 Internet Protokol a směrování

„Internet Protokol (dále jen IP-protokol) prakticky odpovídá síťové vrstvě. IP-protokol přenáší tzv. IP-datagramy mezi vzdálenými počítači. Každý IP-datagram ve svém záhlaví nese adresu příjemce, což je úplná směrovací informace pro dopravu IP-datagramu k adresátovi. Takže síť může přenášet každý IP-datagram samostatně. IP-datagramy tak mohou k adresátovi dorazit v jiném pořadí než byly odeslány.“ (Dostálek a Kabelová, 2000, s. 7)



**Obrázek 1 - Směrování**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 1 počítač PC1 komunikuje s počítačem PC3. Každý směrovač (router) má svoji směrovací tabulku, dle které se rozhoduje, na jaké rozhraní odešle přijatý datagram. Datagramy prochází směrovači ROUTER1 a ROUTER2 až k cílovému adresátovi PC3.

### 1.4.1 Hlavička IPv4

Version	IHL	Type of Service	Total Length	
Identification			Flag	Fragment Offset
Time to live	Protocol		Header Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options				Padding

**Obrázek 2 - Hlavička datagramu**

*Zdroj: Zpracováno dle (TCP & UDP Protocol, 2003)*

Hlavička datagramu obsahuje veškeré důležité informace pro přepravu dat, které následují přímo za ní. Seznam jednotlivých částí hlavičky zpracován dle (Postel, 1981).

- *Version* - Označuje verzi protokolu.
- *IHL* - Určuje délku celé hlavičky (minimální hodnota 5).
- *Type of Service* - Určuje, jaká služba (service) je upřednostňována pro průchod sítě.
- *Total Length* - Délka datagramu v bajtech.
- *Identification* - Jedinečný identifikátor, podle kterého příjemce sestaví rozdělený datagram.
- *Flags* - 3 bity pro řízení fragmentace. První je nulový, druhý zakazuje fragmentaci a třetí určuje, zda není posledním fragmentem.
- *Fragment Offset* - Udává na jaké pozici původního datagramu se nachází tento fragment.
- *Time to live* - Hodnota TTL udává, kolika směrovači může datagram být přeposlán. Každý směrovač sníží tuto hodnotu o jedna. Pokud hodnota je rovna nule, je datagram zahozen. Ochrana před zacyklením datagramu v síti.
- *Protocol* - Číslo protokolu vyšší vrstvy, které se předají data (více lze nalézt v RFC 3232).
- *Header Checksum* - Kontrolní součet z hlavičky datagramu, při nesouhlasu se zahodí.
- *Source Address* - Adresa odesílatele datagramu.
- *Destination Address* - Adresa příjemce datagramu.
- *Options* - Možné přidat další požadavky při doručování datagramu.
- *Padding* - Pole *Options* může mít různou délku bitů, proto se celý datagram doplní na správnou délku.

#### 1.4.2 Internet protokol verze 4 (IPv4)

Každá adresa v IPv4 je dlouhá 32 bitů. Tyto bity jsou rozděleny do 4 oktětů (4 bajty) oddělených tečkou. Každý oktét nabývá čísla od 0 do 255. Příklad IPv4 adresy: 192.168.1.15, 10.0.0.3 nebo 255.255.255.255.

*„V IP adrese počítačů spojených do sítě nestačí uvést pouze číslo konkrétního počítače, ale potřebujeme znát ještě číslo sítě (nebo jejího segmentu), v níž je počítač zařazen. Část IP adresy pak vyjadřuje číslo sítě a zbytek popisuje adresu počítače v této síti. Podle toho, jaká část adresy je věnována síti a jaká číslu PC, jsou IP adresy rozděleny do tříd. Třídy sítě*



vidíme v tabulce, která ukazuje kolik čísel ze čtveřice je vyhrazeno pro určitý typ adresy (čím více bajtů je věnováno adrese sítě, tím více sítí můžeme adresovat, ale tím méně číselic zbude na adresy počítačů v síti a naopak).“ (Horák a Keršláger, 2006, s. 60)

**Tabulka 2- Třídy sítí IPv4**

Zdroj: (Hartpence, 2011, s. 53)

Třída	Rozsah hodnot prvního oktetu	Binární hodnota prvních bitů	Maximální počet sítí	Maximální počet uzlů (počítačů) v síti
A	0-127	0	128	16 777 216
B	128-191	10	16 364	65 636
C	192-223	110	2 097 152	256
D	224-239	1110	N/A	N/A
E	240-255	1111	N/A	N/A

Adresy v třídě D jsou vyhrazeny pro multicast (Bigelow, 2004).

Aby nedocházelo ke konfliktu adres v lokální síti a v Internetu, byly v třídách A, B a C vyhrazeny lokální adresové rozsahy.

- A: 10.0.0.0 - 10.255.255.255
- B: 172.16.0.0 - 172.31.255.255
- C: 192.168.0.0 - 192.168.255.255

„Abychom poznali, která část adresy je síťová, je nedílnou součástí IP adresy také síťová maska. Maska je opět čtyřbajtové číslo, vycházející přirozeně ze dvojkové soustavy. V masce jsou na místě síťové adresy vždy zapsány jedničky (vyjadřujeme se dvojkově).“ (Horák a Keršláger, 2006, s. 60-61)

Více o maskách lze nalézt v knize Mistrovství v počítačových sítích s. 105-107.

Adresovat cíl v síti lze třemi způsoby:

- *unicast*, adresace jednoho konkrétního cíle,
- *multicast*, zasílání dat skupině,
- *broadcast*, adresace všech koncových uzlů v síti či segmentu.

### 1.4.3 Internet protokol verze 6 (IPv6)

Největší problém IPv4 je nedostačující počet adres pro všechna zařízení. Proto v roce 1998 byla vydána další verze.

Změny oproti IPv4 se mohou shrnout do těchto bodů, zpracovány dle (Deering a Hiden, 1998):

- *Větší kapacita adres na přidělení.* IPv6 byla rozšířena na 128 bitů. Lepší škálovatelnost pro multicast směrování přidáním pole „scope“ do hlavičky. Dále byly zavedeny anycast adresy.
- *Zjednodušení hlavičky.* Některé položky z IPv4 byly odstraněny.
- *Lepší podpora pro rozšíření a volitelných částí v hlavičce.* Změna zakódování volitelných částí zaručuje efektivnější směrování.
- *Flow labeling (identifikátor toku).* Možnost přiřadit pakety do jednotného toku (flow), ve kterém má zasilatel speciální požadavky (např. QoS nebo „real-time“ služby).
- *Autentizace a soukromí* - Rozšíření pro podporu autentizace, integrity dat a (volitelně) důvěrnosti dat.

Hlavička IPv6 má fixní velikost, což je efektivnější při směrování než u IPv4, která mohla mít proměnou velikost kvůli volitelné části.

#### 1.4.4 Hlavička IPv6

Version	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source Address			
Destination Address			

**Obrázek 3 - Hlavička IPv6**

*Zdroj: Zpracováno dle (Deering a Hinden, 1998)*

- *Version* - verze protokolu, pro IPv6 je roven 6,
- *Traffic Class* - požadavky na vlastnosti sítě (QoS),
- *Flow Label* - tok, do kterého paket patří,
- *Payload Length* - délka dat,
- *Next Header* - typ následující hlavičky (u IPv4 označeno jako *Protocol*),
- *Hop Limit* - stejné jako TTL u IPv4,
- *Source Address* - adresa odesílatele,
- *Destination Address* - adresa příjemce. (Deering a Hinden, 1998, s. 4-5)

Těsně za hlavní hlavičku lze připojit *rozšiřující hlavičky*, které nesou další informace. V poli *Next Header* je právě informace o následující hlavičce. (Deering a Hinden, 1998)

### 1.4.5 Adresace v IPv6

Největší změnou oproti IPv4 je, že adresa má 128 bitů. Proto se změnil i zápis. Adresa se zapisuje hexadecimálně po 16 bitech oddělených dvojtečkou. Příklad zápisu: *2031:0000:130F:0000:0000:09C0:080F:130B*.

Konvence nám dovoluje posloupnost 4 nul nahradit jednou nulou pro lehčí zápis (*2031:0:130F:0:0:09C0:080F:130B*), nebo lze nejdelší posloupnost nul v adrese nahradit dvěma dvojtečkami (*2031:0:130F::09C0:080F:130B*).

Adresovat cíl v síti lze třemi způsoby, zpracovány dle (Dostálek a Kabelová, 2000):

- *unicast*, adresace jednoho konkrétního cíle,
- *anycast*, adresace jednoho cíle z určité skupiny,
- *multicast*, zasílání dat skupině.

„Adresy sítí se zapisují obdobně jako u IPv4 jako prefix následovaný lomítkem a počtem bitů tvořících adresu. Např. *80:1::1/64*.“ (Dostálek a Kabelová, 2000, s. 204)

Stejně jako adresy IPv4 jsou rozděleny do tříd, tak i IPv6 má vyhrazené některé adresy.

**Tabulka 3 - Třídy IPv6 adres**  
Zdroj: Zpracováno dle (Adresy, 2012)

IPv6	Popis
::/128	Nespecifikovaná adresa
::1/128	Lokální smyčka (loopback)
FF00::/8	Multicast adresy
FE80::/10	Lokální unicast linkové adresy (link-local)
FEC0::/10	Lokální unicast místní adresy (site-local)
Ostatní	Unicast adresy

- *Nespecifikovaná adresa*. Taková adresa není přiřazena zařízení.
- *Lokální smyčka*. Odkaz na „sám sebe“.
- *Multicast adresy*. Viz *multicast* IPv4.
- *Lokální unicast linkové adresy*. Taková adresa není směrována směrovačem (routrem).
- *Lokální unicast místní adresy*. Adresace všech zařízení na síti. Pakety nejsou směrovány ze sítě.
- *Unicast adresy*. Viz *unicast* IPv4.

## 2 Multicast směrování

### 2.1 Princip multicast směrování

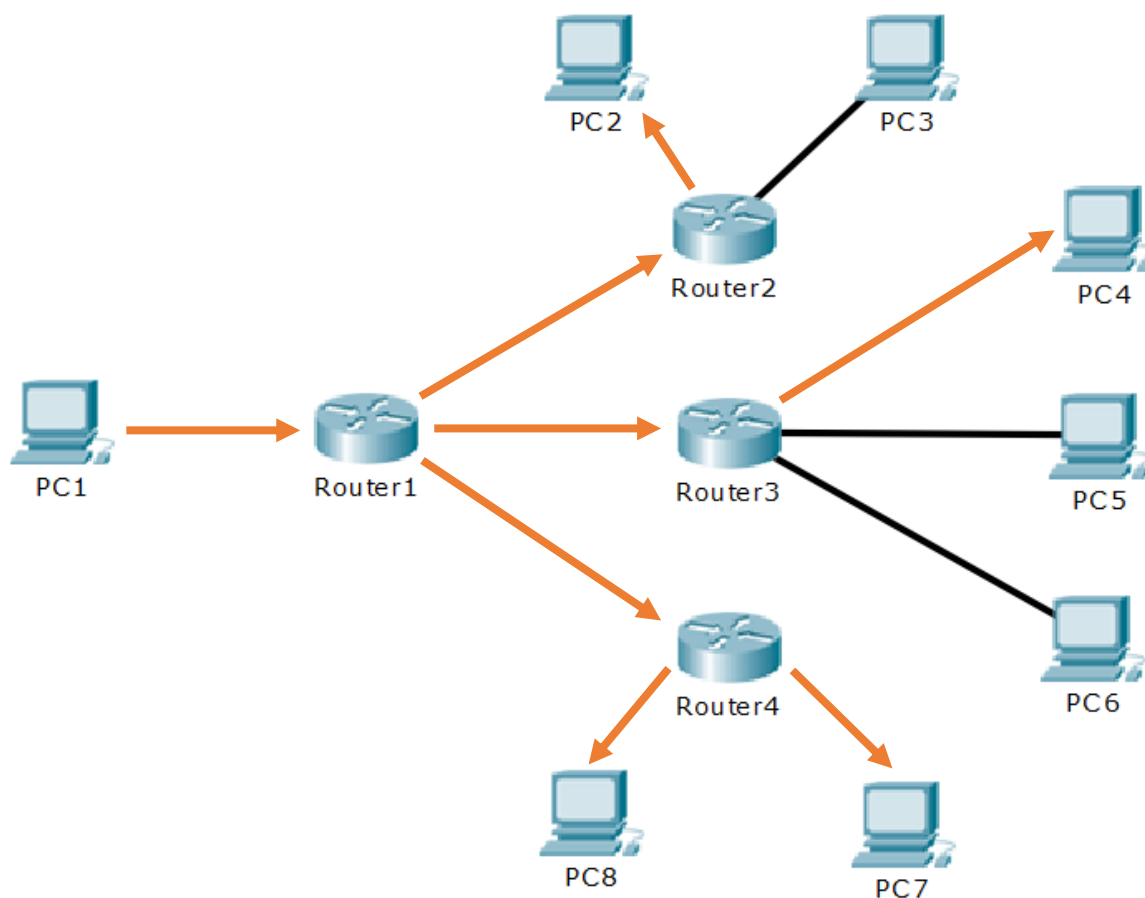
V počítačových sítích máme několik způsobů, jak adresovat koncová zařízení. *Unicast komunikace* je adresování pouze jednoho koncového zařízení. Opakem je *broadcast komunikace*, kdy jsou adresovány všechny zařízení v síti. Takže přepínače přeposílají datagramy na všechny své rozhraní tak, aby všem koncovým zařízením byly datagramy doručeny. *Multicast komunikace* se vyznačuje tím, že datagramy jsou zasílány pouze skupině koncových zařízení.

*„Vícesměrové vysílání je založeno na odesílání zpráv neboli dat na IP adresy skupiny vícesměrového vysílání (multicast group). Směrovače pak předávají kopie paketů (oproti všesměrovému vysílání, které se nepředává) na každé rozhraní, kde se nacházejí hostitelé, již jsou přihlášení k odběru dané skupinové adresy. V tomto aspektu se vícesměrové vysílání liší od všesměrových zpráv. U vícesměrové komunikace se kopie paketů teoreticky odesílají pouze hostitelům, kteří se k jejich odběru přihlásili.“* (Williamson, 1999, s. 134)

Základem multicast směrování jsou *zdroje, příjemci a skupiny*. *Zdroje* jsou koncové zařízení, které tvoří zdrojový datový proud. *Příjemci* jsou koncové zařízení, které si přejí přijímat datový proud. A *multicast skupina* je soubor přijímačů se společným zájmem. Všimněme si, že definice skupiny nemá žádnou zmínku o zdrojích. Například, pokud skupina studentů je přihlášená na online kurz pořádaný univerzitou, přijímače jsou počítače těchto studentů a zdroj může být směrovač připojený ke kameře v místnosti s vyučujícím profesorem. Druhým příkladem je finanční institut, například makléři. Tito makléři po celém světě spolu komunikují prostřednictvím svých počítačů o všech nabídkách. V takovém případě jsou příjemci všechny počítače makléřů. Jelikož každý makléř potřebuje zasílat data všem ostatním, všechny počítače jsou i zdroje. (Rosenberg, 2012)

V prvním příkladu je pouze jeden zdroj a relativně statický počet příjemců během trvání lekce. V druhém příkladu se zdroje a příjemci mění dynamicky. Záleží který z makléřů v daný den pracuje nebo který se zajímá o jakou nabídku. Proto finanční institut může mít více multicast skupin. (Rosenberg, 2012)

Hlavní myšlenkou multicast směrování je, že stejná data pro více koncových zařízení se zasílají pouze jednou. Na obrázku 4 je vyobrazena multicast komunikace.



**Obrázek 4 - Multicast**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku počítač označený PC1 komunikuje s počítači PC2, PC4, PC7 a PC8. Každému zasílá stejná data, proto není třeba aby komunikoval s každým zvlášť a pokaždé vytvářel stejné datagramy. Využitím multicast komunikace zašle data pouze jednou a jednotlivé směrovače (Router1, Router2, Router3 a Router4) směrují datagramy postupně k cílovým počítačům. Takto lze ušetřit šířku pásma. Dle potřeby směrovače (Router1 a Router4) rozkopírují přijaté data na svá rozhraní.

