

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

---

# **Technologie MPLS v síti s protokolem IPv6**

## **MPLS Technology in Network with IPv6 Protocol**

2016

Bc. Petr Václavík

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Václavík**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Technologie MPLS v síti s protokolem IPv6**  
**MPLS Technology in Network with IPv6 Protocol**

Jazyk vypracování: čeština

## Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je návrh, realizace a testování technologie MPLS v síti založené na protokolu IPv6 v laboratorním prostředí s využitím směrovačů Huawei a Cisco.

## Osnova práce:

1. Popište technologii MPLS se zaměřením na možnosti jejího nasazení v síti s protokolem IPv6.
2. Navrhněte a v laboratorních podmínkách realizujte různé druhy sítí MPLS v kombinaci s protokolem IPv6 s využitím směrovačů Huawei a Cisco. Ověřte funkčnost navržených řešení.
3. Ověřte kompatibilitu směrovačů Huawei a Cisco v těchto sítích.

## Seznam doporučené odborné literatury:

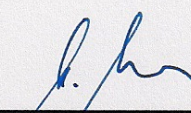
[1] DE GHEIN, Luc. *MPLS Fundamentals*. Indianapolis: Cisco Press, 2007. ISBN 978-1-58705-197-5.  
Dokumentace k směrovačům Huawei a Cisco.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

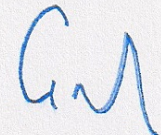
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Machník, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

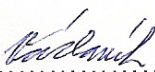
  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 19. dubna 2016

  
.....

Rád bych poděkoval Ing. Petru Machníkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace při vytváření diplomové práce. Také bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali během studia a vzniku této práce.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou nasazení IPv6 protokolu v prostředí MPLS. V práci je popsána technologie MPLS a MPLS VPN. Dále jsou v práci popsány řešení pro přenos IPv6 provozu přes MPLS síť a to IPv6 Provider Edge, IPv6 VPN Provider Edge a Any Transport over MPLS. Cílem práce bylo pro tyto technologie navrhnout, realizovat a otestovat sítě a v těchto navržených sítích využít směrovače od firmy Huawei a ověřit jejich kompatibilitu se směrovači od firmy Cisco.

**Klíčová slova:** 6PE, 6VPE, AToM, MPLS, MPLS VPN

## **Abstract**

This diploma thesis deals with issues of deployment IPv6 in MPLS environment. In the thesis are described technologies MPLS and MPLS VPN. Further the thesis describes solutions for transmission IPv6 traffic over MPLS network, IPv6 Provider Edge, IPv6 VPN Provider Edge and Any Transport over MPLS. The main goal was to design, realize and test networks for these technologies, and in these networks use Huawei routers and prove compatibility with Cisco routers.

**Keywords:** 6PE, 6VPE, AToM, MPLS, MPLS VPN

## Seznam použitých zkratek a symbolů

6PE	– IPv6 Provider Edge
6VPE	– IPv6 Provider Edge
ATM	– Asynchronous Transfer Mode
AToM	– Any Transport Over MPLS
BGP	– Border Gateway Protocol
DLCI	– Data Link Connection Identifier
DSCP	– Differentiated Services Code Point
eBGP	– exterior BGP
FEC	– Forwarding Equivalence Class
iBGP	– interior BGP
IGP	– Interior Gateway Protocol
IOS	– Internetwork Operating System
IPv4	– Internet Protocol version 4
IPv6	– Internet Protocol version 6
IT	– Information Technology
LDP	– Label Distribution Protocol
LIB	– Local Information Base
LFIB	– Local Forwarding Instance Base
LSP	– Label Switch Path
LSR	– Label Switch Router
MP-BGP	– Multiprotocol BGP
MPLS	– Multiprotocol Label Switching
NAT	– Network Address Translation
OSPF	– Open Shortest Path First

P2P	- Peer to Peer
QoS	- Quality of Service
RD	- Route Distungushier
RIPng	- Routing Information Protocol next generation
RM ISO/OSI	- Reference Model Organization for Standartization / Open Systems Interconnect
RSVP	- Resource Reservation Protocol
RT	- Route Target
TCP	- Transimission Control Protocol
TTL	- Time To Live
VC	- Virtual Circuit
UDP	- User Datagram Protocol
VPI/VCI	- Virtual Path Identifer/Virtual Circuit Identifier
VPN	- Virtual Private Network
VRF	- Virtual Routing/Forwarding
WAN	- Wide Area Network

---

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Protokol MPLS</b>	<b>2</b>
2.1	Úvod do MPLS . . . . .	2
2.2	Výhody MPLS . . . . .	2
2.3	Architektura MPLS . . . . .	3
2.3.1	Záhlaví MPLS . . . . .	4
2.3.2	Princip MPLS . . . . .	6
2.3.3	Forwarding Equivalence Class . . . . .	6
2.3.4	Výměna značek . . . . .	7
2.3.5	Label Distribution Protocol . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Technologie MPLS VPN</b>	<b>10</b>
3.1	Definice VPN . . . . .	10
3.2	Model MPLS VPN . . . . .	10
3.3	Propagace VPNv4 prefixů v MPLS VPN síti . . . . .	13
3.4	Přeposílání paketů uvnitř MPLS VPN sítě . . . . .	14
<b>4</b>	<b>IPv6 v prostředí MPLS</b>	<b>15</b>
4.1	IPv6 Provider Edge . . . . .	15
4.2	IPv6 Provider VPN Edge . . . . .	17
4.3	Any Transport over MPLS . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Návrh a realizace jednotlivých řešení</b>	<b>22</b>
5.1	Realizace IPv6 Provider Edge . . . . .	22
5.1.1	Konfigurace 6PE . . . . .	24
5.1.2	Testování a ověření správné funkčnosti technologie 6PE . . . . .	29
5.2	Realizace IPv6 VPN Provider Edge . . . . .	33
5.2.1	Konfigurace 6VPE . . . . .	35
5.2.2	Testování a ověření správné funkčnosti technologie 6VPE . . . . .	37
5.3	Realizace Any Transport over MPLS . . . . .	42



---

5.3.1	Konfigurace řešení AToM . . . . .	44
5.3.2	Testování a ověření správné funkčnosti technologie AToM . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Použitá literatura</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>53</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>53</b>
<b>A</b>	<b>Výpis kompletní konfigurace 6PE</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Výpis kompletní konfigurace 6VPE</b>	<b>X</b>
<b>C</b>	<b>Výpis směrovacích tabulek na CE směrovačích v realizaci 6VPE</b>	<b>XXVII</b>
<b>D</b>	<b>Výpis kompletní konfigurace AToM</b>	<b>XXXI</b>
<b>E</b>	<b>Výpis směrovacích tabulek na CE směrovačích v realizaci AToM</b>	<b>XLII</b>

## 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou protokolu IPv6 v prostředí MPLS. V současné době je zde IPv6 protokol přes 20 let, avšak pokrytí Internetu a sítí všeobecně tomu neodpovídá. Cílem této práce je ukázat možnosti nasazení IPv6 protokolu v prostředí poskytovatelů služeb, které bývá často postaveno na technologii MPLS.

V teoretické části diplomové práce bude nejdříve popsána technologie MPLS, její výhody, architektura a funkcionality. Následně popíši asi nejčastější aplikaci MPLS a to MPLS VPN. Tato technologie sice nijak není vázána na IPv6 protokol, ovšem technologie IPv6 VPN Provider Edge z ní vychází. Je tedy vhodné jí porozumět. Po těchto kapitolách bude následovat popis jednotlivých řešení přenosu IPv6 přes MPLS síť a to IPv6 Provider Edge, IPv6 VPN Provider Edge a Any Transport over MPLS. Vysvětlím zde princip jednotlivých řešení, jejich výhody a nevýhody.

V praktické části pak tedy pro jednotlivá řešení navrhnu a realizuji síť, které budu testovat v laboratorních podmínkách. Při testování budu také ověřovat kompatibilitu mezi zařízeními od firmy Cisco a od firmy Huawei.

## 2 Protokol MPLS

### 2.1 Úvod do MPLS

MPLS (Multiprotocol Label Switching) je protokolově nezávislá technologie využívána převážně v páteřních sítích poskytovatelů služeb, kde nahrazuje tradiční směrování založené na IP adresách a směrovacích tabulkách. Místo tradičního směrování tato technologie pracuje se značkami (anglicky labels) a pomocí nich přeposílá pakety přes síť.

Idea MPLS vychází z technologií představených dříve jako „Cell Switch Router“, „IP switching“ a „tag switching“. První MPLS pracovní skupina vznikla v roce 1997 a první RFC č. 2547 bylo vydáno v roce 1999 s názvem „BGP/MPLS VPN“

Princip MPLS spočívá v tom, že směrovače si navzájem vymění značku a vytvoří mapování „label-to-label“. Tyto značky se přidávají k IP paketům mezi záhlaví druhé a třetí vrstvy a umožní tím směrovačům přeposílat pakety na základě značek a ne na základě IP adres.

Technika založená na přepínání značek není úplně nová. WAN technologie Frame Relay a ATM ji používají k přesunu rámců nebo buněk přes síť. Hlavní výhodou MPLS oproti těmto technologiím je její nezávislost na protokolu ať už druhé nebo třetí vrstvy RM ISO/OSI modelu. V rámci ISO/OSI modelu můžeme tuto technologii zařadit právě mezi druhou a třetí vrstvu, proto se také někdy říká, že je to technologie 2.5 vrstvy[2][6].

### 2.2 Výhody MPLS

Původním cílem při vývoji MPLS bylo zrychlit přenos dat v páteřních sítích poskytovatelů služeb. Přeposílání za pomoci značek je rychlejší než klasické směrování na základě IP adresy. U směrování postaveném na IP adresách se musí vypočítat síťová adresa, která následně musí být porovnána ve směrovací tabulce. Navíc samotná značka má délku 20 bitů, zatímco IP adresa 32 bitů, což také přispívá k urychlení. Avšak v dnešní době už nezáleží na rychlosti přeposílání, protože páteřní směrovače mají technologie pro rychlejší přeposílání[1]. Ovšem MPLS nabízí další řadu benefitů díky kterým je tak populární a to:

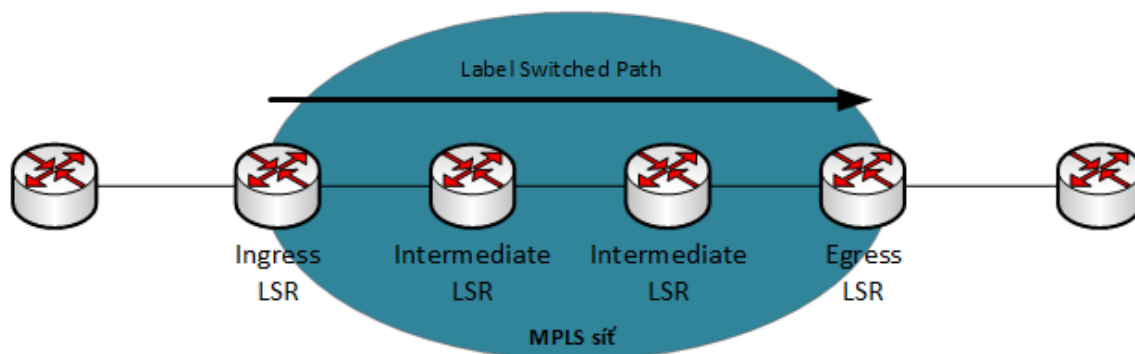
- Použití jednotné síťové infrastruktury, která je schopná pracovat s jakýmkoliv protokolem ať už druhé (např. Frame Relay, ATM, Ethernet) nebo třetí (např. IPv4, IPv6) vrstvy.
- Zajištění lepší integrace IP přes ATM.
- Poskytovatelé služeb, kteří provozují BGP ho nemusí provozovat v celé síti, ale pouze na hraničních směrovačích tzv. „BGP-free core“
- Peer-to-Peer model pro MPLS VPN
- Ovlivňování cesty, kterou se bude provoz přenášet tzv. „Traffic Engineering“

### 2.3 Architektura MPLS

Architektura MPLS sítě je tvořena třemi typy směrovačů. Všechny směrovače, na kterých se provozuje protokol MPLS jsou označovány jako LSR (Label Switch Router). Jednotlivé typy jsou:

- **Ingress LSR** - Vstupní LSR. Přijme paket, který neobsahuje MPLS záhlaví. Vloží MPLS záhlaví a odešle paket na příslušné výstupní rozhraní.
- **Egress LSR** - Výstupní LSR. Přijme paket, ve kterém je už obsaženo MPLS záhlaví, toto záhlaví odstraní a odešle paket na příslušné rozhraní.
- **Intermediate LSR** - Vnitřní LSR. Přijme paket, ve kterém je už obsaženo MPLS záhlaví a provede příslušnou operaci (pop, push, swap) a odešle jej na příslušné rozhraní.

Na obrázku 2.1 můžeme vidět jednoduchý příklad MPLS sítě kde je zobrazena „Label Switched Path“ což je sekvence jednotlivých LSR, kterými projde paket skrz MPLS síť. První LSR v LSP je ingress LSR a poslední je egress LSR, mezi nimi jsou intermediate LSR. LSP je označena šipkou, která určuje směr, protože LSP je vždy jednosměrná. Mezi dvěma stejnými hraničními LSR mohou být různé LSP[1].



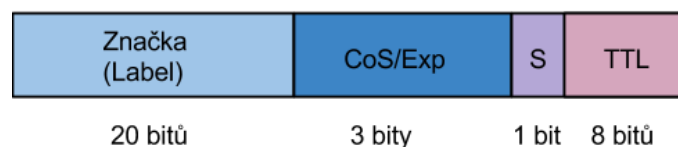
Obr. 2.1 Architektura MPLS

Každé LSR musí být schopno provádět tři typy operací se značkami a to:

- **pop** - odstraní jednu nebo více značek
- **push** - přidá jednu nebo více značek
- **swap** - odstraní jednu značku z vrchu zásobníku a vloží novou značku na vrch zásobníku

### 2.3.1 Záhlaví MPLS

Jak již bylo zmíněno v sítích s MPLS, se pakety přenáší mezi směrovači za pomoci značek. Na obrázku 2.2 je zobrazeno MPLS záhlaví, toto záhlaví se vkládá mezi záhlaví spojové a síťové vrstvy. MPLS záhlaví obsahuje pole label o velikosti 20 bitů a může obsahovat hodnoty od 0 po  $2^{20} - 1$  (1 048 575), kde hodnoty 0 - 15 jsou rezervovány pro zvláštní případy. Další pole CoS\Exp má velikost 3 bity a bylo vyhrazeno pro experimentální účely. Dnes se obvykle používá pro klasifikování provozu v QoS.



Obr. 2.1 MPLS záhlaví

Pole S neboli Stack má velikost 1 bit, jelikož můžeme MPLS záhlaví vrstvit a v paketu tudíž nemusí být pouze jedno, tak toto pole slouží k identifikování posledního návěští v řadě, pokud je tedy návěští poslední, pole má hodnotu 1. Na obrázku 2.2 můžeme vidět vrstvení jednotlivých MPLS návěští. Toto vrstvení využívá například technologie AToM.

Značka (Label)	CoS/Exp	0	TTL
Značka (Label)	CoS/Exp	0	TTL
· · ·			
Značka (Label)	CoS/Exp	1	TTL

Obr. 2.2 Vrstvení MPLS záhlaví

Poslední část záhlaví je TTL, které má stejnou funkčnost, jako u IP hlavičky tedy při každém průchodu směrovačem se o 1 zmenší a jakmile se dostane na 0 tak se paket zahodí, aby se zabránilo smyčkám v síti[1].

Jak bylo zmíněno výše, značky hodnoty 0 - 15 jsou rezervovány pro speciální účely[2].

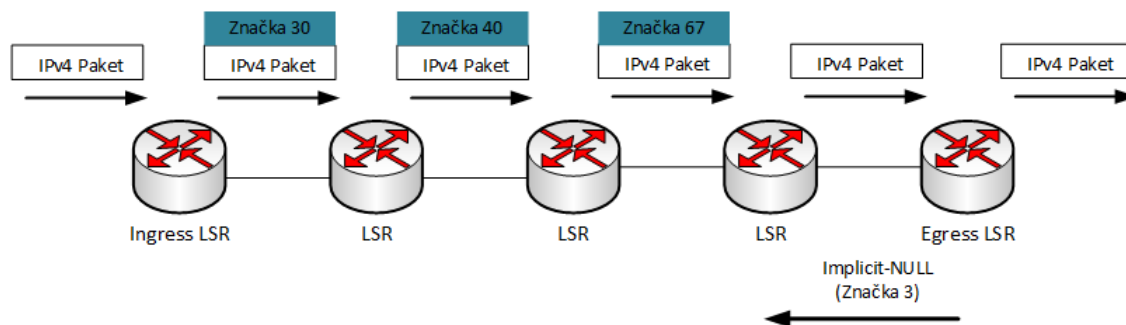
- **0 - Explicit NULL label** - tuto značku většinou používá poslední LSR (egress LSR) v LSP k informování předposledního LSR v LSP o tom že požaduje uchování záhlaví z důvodu zachování hodnoty v poli CoS/Exp. Předposlední LSR nastaví hodnotu značky na 0 a poslední LSR podle toho ví, že má značku automaticky odstranit a směrovat pomocí směrovací tabulky.
- **1 - Router alert label** - informuje směrovač o tom, že je nutné zkontrolovat celý paket a ne pouze záhlaví
- **3 - Implicit NULL label** - tento label většinou používá poslední LSR (egress LSR) v LSP k informování předposledního LSR v LSP o tom že požaduje odstranění zá-

hlaví na předposledním směrovači v MPLS síti a poslední směrovač už směřuje paket podle směrovací tabulky.

- **14 - Operation and Maintenance label** - značí paket sloužící k monitorování a detekci chyb.

### 2.3.2 Princip MPLS

Princip přeposílání paketů pomocí značek je ukázán na obrázku 2.3 kde můžeme vidět jednoduchou MPLS síť. Paket vstupuje do sítě a první směrovač podle tabulky značek přidá MPLS záhlaví se značkou 30, další směrovač si příchozí paket porovná se svou tabulkou značek a tím zjistí, kterým rozhraním má paket odeslat, značku 30 odstraní a na základě odchozího rozhraní mu přiřadí hodnotu 40. To samé provede další směrovač v cestě, odstraní značku 40 a vloží značku 67. Na předposledním směrovači je aktivována funkce penultimate hop popping, tudíž se značka odstraní a pošle na odchozí rozhraní. Poslední směrovač už směřuje na základě směrovací tabulky paket ven z MPLS sítě[1].



Obr. 2.3 Funkce MPLS

### 2.3.3 Forwarding Equivalence Class

Forwarding Equivalence Class (FEC) je skupina nebo tok paketů, které jsou přeposílány po stejné cestě a je s nimi stejně zacházeno. Všechny pakety příslušející ke stejné FEC mají stejné značky. Avšak ne všechny pakety se stejnou značkou přísluší stejné FEC[2].

---

Ingress LSR rozhoduje o příslušnosti k dané FEC na základě:

- cílové IP adresy patřící do stejného prefixu.
- multicastových paketů patřící do stejné multicastové skupiny
- paketů, které mají stejnou hodnotu DSCP
- rámce druhé vrstvy přicházející do MPLS sítě ze stejného virtuálního kanálu nebo (sub)rozhraní
- paketů s cílovou adresou patřící do stejné skupiny BGP prefixů ze stejným BGP next hopem

### 2.3.4 Výměna značek

Směrovače uvnitř MPLS sítě směřující pakety podle značek si nejdříve musí vyměnit informace o značkách. Jsou zde dvě možnosti jak to udělat, buď pomocí nějakého existujícího směrovacího protokolu, nebo pomocí externího protokolu sloužícího k distribuci značek. První možnost má tu výhodu, že směrování a distribuce značek je synchronizována. To znamená, že nemůžeme mít značku, ke které chybí prefix nebo naopak. Bohužel vnitřní směrovací protokoly tuto funkci nepodporují a je nutná její implementace pro její použití BGP, ovšem to je externí směrovací protokol a uvnitř sítě by jeho použití bylo nevhodné. Nicméně BGP se používá primárně pro distribuci značek v MPLS VPN.

Vhodnějším řešením je použít některý stávající protokol sloužící k distribuci značek, který je nezávislý na směrovacím protokolu[2]. Je zde několik možností:

- **Tag Distribution Protocol** - předchůdce LDP protokol, Cisco proprietární.
- **Label Distribution Protocol** - zřejmě nepoužívanější protokol pro výměnu značek uvnitř AS
- **RSVP** - protokol, který se využívá pro výměnu značek u technologie MPLS Traffic Engineering



### 2.3.5 Label Distribution Protocol

Jak bylo zmíněno výše, LDP protokol slouží k výměně značek uvnitř autonomních systémů, Vychází z protokolu TDP. Je definován IETF RFC 5036. LDP protokol využívá dva porty UDP 646 pro objevení sousedů a TCP 646 pro navázání relace. Během objevovací fáze jsou hello pakety posílány na multicastovou adresu 224.0.0.2.