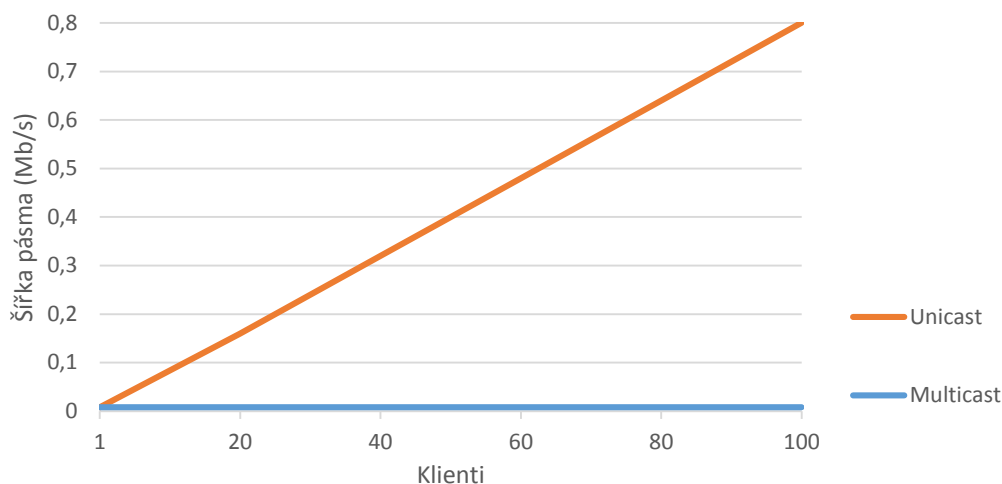
## 2.2 Výhody multicast směrování

Multicast může velmi dramaticky snížit síťový provoz. Hostitelé (zdroje) mohou být nakonfigurováni pro multicast směrování bez jakékoli nutné úpravy. Jelikož novější směrovače už podporují multicast směrování i s protokoly, povolení multicast v sítích je velmi praktické a nákladově efektivnější pro síť. (IPv4 Multicasting Technical Reference, 2003)

### 2.2.1 Šířka pásma

Kupříkladu firma, která vysílá audio v reálném čase a pro přenos je zapotřebí 0,8kb/s datového toku. V grafu na obrázku 5 oranžová znázorňuje, že čím více unicast odběratelů (příjemců) se připojí, tím lineárně roste šířka pásma. Na druhou stranu multicast vysílání

(modrá) při zvýšeném počtu odběratelů nezmění šířku pásma. Nutno podotknout, že pro demonstrační příklad je zanedbána režie. (Williamson, 1999)



**Obrázek 5 - Stream videa: unicast vs. multicast**

*Zdroj: Zpracováno dle (Williamson, 1999)*

### 2.2.2 Zatížení serveru

Stejný předchozí příklad. Streamované audio skrz Internet. Pokud se připojí 3 odběratelé najednou, server bude muset zaslat stejná data třikrát oddělené. To je příklad pro unicast. Zvyšují se tak nároky na hardwarové komponenty serveru. Jde zejména o procesor, operační paměť a výkon síťového zařízení. Při připojování více klientů musí server obsloužit všechny a tak může dojít až k plnému vytížení komponent a nastane následná neschopnost obsloužit další klienty. Velmi nepraktickým řešením v této situaci je pořízení dalších serverů. (Williamson, 1999)

Pokud firma využije multicast vysílání, vyhne se tak dalšímu dokupování serverů. Streamované data jsou zaslána pouze jednou a to všem klientům zároveň. (Williamson, 1999)

### 2.2.3 Zatížení sítě

Zatížení síťových prvků a úspora šířky pásma spolu úzce souvisí. Jelikož se data zasílají jen jednou, jednotlivé směrovače přijímají a odesílají menší počet datagramů celou sítí. Toto ale nemusí platit vždy. Pokud směrovač je nucen směrovat datagramy do více svých rozhraní najednou (vytvoření kopie), jsou kladeny další nároky na hardwarové prostředky směrovače. Především na paměť a procesor. Pokud směrovač nemá efektivní mechanismus pro obsluhu, může čas zpracování datagramu značně narůst s počtem rozhraní, na které bude zaslán. U starších typů směrovačů algoritmus alokoval novou paměť pro každé rozhraní, na které se zasílají data. Proto při velkém počtu kopií datagramu byla zapotřebí velká paměť a výkonný procesor. U nových typů algoritmů je tento problém vyřešen, že se předává ukazatel do paměti. Není tak potřeba alokovat novou paměť. (Williamson, 1999)

## 2.3 Nevýhodu multicast směrování

Jak už to tak bývá, při zlepšení na jedné straně se ubere na druhé straně. Multicast přináší mnoho výhod, ale při používání se musí brát i ohledy na jistá omezení, které z tohoto směrování vyplývají. Jako je například zpoždění datagramu nebo jeho zdvojení. (Manyem, 2010)

### 2.3.1 Nespolehlivý přenos datagramu

Multicast komunikace je nespolehlivá. Spolehlivost pro unicast komunikaci zajišťují protokoly vyšší vrstvy. Zejména TCP na čtvrté vrstvě ISO/OSI modelu. Protože je multicast komunikace jeden k více (one to many), není možné použít protokol TCP. Běžně je použit protokol UDP (User Datagram Protokol), který je nespolehlivý. Proto aplikace, která využívá multicast komunikaci, musí být připravena na to, že některé datagramy nemusí doputovat k cíli. (Williamson, 1999)

### 2.3.2 Zdvojený paket

Pokud směrovač zasílá kopii multicast datagramu na více svých rozhraní, může nastat riziko, že jedna cílová stanice obdrží stejný datagram vícekrát než jednou. Tato situace může vzniknout v sítích, které nejsou ještě zkonvergovány směrovacím protokolem. Proto k některým cílům mohou vést redundantní cesty. (Williamson, 1999)

### 2.3.3 Zahlcení sítě

Protokol TCP v unicast komunikaci zabraňuje zahlcení sítě, protože implementuje mechanismy pro nastavení rychlosti datového přenosu. Jelikož TCP nelze použít v multicast komunikaci, není zde ochrana proti vyčerpání šířky pásma, hardwarových prostředků a tím následné zahlcení. Stejný problém může nastat i při unicast komunikaci při použití protokolu UDP. (Williamson, 1999)

## 2.4 Multicast adresace

Oproti unicast adresám, které identifikují pouze jeden cíl v síti, multicast adresy specifikují skupinu zařízení, kde každý člen skupiny si přeje přijímat stejná data (Williamson, 1999).

### 2.4.1 Adresace v IPv4

První 4 bity prvního oktetu v IPv4 adrese pro multicast musí být 1110, takže rozsah multicast adres je 224.0.0.0 až 239.255.255.255. Adresy v tomto rozsahu spadají do třídy D. Některé adresy ze třídy D jsou rezervovány pro zvláštní účely. Například adresní skupina 224.0.0.5 je vyhrazena pro směrovače s protokolem OSPF. Adresy v rozsahu 224.0.1.0 až 238.255.255.255 se nazývají „globally scoped“ a ty se mohou šířit skrz Internet. Z toho vyplývá, že adresy v rozsahu 224.0.0.0 až 224.0.0.255 jsou pouze pro použití v rámci jednoho segmentu sítě. (Rosenberg, 2012)

Adresy 239.0.0.0 až 239.255.255.255 se nazývají „limited scope“ nebo „administratively scoped“, volně přeloženo jako adresy s omezeným rozsahem, a využívají

se v privátních multicast doménách, jako je v rámci jedné univerzity nebo společnosti. Datagramy s touto adresou nejsou směrovány do Internetu. (Rosenberg, 2012)

**Tabulka 4 - Výčet vyhrazených multicast adres**

*Zdroj: Zpracováno dle (Williamson, 1999)*

Adresa	Využití	Popis
224.0.0.1	Všechna koncová zařízení	Cílem jsou všechny koncová zařízení v daném segmentu sítě.
224.0.0.2	Všechny multicast směrovače	Cílem jsou všechny směrovače v daném segmentu sítě.
224.0.0.4	DVMRP směrovače	Všechny směrovače, které používají směrovací protokol DVMRP.
224.0.0.5	OSPF směrovače	Všechny směrovače, které používají směrovací protokol OSPF.
224.0.0.9	RIP2 směrovače	Všechny směrovače, které používají směrovací protokol RIP2.
224.0.0.10	IGRP směrovače	Všechny směrovače, které používají směrovací protokol IGRP.
224.0.0.13	PIM směrovače	Všechny směrovače, které používají směrovací protokol PIM.
224.0.0.15	CBT směrovače	Všechny směrovače, které používají směrovací protokol CBT.

#### 2.4.2 Adresace v IPv6

„Opět podobně jako u protokolu IPv4 jsou pakety odeslané na adresu vícesměrového vysílání doručeny všem rozhraním, která vícesměrová adresa identifikuje. Tyto adresy se někdy označují jako adresy typu 1:N. Vícesměrové adresy u protokolu IPv6 lze poznat velmi snadno, protože vždy začínají symboly FF.“ (Lammler, 2010, s. 724)

11111111 (8b)	flags (4b)	scope (4b)	group ID (112b)
---------------	------------	------------	-----------------

**Obrázek 6 - IPv6 multicast adresa**

*Zdroj: Zpracováno dle (Hinden a Deering, 2006)*

- Prvních 8 bitů je pevně dáno a jsou nastaveny na hodnotu 1,
- *flags* - první bit nastaven na 0, poslední bit určuje zda jde o „well-known“ adresu, která je permanentně přiřazena společností IANA nebo jde o „transient“ adresu, která je dynamicky přiřazena, informace o druhém a třetím bitu lze nalézt v RFC 3306 a RFC 3956,



- *scope* - určuje omezení rozsahu multicast skupiny (viz Tabulka 5),
- *group ID* - identifikuje multicast skupinu. (Hinden a Deering, 2006)

**Tabulka 5 - Hodnoty scope**

*Zdroj: Zpracováno dle (Hinden a Deering, 2006)*

Hodnota	Význam
0x0	reserved
0x1	Interface-Local scope
0x2	Link-Local scope
0x3	reserved
0x4	Admin-Local scope
0x5	Site-Local scope
0x8	Organization-local scope
0xE	Global scope
0xF	reserved

- *Interface-Local* (0x1) - je pouze pro „loopback“ (smyčku) na zařízení, takový datagram se neposílá do sítě,
- *Link-Local* (0x2) - datagramy zůstávají v rámci segmentu sítě,
- *Admin-Local* (0x4) - nejmenší rozsah, který musí být administrativně nakonfigurován, nevychází tedy z fyzické topologie sítě,
- *Site-Local* (0x5) - je rozsah jedné sítě (např. budova, společnost),
- *Organization-Local* (0x8) - pro rozsah několika sítí jedné organizace,
- *Global* (0xF) - adresy směrované přes Internet,
- *reserved* (0x0, 0x3, 0xF) - rezervovány,
- *ostatní* - hodnoty nenacházející se v tabulce nemají přiřazený význam. (Hinden a Deering, 2006)

#### 2.4.3 Mapování multicast IPv4 adres na MAC adresy

Multicast MAC adresa (48 b) začíná prefixem 0100.5Exx.xxxx (nebo 01:00:5E), následuje další bit nastavený na hodnotu 0. Proto zbývá pouze 23 bitů na určení multicast skupiny. Oproti multicast IPv4 (32 b) je daná prefixem 1110 a k identifikaci skupiny zbývá 28 bitů. Je tedy potřeba 28 b označující IPv4 multicast skupinu namapovat do 23 b vyhrazených v MAC adrese. (Williamson, 1999)

Řešení je velmi jednoduché. Prvních 5 bitů IPv4 adresy se zahodí a namapuje se posledních 23 bitů. (Williamson, 1999)

IPv4	1110	0000	0	00000000		00000000		00001111	
MAC	00000001	00000000	01011110	0	00000000		00000000		00001111

**Obrázek 7 - Mapování IPv4 adresy na MAC adresu**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 7 je uveden příklad. IPv4 adresa 224.0.0.15 je mapována na MAC adresu 01:00:5E:00:00:0F. Žlutě označené bity jsou pevně stanoveny. Šedé bity se při mapování zanedbávají a modré jsou shodné. Oddělovače oddělují jednotlivé bajty.

#### 2.4.4 Mapování multicast IPv6 adres na MAC adresy

MAC adresa pro multicast IPv6 adresu má pevně stanovený prefix 33:33. Zbude 32 b pro namapování. Identifikátor skupiny IPv6 je dlouhý 112 b. Mapování probíhá obdobně jako u IPv4, tedy oříznutí prvních 80 bitů z identifikátoru skupiny. (Crawford, 1998)

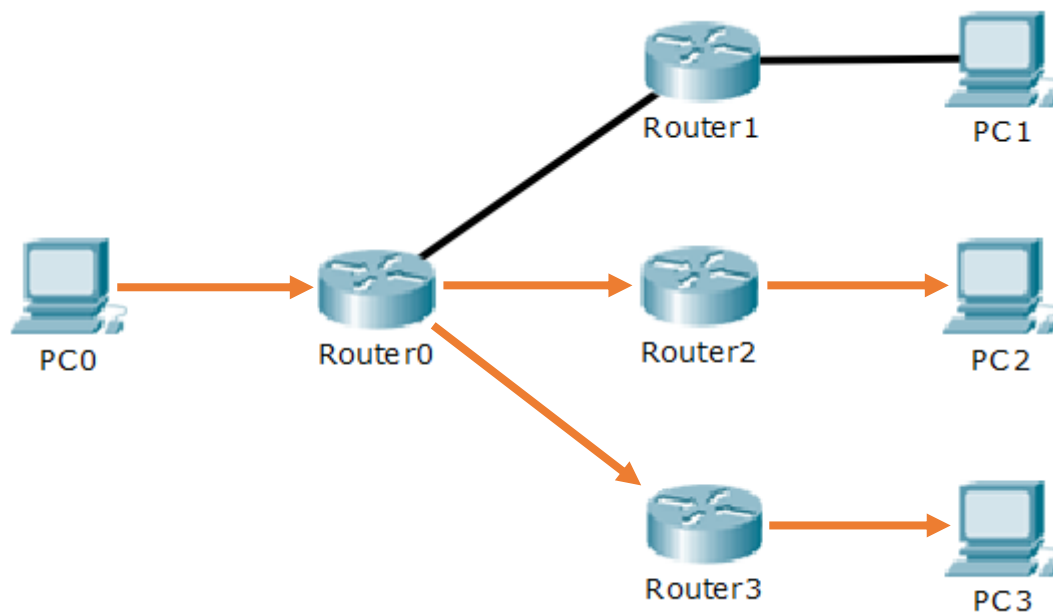
### 2.5 Distribuční stromy

Při unicast komunikaci cestuje datagram od zdroje k cíli jednou cestou, kterou určují směrovače. Ale k popsání cesty multicast komunikace, kde některé směrovače kopírují přijaté datagramy na své rozhraní, se používá termín *distribuční stromy*. Ty se dělí do dvou skupin:

- *zdrojové stromy* (source trees),
- *sdílené stromy* (shared trees). (Williamson, 1999)

#### 2.5.1 Zdrojové stromy

Jsou jednodušší, protože jako kořen (root) je zde určen zdroj vysílání. Listy stromu je skupina cílových zařízení. Zdrojové stromy využívají nejkratší cestu od zdroje k příjemcům, proto bývá označován jako SPT - „shortest path tree“. Datagramy vyslané zdrojem putují pouze od zdroje a „proplouvají“ stromem až k příjemcům ( pryč od kořene) a nikdy ne naopak. (Williamson, 1999; Rosenberg, 2012)

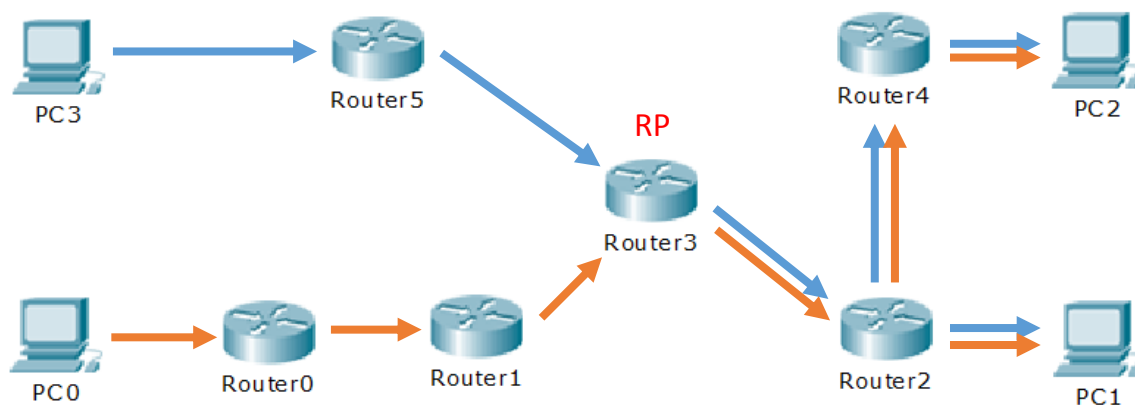


**Obrázek 8 - Zdrojový strom**

*Zdroj: Zpracováno dle (Williamson, 1999)*

### 2.5.2 Sdílené stromy

Sdílený strom je jediný strom, který využívají všechny zdroje v jedné skupině. Oproti zdrojovému stromu, který má kořen v místě zdroje vysílání, sdílený strom má jeden určený kořen zvaný *rendezvous poin* (RP) nebo *core*. Takže tyto stromy jsou označovány jako RPT - „rendezvous point trees“ nebo CBT - „core based trees“. Datagramy jsou vysílány směrem ke kořenu a odtud jsou distribuovány dále k cílovým zařízením. Jako RP je typicky zvolen bod, geograficky umístěn uprostřed skupiny zdrojů a příjemců. (Williamson, 1999; Rosenberg, 2012)



**Obrázek 9 - Sdílený strom**

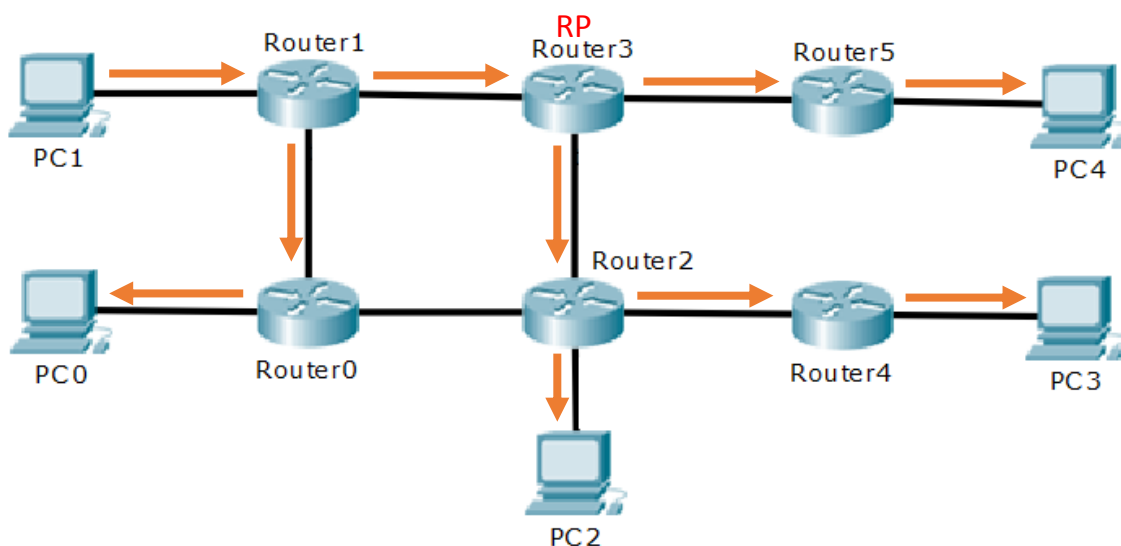
*Zdroj: Zpracováno dle (Williamson, 1999)*

Na obrázku 9 jsou dva zdroje PC0 a PC3, které zasílají data směrem k RP. Ten rozesílá data multicast skupině PC1 a PC2.

Sdílené stromy lze rozdělit do dvou skupin:

- *obousměrné sdílené stromy* - data mohou proudit všemi směry,
- *jednosměrné sdílené stromy* - data proudí pouze od kořene k cílovým stanicím. (Williamson, 1999)

*Obousměrné sdílené stromy* dovolují zasílat data i „proti“ směru stromu. To znamená i směrem od RP. (Williamson, 1999)

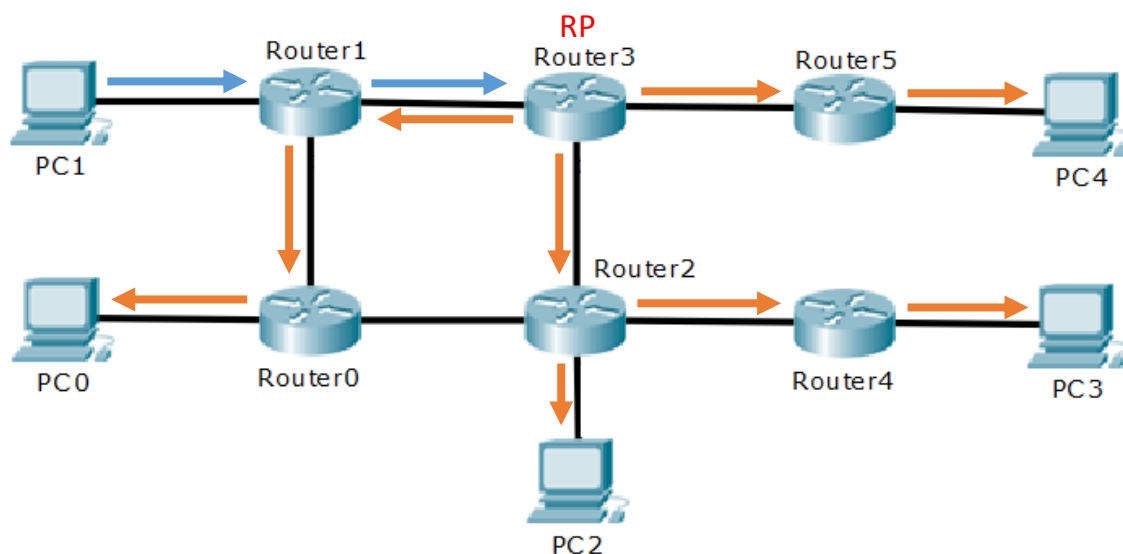


**Obrázek 10 - Obousměrný sdílený strom**

*Zdroj: Zpracováno dle (Williamson, 1999)*

Na obrázku 10 PC1 je zdroj, který vysílá data. Ty směřují k RP, který je bude distribuovat dále. Ale také první směrovač Router1 zasílá data na Router0 pro příjemce PC0.

*Jednosměrné sdílené stromy* dovolují pouze tok dat od kořene k příjemcům. Zdroj tedy musí dostat data ke kořenu (RP) a ten je rozešle stromem k cílovým zařízením. Jedním takovým způsobem předání dat kořenu je zasílání multicast provozu pomocí zdrojového stromu (SPT). Kořen zdrojového stromu bude u zdroje vysílání a RP sdíleného stromu bude členem zdrojového stromu, pak je komunikace navázána a je zaručena nejkratší cesta.



**Obrázek 11- Jednosměrný distribuční strom**

*Zdroj: Zpracováno dle (Williamson, 1999)*

Na obrázku 11 je jeden zdroj PC1, který vysílá data (modré šipky). Router3 byl zvolen jako RP, který rozděluje multicast data (oranžové šipky) pomocí sdíleného stromu všem koncovým zařízením (PC0, PC2, PC3 a PC4). PC1 zasílá svá data směrem k RP pomocí SPT, jak bylo popsáno v výše.

## 2.6 Multicast směrovací protokoly

Směrovací protokoly můžeme rozdělit do dvou skupin:

- protokoly pro komunikaci koncového zařízení a prvním jeho směrovačem v síti,
- protokoly pro komunikace mezi směrovači. (Rosenberg, 2012)

### 2.6.1 IGMP

Je protokol pro komunikaci mezi koncovým zařízením a prvním směrovačem v síti. Když se zařízení dozví o multicast skupině, využije IGMP právu, že si přeje připojit ke skupině (membership report). Tu zašle místnímu směrovači. Pokud podsít' obsahuje více směrovačů, jeden z nich, tzv. designated router (DR), je vybrán k této činnosti. Dále tento směrovač zasílá periodicky IGMP zprávu „membership query“ (dotaz na členství) 224.0.0.1 všem stanicím v podsíti. TTL je nastaveno na 1, takže tato zpráva se nedostane dalšími směrovači z podsítě. Zařízení, které je členem multicast skupiny odešle IGMP zprávu „membership report“ (zpráva o členství). Směrovač se tak dozví, že v podsíti jsou klienti, kteří si přejí přijímat multicast vysílání a zařadí si jejich rozhraní do příslušného seznamu rozhraní pro danou skupinu. Ve výsledku směrovač zná všechny multicast skupiny, které si přejí přijímat data. A dále zná, které rozhraní patří jaké skupině. IGMP je pouze pro IPv4, ekvivalentem pro IPv6 je MLD verze 2. (Williamson, 1999; Rosenberg, 2012)

Protokol IGMP existuje ve 3 verzích. Postupem času se vylepšoval tak, aby bylo ušetřeno co nejvíce komunikace a nebyly tak ta zasílány zbytečné zprávy:

- *IGMPv1* - více lze nalézt v RFC 1112 (1989),
- *IGMPv2* - zpráva „membership query“ rozdělena na 2 kategorie a přidáno zasílání zpráv pro opuštění skupiny - více lze nalézt v RFC 2236 (1997),
- *IGMPv3* - koncové zařízení si může zvolit zdroj/zdroje multicast vysílání v dané skupině - více lze nalézt v RFC 2236 (2002).

### 2.6.2 DVMRP

Slouží pro komunikace mezi směrovači. Založen na unicast směrovacím protokolu RIP. Byl první protokol široce nasazen pro multicast směrování. (Rosenberg, 2012)

Více o směrovacím protokolu DVMRP lze nalézt v RFC 1075 (1988).

### 2.6.3 Multicast OSPF

Založen na směrovacím protokolu OSPF. Multicast OSPF (MOSPF) poskytuje schopnost přeposílání datagramů z jedné sítě do jiné (například skrz Internet). Zasílání multicast datagramu je založeno na zdroji (source) a cíli (destination) - někdy se tento proces nazývá „source/destination routing“. Samotný směrovací protokol OSPF udává popis celé topologie. Přidání další LSA (link-state advertisement) „group-membership-LSA“ do databáze se označí multicast skupina. Cesta datagramu tak může být vypočítána ze směrovací tabulky. Cesty pro stejný zdroj a cíl se uchovávají v paměti pro další datagramy. (Moy, 1994)

Více o směrovacím protokolu MOSPF lze nalézt v RFC 1584 (1994).

### 2.6.4 Core Based Trees protokol

CBT protokol využívá IGMP zprávy k zasílání informací mezi směrovači. Dal by se označit jako „experimentální“. Nebyl tak rozšířený jako DVMRP. (Rosenberg, 2012)

Více o směrovacím protokolu CBT lze nalézt v RFC 2201 (1997).

### 2.6.5 Protocol Independent Multicast

Protocol Independent Multicast (PIM) je soubor multicast směrovacích protokolů. Pracuje nad kterýmkoli unicast směrovacím protokolem (např. ISIS, OSPF, EIGRP nebo RIP), který zaplnil unicast směrovací tabulku. (Williamson, 1999)

Existují čtyři PIM multicast směrovací metody:

- *PIM Dense Mode (PIM-DM)* - pro sítě, kde hodně koncových zařízení bude přijímat multicast vysílání, více o této metodě lze nalézt v RFC 3973 (2005),
- *PIM Sparse Mode (PIM-SM)* - pro sítě, kde bude malé procento koncových zařízení přijímat multicast vysílání, více o této metodě lze nalézt v RFC 4601 (2006),

- *Bi-directional PIM (BiDir)* - eliminuje některé nevýhody PIM-SM, více o této metodě lze nalézt v RFC 5015 (2007),
- *Source Specific Multicast (SSM)* - u metod PIM-SM a BiDir každý člen multicast skupiny přijímá data všech zdrojů, u SSM si může vybrat zdroj/zdroje, od kterých bude přijímat data (tuto možnost přináší IGMPv3, jak bylo zmíněno výše), více o této metodě lze nalézt v RFC 4607 (2006). (Rosenberg, 2012)

### 3 Konfigurace počítačové sítě a multicast komunikace

V této části se předpokládá, že čtenář má základní znalosti v oblasti počítačových sítí. Jako je například nastavení statické IP adresy na počítači (Window, Linux), jaký způsobem se připojit ke směrovači do konfiguračního terminálu nebo základní princip protokolu OSPF.

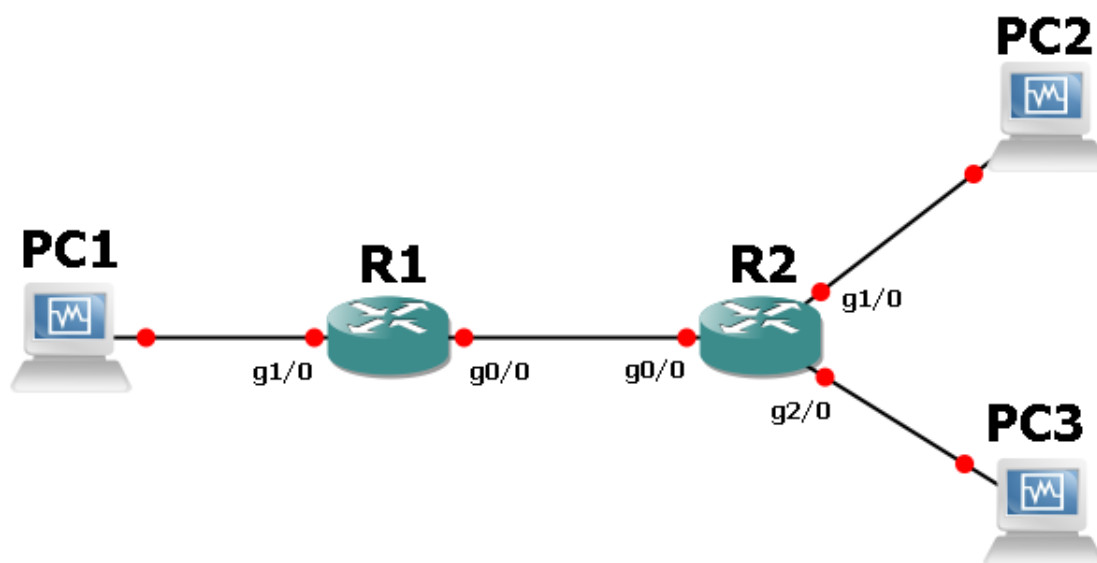
V první a třetí simulaci směrovače mají nakonfigurovaný směrovací unicast protokol OSPF verze 2. Více o tomto protokolu lze nalézt v RFC 2328 (1998). V druhé simulaci využívají OSPF verze 3 (více RFC 5340).

#### 3.1 Simulace 1: PIM-DM IPv4

První simulace zobrazuje jednoduché zapojení síťových prvků, na kterých je předvedena funkčnost multicast komunikace s využitím protokolu PIM-DM.

Pro realizaci příkladu byl využit simulační program GNS3 ([www.gns3.com](http://www.gns3.com)) a virtualizační program Oracle VM VirtualBox ([www.virtualbox.org](http://www.virtualbox.org)), které jsou ke stažení zdarma.

##### 3.1.1 Topologie



**Obrázek 12 - Simulace 1 - topologie**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

##### 3.1.2 Zařízení v síti

Operační systém směrovačů (Rx) je Cisco IOS řada 7200 verze 15.0. Pro virtuální počítače (PCx) byl vybrán operační systém Windows XP (Service Pack 3).

##### 3.1.3 Adresace a konfigurace zařízení

IPv4 adresy jsou vybrány tak, aby topologie byla přehledná. Proto tzv. „plýtvání adres“ v tomto demonstračním příkladu je zanedbáno. Pro adresaci mezi počítačem a směrovačem



jsou vybrány lokální adresy z třídy C a mezi směrovači z třídy A, viz kapitola Internet protokol (IPv4).

**Tabulka 6 - Simulace 1 - adresace zařízení v síti**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Zařízení	Rozhraní	Adresa	Maska	Výchozí brána
R1	GigabitEthernet 0/0	10.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	GigabitEthernet 1/0	192.168.1.1	255.255.255.0	N/A
R2	GigabitEthernet 0/0	10.0.0.2	255.255.255.252	N/A
	GigabitEthernet 1/0	192.168.2.1	255.255.255.0	N/A
	GigabitEthernet 2/0	192.168.3.1	255.255.255.0	N/A
PC1	Místní síť	192.168.1.3	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	Místní síť	192.168.2.3	255.255.255.0	192.168.2.1
PC3	Místní síť	192.168.3.3	255.255.255.0	192.168.3.1

Při připojení k směrovači se uživatel nachází v neprivilegovaném módu, kde se nachází pouze velmi omezené možnosti, ty si může nechat vypsat pomocí otazníku.

```
Router> ?
```

Příkazem *enable* se dostaneme do privilegovaného režimu, kde jsou možnosti mnohem širší. Otazník nám znovu vypíše veškeré možné příkazy.

```
Router> enable
```

Tento mód je možné opatřit hesle, aby případný útočník nemohl změnit nastavení nakonfigurované na směrovači. Příkazem:

```
Router# configure terminal
```

lze vstoupit do globálního konfiguračního terminálu, umožňuje měnit veškeré nastavení směrovače. V tuto chvíli je možné nastavit IPv4 adresy všech rozhraní. Každé se konfiguruje zvlášť.

```
Router(config)# interface int
```

Termín *int* zastupuje označení rozhraní, které si přeje administrátor konfigurovat. Například *GigabitEthernet0/0* nebo zkráceně *g0/0*. Konfigurace IPv4 adresy se provádí příkazem:

```
Router(config-if)# ip address A.B.C.D W.X.Y.Z
```

kde *A.B.C.D* představuje IPv4 adresu rozhraní a *W.X.Y.Z* masku podsítě. Nakonec je potřeba rozhraní zapnout. Ve výchozím nastavení jsou všechny rozhraní vypnuta.

```
Router(config-if)# no shutdown
```

Při nakonfigurování IPv4 adres na všech zařízeních každý směrovač bude znát podsítě, které jsou připojeny na jeho rozhraních. Aby věděl, kde leží všechny podsítě z celé topologie, nakonfiguruje se směrovací protokol OSPFv2 a to na všech směrovačích.

```
Router(config)# router ospf num
```

Termín *num* označuje administrátorem zvolené identifikační číslo pro daný směrovací proces (pouze pro interní potřeby). Na směrovači je možné mít takto nastaveno více procesů. Déle administrátor přiřadí všechny podsítě, které chce distribuovat ostatním směrovačům. V tomto případě jsou to všechny podsítě.

```
Router(config-router)# network A.B.C.D W.X.Y.Z area number
```

*A.B.C.D* představuje IPv4 adresu podsítě, *W.X.Y.Z* tzv. „wild“ masku podsítě a *number* je číslo oblasti. V simulaci všechny směrovače spadají do jedné oblasti (area 0). Následující příkaz je příkladem přiřazení jedné podsítě.

```
Router(config-router)# network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
```

Na rozhraních, které nevedou k dalším směrovačům, je zbytečné zasílat informace o směrování a tak navazovat spojení, jako kdyby na druhé straně byl další směrovač. Proto na směrovačích R1 rozhraní g0/0 a R2 rozhraní g1/0 a 2/0 nastavíme tzv. *passive-interface*.

```
Router(config-router)# passive-interface int
```

Tímto jsou nastaveny všechny směrovače a nyní každý počítač může komunikovat s každým zařízením v síti. Ověřit spojení se může například pomocí příkazu *ping*.