Proces pro navázání LDP relace funguje následovně. Nejdříve jsou vysílány LDP hello zprávy na UDP port 646 multicastové skupině 224.0.0.2. Každá hello zpráva obsahuje určitý hold time, do kterého musí sousední LSR odpovědět, pokud neodpoví LSR si jej odstraní z listu objevených LDP sousedů. Pokud LSR odpoví, tak potom se jeden z nich pokusí vytvořit TCP relaci na portu 646. Po té co se vytvoří TCP relace dojde k vyjednání parametrů pro LDP relaci, vyjednání relace probíhá pomocí zpráv LDP Initialization. Tyto parametry zahrnují hodnoty časovače, metodu pro distribuci značek, VPI/VCI rozsah, DLCI rozsah. Pokud se LSR shodnou na daných parametrech naváží mezi sebou LDP relaci. Po sestavení LDP relace se periodicky ověřuje dostupnost pomocí keepalive zpráv.

Po té co je navázána LDP relace může začít proces pro vyjednání značek. Každé LSR si nejdříve pro každý IP prefix ve směrovací tabulce přiřadí hodnotu značky tzv. „local binding“ následně tyto přiřazené značky s prefixy pošle svým sousdům tzv. „remote binding“ všechny tyto záznamy se ukládají společně do LIB (Local Information Base) tabulky[1], ukázka této tabulky je na obrázku 2.4.

Jak lze vidět na obrázku 2.4 v LIB tabulce jsou uloženy všechny návrhy pro zvolení hodnoty značky. LSR si z těchto záznamů musí vybrat, který z těchto návrhů využije, určí to podle tzv. „next-hop“ pro daný prefix za pomoci směrovací tabulky. Záznam, který si vybere, pak následně vloží do LFIB (Label Forwarding Instance Base) tabulky, podle které značkuje a přeposílá pakety. LFIB tabulka je ukázána na obrázku 2.5.

```
R3#show mpls ldp bindings
tib entry: 10.0.0.0/30, rev 8
  local binding: tag: imp-null
  remote binding: tsr: 192.168.10.1:0, tag: imp-null
  remote binding: tsr: 10.0.2.1:0, tag: 18
tib entry: 10.0.1.0/30, rev 10
  local binding: tag: imp-null
  remote binding: tsr: 192.168.10.1:0, tag: 18
  remote binding: tsr: 10.0.2.1:0, tag: imp-null
tib entry: 10.0.2.0/30, rev 6
  local binding: tag: 18
  remote binding: tsr: 192.168.10.1:0, tag: 17
  remote binding: tsr: 10.0.2.1:0, tag: imp-null
tib entry: 192.168.10.0/24, rev 11
  remote binding: tsr: 192.168.10.1:0, tag: imp-null
tib entry: 192.168.10.1/32, rev 2
  local binding: tag: 16
  remote binding: tsr: 10.0.2.1:0, tag: 16
tib entry: 192.168.20.1/32, rev 4
  local binding: tag: 17
  remote binding: tsr: 192.168.10.1:0, tag: 16
  remote binding: tsr: 10.0.2.1:0, tag: 17
```

Obr. 2.4 Local Information Base

```
R3#show mpls forwarding-table
Local   Outgoing   Prefix          Bytes tag   Outgoing     Next Hop
tag     tag or VC  or Tunnel Id   switched   interface
16      Untagged   192.168.10.1/32  0          Fa0/0        10.0.0.1
17      17         192.168.20.1/32  0          Fa1/0        10.0.1.2
18      Pop tag    10.0.2.0/30     0          Fa1/0        10.0.1.2
```

Obr. 2.5 Label Forwarding Instance Base

### 3 Technologie MPLS VPN

MPLS VPN je nejrozšířenější a nejpoužívanější implementace MPLS. Mnoho poskytovatelů služeb touto technologií nahradilo Frame Relay a ATM služby. MPLS VPN poskytuje rozšiřitelnost a rozdělení sítě do menších oddělených sítí, toto rozdělení je často nezbytné v rozsáhlých společnostech kde v IT infrastruktuře musí být izolované jednotlivé sítě pro každé oddělení.

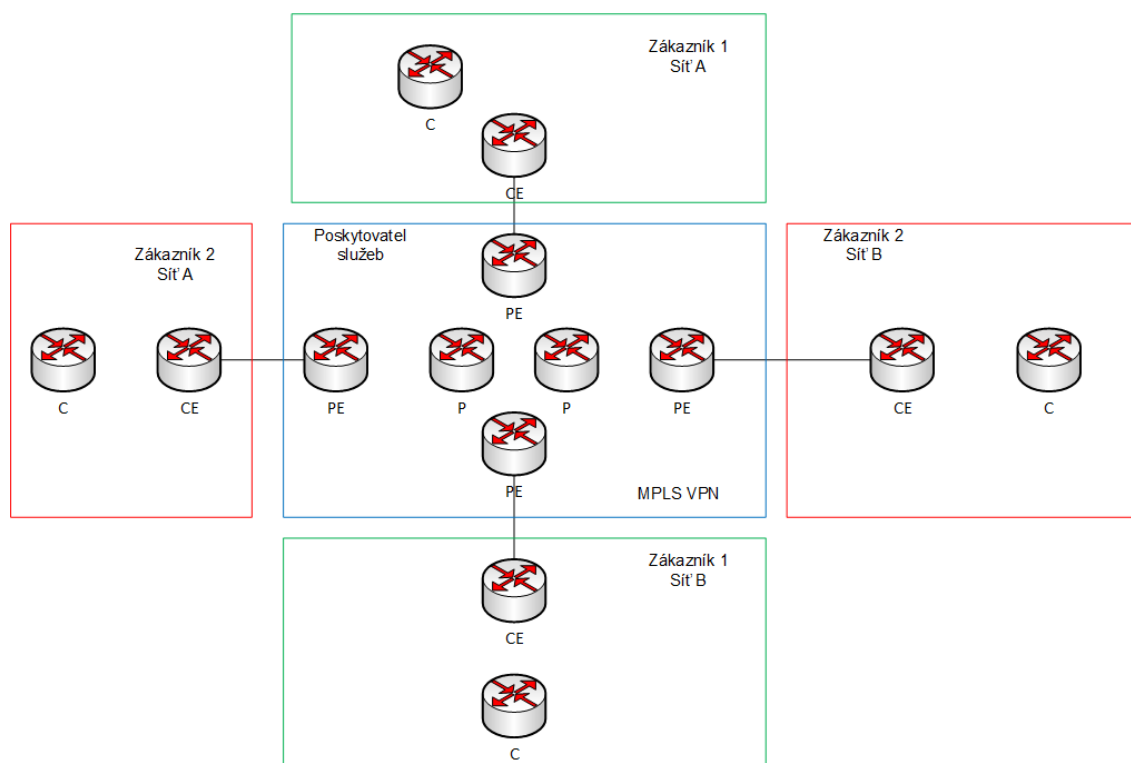
#### 3.1 Definice VPN

VPN (Virtual Private Network) je emulovaná privátní síť, která je vytvořena přes stávající infrastrukturu. VPN může poskytovat komunikaci na druhé nebo třetí vrstvě OSI modelu. VPN obvykle propojuje jednotlivé části sítě jednoho zákazníka přes společnou infrastrukturu poskytovatele služeb. Pokud je potřeba mohou se propojovat i sítě mezi jednotlivými zákazníky, výhodou je že není nutný zásah do stávající infrastruktury[1].

#### 3.2 Model MPLS VPN

Na obrázku 3.1 je ukázán typický model MPLS VPN, jsou zde dva zákazníci, každý z nich má dvě sítě, které jsou propojeny přes síť poskytovatele služeb. V modelu MPLS VPN jsou čtyři typy směrovačů:

- **PE** - hraniční směrovač poskytovatele služeb
- **P** - směrovač uvnitř sítě poskytovatele služeb
- **CE** - hraniční směrovač zákazníka
- **C** - směrovač uvnitř sítě zákazníka



Obr. 3.1 Typický příklad použití technologie MPLS VPN

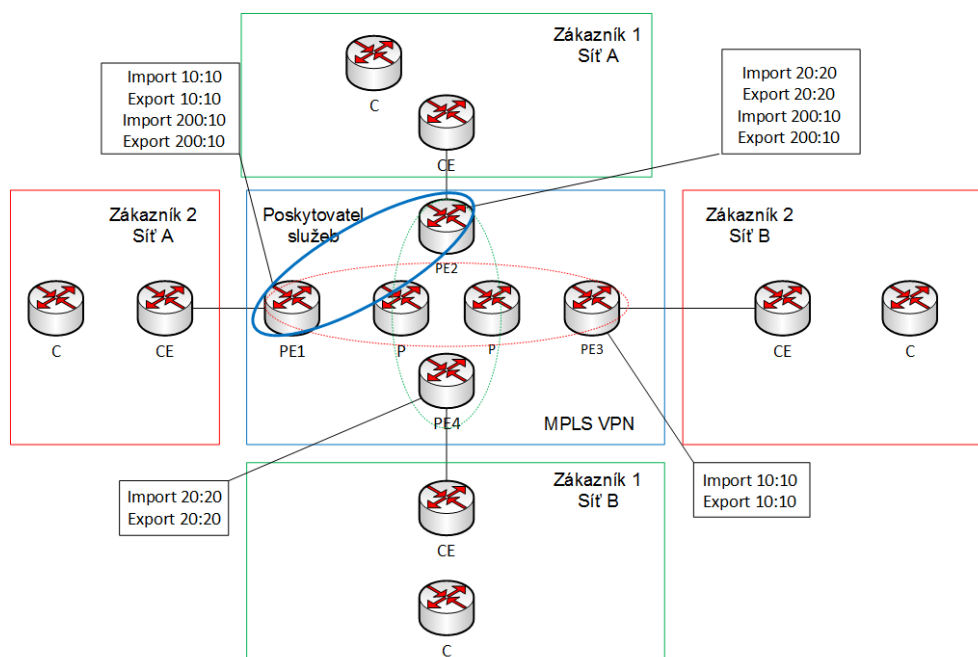
V MPLS VPN modelu musí být hraniční směrovač poskytovatele služeb přímo připojen s hraničním směrovačem zákazníka. Na směrovačích poskytovatele služeb P a PE se provozuje MPLS to znamená že tyto směrovače musí být schopny distribuovat značky mezi sebou a přeposílat označované pakety. Na směrovačích zákazníka C a CE není nutné provozovat MPLS. Jelikož CE a PE spolupracují na 3. vrstvě je nutné mezi nimi provozovat směrovací protokol nebo statické směrování. Směrovací informace mezi jednotlivými sítěmi zákazníka se vyměňují za pomoci protokolu MP-BGP provozovaného na PE směrovačích. P směrovače nevědí nic o sítích ani směrovacích informacích zákazníků[1][7].

Jednou z výhod MPLS VPN je že můžeme u jednotlivých zákazníků použít stejné prefixy, to je možné, protože PE směrovače mají pro každou síť zákazníka virtuální směrovací tabulku neboli VRF (Virtual Routing/Forwarding). Tyto virtuální tabulky se používají pouze pro směrování v rámci jednoho zákazníka pro směrování uvnitř sítě posky-

---

tovatele služeb se používá globální směrovací tabulka. Abychom mohli používat stejné síťové adresy pro různé zákazníky je nutné je odlišit od sebe pomocí identifikátoru. K tomu se používá „Route Distinguisher“. Tento identifikátor má 64 bitů a zapisuje se jako číslo autonomního systému a číslo VRF tabulky oddělené dvojtečkou (např. 10:10). RD v kombinaci s IPv4 prefixem tvoří VPNv4 prefix (např. 10:10:192.168.0.0/24). Tento prefix pak mezi sebou přenáší PE směrovač pomocí MP-BGP protokolu.

Tímto způsobem tvoříme intranet (uzavřená síť pro jednoho zákazníka). Pokud chceme tvořit extranet tj. propojení sítí různých zákazníků mezi sebou, tak k tomu slouží tzv. „route target“. RT slouží k importu a exportu VPNv4 prefixů u PE směrovačů. Pro vložení VPNv4 prefixu do dané VRF tabulky musí vzdálený PE směrovač exportovat VPNv4 prefix s RT např. 2:2 a směrovač ve kterém je VRF tabulka musí mít nastaven import s RT 2:2 tj. exportovaný VPNv4 prefix musí mít stejný RT jako nastavený import pro danou VRF tabulku pokud nedojde ke shodě VPNv4 prefix se zahodí[1]. Na obr. 3.2 můžeme vidět použití RT kde zákazník 1 si vyměňuje VPNv4 prefixy mezi sítěmi A a B za pomoci RT 10:10, zákazník 2 za pomoci RT 20:20 a mezi sítěmi A obou zákazníků je vytvořen extranet pomocí RT 200:10.



Obr. 3.2 Použití Route Targetu

### 3.3 Propagace VPNv4 prefixů v MPLS VPN síti

K přenosu zákaznických síťových prefixů mezi různými oblastmi se používá protokol MP-BGP i interní směrovací protokoly. Mezi hraničním směrovačem zákazníka a hraničním směrovačem poskytovatele služeb se vyměňují IPv4 prefixy za pomoci interního směrovacího protokolu nebo externího BGP. Mezi hraničními směrovači poskytovatele služeb se vyměňují VPNv4 prefixy a značky za pomoci interního BGP.

Hraniční směrovač PE obdrží IPv4 prefix od CE skrz IGP nebo eBGP. Tento prefix vloží do VRF tabulky na základě vstupního rozhraní. Následně je IPv4 prefix redistribuován do MP-BGP a je k němu přidán RD a tím se vytvoří VPNv4 prefix a dále se přidá RT. Potom se mezi PE směrovači přenesou VPNv4 prefix spolu s MPLS značkou a RT pomocí iBGP protokolu. PE směrovač na druhé straně podle RT ví do které VRF tabulky má VPNv4 prefix vložit odstraní RD a do VRF vloží IPv4 prefix. Nakonec se IPv4 prefix propaguje do zákaznické sítě pomocí IGP nebo eBGP.

### **3.4 Přeosílání paketů uvnitř MPLS VPN sítě**

K přenosu paketů v MPLS VPN síti se využívají dvě značky. Jedna značka je vnější a druhá vnitřní. K přenosu paketů uvnitř sítě poskytovatele služeb se používá vnější značka tuto značku znají hraniční směrovače a směrovače uvnitř sítě poskytovatele služeb tedy P a PE a informace o těchto značkách si vyměňují pomocí protokolu LDP. S vnitřní značkou pracují hraniční směrovače poskytovatele služeb PE. Tato značka slouží k přenosu paketu mezi VPN sítěmi. VPNv4 prefixy a informace o vnitřní značce si PE směrovače vyměňují pomocí MP-BGP protokolu.

## 4 IPv6 v prostředí MPLS

Protokol IPv6 je zde přes 20 let. Důvody proč zatím IPv6 není nasazena ve větším měřítku jsou, prodloužení životnosti IPv4 díky technologii NAT. Také zde chyběla podpora od výrobců a nebyla motivace pro nasazení tohoto protokolu. Nicméně několik let zpět se začali měnit požadavky na počítačové sítě. Nyní máme nové typy aplikací, které využívají P2P model, u kterých NAT není dostačující. Objevil se enormní nárůst uživatelů Internetu a to ne pouze připojených přes PC, ale i přes různé mobilní zařízení. V současnosti už není problém u výrobců a běžně nabízejí zařízení poskytující podporu IPv6. Díky tomu poskytovatelé služeb začali nasazovat IPv6 služby[3].

Díky úspěšnosti technologie MPLS VPN, má dnes mnoho poskytovatelů služeb ve svých sítích nasazeno MPLS. Pokud chce zákazník být připojen pomocí protokolu IPv6, vyskytuje se zde problém přenosu paketů přes MPLS síť. Tento problém spočívá v tom, že dosud není implementován LDP protokol pro IPv6. V době psaní této práce vyšlo RFC 7552 (Update to LDP for IPv6), ale výrobci zatím neimplementovali toto řešení do svých systémů. Z toho vyplývá, že nemůžeme mít infrastrukturu poskytovatele služeb postavenou na IPv6 a využívat přímo MPLS technologii.

Existuje několik řešení jak zajistit přenos IPv6 paketů zákazníků přes MPLS IPv4 síť poskytovatele služeb:

- IPv6 Provider Edge
- IPv6 VPN Provider Edge
- Any Transport over MPLS

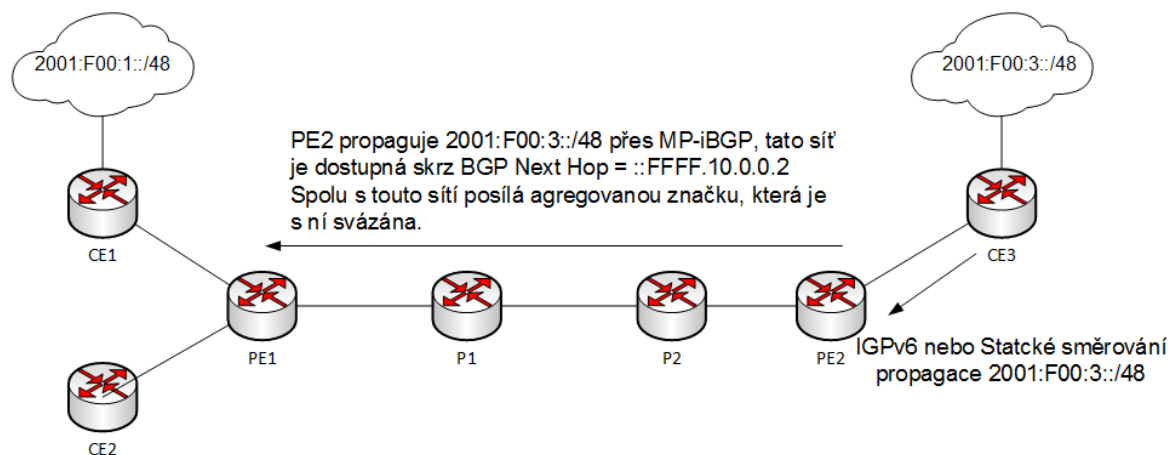
### 4.1 IPv6 Provider Edge

IPv6 Provider Edge neboli 6PE je název řešení firmy Cisco pro přímý přenos paketů přes MPLS síť. 6PE řešení je typicky nasazováno u poskytovatelů služeb, kteří mají páteřní síť postavenou na technologii MPLS a podporují MPLS VPN nebo jiné MPLS služby. Avšak použití MPLS VPN zde není podmínkou. Výhodou tohoto řešení je, že poskytovatel služeb nemusí upgradovat celou síť ale pouze své hraniční směrovače, které musí pracovat v tzv. „dual-stacku“, což znamená, že musí na nich současně provozovat IPv4



a IPv6. Dále musí hraniční směrovače podporovat protokol MP-BGP, který je využit pro výměnu značek vztahujícím se k IPv6 prefixům. Na směrovačích uvnitř MPLS sítě není nutné provádět žádné změny ať už softwaru nebo konfigurace.

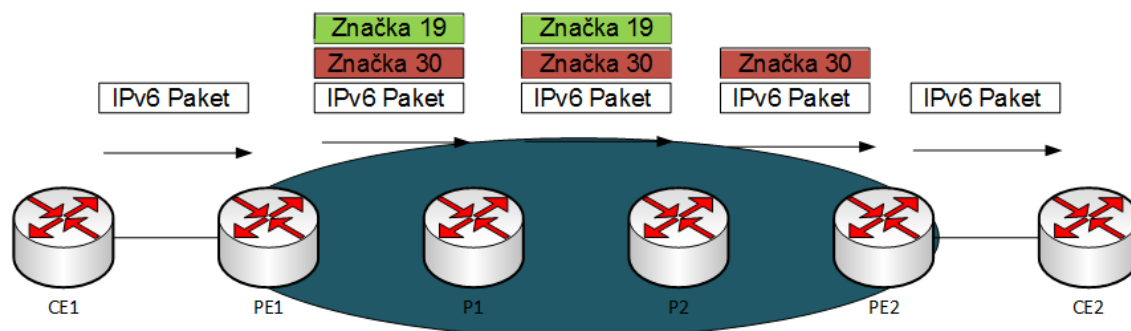
Na obr. 4.1 můžeme vidět, jak probíhá výměna značek. Hraniční směrovače zákazníka (CE) jsou spojeny s hraničním směrovačem poskytovatele služeb (PE) pomocí fyzického nebo logického nativního IPv6 rozhraní. Mezi CE a PE lze použít jakýkoliv směrovací protokol (např. OSPF, eBGP), pro zajištění dostupnosti IPv6 sítí. Lze použít i statické směrování. Zákaznické IPv6 prefixy jsou vyměňovány skrze PE směrovače přes MP-BGP relaci pracující na IPv4. PE směrovače zprostředkují svou IPv4 adresu jako BGP next-hop pro IPv6 prefixy. Pole BGP next-hop je mapováno z IPv4 adresy na IPv6 adresu PE směrovače. PE směrovače vloží svou IPv4 adresu do IGP směrovací tabulky IPv4/MPLS sítě. Tudíž každý směrovač v MPLS doméně je schopen přiřadit značku k odpovídající cestě k PE směrovačům[4].