Jelikož multicast komunikace je ve výchozím nastavení zakázána, musí ji administrátor povolit na všech směrovačích.

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

Jednoduchým způsobem se nastaví PIM-DM na každém rozhraní každého směrovače:

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

Celá topologie je nakonfigurována. V příloze A jsou konfigurace směrovačů R1 a R2.

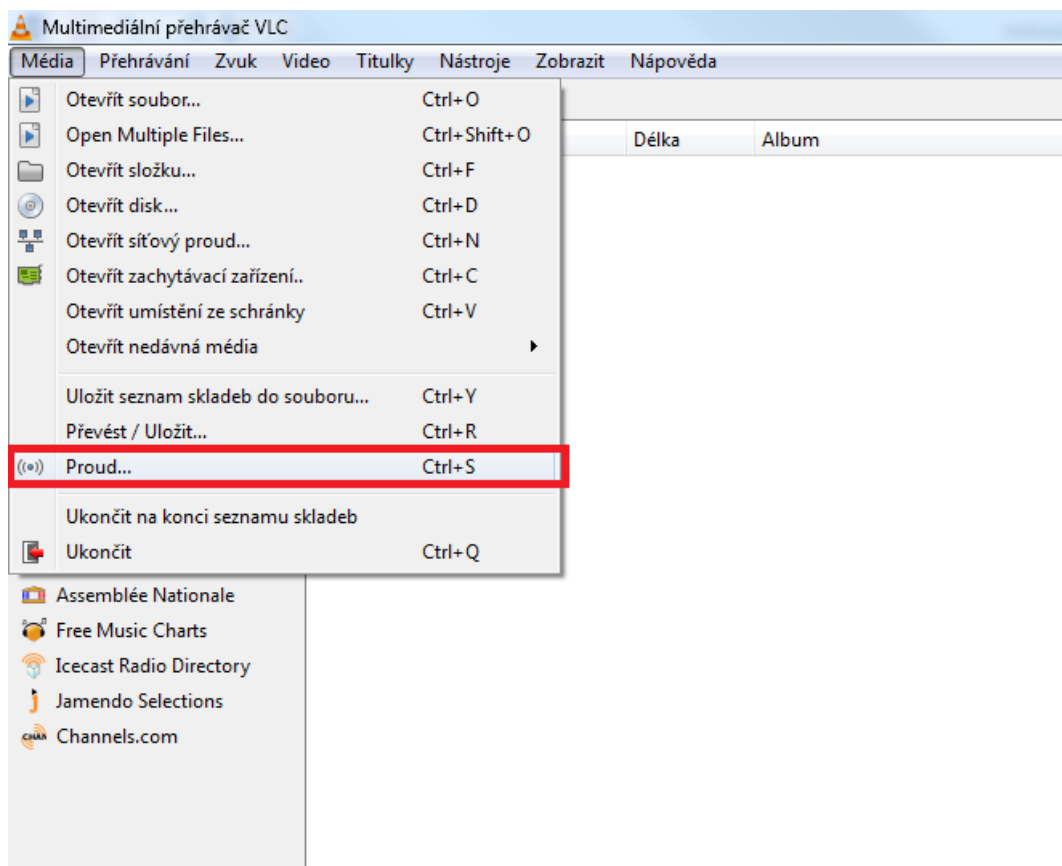
### 3.1.4 PIM Dense Mode

PIM-DM využívá *flood-and-prune* chování. Zdroj zasílá (flood) multicast vysílání do všech částí sítě a směrovače potlačují (prune) tuto komunikace, kde ji není třeba. Toto potlačení je pouze dočasné a po vypršení limitu bude opět multicast zasílán. Pokud je v některé části provoz potlačen a některé zařízení se přihlásí do multicast skupiny, směrovač opět tuto část připojí k provozu. PIM-DM využívá algoritmus RPF (reverse path forwarding), který kontroluje na základě unicast směrovací tabulky, zda multicast datagram míří k požadovanému cíli nebo kontrolu proti vytváření smyček. (Williamson, 1999; Rosenberg, 2012)

### 3.1.5 Simulace multicast komunikace

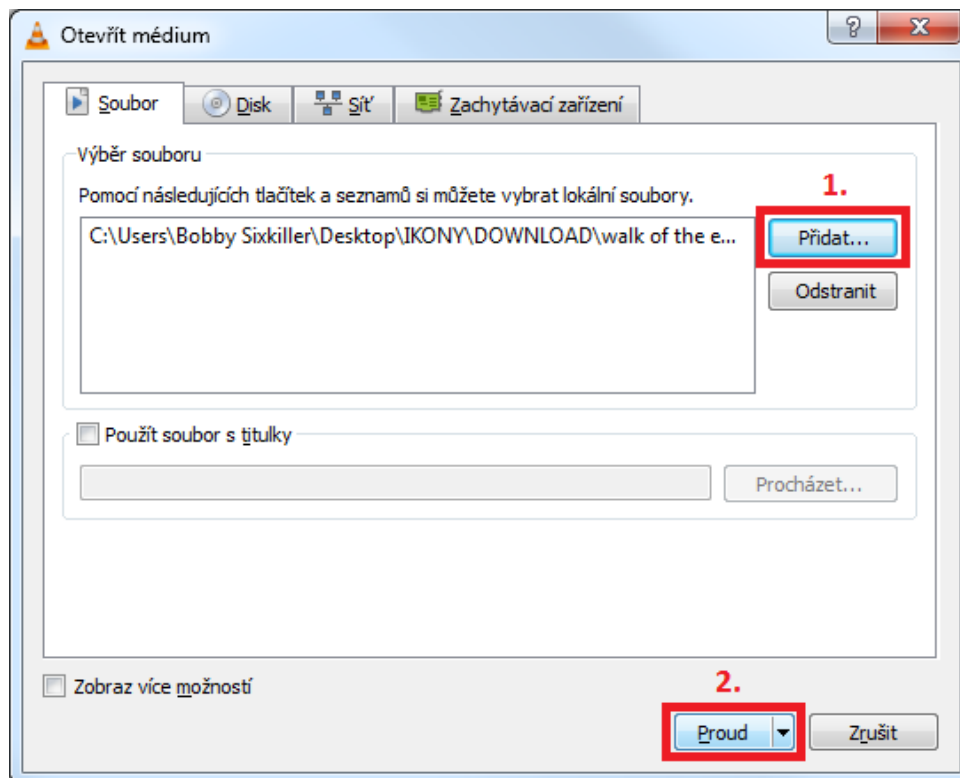
Na každý počítač v síti je nainstalovaný přehrávač VLC (<http://www.videolan.org/vlc/>). Počítač PC1 představuje vysílač a PC2 příjemcem multicast vysílání.

Podrobný návod, jak nastavit multicast vysílání ve VLC na PC1:



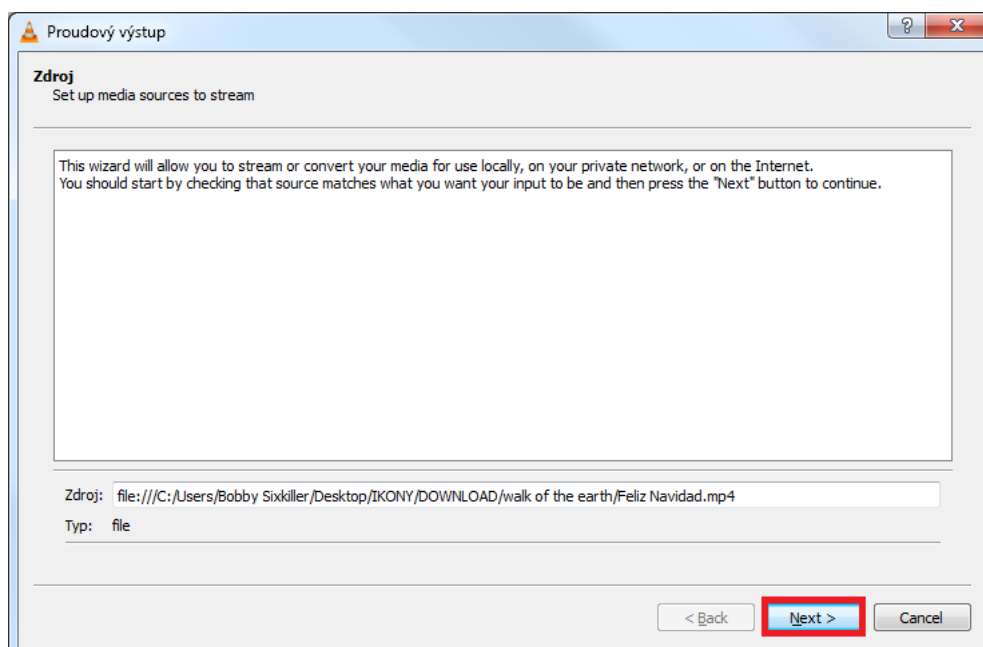
**Obrázek 13 - VLC - nastavení multicast proudu**

*Zdroj: Vlastní zpracování*



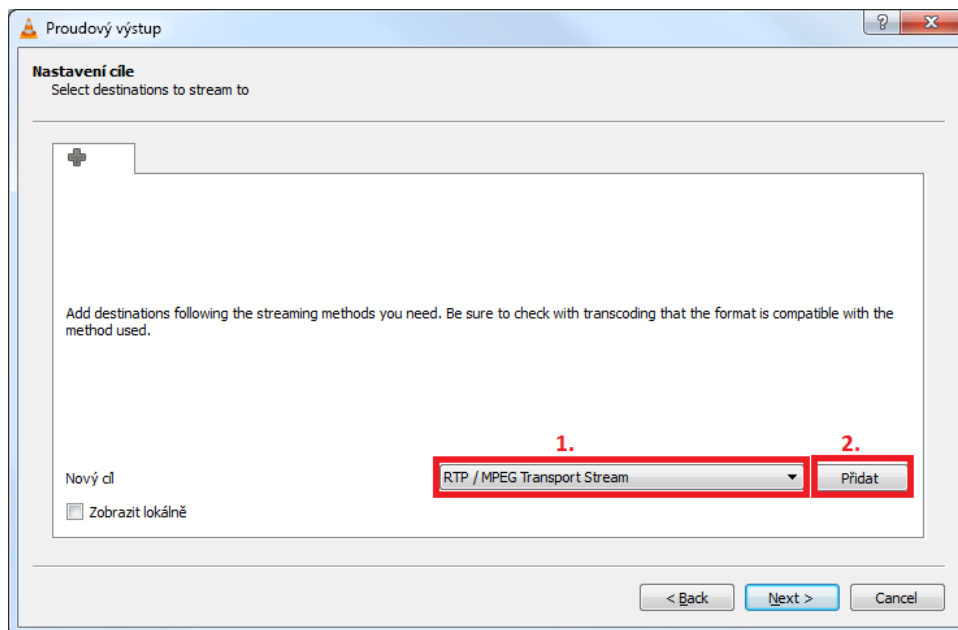
**Obrázek 14 - VLC - přidání dat, které se budou odesílat**

*Zdroj: Vlastní zpracování*



**Obrázek 15 - VLC - spuštění průvodce pro vysílání**

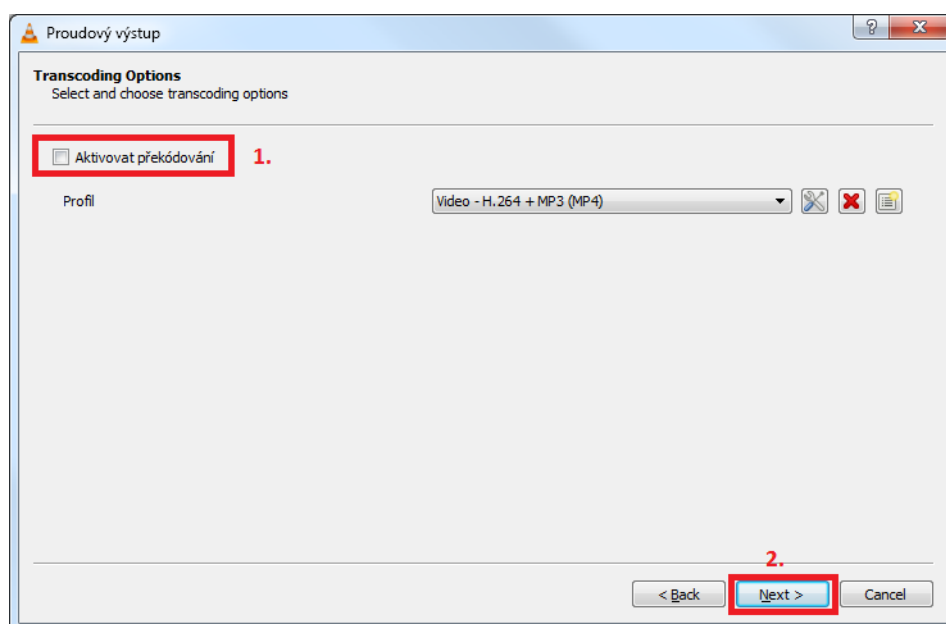
*Zdroj: Vlastní zpracování*



**Obrázek 16 - VLC - výběr transportního protokolu**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

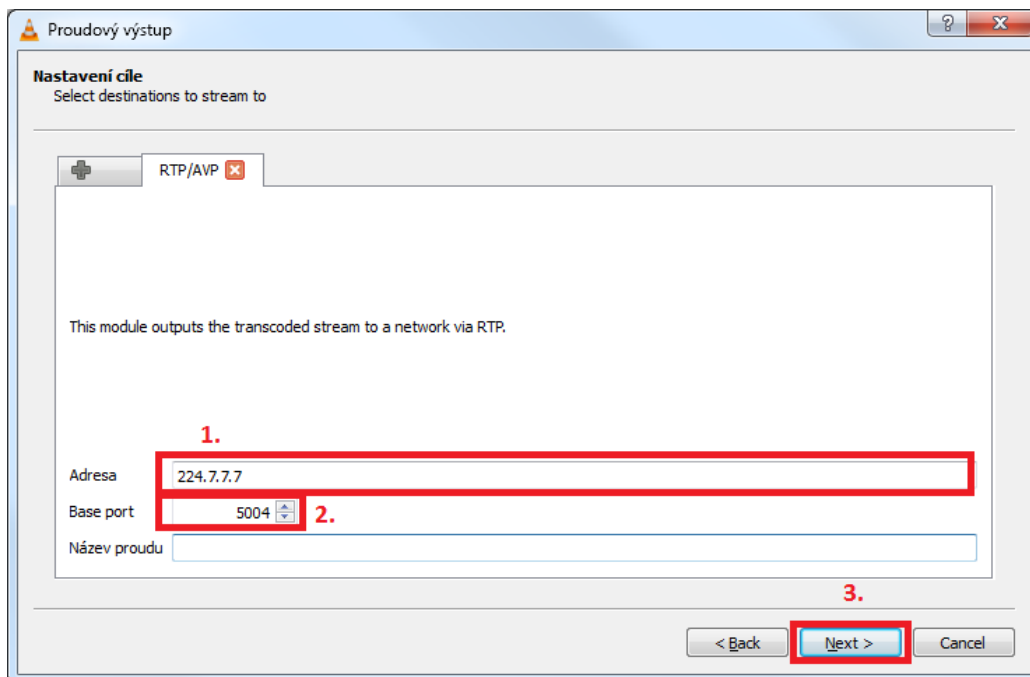
Ve všech simulacích je vybrán transportní protokol RTP (real-time transport protocol), který je využíván pro přenos zvukových a obrazových dat.



**Obrázek 17 - VLC - deaktivace překódování**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

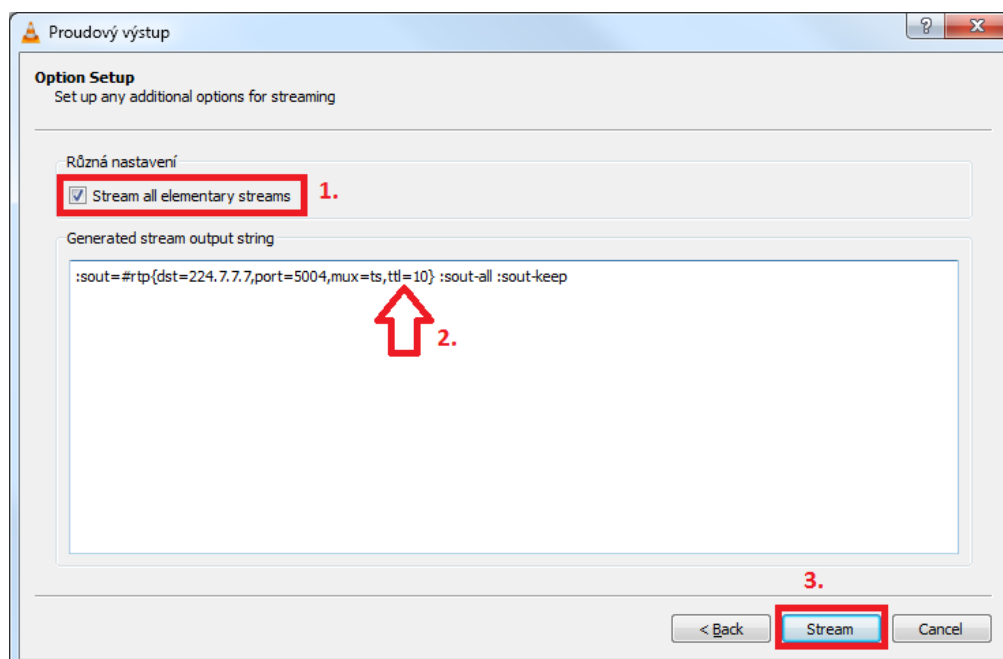
Video může být překódováno z důvodu zmenšení dat, které budou odesílány. Pro demonstrační příklad byla tato možnost vypnuta.



**Obrázek 18 - VLC - nastavení IPv4 adresy proudu**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 18 se vyplní IPv4 adresa a port multicast vysílání. Zvolena adresa 224.7.7.7 a port 5004.



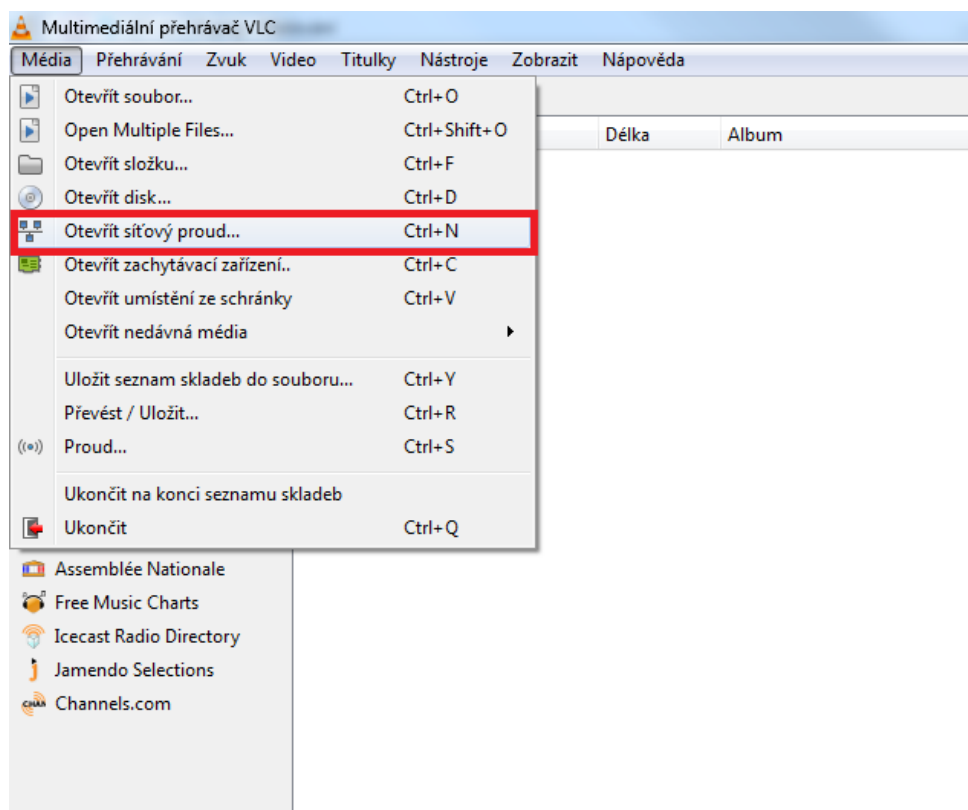
**Obrázek 19 - VLC - nastavení TTL hodnoty**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Nejdůležitějším krokem na obrázku 19 je kro č. 2. Ve výchozím nastavení je TTL hodnota nastaven na 1, to by znamenalo, že každý datagram, co by přijal první směrovač, by byl zahozen. Proto je nutné připsat do složených závorek následující text *ttl=HODNOTA*. V simulaci je zvolena hodnota 10.

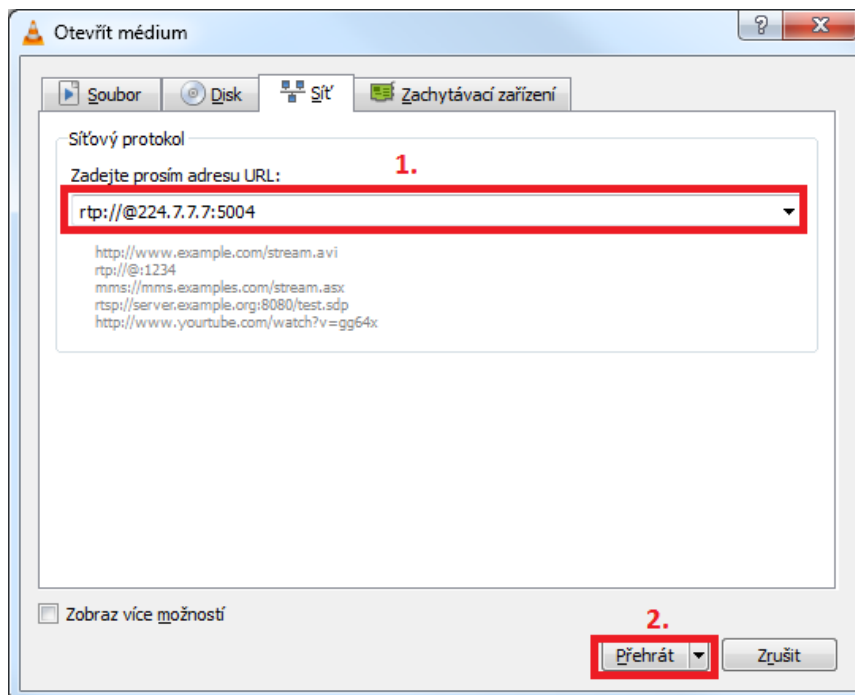
Po stisknutí tlačítka *Stream* začne stanice vysílat multicast stream na adrese 224.7.7.7:5004. V simulaci bylo tlačítko stisknuto až po vytvoření přijímače na PC2.

Nastavení přijímače PC2:



**Obrázek 20 - VLC - nastavení přijímače**

*Zdroj: Vlastní zpracování*



**Obrázek 21- VLC - vyplnění multicast adresy**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 21 v kroku 1 se vyplní nejdříve transportní protokol (rtp), znak @ je konvence pro VLC přehrávač, jako označení multicast komunikace, následuje IPv4 adresa s portem vysílání. Po stlačení tlačítka *Přehrát* se stanice PC připojí do skupiny pro multicast komunikaci.

### 3.1.6 Rozbor komunikace

Při multicast komunikaci na každém směrovači se zapne tzv. ladění (debug).

```
Router# debug ip pim
Router# debug ip mrouting
```

Kde první příkaz vypisuje informace o datagramech protokolu PIM a druhý o multicast směrování.

Po druhém kroku na obrázku 21, kdy počítač PC2 zažádal o přidání do multicast skupiny 224.7.7.7, tuto žádost vyřídil směrovač R2.



```

*Apr 21 17:22:11.911: MRT(0): Create (*,224.7.7.7), RPF /0.0.0.0
*Apr 21 17:22:11.911: MRT(0): WAVL Insert interface: GigabitEthernet0/0 in
(*,224.7.7.7) Successful
*Apr 21 17:22:11.915: MRT(0): set min mtu for (0.0.0.0, 224.7.7.7) 0->1500
*Apr 21 17:22:11.919: MRT(0): Add GigabitEthernet0/0/224.7.7.7 to the olist of
(*, 224.7.7.7), Forward state - MAC built
*Apr 21 17:22:11.919: MRT(0): WAVL Insert interface: GigabitEthernet1/0 in
(*,224.7.7.7) Successful
*Apr 21 17:22:11.919: MRT(0): set min mtu for (0.0.0.0, 224.7.7.7) 1500->1500
*Apr 21 17:22:11.923: MRT(0): Set the C-flag for (*, 224.7.7.7)
R2#
*Apr 21 17:22:11.923: MRT(0): Add GigabitEthernet1/0/224.7.7.7 to the olist of
(*, 224.7.7.7), Forward state - MAC built
*Apr 21 17:22:11.927: MRT(0): Update GigabitEthernet1/0/224.7.7.7 in the olist
of (*, 224.7.7.7), Forward state - MAC built
*Apr 21 17:22:11.947: PIM(0): Building Graft message for 224.7.7.7,
GigabitEthernet1/0: no entries
*Apr 21 17:22:11.947: PIM(0): Building Graft message for 224.7.7.7,
GigabitEthernet0/0: no entries

```

**Obrázek 22 - Simulace 1 - R2 vyřízení požadavku o zařazení PC2 do skupiny**  
*Zdroj: Vlastní zpracování*

Jelikož žádné vysílání na zadané adrese neexistuje, na konci se objeví u rozhraní GE0/0 a GE1/0 status *no entries*. Teprve po stisknutí tlačítka *Stream* na obrázku 19, stanice PC1 začne vysílat a mezi směrovači se naváže spojení.

```

*Apr 21 17:24:06.299: MRT(0): Create (*,224.7.7.7), RPF /0.0.0.0
*Apr 21 17:24:06.299: MRT(0): WAVL Insert interface: GigabitEthernet0/0 in
(*,224.7.7.7) Successful
*Apr 21 17:24:06.303: MRT(0): set min mtu for (0.0.0.0, 224.7.7.7) 0->1500
*Apr 21 17:24:06.303: MRT(0): Add GigabitEthernet0/0/224.7.7.7 to the olist of
(*, 224.7.7.7), Forward state - MAC built
*Apr 21 17:24:06.311: MRT(0): Reset the z-flag for (192.168.1.3, 224.7.7.7)
*Apr 21 17:24:06.315: MRT(0): (192.168.1.3,224.7.7.7), RPF install from
/0.0.0.0 to GigabitEthernet1/0/0.0.0.0
*Apr 21 17:24:06.319: MRT(0): Create (192.168.1.3,224.7.7.7), RPF
GigabitEthernet1/0/0.0.0.0
R1#
*Apr 21 17:24:06.339: MRT(0): WAVL Insert interface: GigabitEthernet0/0 in
(192.168.1.3,224.7.7.7) Successful
*Apr 21 17:24:06.343: MRT(0): set min mtu for (192.168.1.3, 224.7.7.7) 18010-
>1500
*Apr 21 17:24:06.343: MRT(0): Add GigabitEthernet0/0/224.7.7.7 to the olist of
(192.168.1.3, 224.7.7.7), Forward state - MAC built

```

**Obrázek 23 - Simulace 1 - R1 při začátku multicast vysílání**  
*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 23 si lze všimnout, že směrovač R1 pozná zdroj vysílání pro multicast 224.7.7.7 a vytvoří si tak toto spojení *Create (192.168.1.3,224.7.7.7)*. A na konec nastaví rozhraní GE0/0 na odesílání multicast vysílání. V tu chvíli směrovač R2 zaznamená vysílání a začne jej přeposílat počítači PC2.

```
*Apr 21 17:24:06.207: MRT(0): Reset the z-flag for (192.168.1.3, 224.7.7.7)
*Apr 21 17:24:06.207: MRT(0): (192.168.1.3,224.7.7.7), RPF install from
/0.0.0.0 to GigabitEthernet0/0/10.0.0.1
*Apr 21 17:24:06.227: MRT(0): Create (192.168.1.3,224.7.7.7), RPF
GigabitEthernet0/0/10.0.0.1
*Apr 21 17:24:06.227: MRT(0): WAVL Insert interface: GigabitEthernet1/0 in
(192.168.1.3,224.7.7.7) Successful
*Apr 21 17:24:06.239: MRT(0): set min mtu for (192.168.1.3, 224.7.7.7) 18010-
>1500
*Apr 21 17:24:06.243: MRT(0): Add GigabitEthernet1/0/224.7.7.7 to the olist of
(192.168.1.3, 224.7.7.7), Forward state - MAC built
```

### Obrázek 24 - Simulace 1 - R2 při začátku multicast směrování

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Dále příkaz:

```
Router# show ip mroute
```

zobrazí směrovací tabulku pro multicast směrování. Slouží jako kontrola navázání spojení.

```
(* , 224.7.7.7), 00:01:27/stopped, RP 0.0.0.0, flags: D
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
GigabitEthernet0/0, Forward/Dense, 00:01:27/00:00:00

(192.168.1.3, 224.7.7.7), 00:01:50/00:01:09, flags: PT
Incoming interface: GigabitEthernet1/0, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
GigabitEthernet0/0, Prune/Dense, 00:00:35/00:02:24
```

### Obrázek 25 - Simulace 1 - R1 multicast směrovací tabulka

*Zdroj: Vlastní zpracování*

```
(* , 224.7.7.7), 00:01:19/stopped, RP 0.0.0.0, flags: D
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
GigabitEthernet0/0, Forward/Dense, 00:00:54/00:00:00

(192.168.1.3, 224.7.7.7), 00:01:20/00:01:39, flags: PT
Incoming interface: GigabitEthernet0/0, RPF nbr 10.0.0.1
Outgoing interface list: Null
```

### Obrázek 26 - Simulace 1 - R2 multicast směrovací tabulka

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Výpisy jsou provedeny až po ukončení vysílání, ale směrovače si uchovávají informace o multicast směrování pro případné další navázání spojení. První záznam značí, že strom přijímá multicast 224.7.7.7 vysílání z jakéhokoli zdroje (\*). Druhý záznam na obrázku 25 značí, že zdrojem multicast vysílání 224.7.7.7 byl 192.168.3.1 na rozhraní GE1/0 a tento proud se přeposílal na rozhraní GE0/0. Jelikož přijímač zažádal o ukončení zasílání tohoto proudu, rozhraní GE0/0 je nyní označeno jako *Prune*.

Na obrázku 26 druhý záznam, zdroj pro vysílání 224.7.7.7 je 192.168.3.1 na rozhraní G0/0. Jelikož počítač PC2 si již nepřeje přijímat data, seznam odchozích rozhraní je prázdný.

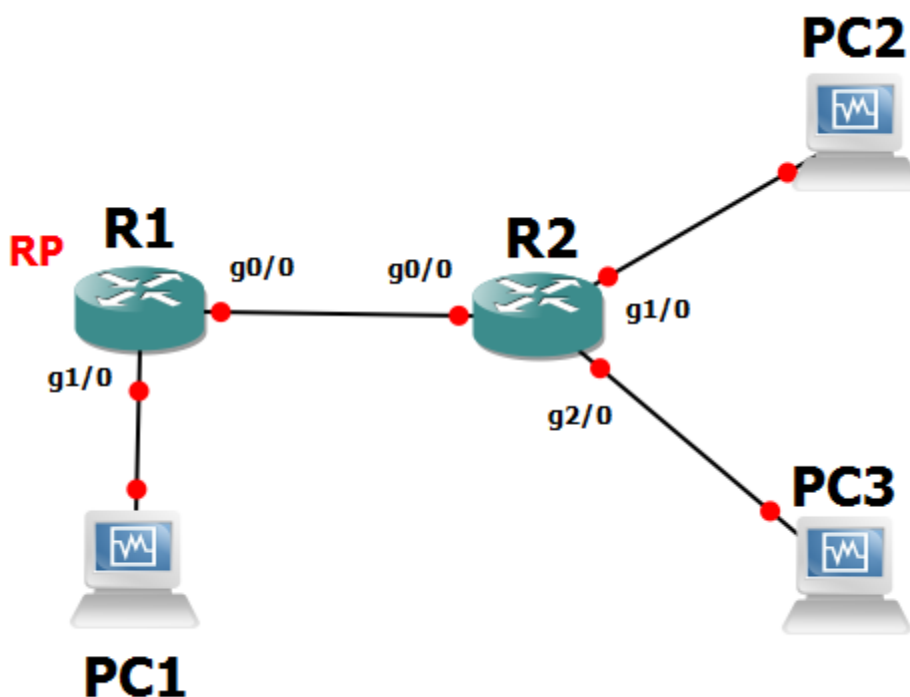
Druhé záznamy z obou výpisů dokazují, že k přenosu dat doopravdy došlo a spojení bylo úspěšné.