Obr. 4.1 6PE distribuce značek

Přenos paketu je ukázán na obr 4.2 a probíhá následujícím způsobem. Nejdříve CE1 směrovač odešle IPv6 paket směrovači PE1. Ingress směrovač PE 1 tuneluje data přes LSP směrem k Egress směrovači PE2, to znamená že PE1 směrovač zapouzdří paket dvěma značkami. Jako vnitřní vloží agregovanou IPv6 značku, která je svázána s cílovým IPv6 prefixem. Jako vnější se vloží značka spojená s IPv4 prefixem PE směrovače. P2 směrovač odstraní vnější značku a odešle paket PE2 směrovači. PE2 směrovač identifikuje IPv4

adresu, která je odovzena z IPv4 adresy mapované na IPv6 v poli next-hop protokolu BGP korespondující s IPv6 prefixem. Následně je samotný IPv6 paket přeposlán CE2 směrovači.



Obr. 4.2 6PE přenos IPv6 paketu

K přenosu IPv6 paketů by zde stačila pouze jedna značka. Dvě značky se používají aby nebyla MPLS síť afektována. Kdyby zde nebyla použita vnitřní značka, tak by směrovač P2 při použití funkce penultimate hop popping musel umět pracovat s čistým IPv6 paketem aby mohl nastavit správně protokol 3. vrstvy v rámci[4].

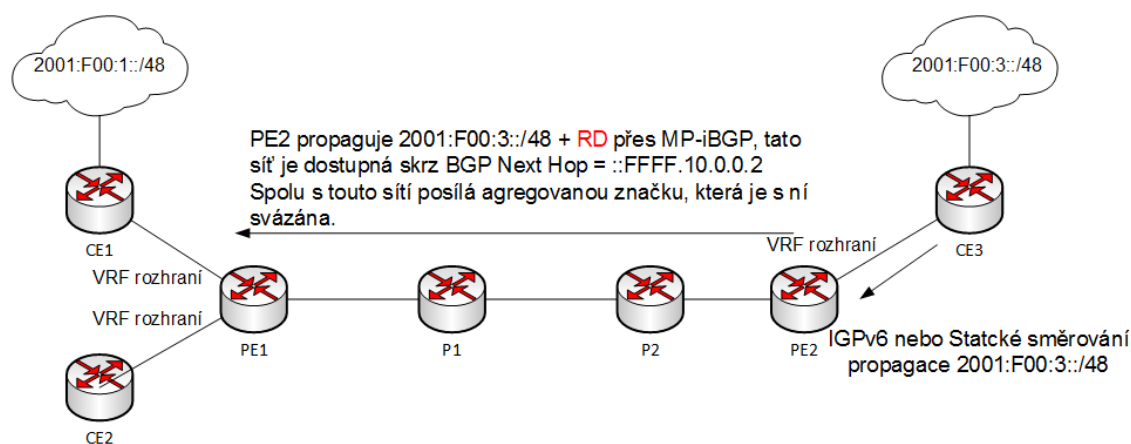
Jak už bylo zmíněno jedna z hlavních výhod 6PE řešení spočívá v tom, že poskytovatel služeb nemusí nijak upravovat stávající MPLS síť. Z toho vyplývá že jsou zde minimální rizika a náklady při nasazení tohoto řešení. Další výhodou tohoto řešení je přenos IPv6 paketů, které jsou přímo značkovány bez přidávání extra hlavičky jako by tomu bylo při použití řešení AToM. Nevýhodou je zde že 6PE řešení nepodporuje multicastový provoz a jelikož zde nejsou VRF tabulky tak připojení zákazníci mají přístup do všech sítí skrz globální směrovací tabulku, to se ovšem týká pouze IPv6 protokolu nijak to neovlivní MPLS VPN službu na IPv4 protokolu.

## 4.2 IPv6 Provider VPN Edge

IPv6 VPN Provider Edge neboli 6VPE je další způsob jak přenášet IPv6 provoz od zákazníka skrz IPv4/MPLS síť poskytovatele služeb. Toto řešení je vhodné pro zákazníky, kteří využívají VPN. I když 6PE řešení se může zdát jako VPN tak není, protože je zde možná dostupnost mezi zákazníky skrz globální směrovací tabulku. Oproti tomu 6VPE

využívá VRF tabulky pro oddělení VPN jednotlivých zákazníků a je tedy zajištěno, aby se zákazník nedostal nikam jinam než do své dané sítě. 6VPE pracuje velice podobně jako MPLS VPN pro IPv4.

V MPLS síti je spuštěn IPv4 IGP směrovací protokol a protokol pro výměnu značek. Mezi hraničním směrovačem poskytovatele služeb a hraničním směrovačem zákazníka je spuštěn IPv6 IGP směrovací protokol nebo statické směrování. Hraniční směrovače poskytovatele služeb musí pracovat v „dual-stacku“. Dále tyto směrovače udržují VRF tabulky pro jednotlivé VPN zákazníků. Hraniční směrovače poskytovatele služeb mají navázanou „full-mesh“ MP-iBGP relaci, která slouží k výměně IPv6 VPN prefixů a jejich značek. Tyto IPv6 prefixy jsou zde označovány jako vpnv6 prefixy. Tento VPNv6 prefix je tvořen podobně jako VPNv4 prefix, použije se 64 bitový route distinguisher, který se vloží před 128 bitový prefix IPv6 sítě[5]. Použití VPNv6 prefixu je stejné jako u VPNv4 prefixu a lze tvořit extranety za pomoci route targetu viz kapitola 3.2.



Obr. 4.3 6VPE distribuce značek

Distribuci značek a VPNv6 prefixu můžeme vidět na obr. 4.3. Výměna značek je totožná jako u 6PE řešení jediný rozdíl je u propagace IPv6 prefixu sítě, ke kterému je přidán route distinguisher a tedy se tímto propaguje vpnv6 prefix. Samozřejmě je nutné zařadit rozhraní PE směrovače směrem k zákazníkům do dané VRF tabulky.

Přenos samotného IPv6 paketu skrz síť je stejný jako u 6PE řešení, jediný rozdíl je, že IPv6 paket prochází VRF rozhraním a VRF tabulkou. Uvnitř MPLS sítě se opět používají

dvě značky, kde vnitřní značka je z MP-iBGP protokolu a vnější z LDP. Z vnitřní značky pak následně hraniční směrovač poskytovatele služeb zjistí do které VRF tabulky IPv6 paket patří a odešle jej na příslušné VRF rozhraní.

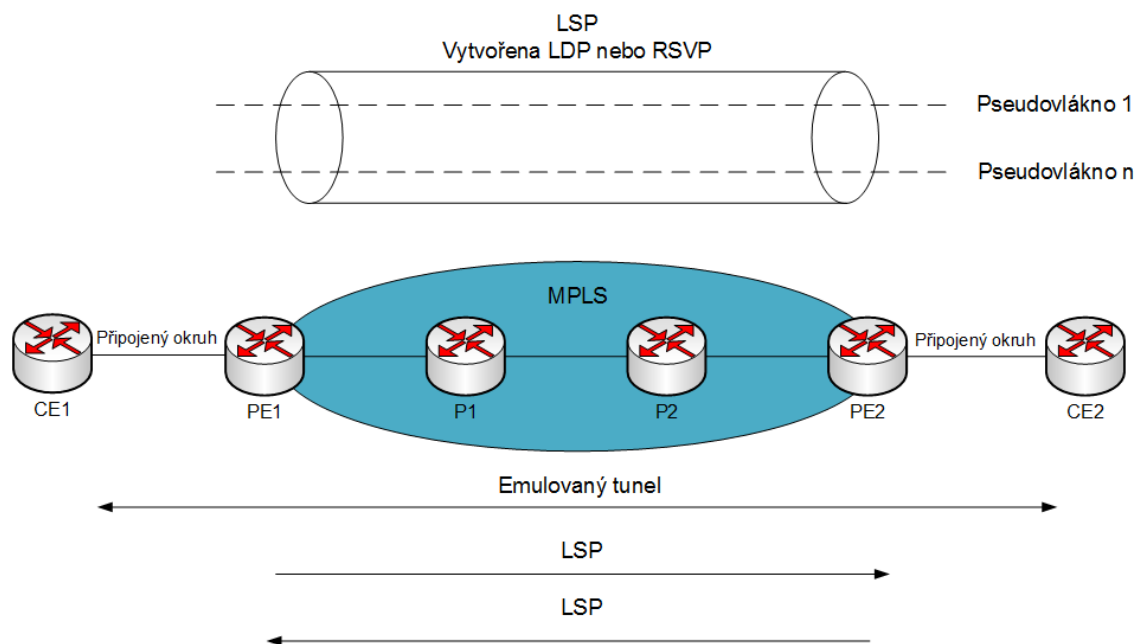
Výhody 6VPE řešení jsou podobné jako u 6PE, směrovače uvnitř sítě poskytovatele služeb není nutné nijak upgradovat. IPv6 provoz může využívat výhod MPLS jako je „fast re-route“ nebo traffic engineering. Navíc získáme pro koncové uživatele možnost použití VPN služeb. O 6VPE technologii by se v podstatě dalo říct že je to 6PE technologie doplněná o VRF lite.

### 4.3 Any Transport over MPLS

Technologie Any Transport over MPLS neboli AToM byla vyvinuta z důvodu potřeby přenosu různých technologií druhé vrstvy (např. Frame Relay, ATM) přes sdílenou MPLS síť poskytovatele služeb. Tato technologie vytváří VPN na druhé vrstvě. Z toho je zřejmé že tato technologie nebyla přímo určena pro přenos IPv6 provozu, avšak díky zapouzdření druhé vrstvy je to možné. Má to ovšem tu nevýhodu že se v hlavičce navíc přenáší informace o druhé vrstvě. Podstatnou výhodou tohoto řešení je absence nutnosti jakéhokoliv upgradu zařízení ve stávající MPLS síti. Ani hraniční směrovače poskytovatele služeb nemusí podporovat IPv6 protokol.

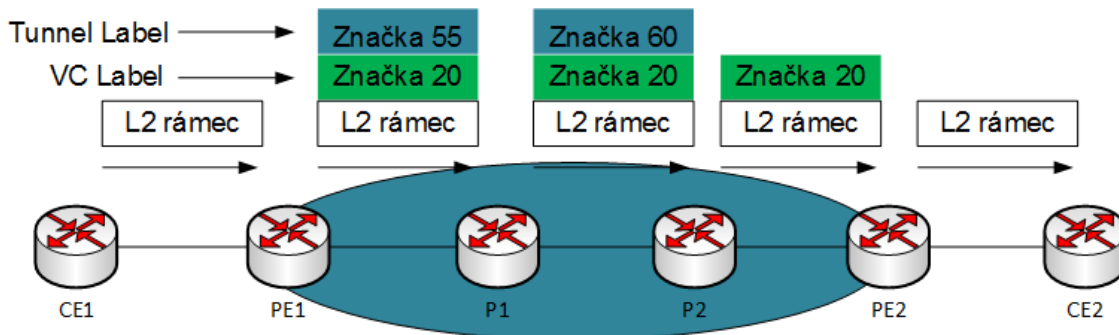
Technologie AToM využívá tzv. pseudovlákna. Skrze tato pseudovlákna se přenáší zákaznický provoz 2. vrstvy přes jádro MPLS sítě. Pseudovlákno je spojení sestavené mezi hraničními směrovači poskytovatele služeb, které emuluje vlastnosti spojení 2. vrstvy. Pseudovlákna využívají tunelování, kde rámce druhé vrstvy jsou značkovány. Technologie AToM využívá stejně jako MPLS VPN dvě značky.

Na obrázku 4.4 je vyobrazen referenční model pro emulaci pseudovláken skrz MPLS síť. Vidíme že je zde tunel mezi hraničními směrovači, tento tunel je tvořen LSP, slouží k přenosu skrz MPLS jádro a je pro něj použita vnější značka, která se nazývá „tunnel-label“ pomocí této značky můžeme manipulovat s danou LSP v traffic engineeringu pokud použijeme RSVP protokol pro distribuci značek. Vnitřní značka je svázána s daným pseudovláknem, které je součástí tunelu. Značka slouží k určení virtuálního kanálu na výstupním směrovači. Tato značka je nazývána „virtual circuit label“(VC label) nebo „pseudowire label“, tyto značky jsou vyměňovány mezi hraničními směrovači pomocí



Obr. 4.4 Referenční model emulace pseudovláken v MPLS síti

cíleného LDP spojení. Nesmíme zapomenout že LSP je jednosměrná, tedy před sestavením pseudovláknna musí existovat pár LSP mezi hraničními směrovači, jednu pro každý směr[1][8].



Obr. 4.5 Přenos rámce přes AToM síť

Samotný přenos rámce skrz AToM síť lze vidět na obrázku 4.5. Nejdříve rámec od zákazníka přichází na vstupní rozhraní Ingress PE1 směrovače. Následně tento směrovač přidá VC label a nad ní vloží tunnel label. Tunnel label je asociována k IGP a mění se

po průchodu každým směrovačem. Na předposledním směrovači v jádru MPLS sítě je použita funkce penultimate hop popping a k PE2 dorazí rámeček pouze s vnitřní značkou. V LFIB tabulce zjistí, na které rozhraní má rámeček přeposlat, odstraní značku a rámeček odešle na toto rozhraní[1].

Jak lze vidět technologie AToM má dvě nevýhody pro přenos IPv6 provozu, první je zbytečný přenos informace o druhé vrstvě čímž se nám i zvětšuje velikost rámečku přidáváním extra hlavičky a díky tomu musíme dávat pozor na fragmentaci. Druhou nevýhodou je správa samotných tunelů, protože samotné tunely lze vytvářet pouze spojením bod-bod, při větším počtu zákazníků může být správa tunelu obtížná. Ve výsledku tedy toto řešení může být vhodné nasadit pokud nechceme nijak zasahovat do již postavené infrastruktury a počet zákazníků požadující přenos IPv6 provozu není nějak příliš vysoký. Toto řešení bych doporučil spíše jako dočasné než se naplánuje např. přechod na 6VPE.

## 5 Návrh a realizace jednotlivých řešení

Jedním z cílů diplomové práce, bylo navrhnout a realizovat různé druhy sítí MPLS v kombinaci s protokolem IPv6. V této kapitole je popsán návrh, realizace a testování jednotlivých sítí, které jsem vytvořil a otestoval v laboratorních podmínkách.

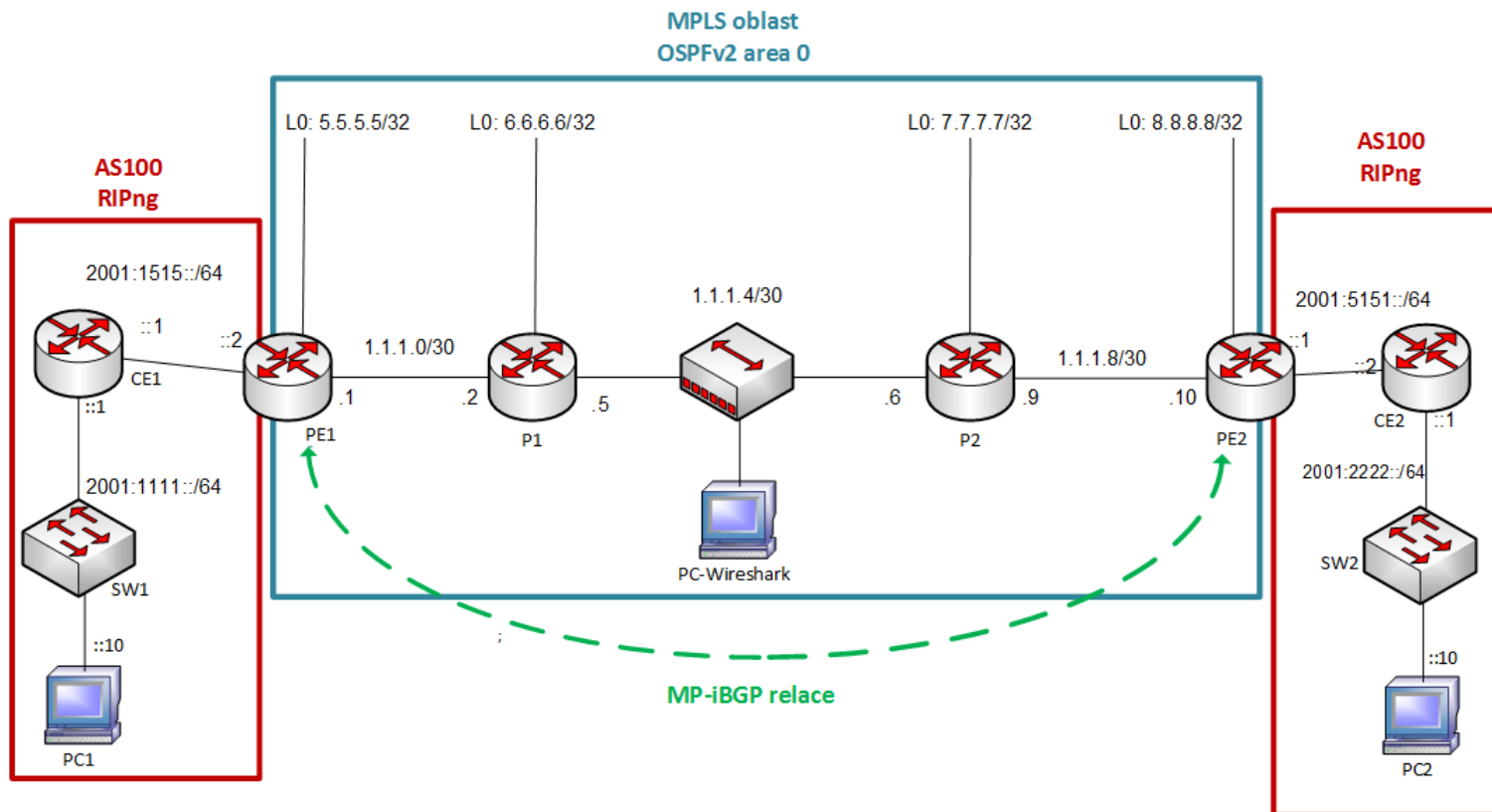
### 5.1 Realizace IPv6 Provider Edge

Pro realizaci řešení 6PE byla navržena topologie, kterou lze vidět na obrázku 5.1. Pro realizaci bylo použito zařízení od firmy Huawei řady AR1220, které je ve schématu označeno jako P2. Dále zařízení řady AR3200, které je ve schématu označeno jako CE2. Pro zbytek směrovačů byla použita zařízení od firmy Cisco řady Catalyst 2801. Na zařízeních od společnosti Huawei byl použit firmware Versatile Routing Platform (VRP) V200R003C00SPC200. Na zařízeních od společnosti Cisco byl použit firmware Internetwork Operating System (IOS) verze 12.4(22)T.

Původně mělo být jedno zařízení od firmy Huawei použito jako hraniční směrovač PE2, aby byla ověřena kompatibilita mezi zařízeními od firmy Cisco a od firmy Huawei pro technologie 6PE a 6VPE. Bohužel k dispozici byly pouze směrovače řady AR, ve kterých v současné době není implementována podpora ani jednoho z těchto řešení. Pro realizaci by bylo nutné použít zařízení řady NetEngine.

Dále v topologii jsou použity dva L2 přepínače, které slouží pouze k připojení klientů a nebyla na nich prováděna žádná konfigurace. Na klientech PC1 a PC2 byl použit systém Ubuntu 14.04. A uprostřed topologie byl rozbočovač, ke kterému byl připojen počítač, na němž byl spuštěn program Wireshark pro zachycení a analýzu paketů.

Samotná síť byla rozdělena do dvou (resp. třech) částí. Modrá část byla síť poskytovatele služeb, ve které bylo spuštěno MPLS. Jako směrovací protokol uvnitř této části byl použit OSPF verze 2. Na směrovačích PE1 a PE2 byl spuštěn protokol BGP a mezi nimi byla sestavena MP-iBGP relace pro výměnu IPv6 prefixů a značek pro tyto prefixy. Červené části byly dvě sítě zákazníka, ve kterých byl použit jako směrovací protokol RIPng. Obě tyto sítě patřily do autonomního systému 100. Cílem bylo zajistit komunikaci mezi sítěmi zákazníka.