### 3.2 Simulace 2: PIM-SP IPv6

Druhá simulace pojednává o multicast komunikaci pomocí protokolu PIM Sparse Mode. Jelikož veškerá zařízení mají nastavenou IPv6 adresu, nelze ani v tomto případě využít protokol PIM Dense Mode.

Stejně jako v předešlé simulaci byl zde využit simulační program GNS3 a virtualizační program Oracle VM VirtualBox.

#### 3.2.1 Topologie



**Obrázek 27 - Simulace 2 - topologie**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

#### 3.2.2 Zařízení v síti

Směrovače využívají operační systém Cisco IOS řady 7200 verzi 15.0. Na virtuálních počítačích je předinstalovaný systém Ubuntu 14.4.

### 3.2.3 Adresace a konfigurace zařízení v síti

**Tabulka 7 - Simulace 2 - adresace zařízení v síti**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Zařízení	Rozhraní	Adresa	Prefix	Výchozí brána
R1	GigabitEthernet 0/0	2001:DB8:ACAD:12::1	64	N/A
	GigabitEthernet 1/0	2001:DB8:ACAD:1::1 FE80::1 link-local	64	N/A
	Loopback lo1	2001:DB8:1111:1111::1	128	N/A
R2	GigabitEthernet 0/0	2001:DB8:ACAD:12::2	64	N/A
	GigabitEthernet 1/0	2001:DB8:ACAD:2::1 FE80::2 link-local	64	N/A
	GigabitEthernet 2/0	2001:DB8:ACAD:3::1 FE80::3 link-local	64	N/A
PC1	Místní síť	2001:DB8:ACAD:1::3	64	FE80::1
PC2	Místní síť	2001:DB8:ACAD:2::3	64	FE80::2
PC2	Místní síť	2001:DB8:ACAD:3::3	64	FE80::3

K nakonfigurování směrovačů se připojíme stejným způsobem jako v předešlé simulaci. Aby směrovač byl schopen pracovat s IPv6 adresami, je nutno zadat následující příkaz.

```
Router(config)# ipv6 unicast-routing
```

Přiřazení IPv6 adresy na rozhraní si provádí příkazem:

```
Router(config-if)# ipv6 address A:B:C:D:E:F:G:H/prefix
```

za *A:B:C:D:E:F:G:H* se dosazuje IPv6 adresa, jelikož můžeme vynechat nuly v adrese, lze zapsat např. `2001:DB8:ACAD:12::1`. A *prefix* se nahrazuje prefixem z tabulky. Dále na rozhraní R1 GE1/0 a R2 GE1/0 a GE2/0 se přidělují *link-local* adresy, které směrovač nepřešlává mimo segment této sítě. Zde slouží jako výchozí brány pro počítače.

```
Router(config-if)# ipv6 address A:B:C:D:E:F:G:H link-local
```

Všechny rozhraní se spustí znovu příkazem *no shutdown*. Na směrovači R1 je vytvořena smyčka (lo1), která se využije k identifikaci tzv. *rendezvous point* (viz dále). Tuto smyčku vytvoříme příkazem:

```
Router(config)# interface lo1
```

a adresa se přiřadí stejně jako na každé jiné rozhraní.

Jak již bylo zmíněno, směrovače využívají směrovací unicast protokol OSPF verze 3, který slouží pro IPv6.

```
Router(config)# ipv6 router ospf num
```

Výraz *num* má stejný význam jako u OSPFv2. V OSPFv3 se nastaví pouze identifikace směrovače - *router-id*:

```
Router(config-router)# router-id IPv4
```

Zadaná *IPv4* nemá na funkci směrování žádný vliv, slouží pouze k identifikaci směrovače. Následně na všechny rozhraní, které spadají do jednoho procesu směrování (*num*), se nastaví:

```
Router(config-if)# ipv6 router ospf num area number
```

*Number* představuje číslo oblasti, stejně jako u OSPFv2. V simulaci jsou všechny rozhraní v oblasti 0.

Dále je nutné povolit multicast komunikaci.

```
Router(config)# ipv6 multicast-routing
```

A jako poslední krok, na všech směrovačích se nastaví IPv6 adrese tzv. *rendezvous point*, který v tomto případě představuje rozhraní *lo1* na směrovači R2.

```
Router(config)# ipv6 pim rp-address A:B:C:D:E:F:G:H
```

V tomto případě *A:B:C:D:E:F:G:H* představuje `2001:DB8:1111:1111::1`.

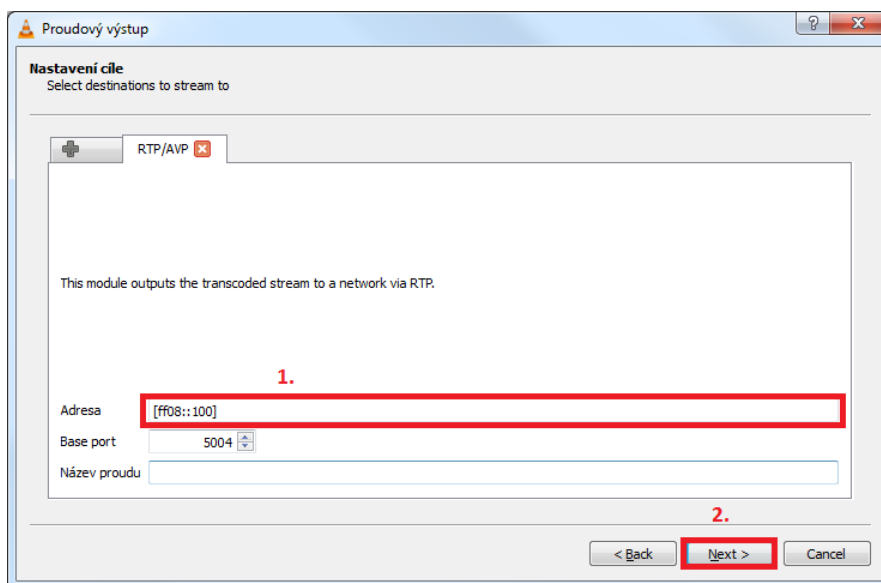
Konfigurace směrovačů je hotová. V příloze B jsou konfigurace směrovačů R1 a R2.

### 3.2.4 PIM Sparse Mode

Stejně jako PIM-DM, tak i PIM-SM využívá ke směrování unicast směrovací tabulku směrovače. A je nezávislý na tom, jaký unicast směrovací protokol byl využit. PIM-SM využívá metodu *data pulling*, tedy „tahání dat“. To znamená, že data jsou zasílána pouze na vyžádání. Základem protokolu PIM-SM je sdílený strom, jehož kořen je umístěn v některém směrovači. Tento kořen se nazývá *rendezvous point (RP)*. Vysílač zasílá multicast data směrem k RP (směrovače směrují vysílání směrem k RP), který jej následně přeposílá přijímačům. Když přijímač si vyžádá připojit se k multicast skupině, první směrovač v síti od tohoto zařízení zašle tzv. *join message* (zprávu) směrem k RP. Naopak při ukončení přijímání dat, zašle směrovač *prune message* (zprávu). (Williamson, 1999; Rosenberg, 2012)

### 3.2.5 Simulace multicast komunikace

Stejně jako v předešlé simulaci se využije VLC přehrávač k vysílání multicast proudu (PC1) a PC2 přijme tento proud. Nastavení bude stejné, pouze se změní multicast adresa.

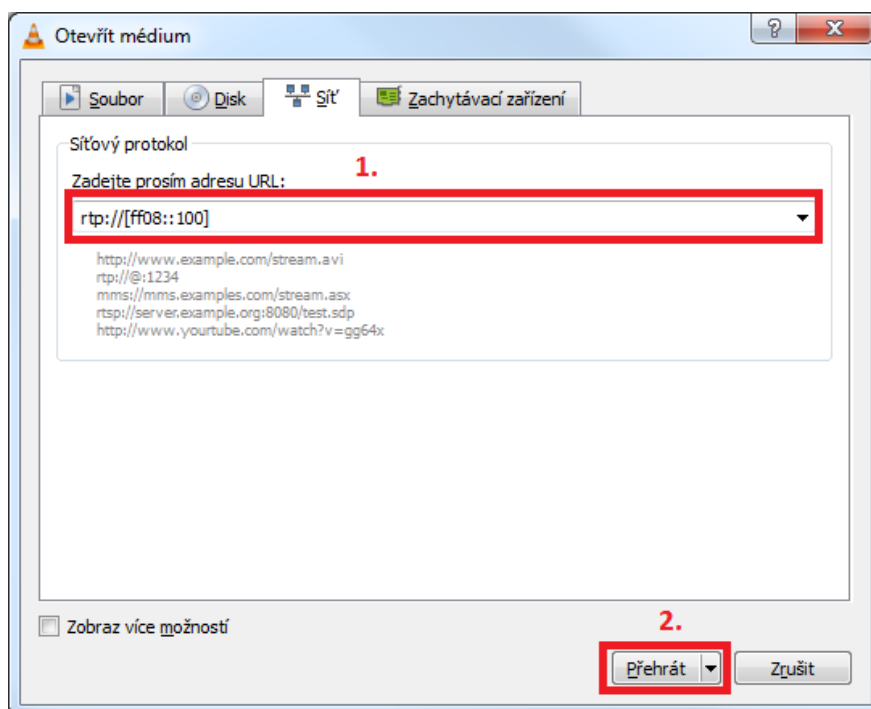


**Obrázek 28 - VLC - nastavení IPv6 adresy multicast proudu**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

IPv6 adresa musí být v hranatých závorkách. Stejně jako u multicast vysílání v IPv4, se i zde musí dopsat do složených závorek za port vysílání hodnota TTL -  $tll=10$  (viz obrázek 19).

I samotný přijímač bude stejně nastaven jako v předchozí simulaci, pouze se zapíše IPv6 adresa multicast vysílání. Velice důležité je využít hranaté závorky v adrese!



**Obrázek 29 - VLC - příjem IPv6 multicast proudu**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 3.2.6 Rozbor komunikace

Na směrovačích se povolí tzv. ladění (debug), podobně jako v předchozí simulaci.

```
Router# debug ipv6 pim
Router# debug ipv6 mrouting
```

```
*Apr 22 08:56:20.947: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) MRIB
update (t=1)
*Apr 22 08:56:20.947: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128)
GigabitEthernet1/0 MRIB update (f=20,c=20)
*Apr 22 08:56:20.951: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Signal
present on GigabitEthernet1/0
*Apr 22 08:56:20.951: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Create entry
*Apr 22 08:56:20.955: IPv6 PIM: Adding monitor for 2001:DB8:ACAD:1::3
*Apr 22 08:56:20.955: IPv6 PIM: RPF lookup for root 2001:DB8:ACAD:1::3: nbr
2001:DB8:ACAD:1::3, GigabitEthernet1/0 via the rib, connected
*Apr 22 08:56:20.959: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) RPF changed from
::- to 2001:DB8:ACAD:1::3/GigabitEthernet1/0
*Apr 22 08:56:20.959: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Connected status
changed from off to on
*Apr 22 08:56:20.963: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) Tunnel2
MRIB modify NS
*Apr 22 08:56:20.963: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) MR
R1#IB modify DC
*Apr 22 08:56:20.967: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) Tunnel2
MRIB modify A NS
*Apr 22 08:56:20.967: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128)
GigabitEthernet0/0 MRIB modify F NS
*Apr 22 08:56:20.967: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Set alive timer
to 210 sec
*Apr 22 08:56:20.971: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) Tunnel2
MRIB modify !NS
*Apr 22 08:56:20.971: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) MRIB
modify !DC
*Apr 22 08:56:20.975: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) Tunnel0
MRIB modify !MD
*Apr 22 08:56:20.975: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Start
registering to 2001:DB8:1111:1111::1
*Apr 22 08:56:20.979: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Tunnel0 J/P
state changed from Null to Join
*Apr 22 08:56:20.979: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Tunnel0 FWD
state change from Prune to Forward
*Apr 22 08:56:20.979: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Updating J/P s
```

**Obrázek 30 - Simulace 2 - R1 začátek vysílání a rozpoznání přijímače**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na zvýrazněných řádcích na obrázku 30 si lze všimnout, že směrovač rozeznal jak vysílač, tak žádost o přeposílání dat na rozhraní GE0/0.

```

*Apr 22 08:56:14.159: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::100/128) MRIB update (t=1)
*Apr 22 08:56:14.159: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::100/128) GigabitEthernet1/0 MRIB
update (f=100,c=100)
*Apr 22 08:56:14.163: IPv6 PIM: (*,FF08::100) Create entry
*Apr 22 08:56:14.163: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::100/128) MRIB modify DC
*Apr 22 08:56:14.163: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::100/128) GigabitEthernet0/0 MRIB
modify A
*Apr 22 08:56:14.167: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::100/128) GigabitEthernet1/0 MRIB
modify !MD
*Apr 22 08:56:14.167: IPv6 PIM: (*,FF08::100) GigabitEthernet1/0 Local state
changed from Null to Join
*Apr 22 08:56:14.167: IPv6 PIM: (*,FF08::100) GigabitEthernet1/0 Start being
last hop
*Apr 22 08:56:14.171: IPv6 PIM: (*,FF08::100) Stop being last hop
*Apr 22 08:56:14.171: IPv6 PIM: (*,FF08::100) Start signaling sources
*Apr 22 08:56:14.171: IPv6 PIM: [0] (*,FF08::100/128) GigabitEthernet0/0 MRIB
modify NS
*Apr 22 08:56:14.171: IPv6 PIM: (*,FF08::100) GigabitEthernet1/0 FWD state
change from Prune t
*Apr 22 08:56:21.747: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) MRIB
update (t=1)
*Apr 22 08:56:21.751: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128)
GigabitEthernet0/0 MRIB update (f=20,c=20)
*Apr 22 08:56:21.751: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Signal
present on GigabitEthernet0/0
*Apr 22 08:56:21.755: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Create entry
*Apr 22 08:56:21.759: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128)
GigabitEthernet0/0 MRIB modify NS
*Apr 22 08:56:21.759: IPv6 PIM: Adding monitor for 2001:DB8:ACAD:1::3
*Apr 22 08:56:21.759: IPv6 PIM: RPF lookup for root 2001:DB8:ACAD:1::3: nbr
FE80::1, GigabitEthernet0/0 via the rib
*Apr 22 08:56:21.763: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) RPF changed from
::- to FE80::1/GigabitEthernet0/0
*Apr 22 08:56:21.767: IPv6 PIM: (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100) Source metric
changed from [0/0] to [2/110]
*Apr 22 08:56:21.767: IPv6 PIM: [0] (2001:DB8:ACAD:1::3,FF08::100/128) MRIB
modify DC

```

### Obrázek 31 - Simulace 2 - R2 žádost PC2 o přiřazení do multicast skupiny

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 31 si lze všimnout, že na rozhraní GE1/0 byla zaslána žádost o příjem multicast vysílání na adrese FF08::100, a toto vysílání přichází skrz rozhraní GE0/0 z adresy 2001:DB8:ACAD:1::3.

Příkazem:

```
Router# show ipv6 mroute
```

se zobrazí multicast směrovací tabulka směrovače.

```

(2001:DB8:ACAD:1::3, FF08::100), 00:02:07/00:01:22, flags: SFT
Incoming interface: GigabitEthernet1/0
RPF nbr: 2001:DB8:ACAD:1::3
Immediate Outgoing interface list:
GigabitEthernet0/0, Forward, 00:02:07/00:03:15

```

### Obrázek 32 - Simulace 2 - R1 multicast směrovací tabulka

*Zdroj: Vlastní zpracování*



Z výpisu na obrázku 32 lze zjistit, že zdroj 2001:DB8:ACAD:1::3 vysílá multicast FF08::100. Příchozí rozhraní je GE1/0 a odchozí GE0/0.

```
(2001:DB8:ACAD:1::3, FF08::100), 00:02:21/00:01:08, flags: SJT
Incoming interface: GigabitEthernet0/0
RPF nbr: FE80::1
Inherited Outgoing interface list:
GigabitEthernet1/0, Forward, 00:02:28/never
```

**Obrázek 33 - Simulace 2 - R2 multicast směrovací tabulka**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

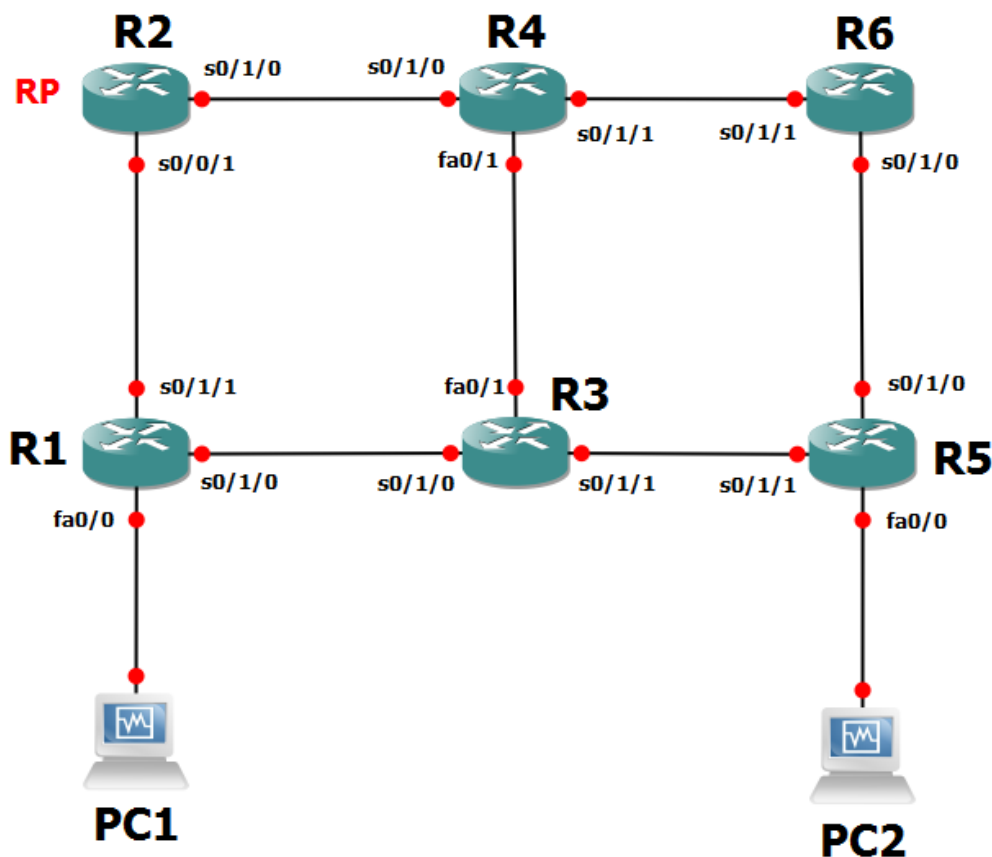
Na směrovač R2 přichází proud dat na rozhraní GE0/0 a ten jej směruje na GE1/0.

### 3.3 Simulace 3: PIM-SM IPv4

Poslední simulace představuje malou podnikovou síť, která je tvořena 6 směrovači. Pro demonstrační účely byly do sítě připojeny pouze dva počítače.

Simulování se uskutečnilo na reálných zařízeních v laboratořích.

#### 3.3.1 Topologie



**Obrázek 34 - Simulace 3 - topologie**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 3.3.2 Zařízení v síti

Všechny směrovače mají operační systém Cisco IOS série 2800, R1 verzi 12.4 a R2 až R6 verzi 15.1. V reálných podmínkách se velmi často stává, že spolu komunikují zařízení, které mají odlišnou verzi operačního systému. Na počítačích je nainstalovaný systém Windows 7 s předinstalovaným programem Wireshark ([www.wireshark.org](http://www.wireshark.org)).

### 3.3.3 Adresace a konfigurace zařízení

Pro zpřehlednění bylo zanedbáno tzv. plýtvání adres. Třetí oktet v adrese vždy značí, které 2 směrovače touto linkou jsou spojeni (např. R1 a R2: 1.1.12.x).

**Tabulka 8 - Simulace 3 - adresace zařízení v síti**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Zařízení	Rozhraní	Adresa	Maska	Výchozí brána
R1	FastEthernet 0/0	1.1.1.1	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/0	1.1.13.1	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/1	1.1.12.1	255.255.255.0	N/A
R2	Serial 0/1/0	1.1.12.2	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/1	1.1.24.2	255.255.255.0	N/A
	Loopback lo1	1.1.22.22	255.255.255.255	N/A
R3	Serial 0/1/0	1.1.13.2	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/1	1.1.35.2	255.255.255.0	N/A
	FastEthernet 0/0	1.1.34.2	255.255.255.0	N/A
R4	Serial 0/1/0	1.1.24.1	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/1	1.1.46.1	255.255.255.0	N/A
	FastEthernet 0/0	1.1.34.1	255.255.255.0	N/A
R5	FastEthernet 0/0	1.1.2.1	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/0	1.1.56.2	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/1	1.1.35.1	255.255.255.0	N/A
R6	Serial 0/1/0	1.1.56.2	255.255.255.0	N/A
	Serial 0/1/1	1.1.46.2	255.255.255.0	N/A
PC1	Místní síť	1.1.1.3	255.255.255.0	1.1.1.1
PC2	Místní síť	1.1.2.3	255.255.255.0	1.1.2.1

Stejnými příkazy jako v simulaci 1 se nastaví adresy zařízením a směrovací protokol OSPFv2 na všechny směrovače.

Směrovač R2 je předem zvolen jako RP (rendezvous point). Proto je na něm vytvořeno rozhraní *lo1* s adresou 1.1.22.22.

Příkazy:

```
Router(config)# ip multicast-routing
Router(config)# ip pim rp-address add
```

se povolí multicast směrování a nastaví se adresa předem známého RP bodu v topologii. V tomto případě 1.1.22.22. Příkazy je třeba provést na každém směrovači. Dále na všech rozhraních je nutné zapnout PIM-SM.

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

Konfigurace sítě je dokončena.

### 3.3.4 Multicast komunikace

Využit je přehrávač VLC, stejně jako v simulaci 1. IPv4 adresa multicast vysílání: 224.7.7.7:5055, ttl=10. Zdrojem je PC1.

### 3.3.5 Rozbor komunikace

Příkaz:

```
Router# show ip mroute
```

vypíše multicast směrovací tabulku směrovače.

```
(1.1.1.3, 224.7.7.7), 00:29:15/00:03:24, flags: FT
Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
Serial0/1/0, Forward/Sparse, 00:25:55/00:02:47
```

**Obrázek 35 - Simulace 3 - R1 multicast směrovací tabulka**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

```
(1.1.1.3, 224.7.7.7), 00:08:35/00:02:31, flags: PT
Incoming interface: Serial0/1/1, RPF nbr 1.1.12.1
Outgoing interface list: Null
```

**Obrázek 36 - Simulace 3 - R2 multicast směrovací tabulka**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

```
(1.1.1.3, 224.7.7.7), 00:32:02/00:01:30, flags: T
Incoming interface: Serial0/1/0, RPF nbr 1.1.13.1
Outgoing interface list:
Serial0/1/1, Forward/Sparse, 00:28:42/00:03:20
```

**Obrázek 37 - Simulace 3 - R3 multicast směrovací tabulka**

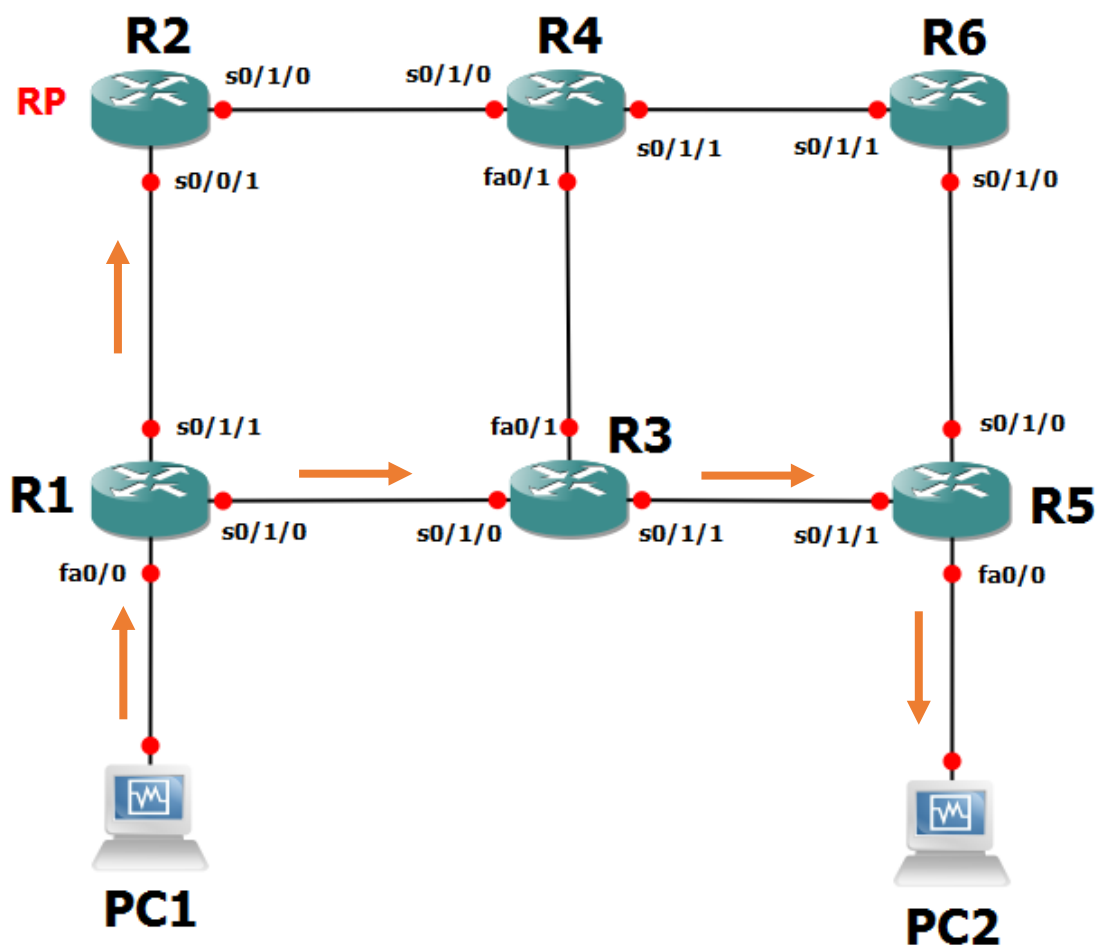
*Zdroj: Vlastní zpracování*

```
(1.1.1.3, 224.7.7.7), 00:30:49/00:02:51, flags: JT
Incoming interface: Serial0/1/1, RPF nbr 1.1.35.2
Outgoing interface list:
FastEthernet0/0, Forward/Sparse, 00:30:49/00:02:22
```

**Obrázek 38 - Simulace 3 - R5 multicast směrovací tabulka**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Směrovač R4 a R6 mají tyto tabulky prázdné. To znamená, data v síti proudí od zdroje PC1 ke směrovači R1. R1 směruje proud k RP bodu, ale protože trasa od R1 k cíli (PC2) je kratší než trasa od RP (R2), směrovač R1 rovnou zasílá data na R3, R5 a k příjemci PC2. Je tedy patrné, že se jedná o obousměrný sdílený strom (viz obrázek 10).



**Obrázek 39 - Simulace 3 - tok dat sítě**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Během přenosu dat na každém počítači je spuštěný program Wireshark, který zaznamenává síťovou komunikaci. Pro síťové správce je to velmi mocný nástroj, protože program zobrazí

všechny rámce, co projdou skrz daném rozhraní. V tomto případě program naslouchá na síťových slotech PC1 a PC2, které jsou spojeny přímo se sítí.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1659	31.200057000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1660	31.200079000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1661	31.200153000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1662	31.400038000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1663	31.400079000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1664	31.400104000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1665	31.400127000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
1666	31.400149000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055

```

⊞ Frame 1660: 1370 bytes on wire (10960 bits), 1370 bytes captured (10960 bits) on interface 0
⊞ Ethernet II, Src: Dell_75:c2:09 (00:23:ae:75:c2:09), Dst: IPv4mcast_07:07:07 (01:00:5e:07:07:07)
    ⊞ Destination: IPv4mcast_07:07:07 (01:00:5e:07:07:07) 1.
    ⊞ Source: Dell_75:c2:09 (00:23:ae:75:c2:09)
        Type: IP (0x0800)
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 1.1.1.3 (1.1.1.3), Dst: 224.7.7.7 (224.7.7.7)
    Version: 4
    Header Length: 20 bytes
    ⊞ Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))
    Total Length: 1356
    Identification: 0x7105 (28933)
    ⊞ Flags: 0x00
    Fragment offset: 0
    Time to live: 10 2.
    Protocol: UDP (17)
    ⊞ Header checksum: 0x0000 [validation disabled]
    Source: 1.1.1.3 (1.1.1.3)
    Destination: 224.7.7.7 (224.7.7.7) 3.
    [source GeoIP: Unknown]
    [Destination GeoIP: Unknown]
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 51064 (51064), Dst Port: 5055 (5055)
⊞ Data (1328 bytes)
    
```

### Obrázek 40 - Simulace 3 - PC1 zasílá data

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 40 je zachyceno vysílání zdroje (PC1) 1.1.1.3 multicast vysílání 224.7.7.7:5055. Vrchní (modrá) část zobrazuje všechny zachycené rámce a spodní část vypisuje veškeré detaily o daném rámci. Rámec č. 1660 je vybrán jako ukázkový. U čísla 1 (červeně vyznačené na obrázku) se nachází namapování multicast adresy na MAC adresu (01:00:5e:07:07:07). U čísla 2 je hodnota TTL, která se nastavila při spouštění proudu ve VLC přehrávači. A adresy u č. 3 jsou zdrojová (source) adresa a cílová (destination) adresa.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
21648	1948.281321000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21649	1948.368109000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21650	1948.458926000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21651	1948.546495000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21653	1948.639187000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21654	1948.725520000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21655	1948.816977000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21656	1948.903710000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055
21657	1948.990968000	1.1.1.3	224.7.7.7	UDP	1370	Source port: 51064 Destination port: 5055

<ul style="list-style-type: none"> <li>Frame 21651: 1370 bytes on wire (10960 bits), 1370 bytes captured (10960 bits) on interface 0</li> <li>Ethernet II, Src: Cisco_46:fa:84 (00:24:c4:46:fa:84), Dst: IPv4mcast_07:07:07 (01:00:5e:07:07:07) <ul style="list-style-type: none"> <li>Destination: IPv4mcast_07:07:07 (01:00:5e:07:07:07) <b>1.</b></li> <li>Source: Cisco_46:fa:84 (00:24:c4:46:fa:84) <ul style="list-style-type: none"> <li>Type: IP (0x0800)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>Internet Protocol Version 4, Src: 1.1.1.3 (1.1.1.3), Dst: 224.7.7.7 (224.7.7.7) <ul style="list-style-type: none"> <li>Version: 4</li> <li>Header Length: 20 bytes</li> <li>Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))</li> <li>Total Length: 1356</li> <li>Identification: 0x57ba (22458)</li> <li>Flags: 0x00</li> <li>Fragment offset: 0</li> <li>Time to live: 7 <b>2.</b></li> <li>Protocol: UDP (17)</li> <li>Header checksum: 0x6dd5 [validation disabled] <ul style="list-style-type: none"> <li>Source: 1.1.1.3 (1.1.1.3)</li> <li>Destination: 224.7.7.7 (224.7.7.7) <b>3.</b></li> <li>[Source GeoIP: Unknown]</li> <li>[Destination GeoIP: Unknown]</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>User Datagram Protocol, Src Port: 51064 (51064), Dst Port: 5055 (5055)</li> <li>Data (1328 bytes)</li> </ul>
--

**Obrázek 41 - Simulace 3 - PC2 přijímá data**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 41 u čísla 1 zdrojová (source) adresa je MAC adresa směrovače R5. Č. 2 hodnota TTL je rovna 7, protože datagram prošel skrz R1, R3 a R5 a každý směrovač tuto hodnotu snížil o 1. Č.3 zdrojová adresa je adresa zdroje multicast proudu a cílová není adresa přijímače PC2, ale multicast adresa. PC2 je připojen do skupiny s touto adresou.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
12955	1172.118904000	1.1.2.3	224.7.7.7	IGMPv2	46	Membership Report group 224.7.7.7
12959	1182.354565000	1.1.2.1	224.7.7.7	IGMPv2	60	Membership Query, specific for group 224.7.7.7
12960	1182.355510000	1.1.2.3	224.7.7.7	IGMPv2	46	Membership Report group 224.7.7.7
12961	1182.617814000	1.1.2.3	224.7.7.7	IGMPv2	46	Membership Report group 224.7.7.7

**Obrázek 42 - Simulace 3 - IGMPv2 komunikace mezi PC2 a R5**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na obrázku 42 je výpis datagramů protokolu IGMPv2, který slouží pro komunikaci mezi koncovým zařízením a prvním směrovačem v síti, od tohoto koncového zařízení. R5 (1.1.2.1) zaslal „Membership Query“ - dotaz na členství, zda si PC2 je a stále si přeje být ve skupině 224.7.7.7 a stanice PC2 (1.1.2.3) odpověděla kladně - „Membership Report“ (viz Multicast směrovací protokoly - IGMP).