Obr. 5.1 Návrh topologie pro testování 6PE



### 5.1.1 Konfigurace 6PE

Samotná konfigurace byla rozdělena do třech kroků:

1. **Konfigurace IPv6 konektivity** - konfigurace klienta, CE směrovače a konfigurace linky mezi PE a CE
2. **Konfigurace MPLS jádra sítě** - konfigurace OSPFv2 a MPLS
3. **Konfigurace BGP mezi PE směrovači** - konfigurace MP-iBGP relace, redistribuce mezi BGP a RIPng

Nejdříve tedy byla nakonfigurována IPv6 konektivita na směrovači CE1. U zařízení firmy Cisco je použit systém, který má 4 úrovně zanoření. Nejdříve bylo nutné povolit směrování pro IPv6 a vytvořit instanci směrovacího protokolu RIPng, která se pojmenovala CUST-1. Následně byly na jednotlivá rozhraní vloženy IPv6 adresy a byly propagovány pomocí protokolu RIPng.

---

```
CE1>enable
CE1#configure terminal
CE1(config)#ipv6 unicast-routing
CE1(config)#ipv6 router rip CUST-1
CE1(config-router)#exit
CE1(config)#interface FastEthernet 0/0
CE1(config-if)#description connection-to-PC1
CE1(config-if)#ipv6 address 2001:1111::1/64
CE1(config-if)#ipv6 rip CUST-1 enable
CE1(config-if)#no shutdown
CE1(config-if)#exit
CE1(config)#interface FastEthernet 0/1
CE1(config-if)#description connection-to-PE1
CE1(config-if)#ipv6 address 2001:1515::1/64
CE1(config-if)#ipv6 rip CUST-1 enable
CE1(config-if)#no shutdown
CE1(config-if)#end
```

---

Tímto byla konfigurace na směrovači CE1 kompletní. Celý výpis konfigurace je v příloze A. Po konfiguraci CE1 bylo nakonfigurováno spojení mezi CE1 a PE1. Konfigurace

---

na PE1 vypadala podobně jak CE1, povolilo se IPv6 směrování, vytvořila se instance protokolu RIPng pojmenovaná CUST-1 a nakonfigurovala se příslušná rozhraní.

---

```
PE1(config)#ipv6 unicast-routing
PE1(config)#ipv6 router rip CUST-1
PE1(config-router)#exit
PE1(config)#interface FastEthernet 0/1
PE1(config-if)#description connection-to-CE1
PE1(config-if)#ipv6 address 2001:1515::2/64
PE1(config-if)#ipv6 rip CUST-1 enable
PE1(config-if)#no shutdown
```

---

Na PC1 bylo nastaveno rozhraní, na které se vložila IPv6 adresa. Dále byla nastavena výstupní brána jako IPv6 adresa směrovače CE1. V operačním systému Ubuntu se rozhraní a výchozí brána nastaví takto:

---

```
sudo ip -6 addr add 2001:1111::10/64 dev eth0
sudo ip -6 route add default via 2001:1111::1 dev eth0
```

---

Tímto byla nastavena IPv6 konektivita v levé červené části, ověření proběhlo pomocí pingu z PC1 na rozhraní PE1, který proběhl úspěšně.

Následně byla zajištěna IPv6 konektivita i pro pravou červenou část. Na směrovači PE2 byla konfigurace totožná jako na PE1 s tím rozdílem že se na rozhraní přidala IPv6 adresa 2001:5151::1/64. Na CE2 směrovači, který je od firmy Huawei se musel nejdříve povolit IPv6 protokol. Následně se spustil RIPng proces. Na rozhraní bylo nutné opět povolit IPv6 protokol, přidat IPv6 adresu a propagovat rozhraní do RIPng procesu. Systém firmy Huawei má 2 úrovně. Daná konfigurace vypadala takto. Směrovače od firmy Huawei mají standardně porty ve stavu up tudíž nebylo nutné na rozhraní dávat undo shutdown.

---

```
<CE2>system-view
[CE2]ipv6
[CE2]ripng 1
[CE2-ripng-1]quit
[CE2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[CE2-GigabitEthernet0/0/1]description connection-to-PC1
[CE2-GigabitEthernet0/0/1]ipv6 enable
[CE2-GigabitEthernet0/0/1]ipv6 address 2001:2222::1/64
```

```
[CE2-GigabitEthernet0/0/1]ripng 1 enable
[CE2-GigabitEthernet0/0/1]quit
[CE2]interface GigabitEthernet 0/0/0
[CE2-GigabitEthernet0/0/0]description connection-to-PE2
[CE2-GigabitEthernet0/0/0]ipv6 enable
[CE2-GigabitEthernet0/0/0]ipv6 address 2001:5151::2/64
[CE2-GigabitEthernet0/0/0]ripng 1 enable
[CE2-GigabitEthernet0/0/0]return
```

Toto byla celá konfigurace na směrovači CE2, výpis kompletní konfigurace lze vidět v příloze A. PC2 se nastavilo obdobně jako PC1 s tím rozdílem že na rozhraní byla IPv6 adresa 2001:2222::10/64 a jako výchozí brána byla nastavena IPv6 adresa 2001:2222::10. Opět se ověřila IPv6 konektivita pomocí pingu z PC2 na rozhraní PE2. Tímto byl dokončen první krok konfigurace a mohlo se přejít ke druhému.

Konfigurace MPLS jádra sítě byla provedena na všech zařízeních od firmy Cisco tožně pouze se měnili adresy na jednotlivých rozhraních a tím i sítě propagované do OSPF jako příklad je zde uvedena konfigurace pro PE1. Nejprve se nakonfigurovalo virtuální rozhraní loopback 0, které sloužilo pro navázání LDP a BGP relace. Dále se povolilo na celém směrovači MPLS, jako protokol pro distribuci značek se zvolil LDP a jako router-id přes které se má navazovat LDP relace se nastavil loopback 0. Následně bylo nakonfigurováno rozhraní k P1, na které se přidala IPv4 adresa, označilo se jako MPLS rozhraní a uvedlo se do stavu up. Nakonec bylo zapnuto směrování pomocí protokolu OSPFv2 a byly do něj propagovány všechny připojené IPv4 sítě.

```
PE1(config)#interface loopback 0
PE1(config-if)#ip address 5.5.5.5 255.255.255.255
PE1(config-if)#exit
PE1(config)#mpls ip
PE1(config)#mpls ldp router-id loopback 0
PE1(config)#interface FastEthernet 0/0
PE1(config-if)#description connection-to-P1
PE1(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.252
PE1(config-if)mpls ip
PE1(config-if)#no shutdown
PE1(config-if)#exit
PE1(config)#router ospf 1
```

---

```
PE1(config-router)#network 1.1.1.0 0.0.0.3 area 0
PE1(config-router)#network 5.5.5.5 0.0.0.0 area 0
PE1(config-router)#end
```

---

Na ostatních směrovačích od firmy Cisco tj. P1 a PE2 byla konfigurace stejná. Pro směrovač P2 od firmy Huawei byla konfigurace logicky stejná pouze se lišilo prostředí. Nejdříve se nakonfigurovalo virtuální rozhraní loopback 0. Následně se zprovoznilo MPLS na celém směrovači, nejdříve bylo nutné nakonfigurovat lsr-id, jinak nebylo možné MPLS spustit. Jako protokol pro výměnu značek byl nastaven LDP. Potom se nakonfigurovala jednotlivá rozhraní a pustilo se na nich MPLS. Nakonec se nakonfigurovalo OSPFv2 a propagovaly se do něj všechna přímo připojená rozhraní.

---

```
[P2]interface LoopBack 0
[P2-LoopBack0]ip address 7.7.7.7 255.255.255.255
[P2-LoopBack0]quit
[P2]mpls lsr-id 7.7.7.7
[P2]mpls
[P2]mpls ldp
[P2-mpls-ldp]quit
[P2]interface GigabitEthernet 0/0/0
[P2-GigabitEthernet0/0/0]description connection-to-P1
[P2-GigabitEthernet0/0/0]ip address 1.1.1.6 255.255.255.252
[P2-GigabitEthernet0/0/0]mpls
[P2-GigabitEthernet0/0/0]mpls ldp
[P2-GigabitEthernet0/0/0]quit
[P2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[P2-GigabitEthernet0/0/1]description connection-to-PE2
[P2-GigabitEthernet0/0/1]ip address 1.1.1.9 255.255.255.252
[P2-GigabitEthernet0/0/1]mpls
[P2-GigabitEthernet0/0/1]mpls ldp
[P2-GigabitEthernet0/0/1]quit
[P2]ospf 1
[P2-ospf-1]area 0
[P2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 1.1.1.4 0.0.0.3
[P2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 1.1.1.8 0.0.0.3
[P2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 7.7.7.7 0.0.0.0
[P2-ospf-1-area-0.0.0.0]return
```

---

Tímto byla konfigurace na P2 kompletní výpis celé konfigurace je v příloze A. Takto jsem tedy nakonfiguroval MPLS jádro sítě. Ověřil jsem to pingem z IPv4 adresy 5.5.5.5 na adresu 8.8.8.8 a na PC-Wireshark jsem viděl že ping je zabalen do MPLS záhlaví.

Poslední částí byla konfigurace protokolu BGP. BGP relace se konfigurovala mezi PE1 a PE2. Konfigurace byla na obou směrovačích téměř totožná. Rozdíl byl pouze v adrese souseda, se kterým navazoval relaci. Nejdříve se nakonfiguroval autonomní systém, ve kterém BGP bude pracovat. Dále se nakonfigurovala sousedská vazba ke směrovači PE2 resp. na jeho virtuální rozhraní. K tomu se nastavilo aby směrovač PE1 přijímal od PE2 zprávy BGP update na virtuálním rozhraní loopback 0. Dále byla nakonfigurována výměna IPv6 prefixů a jejich značek s PE2. Potom byla provedena redistribuce přímo připojených sítí a instance CUST-1 protokolu RIPng, tzn. že protokol BGP bude propagovat přímo připojené sítě a sítě, které se dozvěděl z RIPng do BGP protokolu a tím i svému BGP sousedovi PE2. Nakonec byla nakonfigurována redistribuce BGP do instance CUST-1 protokolu RIPng, aby se směrovač CE1 dozvěděl o sítích, které posílá PE2 směrovači PE1 skrz BGP.

```
PE1(config)#router bgp 100
PE1(config-router)#neighbor 8.8.8.8 remote-as 100
PE1(config-router)#neighbor 8.8.8.8 update-source Loopback 0
PE1(config-router)#address family ipv6
PE1(config-router-af)#neighbor 8.8.8.8 active
PE1(config-router-af)#neighbor 8.8.8.8 send-label
PE1(config-router-af)#redistribute connected
PE1(config-router-af)#redistribute rip CUST-1
PE1(config-router-af)#exit
PE1(config-router)#exit
PE1(config)#ipv6 router rip CUST-1
PE1(config-router)#redistribute bgp 100
PE1(config-router)#end
```

Tímto byla celá konfigurace dokončena a mohlo se přejít k ověření funkčnosti této technologie.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2	0.106752000	2001::1111::10	2001:2222::10	ICMPv6	126	Echo (ping) request id=0x0b08, seq=437, hop limit=62 (reply in 3)
3	0.106769000	2001:2222::10	2001:1111::10	ICMPv6	126	Echo (ping) reply id=0x0b08, seq=437, hop limit=62 (request in 2)
4	0.212084000	Cisco_4b:53:59	Cisco_4b:53:59	LOOP	60	Reply
5	1.108233000	2001:1111::10	2001:2222::10	ICMPv6	126	Echo (ping) request id=0x0b08, seq=438, hop limit=62 (reply in 6)
6	1.108250000	2001:2222::10	2001:1111::10	ICMPv6	126	Echo (ping) reply id=0x0b08, seq=438, hop limit=62 (request in 5)

```

Frame 5: 126 bytes on wire (1008 bits), 126 bytes captured (1008 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Cisco_4b:52:f3 (00:17:5a:4b:52:f3), Dst: Huawei_9a:82:76 (08:19:a6:9a:82:76)
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 1024, Exp: 0, S: 0, TTL: 61
0000 0000 0000 0001 0000 ..... = MPLS Label: 1024
..... = MPLS Experimental Bits: 0
.....0 ..... = MPLS Bottom Of Label Stack: 0
..... 0011 1101 = MPLS TTL: 61
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 22, Exp: 0, S: 1, TTL: 62
0000 0000 0000 0001 0011 ..... = MPLS Label: 22
..... = MPLS Experimental Bits: 0
.....1 ..... = MPLS Bottom Of Label Stack: 1
..... 0011 1110 = MPLS TTL: 62
Internet Protocol Version 6, Src: 2001:1111::10 (2001:1111::10), Dst: 2001:2222::10 (2001:2222::10)
Internet Control Message Protocol v6
Type: Echo (ping) request (128)
Code: 0
Checksum: 0x94f6 [correct]
Identifier: 0x0b08
Sequence: 438
[Response in: 6]
Data (56 bytes)

```

Obr. 5.2. Zachycení pingu v programu Wireshark v technologii 6PE

### 5.1.2 Testování a ověření správné funkčnosti technologie 6PE

Testování bylo provedeno pomocí pingu verze 6 z PC1 na PC2. Tento ping proběhl úspěšně, byl zachycen programem Wireshark. Výpis programu Wireshark je na obrázku 5.2. Lze z něj vidět úspěšné provedení pingu na zprávu echo request bylo odpovězeno zprávou echo reply (označeno červenou barvou). Dále jsou zde vidět dvě MPLS záhlaví pro přenos IPv6 paketu, kde vnitřní značka 22 se nemění a slouží jako identifikátor na hraničním směrovači a vnější značka 1024 se mění po každém průchodu směrovače a slouží k přenosu paketu skrz MPLS jádro sítě.

Výpisy níže ukazují směrovací tabulky CE1 a CE2 kde můžeme vidět že se podařilo přenést informaci o vzdálených IPv6 sítích. Směrovač CE1:

```

CE1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table – Default – 7 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, U – Per-user Static route
       B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1
       I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP
       EX – EIGRP external
       O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
       ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
C 2001:1111::/64 [0/0]
  via FastEthernet0/0, directly connected
L 2001:1111::1/128 [0/0]
  via FastEthernet0/0, receive

```

---

```

C 2001:1515::/64 [0/0]
  via FastEthernet0/1, directly connected
L 2001:1515::1/128 [0/0]
  via FastEthernet0/1, receive
R 2001:2222::/64 [120/3]
  via FE80::217:5AFF:FE4B:57DD, FastEthernet0/1
R 2001:5151::/64 [120/2]
  via FE80::217:5AFF:FE4B:57DD, FastEthernet0/1
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive

```

---

### Směrovač CE2:

---

```

<CE2>display ipv6 routing-table
Routing Table : Public
  Destinations : 8      Routes : 8

Destination : ::1          PrefixLength : 128
NextHop     : ::1          Preference   : 0
Cost        : 0            Protocol     : Direct
RelayNextHop :             TunnelID      : 0x0
Interface   : InLoopBack0  Flags       : D

Destination : 2001:1111::  PrefixLength : 64
NextHop     : FE80::217:5AFF:FE4B:5821 Preference   : 100
Cost        : 2            Protocol     : RIPng
RelayNextHop :             TunnelID      : 0x0
Interface   : GigabitEthernet0/0/0  Flags       : D

Destination : 2001:1515::  PrefixLength : 64
NextHop     : FE80::217:5AFF:FE4B:5821 Preference   : 100
Cost        : 1            Protocol     : RIPng
RelayNextHop :             TunnelID      : 0x0
Interface   : GigabitEthernet0/0/0  Flags       : D

Destination : 2001:2222::  PrefixLength : 64
NextHop     : 2001:2222::1 Preference   : 0
Cost        : 0            Protocol     : Direct
RelayNextHop :             TunnelID      : 0x0

```

---

```

Interface      : GigabitEthernet0/0/1      Flags       : D

Destination    : 2001:2222::1                    PrefixLength : 128
NextHop        : ::1                          Preference   : 0
Cost           : 0                            Protocol     : Direct
RelayNextHop   : ::                          TunnelID    : 0x0
Interface      : GigabitEthernet0/0/1      Flags       : D

Destination    : 2001:5151::                PrefixLength : 64
NextHop        : 2001:5151::2              Preference   : 0
Cost           : 0                            Protocol     : Direct
RelayNextHop   : ::                          TunnelID    : 0x0
Interface      : GigabitEthernet0/0/0      Flags       : D

Destination    : 2001:5151::2              PrefixLength : 128
NextHop        : ::1                          Preference   : 0
Cost           : 0                            Protocol     : Direct
RelayNextHop   : ::                          TunnelID    : 0x0
Interface      : GigabitEthernet0/0/0      Flags       : D

Destination    : FE80::                     PrefixLength : 10
NextHop        : ::                          Preference   : 0
Cost           : 0                            Protocol     : Direct
RelayNextHop   : ::                          TunnelID    : 0x0
Interface      : NULL0                       Flags       : D

```

---

V dalším výpisu je ukázána LFIB tabulka na směrovači P1, lze vidět že směrovač P1 odesílá pakety určené pro síť 8.8.8.8 se značkou 1024(vnější značka v zachyceném pingu programem Wireshark).

---

```

P1#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes Label  Outgoing  Next Hop
Label  Label or VC or Tunnel Id  Switched     interface
16     No Label   1.1.1.8/30      0            Fa0/1     1.1.1.6
17     Pop Label  5.5.5.5/32     17526        Fa0/0     1.1.1.1
18     1024      8.8.8.8/32     18972        Fa0/1     1.1.1.6
19     Pop Label  7.7.7.7/32     0            Fa0/1     1.1.1.6

```

---



Další výpis ukazuje IPv6 sítě dosažitelné PE1 naučené z BGP a jejich značky. Můžeme zde vidět že síť 2001:2222::/64 je dosažitelná skrz next-hop ::FFFF:8.8.8.8 (mapovaná IPv4 adresa 8.8.8.8 na IPv6 adresu) a značka pro tuto síť je 22 (vnitřní značka v zachyceném pingu programem Wireshark).

---

```
PE1#show bgp ipv6 unicast tags
Network      Next Hop    In tag/Out tag
2001:1111::/64  ::          21/notag
2001:1515::/64  ::          22/notag
2001:2222::/64  ::FFFF:8.8.8.8 notag/22
2001:5151::/64  ::FFFF:8.8.8.8 notag/21
```

---

Pro tuto realizaci sítě byli zařízení firmy Huawei a firmy Cisco navzájem kompatibilní. V tomto zapojení byla otestována kompatibilita pro IPv6 komunikaci a pro směrovací protokol RIPng mezi PE2 a CE2. Ta byla ověřena pomocí pingu verze 6 a výpisu směrovací tabulky z CE2, kde jsou vidět jednotlivé záznamy získané z protokolu RIPng. Dále byla ověřena kompatibilita technologie MPLS, ta byla testována mezi směrovači P1, P2 a PE2. Ve výpisu z programu wireshark bylo vidět že provoz je značkován. Dále na směrovači P2 v tabulce LDP susedů bylo možné vidět adresy virtuálních rozhraní směrovaču P1 a PE2, tedy byla mezi nimi navázána LDP relace. Tímto byla ověřena i kompatibilita protokolu OSPFv2, který přenesl směrovací informace o těchto rozhraních. Hlavním ověřením kompatibility všech použitých technologií byla korektní funkčnost této sítě.