## Závěr

Práce se zabývá problematikou multicast komunikace. Tato technologie umožňuje ušetřit systémové prostředky. Její nasazení se musí velmi dobře promyslet a vzít v potaz veškeré klady a zápory.

Cíl bakalářské práce je seznámit čtenáře se základním principem multicast směrování a se třemi praktickými úlohami s podrobným řešením.

Dokument je rozdělen do dvou částí - teoretická a praktická. V první části je vysvětlena teorie fungování směrování IPv4 a IPv6 datagramů a výhody a nevýhody multicast komunikace. V praktické části je zobrazen detailní rozbor fungování PIM protokolu. Na příloženém CD jsou výpisy ze simulací.

V první a druhé simulaci bylo zvoleno jednoduché zapojení, které demonstruje, jak probíhá vysílání a příjem multicast proudu. Třetí příklad zobrazuje větší síť, která by mohla být v menším podniku. Protože simulace je pouze demonstrační, jsou připojeny pouze dva počítače do sítě. V reálném světě by mohlo na každém směrovači být připojeno několik desítek koncových zařízení. Praktická část dokazuje, že nasazení multicast technologie se vyplatí např. v podniku, kde probíhají videokonference, a očekává se, že se připojí větší množství koncových zařízení. Zmenší se tím režie v síti a nadbytečná redundance, která by byla při unicast komunikaci.

Další nespornou výhodou, která je představena v rámci ukázkových topologií a konfigurací, je, že nezáleží jaký operační systém je nainstalován na koncových zařízeních (konkrétně v simulacích Windows 7, Windows XP a Ubuntu). Dnes v době chytrých telefonů se každý např. zaměstnanec může připojit přes bezdrátovou síť do sítě a sledovat videokonferenci právě na telefonu. Nejrozšířenější operační systém Android je založený na linuxovém jádře, dále z těch známější je tu Windows Phone a iPhone.

Veškeré cíle práce byly splněny. Jsem velice rád, že jsem mohl zpracovat toto téma pod vedením pana Mgr. Josefa Horálka, Ph.D., které prohloubilo mé znalosti dané problematiky.

## Literatura

HORÁK, Jaroslav a Milan KERŠLÁGER. *Počítačové sítě pro začínající správce*. 3., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2006, 211 s. ISBN 80-251-0892-9.

DOSTÁLEK, Libor a Alena KABELOVÁ. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 426 s. Komunikace & sítě. ISBN 80-722-6323-4.

PARZIALE, Lydia. *TCP/IP tutorial and technical overview*. 8th ed. United States: IBM International Technical Support Organization, c2006, xxiv, 974 p. ISBN 0738494682.

POSTEL, J., *RFC 791 - Internet Protocol* [online]. September 1981 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc791>

TCP & UDP Protocol: Description of Basic Transfer Protocols used in Ethernet. HW-server.com [online]. 20.5.2003 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://hw-server.com/tcp-udp-protocol>.

MANYEM, Prabhu. *Routing Problems in Multicast Networks: Approximation lower bounds and heuristics*. Saarbrucken: VDM Verlag Dr. Muller, 2010, x, 117 p. SpringerBriefs in computer science. ISBN 978-363-9093-636.

HARTPENGE, Bruce. *Packet guide to core network protocols*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011. ISBN 978-1-449-30653-3.

BIGELOW, Stephen J. *Mistrovství v počítačových sítích: správa, konfigurace, diagnostika a řešení problémů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2004, 990 s. ISBN 80-251-0178-9.

DEERING, S. a R. HINDEN, *RFC 2460 - Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification* [online]. December 1998 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc2460>

Adresy. *IPv6* [online]. 2012, 14.9.2012 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <https://www.ipv6.cz/Adresy>

ROSENBERG, Eric. *A primer of multicast routing*. London: Springer, c2012, x, 117 p. SpringerBriefs in computer science. ISBN 978-1-4614-1872-6.

IPv4 Multicasting Technical Reference. *Microsoft: TechNet* [online]. 2003, Updated: March 28, 2003 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: [https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc738760\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc738760(v=ws.10).aspx)

WILLIAMSON, Beau. *Developing IP multicast networks*. Indianapolis, IN: Cisco Press, 1999. ISBN 15-787-0077-9.

LAMMLE, Todd. *CCNA: výukový průvodce přípravou na zkoušku 640-802*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2010, 928 s. ISBN 978-802-5123-591.



HINDEN, R., DEERING, S. *RFC 4291 - IPv6 version 6 Addressing Architecture* [online]. February 2006 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <https://tools.ietf.org/html/rfc4291>

CRAWFORD, M. *RFC 2464 - Transmission of IPv6 Packet over Ethernet Networks* [online]. December 1998 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <https://tools.ietf.org/html/rfc2464>

MOY, J. *RFC 1584 - Multicast Extensions to OSPF* [online]. March 1994 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://tools.ietf.org/html/rfc1584>

## Příloha A - Konfigurace směrovačů ze simulace 1

Z důvodu zkrácení výpisu byly některé prázdné řádky vynechány.

### Směrovač R1

```
! Last configuration change at 00:26:31 UTC Tue Apr 21 2015
!
upgrade fpd auto
version 15.0
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
ip source-route
no ip icmp rate-limit unreachable
ip cef
!
no ip domain lookup
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
redundancy
!
!
ip tcp synwait-time 5
ip ssh version 1
!
interface Ethernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto
!
!
interface GigabitEthernet0/0
ip address 10.0.0.1 255.255.255.252
ip pim dense-mode
duplex full
speed 1000
media-type gbic
negotiation auto
!
!
interface GigabitEthernet1/0
ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
ip pim dense-mode
negotiation auto
!
!
router ospf 1
log-adjacency-changes
passive-interface GigabitEthernet1/0
network 10.0.0.0 0.0.0.3 area 0
network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
```

```

no ip http server
no ip http secure-server
!
no cdp log mismatch duplex
!
control-plane
!
!
mgcp fax t38 ecm
mgcp behavior g729-variants static-pt
!
gatekeeper
shutdown
!
line con 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line vty 0 4
login
!
end

```

## Směrovač R2

```

! Last configuration change at 00:31:06 UTC Tue Apr 21 2015
!
upgrade fpd auto
version 15.0
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R2
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
!
no aaa new-model
!
ip source-route
no ip icmp rate-limit unreachable
ip cef
!
no ip domain lookup
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
redundancy
!
ip tcp synwait-time 5
ip ssh version 1
!
interface Ethernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto

```

```

!
!
interface GigabitEthernet0/0
ip address 10.0.0.2 255.255.255.252
ip pim dense-mode
duplex full
speed 1000
media-type gbic
negotiation auto
!
!
interface GigabitEthernet1/0
ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
ip pim dense-mode
negotiation auto
!
!
interface GigabitEthernet2/0
ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
ip pim dense-mode
negotiation auto
!
!
router ospf 1
log-adjacency-changes
passive-interface GigabitEthernet1/0
passive-interface GigabitEthernet2/0
network 10.0.0.0 0.0.0.3 area 0
network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
no cdp log mismatch duplex
!
control-plane
!
!
mgcp fax t38 ecm
mgcp behavior g729-variants static-pt
!
gatekeeper
shutdown
!
line con 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line vty 0 4
login
!
end

```

## Příloha B - Konfigurace směrovačů ze simulace 2

Z důvodu zkrácení výpisu byly některé prázdné řádky vynechány.

### Směrovač R1

```
! Last configuration change at 01:49:08 UTC Wed Apr 22 2015
!
upgrade fpd auto
version 15.0
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
ip source-route
no ip icmp rate-limit unreachable
ip cef
!
no ip domain lookup
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
ipv6 multicast-routing
!
multilink bundle-name authenticated
!
redundancy
!
ip tcp synwait-time 5
ip ssh version 1
!
interface Loopback1
no ip address
ipv6 address 2001:DB8:1111:1111::1/128
ipv6 ospf 1 area 0
!
!
interface Ethernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto
!
!
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
duplex full
speed 1000
media-type gbic
negotiation auto
ipv6 address FE80::1 link-local
ipv6 address 2001:DB8:ACAD:12::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
!
interface GigabitEthernet1/0
no ip address
negotiation auto
ipv6 address 2001:DB8:ACAD:1::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
```

```

!
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
no cdp log mismatch duplex
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:1111:1111::1
ipv6 router ospf 1
  router-id 1.1.1.1
  log-adjacency-changes
!
control-plane
!
!
mgcp fax t38 ecm
mgcp behavior g729-variants static-pt
!
gatekeeper
  shutdown
!
line con 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
  logging synchronous
  stopbits 1
line aux 0
  exec-timeout 0 0
  privilege level 15
  logging synchronous
  stopbits 1
line vty 0 4
  login
!
end

```

## Směrovač R2

```

! Last configuration change at 01:59:21 UTC Wed Apr 22 2015
!
upgrade fpd auto
version 15.0
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R2
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
ip source-route
no ip icmp rate-limit unreachable
ip cef
!
no ip domain lookup
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
ipv6 multicast-routing
!
multilink bundle-name authenticated
!
redundancy
!

```

```

ip tcp synwait-time 5
ip ssh version 1
!
interface Loopback1
no ip address
ipv6 address 2001:DB8:2222:2222::2/128
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Ethernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto
!
!
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
duplex full
speed 1000
media-type gbic
negotiation auto
ipv6 address 2001:DB8:ACAD:12::2/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
!
interface GigabitEthernet1/0
no ip address
negotiation auto
ipv6 address FE80::2 link-local
ipv6 address 2001:DB8:ACAD:2::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
no cdp log mismatch duplex
ipv6 pim rp-address 2001:DB8:1111:1111::1
ipv6 router ospf 1
router-id 2.2.2.2
log-adjacency-changes
!
control-plane
!
mgcp fax t38 ecm
mgcp behavior g729-variants static-pt
!
gatekeeper
shutdown
!
line con 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line aux 0
exec-timeout 0 0
privilege level 15
logging synchronous
stopbits 1
line vty 0 4
login
!
end

```

## Příloha C - Konfigurace směrovačů ze simulace 3

Z důvodu zkrácení výpisu byly některé prázdné řádky vynechány.

### Směrovač R1

```
Current configuration : 1021 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
ip cef
!
no ip domain lookup
ip multicast-routing
!
interface FastEthernet0/0
 ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/1/0
 ip address 1.1.13.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
!
interface Serial0/1/1
 ip address 1.1.12.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
!
router ospf 1
 router-id 1.1.1.1
 log-adjacency-changes
 passive-interface FastEthernet0/0
 network 1.1.1.0 0.0.0.255 area 0
 network 1.1.12.0 0.0.0.255 area 0
 network 1.1.13.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
!
ip http server
no ip http secure-server
ip pim rp-address 1.1.22.22
!
control-plane
!
line con 0
 logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
 login
```



```
!  
scheduler allocate 20000 1000  
end
```

## Směrovač R2

```
Current configuration : 1467 bytes  
!  
! Last configuration change at 09:59:28 UTC Wed Apr 22 2015  
version 15.1  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R2  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
no aaa new-model  
!  
dot11 syslog  
ip source-route  
!  
ip cef  
no ip domain lookup  
ip multicast-routing  
no ipv6 cef  
!  
multilink bundle-name authenticated  
!  
voice-card 0  
!  
crypto pki token default removal timeout 0  
!  
license udi pid CISCO2801 sn FCZ131811Z0  
!  
redundancy  
!  
interface Loopback1  
 ip address 1.1.22.22 255.255.255.255  
 ip pim sparse-mode  
!  
interface FastEthernet0/0  
 no ip address  
 shutdown  
 duplex auto  
 speed auto  
!  
interface FastEthernet0/1  
 no ip address  
 shutdown  
 duplex auto  
 speed auto  
!  
interface Serial0/1/0  
 ip address 1.1.24.2 255.255.255.0  
 ip pim sparse-mode  
 shutdown  
 no fair-queue  
 clock rate 128000  
!  
interface Serial0/1/1  
 ip address 1.1.12.2 255.255.255.0  
 ip pim sparse-mode  
 clock rate 128000
```

```

!
router ospf 1
  router-id 2.2.2.2
  network 1.1.12.0 0.0.0.255 area 0
  network 1.1.22.22 0.0.0.0 area 0
  network 1.1.24.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
!
ip pim rp-address 1.1.22.22
!
control-plane
!
mgcp profile default
!
gatekeeper
  shutdown
!
line con 0
  logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
  login
  transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

### Směrovač R3

```

Current configuration : 1367 bytes
!
! Last configuration change at 14:33:34 UTC Mon Jan 2 2006
version 15.1
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R3
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
dot11 syslog
ip source-route
!
ip cef
no ip domain lookup
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
crypto pki token default removal timeout 0
!

license udi pid CISCO2801 sn FCZ131811Z1
!
redundancy

```

```

!
interface FastEthernet0/0
  no ip address
  shutdown
  duplex auto
  speed auto
!
interface FastEthernet0/1
  ip address 1.1.34.2 255.255.255.0
  ip pim sparse-mode
  duplex auto
  speed auto
!
interface Serial0/1/0
  ip address 1.1.13.2 255.255.255.0
  ip pim sparse-mode
  clock rate 128000
!
interface Serial0/1/1
  ip address 1.1.35.2 255.255.255.0
  ip pim sparse-mode
  clock rate 128000
!
router ospf 1
  router-id 3.3.3.3
  network 1.1.13.0 0.0.0.255 area 0
  network 1.1.34.0 0.0.0.255 area 0
  network 1.1.35.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
!
ip pim rp-address 1.1.22.22
!
control-plane
!
mgcp profile default
!
line con 0
  logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
  login
  transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

## Směrovač R4

```

Current configuration : 1330 bytes
!
! Last configuration change at 09:46:05 UTC Wed Apr 22 2015
version 15.1
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R4
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model

```

```

!
dot11 syslog
ip source-route
!
ip cef
no ip domain lookup
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
crypto pki token default removal timeout 0
!
license udi pid CISCO2801 sn FCZ131811Z5
!
redundancy
!
interface FastEthernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface FastEthernet0/1
ip address 1.1.34.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/1/0
ip address 1.1.24.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
!
interface Serial0/1/1
ip address 1.1.46.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
!
router ospf 1
router-id 4.4.4.4
network 1.1.24.0 0.0.0.255 area 0
network 1.1.34.0 0.0.0.255 area 0
network 1.1.46.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip pim rp-address 1.1.22.22
!
control-plane
!
mgcp profile default
!
line con 0
logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
login
transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

## Směrovač R5

```
Current configuration : 1363 bytes
!
! Last configuration change at 12:31:34 UTC Wed Apr 22 2015
version 15.1
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R5
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
dot11 syslog
ip source-route
!
ip cef
no ip domain lookup
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
crypto pki token default removal timeout 0
!
license udi pid CISCO2801 sn FCZ131811Z8
!
redundancy
!
interface FastEthernet0/0
 ip address 1.1.2.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/1/0
 ip address 1.1.56.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
!
interface Serial0/1/1
 ip address 1.1.35.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
!
router ospf 1
 router-id 5.5.5.5
 passive-interface FastEthernet0/0
 network 1.1.2.0 0.0.0.255 area 0
 network 1.1.35.0 0.0.0.255 area 0
```

```

network 1.1.56.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip pim rp-address 1.1.22.22
!
control-plane
!
mgcp profile default
!
line con 0
  logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
  login
  transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

## Směrovač R6

```

Current configuration : 1303 bytes
!
! Last configuration change at 11:07:19 UTC Wed Apr 22 2015
version 15.1
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R6
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
dot11 syslog
ip source-route
!
ip cef
no ip domain lookup
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
crypto pki token default removal timeout 0
!
license udi pid CISCO2801 sn FCZ131811Z6
!
redundancy
!
interface FastEthernet0/0
  no ip address
  shutdown
  duplex auto
  speed auto
!
interface FastEthernet0/1

```

```
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/1/0
ip address 1.1.56.2 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
clock rate 128000
!
interface Serial0/1/1
ip address 1.1.46.2 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
clock rate 128000
!
router ospf 1
router-id 6.6.6.6
network 1.1.46.0 0.0.0.255 area 0
network 1.1.56.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
!
ip pim rp-address 1.1.22.22
!
control-plane
!
mgcp profile default
!
line con 0
logging synchronous
line aux 0
line vty 0 4
login
transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
end
```

## **Příloha D - CD**

Na přiloženém CD jsou veškeré výpisy ze směrovačů a z programu wireshark.