---

```
<P2>display mpls ldp peer
LDP Peer Information in Public network
A '*' before a peer means the peer is being deleted.
```

---

PeerID	TransportAddress	DiscoverySource
6.6.6.6:0	6.6.6.6	GigabitEthernet0/0/0
8.8.8.8:0	8.8.8.8	GigabitEthernet0/0/1

---

```
TOTAL: 2 Peer(s) Found.
```

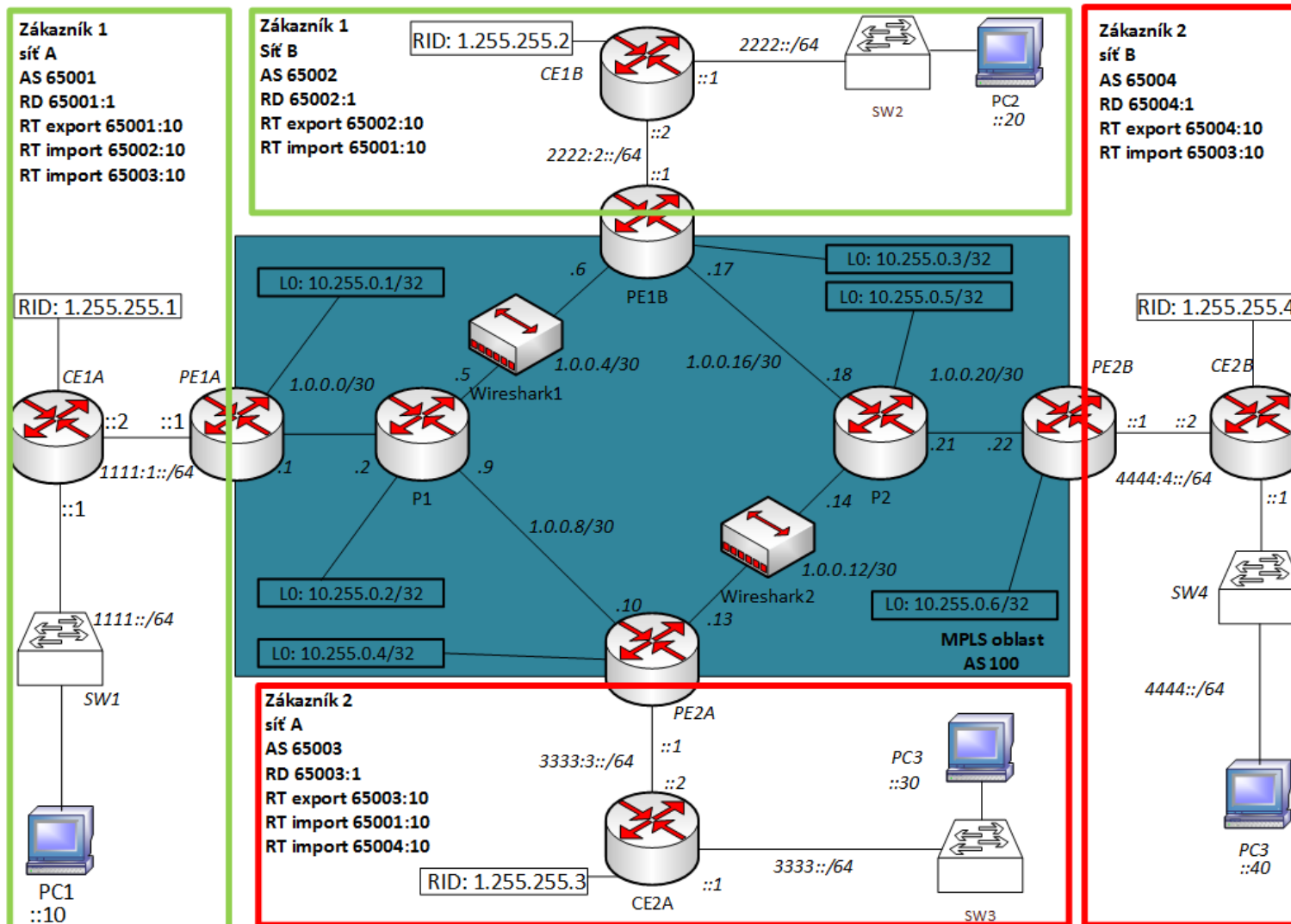
---

## 5.2 Realizace IPv6 VPN Provider Edge

Pro realizaci řešení 6VPE byla navržena topologie, která je zobrazena na obrázku 5.3. V této topologii byli dva zákazníci (Zákazník 1 a Zákazník 2), každý zákazník měl dvě sítě A a B. Byl zde realizován překryv mezi sítěmi A obou zákazníků tzn. zákazník 1 může ze sítě A přistupovat do své sítě B a zároveň do sítě A zákazníka 2. Avšak ze sítě B je mu umožněn přístup pouze do své sítě A. To samé platí i pro zákazníka 2.

K realizaci byla opět využita zařízení od firmy Huawei AR1200 (ve schématu označeno jako CE1A) a AR3200 (ve schématu označeno jako P2). Pro zbytek směrovačů byla použita zařízení od firmy Cisco řady Catalyst 2801. Firmware na všech zařízeních byl stejný jako při realizaci 6PE viz. kapitola 5.1. Dále byli v topologii použity čtyři L2 přepínače, které sloužili pouze pro připojení klientů a nebyla na nich prováděna žádná konfigurace. Na klientech PC1 až PC4 byl použit systém Ubuntu 14.04 a v MPLS jádru byli připojeni dva rozbočovače, ke kterým byli připojeni PC a sloužili pro analýzu paketů. V tomto případě opět nebylo možné použít směrovač od firmy Huawei jako jeden z hraničních směrovačů, protože řada AR nepodporuje 6VPE řešení.

Síť byla rozdělena do pěti částí. Modrá část byla síť poskytovatele služeb, ve které bylo spuštěno MPLS. Jako směrovací protokol uvnitř této části byl opět použit OSPFv2. Mezi hraničními směrovači byl vytvořen „full-mesh“ vazeb protokolu iBGP přes které se vyměňovali VPNv6 prefixy a route-targety. Celá tato část byla uvnitř autonomního systému 100. Další části byli jednotlivé sítě (pobočky) zákazníků. Každá síť byla přiřazena do jednoho autonomního systému 65001-65004 a přístupy do jednotlivých sítí byly realizovány pomocí definovaných route-targetů. Jako směrovací protokol uvnitř zákaznických sítí byl zvolen eBGP.



Obr. 5.3 Návrh topologie pro testování 6VPE

### 5.2.1 Konfigurace 6VPE

Konfigurace byla rozdělena opět do třech kroků:

1. **Konfigurace IPv6 konektivity** - konfigurace klientů, CE směrovačů, konfigurace VRF tabulek na hraničních směrovačích a konfigurace linky mezi PE a CE směrovači
2. **Konfigurace MPLS jádra sítě** - konfigurace OSPFv2 a MPLS
3. **Konfigurace iBGP mezi PE směrovači** - konfigurace MP-iBGP relací, povolení výměny VPNv6 prefixů

Jako první se tedy začalo s konfigurací IPv6 konektivity u jednotlivých zákazníků. Konfigurace jednotlivých PC byla provedena stejně jako u realizace 6PE viz. kapitola 5.1.1. Co se týče konfigurace jednotlivých CE směrovačů tak na všech byla konfigurace totožná, pouze se lišila v použití IPv6 adres na jednotlivých rozhraních. Je zde tedy uvedena pouze ukázka konfigurace směrovače CE1A, kompletní konfigurace pro ostatní směrovače je uvedena v příloze B. Na směrovači CE1A se tedy nejdříve povolilo použití protokolu IPv6 na celém směrovači, potom se nakonfigurovala jednotlivá rozhraní s příslušnými adresami a následně se nakonfiguroval protokol BGP v autonomním systému 65001, kde bylo přiřazeno jeho router-id, označil se jako soused směrovač PE1A se kterým si bude vyměňovat směrovací informace a vypropagovaly se připojené sítě.

```
[CE1A]ipv6
[CE1A]interface GigabitEthernet 0/0/0
[CE1A-GigabitEthernet0/0/0]description connection-to-PE1A
[CE1A-GigabitEthernet0/0/0]ipv6 enable
[CE1A-GigabitEthernet0/0/0]ipv6 address 1111:1::2/64
[CE1A-GigabitEthernet0/0/0]quit
[CE1A]interface GigabitEthernet 0/0/1
[CE1A-GigabitEthernet0/0/1]description connection-to-PC1
[CE1A-GigabitEthernet0/0/1]ipv6 enable
[CE1A-GigabitEthernet0/0/1]ipv6 address 1111::1/64
[CE1A-GigabitEthernet0/0/1]quit
[CE1A]bgp 65001
[CE1A-bgp]router-id 1.255.255.1
[CE1A-bgp]peer 1111:1::1 as-number 100
```

---

```
[CE1A-bgp]ipv6 family unicast
[CE1A-bgp-af-ipv6]network 1111:: 64
[CE1A-bgp-af-ipv6]network 1111:1:: 64
[CE1A-bgp-af-ipv6]peer 1111:1::1 enable
[CE1A-bgp-af-ipv6]return
```

---

Podobně se nakonfigurovali i ostatní CE směrovače s tím rozdílem že byli na platformě od firmy Cisco.

V rámci prvního kroku konfigurace se provedla konfigurace na hraničním směrovači PE1A. Zde se nejdříve povolilo směrování pro IPv6 protokol. Potom se nakonfigurovala VRF tabulka a přidala se na rozhraní. Při konfiguraci VRF se specifikovalo pomocí route targetů, ke kterým sítím bude mít přístup. Následně se toto rozhraní nakonfigurovalo. Nakonec se pak nakonfigurovalo externí BGP v autonomním systému 100, kde se pro danou VRF označil jako souseď se kterým si bude vyměňovat směrovací informace směrovač CE1A a vypropagovaly se přímo připojené sítě pro danou VRF tabulku.

---

```
PE1A(config)#ipv6 unicast routing
PE1A(config)#vrf definition zakaznik1-A
PE1A(config-vrf)#rd 65001:1
PE1A(config-vrf)#address-family ipv6
PE1A(config-vrf-af)#route-target export 65001:10
PE1A(config-vrf-af)#route-target import 65002:10
PE1A(config-vrf-af)#route-target import 65003:10
PE1A(config)#interface FastEthernet0/0
PE1A(config-if)#vrf forwarding zakaznik1-A
PE1A(config-if)#description connection-to-CE1A
PE1A(config-if)#ipv6 address 1111:1::1/64
PE1A(config-if)#no shutdown
PE1A(config)#router bgp 100
PE1A(config-router)#address-family ipv6 vrf zakaznik1-A
PE1A(config-router-af)#neighbor 1111:1::2 remote-as 65001
PE1A(config-router-af)#neighbor 1111:1::2 activate
PE1A(config-router-af)#redistribute connected
```

---

Konfigurace pro tuto část se na ostatních hraničních směrovačích provedla opět stejně jejich konfigurace je v příloze B. Tímto byl hotov první krok konfigurace. Funkčnost IPv6 konektivity byla ověřena pingem z PC1 na rozhraní směrovače PE1A.

Druhým krokem byla konfigurace MPLS jádra. Tato konfigurace byla totožná jako konfigurace MPLS jádra u řešení 6PE viz. kapitola 5.1.1. Na směrovačích uvnitř jádra tj. PE a P se na rozhraních (včetně virtuálního rozhraní) nakonfigurovaly IPv4 adresy, zprovoznilo se směrování skrz OSPFv2 a spustilo se MPLS. Konfigurace pro všechny směrovače je pak přiložena v příloze B. Funkčnost této části konfigurace byla ověřena pingováním mezi jednotlivými virtuálními rozhraními a při odchycení na jednotlivých rozbočovačích bylo vidět, že procházející provoz obsahuje MPLS záhlaví.

Posledním krokem pak byla konfigurace iBGP mezi hraničními směrovači. Opět je zde uvedena konfigurace pouze pro směrovač PE1A na ostatních PE směrovačích byla konfigurace obdobná a je umístěna v příloze B. Nejdříve byla navázána iBGP relace s ostatními PE směrovači a určilo se že zprávy od nich se budou přijímat na rozhraní loopback 0. Potom se už jen povolila výměna VPNv6 prefixů mezi všemi PE směrovači.

```
PE1A(config)#router bgp 100
PE1A(config-router)#neighbor 10.255.0.3 remote-as 100
PE1A(config-router)#neighbor 10.255.0.3 update-source Loopback 0
PE1A(config-router)#neighbor 10.255.0.4 remote-as 100
PE1A(config-router)#neighbor 10.255.0.4 update-source Loopback 0
PE1A(config-router)#neighbor 10.255.0.6 remote-as 100
PE1A(config-router)#neighbor 10.255.0.6 update-source Loopback 0
PE1A(config-router)#address-family vpnv6
PE1A(config-router-af)#neighbor 10.255.0.3 active
PE1A(config-router-af)#neighbor 10.255.0.3 send-community extended
PE1A(config-router-af)#neighbor 10.255.0.4 active
PE1A(config-router-af)#neighbor 10.255.0.4 send-community extended
PE1A(config-router-af)#neighbor 10.255.0.6 active
PE1A(config-router-af)#neighbor 10.255.0.6 send-community extended
PE1A(config-router-af)#end
```

Tímto byla nakonfigurována celá síť a mohlo se přejít k ověření funkčnosti tohoto řešení a testování.

### 5.2.2 Testování a ověření správné funkčnosti technologie 6VPE

Ověření funkčnosti bylo opět provedeno pomocí programu ping verze 6. Na obrázku 5.4 lze vidět jednotlivé výpisy zachycené programem Wireshark. V první červené části

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
76	25.98364600	1111::10	2222::20	ICMPv6	122	Echo (ping) request id=0x0a07, seq=2, hop limit=62 (reply in 77)
77	26.01422400	2222::20	1111::10	ICMPv6	126	Echo (ping) reply id=0x0a07, seq=2, hop limit=62 (request in 76)
<b>Frame 76: 122 bytes on wire (976 bits), 122 bytes captured (976 bits) on interface 0</b>						
Ethernet II, Src: Cisco_ac:40:d2 (00:1e:f7:ac:40:d2), Dst: Cisco_4b:52:f2 (00:17:5a:4b:52:f2)						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 21, Exp: 0, S: 1, TTL: 61						
Internet Protocol Version 6, Src: 1111::10 (1111::10), Dst: 2222::20 (2222::20)						
Internet Control Message Protocol v6						
105	37.39896300	1111::10	3333::30	ICMPv6	126	Echo (ping) request id=0x0a09, seq=1, hop limit=62 (reply in 106)
106	37.40047600	3333::30	1111::10	ICMPv6	126	Echo (ping) reply id=0x0a09, seq=1, hop limit=62 (request in 105)
<b>Frame 105: 126 bytes on wire (1008 bits), 126 bytes captured (1008 bits) on interface 0</b>						
Ethernet II, Src: Cisco_ac:40:d2 (00:1e:f7:ac:40:d2), Dst: Cisco_4b:52:f2 (00:17:5a:4b:52:f2)						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 23, Exp: 0, S: 0, TTL: 61						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 23, Exp: 0, S: 1, TTL: 62						
Internet Protocol Version 6, Src: 1111::10 (1111::10), Dst: 3333::30 (3333::30)						
Internet Control Message Protocol v6						
539	256.0808480	3333::30	4444::40	ICMPv6	126	Echo (ping) reply id=0x09d4, seq=3, hop limit=62 (request in 538)
541	257.0797880	4444::40	3333::30	ICMPv6	122	Echo (ping) request id=0x09d4, seq=4, hop limit=62 (reply in 542)
<b>Frame 539: 126 bytes on wire (1008 bits), 126 bytes captured (1008 bits) on interface 0</b>						
Ethernet II, Src: Cisco_ac:4a:62 (00:1e:f7:ac:4a:62), Dst: HuaweiTe_9a:82:76 (08:19:a6:9a:82:76)						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 1031, Exp: 0, S: 0, TTL: 62						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 27, Exp: 0, S: 1, TTL: 62						
Internet Protocol Version 6, Src: 3333::30 (3333::30), Dst: 4444::40 (4444::40)						
Internet Control Message Protocol v6						

Obr. 5.4. Zachycení pingů programem Wireshark v technologii 6VPE

je vidět ping z PC1 na PC2 tj. ze zdrojové adresy 1111::10 na cílovou adresu 2222::20, dále je zde vidět pouze jedno záhlaví MPLS. To je z toho důvodu, že paket byl odchyten za směrovačem P1, což je předposlední směrovač v LSP a byla na něm zapnutá funkce penultimate hop popping, takže vnější značku odstranil a na hraniční směrovač PE1B paket přišel už pouze jen s vnitřní značkou a mohl být rovnou zpracován. Tímto byla ověřena dostupnost mezi sítěmi A a B zákazníka 1.

Druhá červená část ukazuje zachycení pingu z PC1 na PC3 tj. ze zdrojové adresy 1111::10 na cílovou adresu 3333::30. Jak lze vidět je možné mít stejnou značku pro vnější i vnitřní záhlaví, protože tyto záhlaví jsou od sebe oddělené. Tento ping byl odchyten na rozbočovači Wireshark1 a to z toho důvodu že mezi P1 a PE2A byl použit sériový kabel a ve zbytku MPLS jádra byl použit Ethernet. Jelikož OSPF volí nejkratší cestu podle rychlosti linky, tak byla zvolena nejvhodnější cesta z P1 přes PE1B následně P2 a nakonec PE2A. Tímto byl ověřen překryv mezi sítěmi A zákazníka 1 a zákazníka 2.

Poslední červená část zachycuje ping z PC3 na PC4 tj. ze zdrojové adresy 3333::30 na cílovou adresu 4444::40. Vidíme že vnitřní značka byla 27 a vnější 1031. Tímto byla ověřena IPv6 konektivita mezi sítěmi A a B zákazníka 2.

Výpis níže ukazuje směrovací tabulku na směrovači CE2A kde můžeme vidět přímo připojené sítě a a sítě, které se dozvěděl z BGP tj. síť A zákazníka 1 a síť B zákazníka 2. Výpisy směrovacích tabulek všech CE jsou v příloze C.

---

```
CE2A#show ipv6 route
IPv6 Routing Table – 10 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, R – RIP, B – BGP
       U – Per–user Static route
       I1 – ISIS L1, I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary
       O – OSPF intra, OI – OSPF inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
       ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
B 1111::/64 [20/0]
   via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
B 1111:1::/64 [20/0]
   via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
C 3333::/64 [0/0]
   via ::, FastEthernet0/0
L 3333::1/128 [0/0]
   via ::, FastEthernet0/0
C 3333:3::/64 [0/0]
   via ::, FastEthernet0/1
L 3333:3::2/128 [0/0]
   via ::, FastEthernet0/1
B 4444::/64 [20/0]
   via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
B 4444:4::/64 [20/0]
   via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
L FE80::/10 [0/0]
   via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
   via ::, Null0
```

---

Další výpisy ukazují že zákaznické směrovací informace byli skutečně oddělené v prvním výpisu vidíme že globální směrovací IPv6 tabulka na směrovači PE2A je prázdná, v druhém výpisu můžeme vidět směrovací tabulku pro VRF tabulku zákazníka 2, kde jsou korektní záznamy.

---

```
PE2A#show ipv6 route
IPv6 Routing Table – Default – 1 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, U – Per–user Static route
       B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1
       I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP
```



---

```

EX – EIGRP external
O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive

```

---

```

PE2A#show ipv6 route vrf zakaznik2-A
IPv6 Routing Table – zakaznik2-A – 8 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, U – Per-user Static route
       B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1
       I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP
       EX – EIGRP external
       O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
       ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
B 1111::/64 [200/0]
  via 10.255.0.1%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
B 1111:1::/64 [200/0]
  via 10.255.0.1%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
B 3333::/64 [20/0]
  via FE80::217:5AFF:FE4B:5821, FastEthernet0/1
C 3333:3::/64 [0/0]
  via FastEthernet0/1, directly connected
L 3333:3::1/128 [0/0]
  via FastEthernet0/1, receive
B 4444::/64 [200/0]
  via 10.255.0.6%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
B 4444:4::/64 [200/0]
  via 10.255.0.6%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive

```

---

Dále můžeme vidět vnitřní značky pro jednotlivé prefixy na směrovači PE2A. Vidíme tedy že do sítě 4444::/64 se dostane skrz next-hop ::FFFF:10.255.0.6 a provoz do této sítě odesílá s vnitřní značkou 27. To odpovídá zachycenému pingu z PC3 na PC4.

---

```

PE2A# show bgp vpnv6 unicast vrf zakaznik2-A labels
Network      Next Hop    In label/Out label
Route Distinguisher: 65003:1 (zakaznik2-A)
1111::/64    ::FFFF:10.255.0.1

```

---

```

                                nolabel/16
1111:1::/64      ::FFFF:10.255.0.1
                                nolabel/17
3333::/64       3333:3::2    23/nolabel
3333:3::/64     3333:3::2    22/nolabel
                ::          22/nolabel(zakaznik2-A)
4444::/64       ::FFFF:10.255.0.6
                                nolabel/27
4444:4::/64     ::FFFF:10.255.0.6
                                nolabel/26

```

---

Dále můžeme vidět LFIB tabulku na směrovači PE2A . Kde můžeme vidět že provoz, který je odeslán na 10.255.0.6(next-hop do sítě 4444::/64) je značkován značkou 1031. To opět odpovídá zachycenému pingu z PC3 na PC4.

---

```
PE2A-AR6#show mpls forwarding-table
```

Local Label	Outgoing Label or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	1027	10.255.0.3/32	0		Fa0/0	1.0.0.14
17	1028	10.255.0.2/32	0		Fa0/0	1.0.0.14
18	1029	10.255.0.1/32	0		Fa0/0	1.0.0.14
19	No Label	1.0.0.16/30	0		Fa0/0	1.0.0.14
20	1026	1.0.0.4/30	0		Fa0/0	1.0.0.14
21	1030	1.0.0.0/30	0		Fa0/0	1.0.0.14
22	No Label	3333:3::/64[V]	7688		aggregate/zakaznik2-A	
23	No Label	3333::/64[V]	41630		Fa0/1	FE80::217:5AFF:FE4B:5821
24	Pop Label	10.255.0.5/32	0		Fa0/0	1.0.0.14
25	No Label	1.0.0.20/30	0		Fa0/0	1.0.0.14
26	1031	10.255.0.6/32	0		Fa0/0	1.0.0.14

---

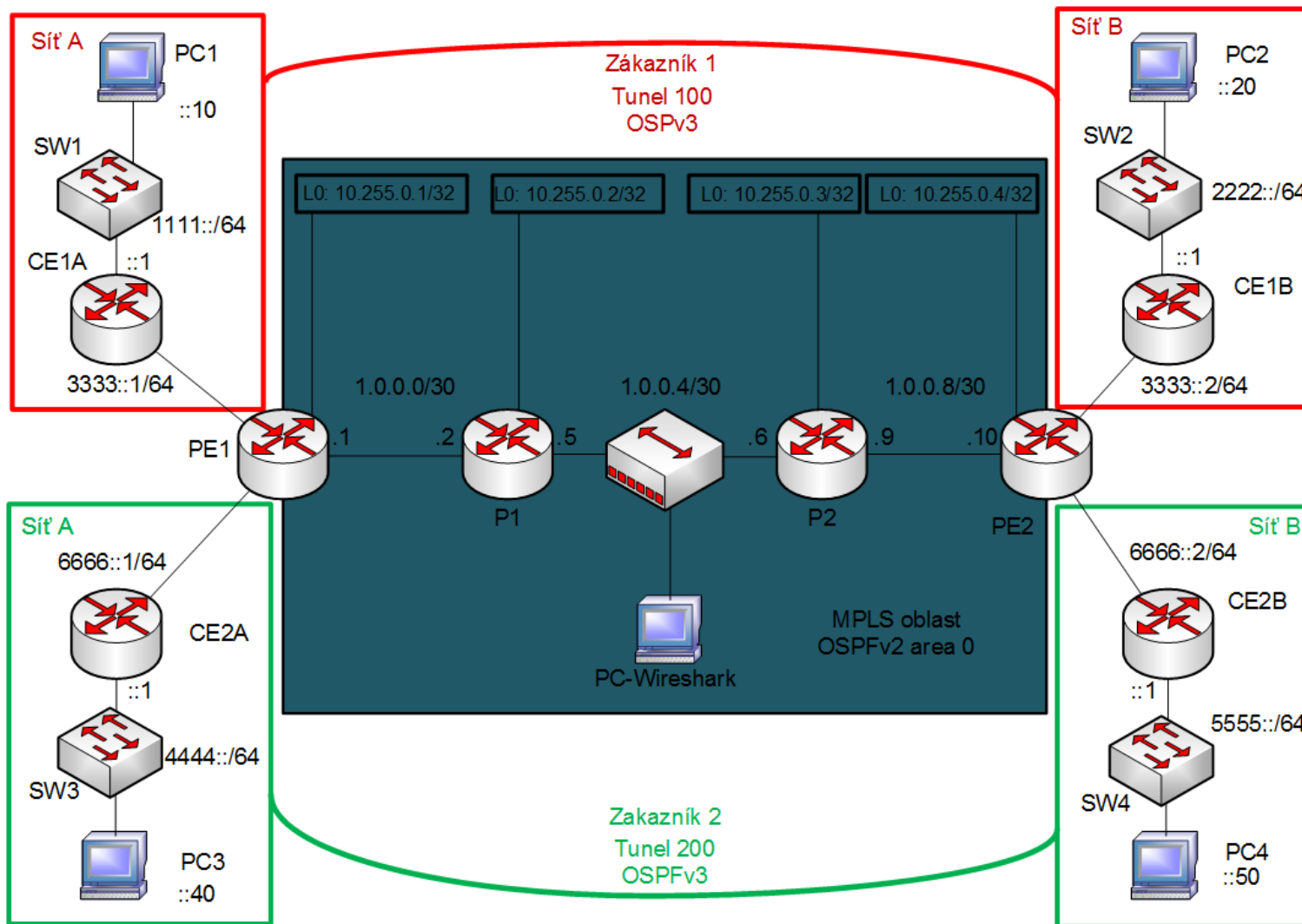
Pro tuto realizaci sítě byla zařízení firmy Huawei a firmy Cisco navzájem kompatibilní. Opět zde byla ověřena kompatibilita pro IPv6 komunikaci mezi směrovači CE1A a PE1A, dále mezi těmito zařízeními byla ověřena kompatibilita pro směrovací protokol BGP, to lze vidět ze záznamů ve směrovacích tabulkách kde jdou vidět záznamy získané z protokolu BGP. Také zde byla ověřena kompatibilita technologie MPLS a směrovacího protokolu OSPFv2 jako v realizaci 6PE.

### 5.3 Realizace Any Transport over MPLS

Pro realizaci řešení AToM byla navrhována topologie, která je zobrazena na obrázku 5.5. V této topologii byli dva zákazníci (Zákazník 1 a Zákazník 2), každý zákazník měl dvě sítě A a B. Cílem bylo zajistit IPv6 komunikaci mezi těmito sítěmi. Zákazníci jsou od sebe odděleni na hraničních směrovačích a mohou přistupovat pouze do svých sítích.

K realizaci sítě byla použita zařízení od firmy Huawei AR3200 (ve schématu označeno jako PE1) a AR1200 (ve schématu označeno jako CE1). Pro zbytek směrovačů byla použita zařízení od firmy Cisco řady Catalyst 2801. Firmware na všech směrovačích byl použit stejný jako při realizaci 6PE viz. kapitola 5.1. Dále byli v topologii použity čtyři L2 přepínače, které sloužili pouze pro připojení klientů a nebyla na nich prováděna žádná konfigurace. Na klientech PC1 až PC4 byl použit systém Ubuntu 14.04 a v MPLS jádru byl připojen rozbočovač, ke kterému bylo připojeno PC a sloužilo pro analýzu paketů.

Síť byla rozdělena do pěti částí. Modrá část byla síť poskytovatele služeb, ve které bylo spuštěno MPLS. Jako směrovací protokol byl v této části použit OSPFv2. Zbylé části byly pobočky zákazníků. Jako směrovací protokol uvnitř zákaznických sítí byl použit OSPFv3. Pro zákazníky se MPLS jádro poskytovatele služeb jeví jako linka mezi jejich hraničními směrovači, tudíž rozhraní mezi CE1A a CE1B (CE2A a CE2B) patří do stejné podsítě. Mezi hraničními směrovači uvnitř MPLS jádra jsou pak vytvořeny dva tunely, tunel 100 pro zákazníka 1 a tunel 200 pro zákazníka 2. Výměna vnitřních značek je pak zajištěna pomocí cíleného LDP spojení.



Obr. 5.5 Návrh topologie pro testování AToM

### 5.3.1 Konfigurace řešení AToM

Konfigurace celé sítě byla rozdělena do těchto třech kroků:

1. **Konfigurace MPLS jádra sítě** - konfigurace OSPFv2 a MPLS
2. **Konfigurace tunelů** - vytvoření cíleného LDP spojení, konfigurace zákaznických rozhraní
3. **Konfigurace IPv6 konektivity** - konfigurace klientů, CE směrovačů, konfigurace OSPFv3

Jako první se tedy začalo s konfigurací MPLS jádra. Na všech směrovačích uvnitř MPLS jádra se nakonfigurovaly IPv4 adresy a zprovoznilo se OSPFv2. Potom se spustilo na všech směrovačích uvnitř jádra MPLS. Tato část konfigurace byla stejná jako v případě realizace 6PE viz. kapitola 5.1.1. Kompletní konfigurace všech směrovačů je přiložena v příloze D. Ověření funkčnosti této části bylo provedeno pomocí pingu mezi jednotlivými virtuálními rozhraními a zachycením provozu, který byl značkován MPLS.

V druhém kroku byly nakonfigurovány tunely pro jednotlivé zákazníky. Na směrovačích od firmy Huawei, není explicitně povolena technologie AToM. K jejímu použití je nutná licence. K tomu se použila 60ti denní zkušební licenci, kterou je nutné povolit ve směrovači. Nejdříve se tedy na PE1 směrovači povolila tato licence, následně se vytvořilo cílené LDP spojení k směrovači PE2. Nakonec se vytvořily tunely na zákaznických rozhraních. Na těchto rozhraních se nekonfigurují IPv6 ani IPv4 adresy, protože slouží k přenášení rámců druhé vrstvy.

---

```
<PE1>license active accept agreement
<PE1>license function datae
[PE1]mpls l2vpn
[PE1]mpls ldp remote-peer PE2
[PE1-mpls-ldp-remote-pe2]remote-ip 10.255.0.4
[PE1]interface GigabitEthernet 0/0/0
[PE1-GigabitEthernet0/0/0]description connection-to-CE1A
[PE1-GigabitEthernet0/0/0]mpls l2vc 10.255.0.4 100
[PE1]interface GigabitEthernet 0/0/1
[PE1-GigabitEthernet0/0/1]description connection-to-CE2A
[PE1-GigabitEthernet0/0/1]mpls l2vc 10.255.0.4 200
```

---

---

Na směrovači PE2 byla konfigurace podobná. Ve firmwaru od firmy Cisco nebylo nutné povolovat žádnou licenci. Nejdříve se na PE2 směrovači vytvořilo cílené spojení k PE1 a potom se vytvořily tunely na zákaznických rozhraních. Opět se na těchto rozhraních nekonfigurují IPv6 ani IPv4 adresy.

---

```
PE2(config)#mpls ldp neighbor 10.255.0.1 targeted ldp
PE2(config)#interface FastEthernet 0/0
PE2(config-if)#description connection-to-CE1B
PE2(config-if)#xconnect 10.255.0.1 100 encapsulation mpls
PE2(config)#interface FastEthernet 0/1
PE2(config-if)#description connection-to-CE2B
PE2(config-if)#xconnect 10.255.0.1 200 encapsulation mpls
```

---

Tímto byla nakonfigurována druhá část, funkčnost se ověřila pomocí toho že se vytvořily dané tunely mezi hraničními směrovači PE1 a PE2.

V poslední části se nakonfigurovali klienti a hraniční směrovače zákazníků. Konfigurace PC1 až PC4 byla stejná jako při realizaci 6PE řešení viz. kapitola 5.1. Konfigurace hraničních zákaznických směrovačů byla na všech zařízeních stejná. Pro příklad je zde uvedena konfigurace na směrovači CE1A. Nejdříve se povolilo směrování pro IPv6. Následně se spustil proces OSPFv3 a nakonfigurovalo se router-id. Potom se nakonfigurovala jednotlivá rozhraní, na kterých se nastavily IPv6 adresy a vypropagovaly se do OSPFv3 procesu.

---

```
CE1A(config)#ipv6 unicast-routing
CE1A(config)#ipv6 router ospf 1
CE1A(config-rtr)#router-id 1.1.1.1
CE1A(config-rtr)#exit
CE1A(config)#interface FastEthernet 0/0
CE1A(config-if)#description connection-to-PE1
CE1A(config-if)#ipv6 address 3333::1/64
CE1A(config-if)#ipv6 ospf 1 area 0
CE1A(config)#interface FastEthernet 0/1
CE1A(config-if)#description connection-to-PC1
CE1A(config-if)#ipv6 address 1111::1/64
CE1A(config-if)#ipv6 ospf 1 area 0
```

---

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	1111::10	2222::20	ICMPv6	140	Echo (ping) request id=0x0adf, seq=5, hop limit=63 (reply in 2)
2	0.017798000	2222::20	1111::10	ICMPv6	140	Echo (ping) reply id=0x0adf, seq=5, hop limit=63 (request in 1)

Frame 1: 140 bytes on wire (1120 bits), 140 bytes captured (1120 bits) on interface 0						
Ethernet II, Src: Cisco_cf:85:b1 (00:1f:6c:cf:85:b1), Dst: Cisco_ac:55:f1 (00:1e:f7:ac:55:f1)						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 19 Exp: 0, S: 0, TTL: 254						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 23 Exp: 0, S: 1, TTL: 255						
Ethernet II, Src: Cisco_ac:48:20 (00:1e:f7:ac:48:20), Dst: HuaweiTe_9b:b7:04 (08:19:a6:9b:b7:04)						
Internet Protocol Version 6, Src: 1111::10 (1111::10), Dst: 2222::20 (2222::20)						
Internet Control Message Protocol v6						

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
239	90.634853000	4444::40	5555::50	ICMPv6	140	Echo (ping) request id=0x0aa3, seq=1, hop limit=63 (reply in 240)
240	90.652653000	5555::50	4444::40	ICMPv6	140	Echo (ping) reply id=0x0aa3, seq=1, hop limit=63 (request in 239)

Frame 239: 140 bytes on wire (1120 bits), 140 bytes captured (1120 bits) on interface 0						
Ethernet II, Src: Cisco_cf:85:b1 (00:1f:6c:cf:85:b1), Dst: Cisco_ac:55:f1 (00:1e:f7:ac:55:f1)						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 19 Exp: 0, S: 0, TTL: 254						
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 24 Exp: 0, S: 1, TTL: 255						
Ethernet II, Src: Cisco_ac:40:d3 (00:1e:f7:ac:40:d3), Dst: Cisco_4b:53:59 (00:17:5a:4b:53:59)						
Internet Protocol Version 6, Src: 4444::40 (4444::40), Dst: 5555::50 (5555::50)						
Internet Control Message Protocol v6						

Obr. 5.4. Zachycení pingů programem Wireshark v technologii AToM

Tímto byla dokončena konfiguraci celé sítě a mohlo se přejít k ověření funkčnosti a testování.

### 5.3.2 Testování a ověření správné funkčnosti technologie AToM

Ověření funkčnosti sítě bylo provedeno pomocí programu ping verze 6. Na obrázku 5.6 lze vidět jednotlivé výpisy zachycené programem Wireshark. V první červené části lze vidět ping z PC1 na PC2, tj. ze zdrojové adresy 1111::10 na cílovou adresu 2222::20. Vidíme že ping byl úspěšný na zprávu echo request bylo odpovězeno zprávou echo reply. Dále jsou zde vidět dvě MPLS záhlaví, kde vnitřní značka („VC label“) je 23 a vnější značka („tunnel label“) je 19. Ve druhé červené části byl zachycen ping z PC3 na PC4, tj. ze zdrojové adresy 4444::40 na cílovou adresu 5555::50. Opět jsou zde vidět dvě MPLS záhlaví kde vnitřní značka je 24 a vnější značka stejně jako v předchozím případě je 19. Můžeme si zde všimnout že řešení AToM opravdu přenáší rámce druhé vrstvy se zachováním jejich hlaviček. Ve výpisu níže můžeme vidět IPv6 směrovací tabulku na směrovač CE1A. Vidíme že síť 3333::/64 se jeví jako přímo připojená a že OSPFv3 je funkční, protože se z něj dozvěděl o síti 2222::/64. Směrovací tabulky ze všech zákaznických směrovačů jsou pak přiloženy v příloze.

```
CE1A#show ipv6 route
```

```
IPv6 Routing Table – Default – 6 entries
```

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

```
B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1
```

```
I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP
```

```
EX – EIGRP external
```

```
O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
```

```

ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
C 1111::/64 [0/0]
  via FastEthernet0/1, directly connected
L 1111::1/128 [0/0]
  via FastEthernet0/1, receive
O 2222::/64 [110/2]
  via FE80::A19:A6FF:FE9B:B704, FastEthernet0/0
C 3333::/64 [0/0]
  via FastEthernet0/0, directly connected
L 3333::1/128 [0/0]
  via FastEthernet0/0, receive
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive

```

Další výpis ukazuje vytvořené tunely mezi hraničními směrovači poskytovatele služeb PE1 a PE2. Výpis je ze směrovače PE1. Kvůli rozsahu je tento výpis podstatně zkrácen a jsou z něj odmazány méně podstatné informace. Můžeme zde vidět, že byly opravdu navázány dva tunely ke směrovači PE2. Dále je z tohoto výpisu vidět že pokud směrovač posílá provoz skrz tunel 100 jako vnitřní značku používá 23, pro tunel 200 používá vnitřní značku 24. To se shoduje s výpisem z programu Wireshark.

```

<PE1-AR3200>display mpls l2vc
Total LDP VC : 2    2 up    0 down

*client interface    : GigabitEthernet0/0/0 is up
session state       : up
AC status           : up
VC state            : up
VC ID               : 100
VC type             : Ethernet
destination         : 10.255.0.4
local VC label      : 1024    remote VC label    : 23
active state        : active
TTL Value           : 1
link state          : up
local VC MTU        : 1500    remote VC MTU     : 1500
primary or secondary : primary
create time         : 0 days, 1 hours, 37 minutes, 17 seconds

```



```

up time          : 0 days, 1 hours, 21 minutes, 31 seconds
last change time : 0 days, 1 hours, 21 minutes, 31 seconds
VC last up time  : 2016/04/01 16:42:56
VC total up time : 0 days, 1 hours, 21 minutes, 31 seconds

* client interface : GigabitEthernet0/0/1 is up
session state      : up
AC status          : up
VC state           : up
VC ID              : 200
VC type            : Ethernet
destination        : 10.255.0.4
local VC label     : 1025      remote VC label   : 24
active state       : active
TTL Value          : 1
link state         : up
local VC MTU       : 1500      remote VC MTU    : 1500
primary or secondary : primary
create time        : 0 days, 1 hours, 36 minutes, 56 seconds
up time            : 0 days, 1 hours, 21 minutes, 32 seconds
last change time   : 0 days, 1 hours, 21 minutes, 32 seconds
VC last up time    : 2016/04/01 16:42:56
VC total up time   : 0 days, 1 hours, 21 minutes, 32 seconds

```

Poslední výpis zobrazuje LFIB tabulku na směrovači PE1. Můžeme zde vidět že pro provoz odesílaný na IP adresu 10.255.0.4 se používá vnější značka 19. To také odpovídá výpisu z programu Wireshark.

```
<PE1>display mpls lsp
```

```

-----
                        LSP Information: LDP LSP
-----
FEC                In/Out Label In/Out IF                Vrf Name
1.0.0.4/30          1028/3      -/GE0/0/2
10.255.0.2/32      NULL/3      -/GE0/0/2
10.255.0.2/32      1027/3      -/GE0/0/2
10.255.0.1/32      3/NULL      -/-
10.255.0.3/32      NULL/17     -/GE0/0/2
10.255.0.3/32      1029/17     -/GE0/0/2

```

---

1.0.0.8/30	1030/18	-/GE0/0/2
10.255.0.4/32	NULL/19	-/GE0/0/2
10.255.0.4/32	1031/19	-/GE0/0/2

---

V tomto zapojení byly směrovače od firmy Huawei a směrovače od firmy Cisco navzájem kompatibilní. Z předchozích výpisů můžeme vidět že mezi hraničními směrovači byla technologie AToM funkční, jelikož se podařilo vytvořit cílené LDP spojení a tunely mezi PE1 a PE2. Dále byla ověřena kompatibilita protokolu OSPFv3, dokazují to IPv6 směrovací tabulky na směrovači CE1A a CE1B, kde lze vidět záznamy, které se naučili z tohoto protokolu. Samozřejmě touto realizací byla opět ověřena kompatibilita přenosu IPv6 provozu a to mezi CE1A a CE1B.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo ukázat možnosti nasazení IPv6 protokolu v prostředí poskytovatelů služeb, které je typicky postaveno na technologii MPLS. V teoretické části jsem nejdříve popsal samotnou technologii MPLS, její výhody, nevýhody, architekturu a funkcionalitu. Dále jsem v teoretické části popsal asi nerozšířenější aplikaci MPLS a to MPLS VPN, tato technologie se sice netýká protokolu IPv6, ale je dobré se s ní seznámit pro lepší porozumění technologii IPv6 VPN Provider Edge. Nakonec jsem v teoretické části popsal technologie sloužící k přenosu IPv6 provozu skrz MPLS síť poskytovatele služeb a to IPv6 Provider Edge, IPv6 VPN Provider Edge a Any Transport Over MPLS.

V praktické části jsem potom pro technologie popsané v teoretické části navrhl síť a realizoval je v laboratorních podmínkách. Všechny tyto navržené sítě byly funkční. V těchto sítích jsem použil směrovače od firmy Huawei a od firmy Cisco, abych mohl mezi nimi ověřit kompatibilitu. Realizací těchto sítí jsem ověřil že pro tyto navržené sítě byly zařízení navzájem kompatibilní. Ověřil jsem kompatibilitu pro technologie MPLS a AToM, dále pro protokoly LDP, OSPFv2, OSPFv3, interní BGP, externí BGP a RIPng. Také jsem ověřil že zařízení jsou schopna přenášet IPv6 provoz mezi sebou. Jelikož jsem měl k dispozici zařízení od firmy Huawei řady AR, nemohl jsem ověřit kompatibilitu mezi hraničními směrovači pro technologie 6PE a 6VPE, protože tato řada tyto technologie nepodporuje. K ověření této kompatibility bych potřeboval řadu NetEngine.

Po realizaci všech řešení bych pro poskytovatele služeb doporučil řešení 6VPE, tímto řešením je možné od sebe oddělit zákazníky pomocí VRF tabulek, také je možné jednoduše vytvořit extranet pomocí route-targetů. Díky VRF tabulkám je toto řešení jednoduše rozšířitelné o další zákazníky, proto bych ho zvolil jako nejlepší řešení. Řešení 6PE bych v prostředí poskytovatele služeb nepoužil, ale bylo by možné ho použít v rámci infrastruktury jedné společnosti, která MPLS síť využívá k vlastním potřebám. To z toho důvodu že připojené sítě jsou navzájem všechny dostupné skrz IPv6 globální směrovací tabulku a přímo v technologii 6PE není možné jednotlivé sítě od sebe oddělit. Jako poslední řešení jsem realizoval technologii AToM. Toto řešení má velkou výhodu v tom, že není nutný žádný upgrade na směrovačích poskytovatele služeb, ale má nevýhodu ve správě tunelů, které jdou vytvořit pouze spojením typu bod-bod. To by při velkém množství zákazníků mohlo vadit, protože by se tím komplikovala celá správa sítě. Druhou nevýhodou je to,

že tato technologie je primárně určena pro přenos rámců druhé vrstvy, tudíž se nese zbytečná informace o této vrstvě, kterou k přenosu IPv6 nepotřebuje. Tuto technologii bych doporučil pouze jako dočasné řešení, pokud například chybí finance na upgrade hraničních směrovačů pro přechod na 6VPE.

## 7 Použitá literatura

- [1] DE GHEIN, Luc. *MPLS fundamentals*. Indianapolis, Ind.: Cisco Press, 2007, xxiv, 626 p. Cisco Press fundamentals series. ISBN 978-1-58705-197-5.)
- [2] MACHNÍK, Petr. *Širokopásmové sítě pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO* [online]. 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2016-02-10]. ISBN 978-80-248-3630-0. Dostupné z: <http://vut-vsrb.cz/home/get-file?file=453&%3Bportal=Portal2>
- [3] POLRAKIS Anderas a Dimitros KALOGERAS, *6PE: IPv6 over MPLS*[online prezentace], 2005[cit. 2016-02-10]. Dostupné z: [http://www.netmode.ntua.gr/Presentations/6PE%20-%20IPv6%20over%20MPLS%20\(cisco%20expo%2005\).pdf](http://www.netmode.ntua.gr/Presentations/6PE%20-%20IPv6%20over%20MPLS%20(cisco%20expo%2005).pdf)
- [4] LIAKOPOULOS Athanassios, *IPv6 over IPv4/MPLS Networks: The 6PE approach*[online prezentace], 2004[cit. 2016-02-17]. Dostupné z: <http://www.free.net/NTL/IPv6/presentation/ALiakopoulos%20-%206PE%20-%203rd%20Global%20IPv6%20Summit.pdf>
- [5] Giangrossi Igor *Service Provider IPv6 Deployment*[online prezentace],2008[cit. 2016-02-17]. Dostupné z: <ftp://ftp.registro.br/pub/gter/gter26/01-ISP-IPv6-deployment.pdf>
- [6] PUŽMANOVÁ, Rita. *TCP/IP v kostce. 2., upr. a rozš. vyd.* České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-388-3.
- [7] *Cisco Prime Fulfillment Theory of Operations Guide 6.1: Chapter: MPLS VPN Concepts* [online]. [cit. 2016-03-24]. Dostupné z: [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/net\\_mgmt/prime/fulfillment/6-1/theory/operations/guide/theory/mpls\\_vpn\\_concept.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/net_mgmt/prime/fulfillment/6-1/theory/operations/guide/theory/mpls_vpn_concept.html)
- [8] *Cisco Prime Fulfillment Theory of Operations Guide 6.2: Chapter: L2VPN and Carrier Ethernet Concepts* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/net\\_mgmt/prime/fulfillment/6-2/theory/operations/guide/theory/l2ce.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/net_mgmt/prime/fulfillment/6-2/theory/operations/guide/theory/l2ce.html)

## Seznam příloh

Příloha A: Výpis kompletní konfigurace 6PE

Příloha B: Výpis kompletní konfigurace 6VPE

Příloha C: Výpis směrovacích tabulek na CE směrovačích v realizaci 6VPE

Příloha D: Výpis kompletní konfigurace AToM

Příloha E: Výpis směrovacích tabulek na CE směrovačích v realizaci AToM

## A Výpis kompletní konfigurace 6PE

### Směrovač CE1:

```
Current configuration : 1161 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname CE1
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
voice-card 0
!
!
archive
log config
hidekeys
```

```
!
!
interface FastEthernet0/0
description connection-to-PC1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 2001:1111::1/64
ipv6 rip CUST-1 enable
!
interface FastEthernet0/1
description connection-to-PE1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 2001:1515::1/64
ipv6 rip CUST-1 enable
!
interface Serial0/1/0
no ip address
shutdown
clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
no ip address
shutdown
clock rate 125000
!
!
ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
!
ipv6 router rip CUST-1
```

---

```

!
!
control-plane
!
!
ccm-manager fax protocol cisco
!
mgcp fax t38 ecm
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

---

### Směrovač PE1:

---

```

Current configuration : 1704 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE1
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
  mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
voice-card 0
!
!
archive
  log config
  hidekeys
!
!
interface Loopback0
  ip address 5.5.5.5 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
  description connection-to-P1
  ip address 1.1.1.1 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
  description connection-to-CE1
  no ip address

```



---

```
duplex auto
speed auto
ipv6 address 2001:1515::2/64
ipv6 rip CUST-1 enable
!
interface Serial0/1/0
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
!
interface Serial0/1/1
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
!
router ospf 1
log-adjacency-changes
network 1.1.1.0 0.0.0.3 area 0
network 5.5.5.5 0.0.0.0 area 0
!
router bgp 100
no synchronization
bgp log-neighbor-changes
neighbor 8.8.8.8 remote-as 100
neighbor 8.8.8.8 update-source Loopback0
no auto-summary
!
address-family ipv6
neighbor 8.8.8.8 activate
neighbor 8.8.8.8 send-label
redistribute connected
redistribute rip CUST-1
no synchronization

exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
!
!
ipv6 router rip CUST-1
redistribute bgp 100
!
!
!
mpls ldp router-id Loopback0
!
!
control-plane
!
!
!
ccm-manager fax protocol cisco
!
mgcp fax t38 ecm
!
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login
!
scheduler allocate 20000 1000
end
```

---

**Směrovač P1:**

```

Current configuration : 1370 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname P1
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
  mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
ip cef
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
voice-card 0
!
!
!
archive
  log config
  hidekeys

```

```

!
!
!
interface Loopback0
  ip address 6.6.6.6 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
  description connection-to-PE1
  ip address 1.1.1.2 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
  description connection-to-P2
  ip address 1.1.1.5 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface Serial0/1/0
  no ip address
  shutdown
  no fair-queue
  clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
  no ip address
  clock rate 125000
!
router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 1.1.1.0 0.0.0.3 area 0
  network 1.1.1.4 0.0.0.3 area 0
  network 6.6.6.6 0.0.0.0 area 0
!

```

---

```

ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
!
!
mpls ldp router-id Loopback0
!
control-plane
!
!
!
ccm-manager fax protocol cisco
!
mgcp fax t38 ecm
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

---

### Směrovač P2:

---

```

[V200R003C00SPC200]
#
sysname P2
#
snmp-agent local-engineid 800007DB
030819A69BB703
snmp-agent
#
cwmp
cwmp cpe connect retry 0
#
http timeout 3
#
drop illegal-mac alarm
#
set transceiver-monitoring disable
#
dhcp enable
#
undo dhcp server bootp
#
mpls lsr-id 7.7.7.7

```

```

mpls
#
mpls ldp
#
#
aaa
authentication-scheme default
authorization-scheme default
accounting-scheme default
domain default
domain default_admin
local-user admin password cipher %$$$=i
~>Xp&aY+*2cEVcS-A23Uwe%$$$
local-user admin service-type http
#
firewall zone Local
priority 16
#
interface Ethernet0/0/0
#
interface Ethernet0/0/1
#

```

```

interface Ethernet0/0/2
#
interface Ethernet0/0/3
#
interface Ethernet0/0/4
#
interface Ethernet0/0/5
#
interface Ethernet0/0/6
#
interface Ethernet0/0/7
#
interface GigabitEthernet0/0/0
description connection-to-P1
ip address 1.1.1.6 255.255.255.252
mpls
mpls ldp
#
interface GigabitEthernet0/0/1
description connection-to-PE1
ip address 1.1.1.9 255.255.255.252
mpls
mpls ldp
#
interface Cellular0/0/0
link-protocol ppp
#
interface Cellular0/0/1
link-protocol ppp
#
interface NULL0
#
interface LoopBack0
ip address 7.7.7.7 255.255.255.255
#
ospf 1
area 0.0.0.0
network 1.1.1.4 0.0.0.3
network 1.1.1.8 0.0.0.3
network 7.7.7.7 0.0.0.0
#
user-interface con 0
authentication-mode password
set authentication password cipher %$$%!
tYb(ZZXEGRS}W$c^Q9V,$'|4rtg'1dnq~
Nu_6@1"sO#$",%$$%$
user-interface vty 0 4
#
wlan ac
#
voice
#
diagnose
#
return

```

### Směrovač PE2:

```

Current configuration : 1561 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!

```

```

hostname PE2
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!

```

```
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
!
no ip dhcp use vrf connected
!
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
ipv6 unicast-routing
mpls ldp router-id Loopback0
!
!
!
interface Loopback0
 ip address 8.8.8.8 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 description connection-to-P2
 ip address 1.1.1.10 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
 description connection-to-CE2
 no ip address
 duplex auto
 speed auto

ipv6 address 2001:5151::1/64
ipv6 rip CUST-1 enable
!
interface Serial0/1/0
 no ip address
 shutdown
 no fair-queue
 clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 1.1.1.8 0.0.0.3 area 0
 network 8.8.8.8 0.0.0.0 area 0
!
router bgp 100
 no synchronization
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 5.5.5.5 remote-as 100
 neighbor 5.5.5.5 update-source Loopback0
 no auto-summary
!
 address-family ipv6
 neighbor 5.5.5.5 activate
 neighbor 5.5.5.5 send-label
 redistribute connected
 redistribute rip CUST-1
 no synchronization
 exit-address-family
!
ip classless
!
!
ip http server
```

```

no ip http secure-server      !
!                              !
ipv6 router rip CUST-1       line con 0
    redistribute bgp 100      line aux 0
!                              line vty 0 4
!                              login
!                              !
control-plane                end
!

```

### Směrovač CE2:

```

[V200R003C00SPC200]
#
sysname CE2
#
snmp-agent local-engineid 800007DB
    030819A69A8275
snmp-agent
#
cwmp
    cwmp cpe connect retry 0
#
http timeout 3
#
drop illegal-mac alarm
#
ipv6
#
dhcp enable
#
undo dhcp server bootp
#
aaa
    authentication-scheme default
    authorization-scheme default
    accounting-scheme default
    domain default

```

```

domain default_admin
local-user admin password cipher %$$$=i
    ~>Xp&aY+*2cEVcS-A23Uwe%$$$
local-user admin service-type http
#
firewall zone Local
    priority 128
#
interface GigabitEthernet0/0/0
    description connection-to-PE2
    ipv6 enable
    ipv6 address 2001:5151::2/64
    ripng 1 enable
    ip address dhcp-alloc
#
interface GigabitEthernet0/0/1
    description connection-to-PC2
    ipv6 enable
    ipv6 address 2001:2222::1/64
    ripng 1 enable
    ip address dhcp-alloc
#
interface GigabitEthernet0/0/2
#
interface Cellular0/0/0
    link-protocol ppp

```

---

```
#                               b&Dlt*iUG@,Nq0Y|ez>,"Eq/Hsy2Jmf3
interface Cellular0/0/1        N<Jbt4IzY-F"Et,%$%$
  link-protocol ppp            user-interface vty 0 4
#                               #
interface NULL0                wlan ac
#                               #
ripng 1                         voice
#                               #
user-interface con 0            diagnose
  authentication-mode password  #
  set authentication password cpher %$%$}  return
```

---

## B Výpis kompletní konfigurace 6VPE

### Směrovač CE1A:

```

<CE1A>display current-configuration
[V200R003C00SPC200]
#
 sysname CE1A
#
 snmp-agent local-engineid 800007DB
    030819A69BB703
 snmp-agent
#
 cwmp
 cwmp cpe connect retry 0
#
 http timeout 3
#
 drop illegal -mac alarm
#
 ipv6
#
 set transceiver-monitoring disable
#
 dhcp enable
#
 undo dhcp server bootp
#
 aaa
 authentication-scheme default
 authorization-scheme default
 accounting-scheme default
 domain default
 domain default_admin
 local-user admin password cipher %$%$=i
    ~>Xp&aY+*2cEVcS-A23Uwe%$%$
 local-user admin service-type http
#
 firewall zone Local
    priority 16
#
 interface Ethernet0/0/0
#
 interface Ethernet0/0/1
#
 interface Ethernet0/0/2
#
 interface Ethernet0/0/3
#
 interface Ethernet0/0/4
#
 interface Ethernet0/0/5
#
 interface Ethernet0/0/6
#
 interface Ethernet0/0/7
#
 interface GigabitEthernet0/0/0
    description connection-to-PE1A
    ipv6 enable
    ipv6 address 1111::2/64
    ip address dhcp-alloc
#
 interface GigabitEthernet0/0/1
    description connection-to-PC1
    ipv6 enable
    ipv6 address 1111::1/64
    ip address dhcp-alloc
#
 interface Cellular0/0/0
    link-protocol ppp
#

```



```

interface Cellular0/0/1
  link-protocol ppp
#
interface NULL0
#
bgp 65001
  router-id 1.255.255.1
  peer 1111:1::1 as-number 100
#
  ipv4-family unicast
    undo synchronization
#
  ipv6-family unicast
    undo synchronization
    network 1111:: 64
    network 1111:1:: 64
    peer 1111:1::1 enable
#
  user-interface con 0
    authentication-mode password
    set authentication password cipher %$$%$r
      -p2Sle~l0z7FHB/L&JO,$_vtM8BE'VSv
      50,VY+^nN\2$_,%$$%$
  user-interface vty 0 4
#
wlan ac
#
voice
#
  diagnose
#
return

```

### Směrovač CE1B:

```

CE1B#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 1199 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname CE1B
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
  mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
!
no ip dhcp use vrf connected
!
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
ipv6 unicast-routing

```

```

!
!
!
interface FastEthernet0/0
  description connection-to-PC2
  no ip address
  duplex auto
  speed auto
  ipv6 address 2222::1/64
!
interface FastEthernet0/1
  no ip address
  shutdown
  duplex auto
  speed auto
!
interface Serial0/1/0
  description connection-to-PE1B
  no ip address
  ipv6 address 2222:2::2/64
  no fair-queue
  clock rate 64000
!
interface Serial0/1/1
  no ip address
  shutdown
  clock rate 125000
!
router bgp 65002
  no synchronization

  bgp router-id 1.255.255.4
  bgp log-neighbor-changes
  neighbor 2222:2::1 remote-as 100
  no auto-summary
  !
  address-family ipv6
  neighbor 2222:2::1 activate
  network 2222::/64
  network 2222:2::/64
  exit-address-family
!
ip classless
!
!
ip http server
no ip http secure-server
!
!
control-plane
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
end

```

### Směrovač CE2A:

```

CE2A#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 1200 bytes
!

```

```

version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!

```

```
hostname CE2A
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
!
no ip dhcp use vrf connected
!
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
ipv6 unicast-routing
!
!
!
interface FastEthernet0/0
    description connection-to-PC3
    no ip address
    duplex auto
    speed auto
    ipv6 address 3333::1/64
!
!
interface FastEthernet0/1
    description connection-to-PE2A
    no ip address
    duplex auto
    speed auto
    ipv6 address 3333:3::2/64
!
interface Serial0/1/0
    no ip address
    shutdown
    no fair-queue
    clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
    no ip address
    shutdown
    clock rate 125000
!
router bgp 65003
    no synchronization
    bgp router-id 1.255.255.6
    bgp log-neighbor-changes
    neighbor 3333:3::1 remote-as 100
    no auto-summary
!
    address-family ipv6
        neighbor 3333:3::1 activate
        network 3333::/64
        network 3333:3::/64
        exit-address-family
!
ip classless
!
!
ip http server
no ip http secure-server
!
!
!
control-plane
```

```

!
!
!
line con 0
line aux 0

```

```

line vty 0 4
login
!
end

```

### Směrovač CE2B:

```

CE2B#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 1200 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname CE2B
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
!

```

```

no ip dhcp use vrf connected
!
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
ipv6 unicast-routing
!
!
!
interface FastEthernet0/0
description connection-to-PE2B
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 4444:4::2/64
!
interface FastEthernet0/1
description connection-to-PC4
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 4444::1/64
!
interface Serial0/1/0
no ip address
shutdown
no fair-queue
clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1

```

```

no ip address !
shutdown !
clock rate 125000 ip http server
! no ip http secure-server
router bgp 65004 !
no synchronization !
bgp router-id 1.255.255.8 !
bgp log-neighbor-changes control-plane
neighbor 4444:4::1 remote-as 100 !
no auto-summary !
! !
address-family ipv6 line con 0
neighbor 4444:4::1 activate line aux 0
network 4444::/64 line vty 0 4
network 4444:4::/64 login
exit-address-family !
! end
ip classless

```

### Směrovač PE1A:

```

PE1A#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 2302 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE1A
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!

```

```

vrf definition zakaznik1-A
rd 65001:1
!
address-family ipv6
route-target export 65001:10
route-target import 65002:10
route-target import 65003:10
exit-address-family
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
!

```

```
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
voice-card 0
!
!
!
archive
 log config
  hidekeys
!
!
!
interface Loopback0
 ip address 10.255.0.1 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 description connection-to-CE1A
 vrf forwarding zakaznik1-A
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
 ipv6 address 1111:1::1/64
!
interface FastEthernet0/1
 description connection-to-P1
 ip address 1.0.0.1 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface Serial0/1/0
 no ip address
 shutdown
 no fair-queue
 clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 1.0.0.0 0.0.0.3 area 0
 network 10.255.0.1 0.0.0.0 area 0
!
router bgp 100
 no synchronization
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 10.255.0.3 remote-as 100
 neighbor 10.255.0.3 update-source
   Loopback0
 neighbor 10.255.0.4 remote-as 100
 neighbor 10.255.0.4 update-source
   Loopback0
 neighbor 10.255.0.6 remote-as 100
 neighbor 10.255.0.6 update-source
   Loopback0
 no auto-summary
!
 address-family vpnv6
  neighbor 10.255.0.3 activate
  neighbor 10.255.0.3 send-community
    extended
  neighbor 10.255.0.4 activate
  neighbor 10.255.0.4 send-community
    extended
  neighbor 10.255.0.6 activate
  neighbor 10.255.0.6 send-community
    extended
```



```
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
voice-card 0
!
!
!
archive
  log config
  hidekeys
!
!
!
interface Loopback0
  ip address 10.255.0.3 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
  description connection-to-P1
  ip address 1.0.0.6 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
  description connection-to-P2
  ip address 1.0.0.17 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface Serial0/1/0
  description connection-to-CE1B
  vrf forwarding zakaznik1-B
  no ip address
  ipv6 address 2222:2::1/64
  no fair-queue
!
interface Serial0/1/1
  no ip address
  clock rate 125000
!
router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 1.0.0.4 0.0.0.3 area 0
  network 1.0.0.16 0.0.0.3 area 0
  network 10.255.0.3 0.0.0.0 area 0
!
router bgp 100
  bgp log-neighbor-changes
  neighbor 10.255.0.1 remote-as 100
  neighbor 10.255.0.1 update-source
    Loopback0
  neighbor 10.255.0.4 remote-as 100
  neighbor 10.255.0.4 update-source
    Loopback0
  neighbor 10.255.0.6 remote-as 100
  neighbor 10.255.0.6 update-source
    Loopback0
!
  address-family ipv4
    no neighbor 10.255.0.1 activate
    neighbor 10.255.0.4 activate
    neighbor 10.255.0.6 activate
    no auto-summary
    no synchronization
    exit-address-family
!
  address-family vpnv6
    neighbor 10.255.0.1 activate
    neighbor 10.255.0.1 send-community
      extended
```



```

neighbor 10.255.0.4 activate
neighbor 10.255.0.4 send-community
  extended
neighbor 10.255.0.6 activate
neighbor 10.255.0.6 send-community
  extended
exit-address-family
!
address-family ipv6 vrf zakaznik1-B
neighbor 2222:2::2 remote-as 65002
neighbor 2222:2::2 activate
  redistribute connected
  no synchronization
exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
!
neighbor 10.255.0.4 activate
!
neighbor 10.255.0.4 send-community
  extended
neighbor 10.255.0.6 activate
neighbor 10.255.0.6 send-community
  extended
exit-address-family
!
address-family ipv6 vrf zakaznik1-B
neighbor 2222:2::2 remote-as 65002
neighbor 2222:2::2 activate
  redistribute connected
  no synchronization
exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
!
mpls ldp router-id Loopback0
!
control-plane
!
!
!
ccm-manager fax protocol cisco
!
mgcp fax t38 ecm
!
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

### Směrovač PE2A:

```

PE2A#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 2373 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE2A
!
boot-start-marker

```

```

boot system flash:c2801-advipservicesk9-
  mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
vrf definition zakaznik2-A
  rd 65003:1
!
  address-family ipv6
    route-target export 65003:10
    route-target import 65001:10
    route-target import 65004:10
  exit-address-family
!
logging message-counter syslog

```

```
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
!
ip cef
no ip domain lookup
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
voice-card 0
!
!
!
archive
 log config
  hidekeys
!
!
!
interface Loopback0
 ip address 10.255.0.4 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 description connection-to-P2
 ip address 1.0.0.13 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
 description connection-to-PC3

vrf forwarding zakaznik2-A
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 3333:3::1/64
!
interface Serial0/1/0
 description connection-to-P1
 ip address 1.0.0.10 255.255.255.252
 mpls ip
 no fair-queue
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 1.0.0.8 0.0.0.3 area 0
 network 1.0.0.12 0.0.0.3 area 0
 network 10.255.0.4 0.0.0.0 area 0
!
router bgp 100
 no synchronization
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 10.255.0.1 remote-as 100
 neighbor 10.255.0.1 update-source
   Loopback0
 neighbor 10.255.0.3 remote-as 100
 neighbor 10.255.0.3 update-source
   Loopback0
 neighbor 10.255.0.6 remote-as 100
 neighbor 10.255.0.6 update-source
   Loopback0
 no auto-summary
!
 address-family vpnv6
```



```
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
!
!
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
voice-card 0
!
!
!
archive
 log config
  hidekeys
!
!
!
interface Loopback0
 ip address 10.255.0.6 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 description connection-to-P2
 ip address 1.0.0.22 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
 description connection-to-PC4
 vrf forwarding zakaznik2-B
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
 ipv6 address 4444:4::1/64
!
interface Serial0/1/0
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
interface Serial0/2/0
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
interface Serial0/2/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 1.0.0.20 0.0.0.3 area 0
 network 10.255.0.6 0.0.0.0 area 0
!
router bgp 100
 no synchronization
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 10.255.0.1 remote-as 100
```





---

```

!
ccm-manager fax protocol cisco
!
mgcp fax t38 ecm
!
!
!
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

---

### Směrovač P2:

---

```

<P2>display current-configuration
[V200R003C00SPC200]
#
sysname P2
#
snmp-agent local-engineid 800007DB
030819A69A8275
snmp-agent
#
cwmp
cwmp cpe connect retry 0
#
http timeout 3
#
drop illegal-mac alarm
#
mpls lsr-id 10.255.0.5
mpls
#
mpls ldp
#
#
aaa
authentication-scheme default
authorization-scheme default
accounting-scheme default
domain default

```

```

domain default_admin
local-user admin password cipher %$%$=i
~>Xp&aY+*2cEVcS-A23Uwe%$%$
local-user admin service-type http
#
firewall zone Local
priority 128
#
interface GigabitEthernet0/0/0
description connection-to-PE2A
ip address 1.0.0.14 255.255.255.252
mpls
mpls ldp
#
interface GigabitEthernet0/0/1
description connection-to-PE1B
ip address 1.0.0.18 255.255.255.252
mpls
mpls ldp
#
interface GigabitEthernet0/0/2
description connection-to-PE2B
ip address 1.0.0.21 255.255.255.252
mpls
mpls ldp
#
interface Cellular0/0/0

```

---

```
link-protocol ppp
#
interface Cellular0/0/1
  link-protocol ppp
#
interface NULL0
#
interface LoopBack0
  ip address 10.255.0.5 255.255.255.252
#
ospf 1
  area 0.0.0.0
    network 1.0.0.12 0.0.0.3
    network 1.0.0.16 0.0.0.3
    network 1.0.0.20 0.0.0.3
    network 10.255.0.5 0.0.0.0

#
user-interface con 0
  authentication-mode password
  set authentication password cipher %
    $%$(985~o<ui#lJ)W&/6p|F,$+)J@'p(&
    jz;T:"d!)69Aa@$+,,%$%$
user-interface vty 0 4
#
wlan ac
#
voice
#
  diagnose
#
return
```

---



## C Výpis směrovacích tabulek na CE směrovačích v realizaci 6VPE

### Směrovač CE1A

```
<CE1A>display ipv6 routing-table
```

```
Routing Table : Public
```

```
Destinations : 10    Routes : 10
```

```
Destination : ::1                PrefixLength : 128
NextHop     : ::1                Preference   : 0
Cost       : 0                   Protocol    : Direct
RelayNextHop : ::                TunnelID    : 0x0
Interface  : InLoopBack0        Flags       : D
```

```
Destination : 1111::            PrefixLength : 64
NextHop     : 1111::1          Preference   : 0
Cost       : 0                   Protocol    : Direct
RelayNextHop : ::                TunnelID    : 0x0
Interface  : GigabitEthernet0/0/1  Flags       : D
```

```
Destination : 1111::1          PrefixLength : 128
NextHop     : ::1              Preference   : 0
Cost       : 0                   Protocol    : Direct
RelayNextHop : ::                TunnelID    : 0x0
Interface  : GigabitEthernet0/0/1  Flags       : D
```

```
Destination : 1111:1::         PrefixLength : 64
NextHop     : 1111:1::2        Preference   : 0
Cost       : 0                   Protocol    : Direct
RelayNextHop : ::                TunnelID    : 0x0
Interface  : GigabitEthernet0/0/0  Flags       : D
```

```
Destination : 1111:1::2        PrefixLength : 128
NextHop     : ::1              Preference   : 0
Cost       : 0                   Protocol    : Direct
RelayNextHop : ::                TunnelID    : 0x0
Interface  : GigabitEthernet0/0/0  Flags       : D
```

---

Destination	: 2222::	PrefixLength	: 64
NextHop	: 1111:1::1	Preference	: 255
Cost	: 0	Protocol	: EBGp
RelayNextHop	::	TunnelID	: 0x0
Interface	: GigabitEthernet0/0/0	Flags	: D

Destination	: 2222:2::	PrefixLength	: 64
NextHop	: 1111:1::1	Preference	: 255
Cost	: 0	Protocol	: EBGp
RelayNextHop	::	TunnelID	: 0x0
Interface	: GigabitEthernet0/0/0	Flags	: D

Destination	: 3333::	PrefixLength	: 64
NextHop	: 1111:1::1	Preference	: 255
Cost	: 0	Protocol	: EBGp
RelayNextHop	::	TunnelID	: 0x0
Interface	: GigabitEthernet0/0/0	Flags	: D

Destination	: 3333:3::	PrefixLength	: 64
NextHop	: 1111:1::1	Preference	: 255
Cost	: 0	Protocol	: EBGp
RelayNextHop	::	TunnelID	: 0x0
Interface	: GigabitEthernet0/0/0	Flags	: D

Destination	: FE80::	PrefixLength	: 10
NextHop	: ::	Preference	: 0
Cost	: 0	Protocol	: Direct
RelayNextHop	::	TunnelID	: 0x0
Interface	: NULL0	Flags	: D

---

## Směrovač CE1B

---

CE1B#show ipv6 route

IPv6 Routing Table – 8 entries

Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, R – RIP, B – BGP

U – Per-user Static route

I1 – ISIS L1, I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary

O – OSPF intra, OI – OSPF inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2

ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2

---

```
B 1111::/64 [20/0]
  via FE80::217:5AFF:FE4B:52F2, Serial0/1/0
B 1111:1::/64 [20/0]
  via FE80::217:5AFF:FE4B:52F2, Serial0/1/0
C 2222::/64 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
L 2222::1/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
C 2222:2::/64 [0/0]
  via ::, Serial0/1/0
L 2222:2::2/128 [0/0]
  via ::, Serial0/1/0
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
```

---

### Směrovač CE2A

---

```
CE2A#show ipv6 route
IPv6 Routing Table – 10 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, R – RIP, B – BGP
       U – Per-user Static route
       I1 – ISIS L1, I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary
       O – OSPF intra, OI – OSPF inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
       ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
B 1111::/64 [20/0]
  via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
B 1111:1::/64 [20/0]
  via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
C 3333::/64 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
L 3333::1/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
C 3333:3::/64 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/1
L 3333:3::2/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/1
B 4444::/64 [20/0]
```

---

```
    via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
B 4444:4::/64 [20/0]
    via FE80::21E:F7FF:FEAC:4A63, FastEthernet0/1
L FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
```

---

## Směrovač CE2B

---

```
CE2B#show ipv6 route
IPv6 Routing Table – 8 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, R – RIP, B – BGP
        U – Per-user Static route
        I1 – ISIS L1, I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary
        O – OSPF intra, OI – OSPF inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
        ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
B 3333::/64 [20/0]
    via FE80::217:5AFF:FE4B:5359, FastEthernet0/0
B 3333:3::/64 [20/0]
    via FE80::217:5AFF:FE4B:5359, FastEthernet0/0
C 4444::/64 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
L 4444::1/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
C 4444:4::/64 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
L 4444:4::2/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
L FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
```

---

## D Výpis kompletní konfigurace AToM

### Směrovač CE1A:

```

CE1A-CR3#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 1197 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname CE1A
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
!
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
voice-card 0
!
!
!
archive
log config
hidekeys
!
!
interface FastEthernet0/0
description connection-to-PE1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 3333::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface FastEthernet0/1
description connection-to-PC1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 1111::1/64
ipv6 ospf 1 area 0
!
interface Serial0/1/0
no ip address
shutdown
no fair-queue
clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
no ip address
shutdown

```



```

interface Ethernet0/0/1
#
interface Ethernet0/0/2
#
interface Ethernet0/0/3
#
interface Ethernet0/0/4
#
interface Ethernet0/0/5
#
interface Ethernet0/0/6
#
interface Ethernet0/0/7
#
interface GigabitEthernet0/0/0
description connection-to-PE2
ipv6 enable
ipv6 address 3333::2/64
ospfv3 1 area 0.0.0.0
ip address dhcp-alloc
#
interface GigabitEthernet0/0/1
description connection-to-PC2
ipv6 enable
ipv6 address 2222::1/64

ospfv3 1 area 0.0.0.0
#
interface Cellular0/0/0
link-protocol ppp
#
interface Cellular0/0/1
link-protocol ppp
#
interface NULL0
#
user-interface con 0
authentication-mode password
set authentication password cipher %
    $%$.dJQg--C5')PO5vC!H6,%MwfqE
    $=1,EoDzRI'VObm)J%Mz,%$%$
user-interface vty 0 4
#
wlan ac
#
voice
#
diagnose
#
return

```

### Směrovač CE2A:

```

CE2A#show running-config
Building configuration ...

Current configuration : 1197 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!

```

```

hostname CE2A
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model

```





---

```
!  
scheduler allocate 20000 1000
```

```
end
```

---

### Směrovač CE2B:

---

```
CE2B#show running-config  
Building configuration ...  
  
Current configuration : 1318 bytes  
!  
version 12.4  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname CE2B  
!  
boot-start-marker  
boot system flash:c2801-advipservicesk9-  
    mz.124-22.T.bin  
boot-end-marker  
!  
logging message-counter syslog  
!  
no aaa new-model  
dot11 syslog  
ip source-route  
!  
!  
!  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
multilink bundle-name authenticated  
!  
!  
!
```

```
voice-card 0  
!  
!  
!  
archive  
    log config  
        hidekeys  
!  
!  
!  
interface FastEthernet0/0  
    description connection-to-PC4  
    no ip address  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address 5555::1/64  
    ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface FastEthernet0/1  
    description connection-to-PE2  
    no ip address  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address 6666::2/64  
    ipv6 ospf 1 area 0  
!  
interface Serial0/1/0  
    no ip address  
    shutdown  
    clock rate 125000  
!  
interface Serial0/1/1  
    no ip address
```

---

```

shutdown
clock rate 125000
!
interface Serial0/2/0
no ip address
shutdown
clock rate 125000
!
interface Serial0/2/1
no ip address
shutdown
clock rate 125000
!
ip forward-protocol nd
ip http server
no ip http secure-server
!
!
!
ipv6 router ospf 1
router-id 5.5.5.5

log-adjacency-changes
!
!
!
control-plane
!
!
!
ccm-manager fax protocol cisco
!
mgcp fax t38 ecm
!
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

---

**Směrovač PE1:**


---

```

<PE1>display current-configuration
[V200R003C00SPC200]
#
sysname PE1
#
snmp-agent local-engineid 800007DB
030819A69A8275
snmp-agent
#
cwmp
cwmp cpe connect retry 0
#
http timeout 3

#
drop illegal-mac alarm
#
license active accept agreement
license function datae
#
dhcp enable
#
undo dhcp server bootp
#
mpls lsr-id 10.255.0.1
mpls
#

```

```

mpls l2vpn
#
mpls ldp
#
#
mpls ldp remote-peer pe2
  remote-ip 10.255.0.4
#
aaa
  authentication-scheme default
  authorization-scheme default
  accounting-scheme default
  domain default
  domain default_admin
  local-user admin password cipher %$%$=i
    ~>Xp&aY+*2cEVcS-A23Uwe%$%$
  local-user admin service-type http
#
firewall zone Local
  priority 128
#
interface GigabitEthernet0/0/0
  description connection-to-CE1A
  mpls l2vc 10.255.0.4 100
  ip address dhcp-alloc
#
interface GigabitEthernet0/0/1
  description connection-to-CE2A
  mpls l2vc 10.255.0.4 200
  ip address dhcp-alloc
#
interface GigabitEthernet0/0/2
  description connection-to-P1
  ip address 1.0.0.1 255.255.255.252

mpls
mpls ldp
#
interface Cellular0/0/0
  link-protocol ppp
#
interface Cellular0/0/1
  link-protocol ppp
#
interface NULL0
#
interface LoopBack0
  ip address 10.255.0.1 255.255.255.255
#
ospf 1
  area 0.0.0.0
  network 1.0.0.0 0.0.0.3
  network 10.255.0.1 0.0.0.0
#
user-interface con 0
  authentication-mode password
  set authentication password cipher %$%$!
    hRlVw(cHEbdnDV{N!D,"0"g7zk*EW8-
    M,P{jjY*hH6"0%,%$%$
user-interface vty 0 4
#
wlan ac
#
voice
#
diagnose
#
return

```

**Směrovač PE2:**

---

```
PE2#show run
Building configuration ...

Current configuration : 1349 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE2
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
    mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
!
!
ip cef
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
!
!
mpls ldp neighbor 10.255.0.1 targeted ldp
!
!
!
voice-card 0
!
```

```
!
!
archive
log config
hidekeys
!
!
!
interface Loopback0
ip address 10.255.0.4 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
description connection-to-CE1B
no ip address
duplex auto
speed auto
xconnect 10.255.0.1 100 encapsulation
    mpls
!
interface FastEthernet0/1
description connction-to-CE2B
no ip address
duplex auto
speed auto
xconnect 10.255.0.1 200 encapsulation
    mpls
!
interface Serial0/1/0
description connection-to-P2
ip address 1.0.0.10 255.255.255.252
mpls ip
no fair-queue
!
interface Serial0/1/1
no ip address
clock rate 125000
!
router ospf 1
```



```

ip address 10.255.0.2 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
  description connection-to-P1
  ip address 1.0.0.2 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
  description connection-to-P2
  ip address 1.0.0.5 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
  mpls ip
!
interface Serial0/1/0
  no ip address
  shutdown
  no fair-queue
  clock rate 125000
!
interface Serial0/1/1
  no ip address
  shutdown
  clock rate 125000
!
router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 1.0.0.0 0.0.0.3 area 0
  network 1.0.0.4 0.0.0.3 area 0
  network 10.255.0.2 0.0.0.0 area 0
!
ip classless
!
ip http server
no ip http secure-server
!
!
control-plane
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
end

```

### Směrovač P2:

```

P2#show run
Building configuration ...

Current configuration : 1161 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption

```

```

!
hostname P2
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-advipservicesk9-
      mz.124-22.T.bin
boot-end-marker
!
!

```

---

```
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
!
no ip dhcp use vrf connected
!
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
mpls ldp router-id Loopback0
!
!
!
interface Loopback0
 ip address 10.255.0.3 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1
 description connection-to-P1
 ip address 1.0.0.6 255.255.255.252
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!

interface Serial0/1/0
 description connection-to-PE2
 ip address 1.0.0.9 255.255.255.252
 mpls ip
 no fair-queue
 clock rate 64000
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 125000
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 1.0.0.4 0.0.0.3 area 0
 network 1.0.0.8 0.0.0.3 area 0
 network 10.255.0.3 0.0.0.0 area 0
!
ip classless
!
!
ip http server
no ip http secure-server
!
!
!
control-plane
!
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
end
```

---

## E Výpis směrovacích tabulek na CE směrovačích v realizaci AToM

### Směrovač CE1A:

```

CE1A#show ipv6 route
IPv6 Routing Table – Default – 6 entries
Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, U – Per–user Static route
       B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1
       I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP
       EX – EIGRP external
       O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2
       ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2
C 1111::/64 [0/0]
   via FastEthernet0/1, directly connected
L 1111::1/128 [0/0]
   via FastEthernet0/1, receive
O 2222::/64 [110/2]
   via FE80::A19:A6FF:FE9B:B704, FastEthernet0/0
C 3333::/64 [0/0]
   via FastEthernet0/0, directly connected
L 3333::1/128 [0/0]
   via FastEthernet0/0, receive
L FF00::/8 [0/0]
   via Null0, receive

```

### Směrovač CE1B:

```

<CE1B>display ipv6 routing–table
Routing Table : Public
Destinations : 7      Routes : 7

Destination : ::1          PrefixLength : 128
NextHop     : ::1          Preference   : 0
Cost        : 0            Protocol     : Direct
RelayNextHop : ::          TunnelID    : 0x0
Interface   : InLoopBack0  Flags       : D

Destination : 1111::       PrefixLength : 64

```



---

NextHop : FE80::21E:F7FF:FEAC:4820 Preference : 10  
Cost : 2 Protocol : OSPFv3  
RelayNextHop :: TunnelID : 0x0  
Interface : GigabitEthernet0/0/0 Flags : D

Destination : 2222:: PrefixLength : 64  
NextHop : 2222::1 Preference : 0  
Cost : 0 Protocol : Direct  
RelayNextHop :: TunnelID : 0x0  
Interface : GigabitEthernet0/0/1 Flags : D

Destination : 2222::1 PrefixLength : 128  
NextHop : ::1 Preference : 0  
Cost : 0 Protocol : Direct  
RelayNextHop :: TunnelID : 0x0  
Interface : GigabitEthernet0/0/1 Flags : D

Destination : 3333:: PrefixLength : 64  
NextHop : 3333::2 Preference : 0  
Cost : 0 Protocol : Direct  
RelayNextHop :: TunnelID : 0x0  
Interface : GigabitEthernet0/0/0 Flags : D

Destination : 3333::2 PrefixLength : 128  
NextHop : ::1 Preference : 0  
Cost : 0 Protocol : Direct  
RelayNextHop :: TunnelID : 0x0  
Interface : GigabitEthernet0/0/0 Flags : D

Destination : FE80:: PrefixLength : 10  
NextHop : :: Preference : 0  
Cost : 0 Protocol : Direct  
RelayNextHop :: TunnelID : 0x0  
Interface : NULL0 Flags : D

---

### Směrovač CE2A:

---

CE2A#show ipv6 route  
IPv6 Routing Table – Default – 6 entries

---

Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, U – Per–user Static route  
B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1  
I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP  
EX – EIGRP external  
O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2  
ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2

C 4444::/64 [0/0]  
via FastEthernet0/0, directly connected

L 4444::1/128 [0/0]  
via FastEthernet0/0, receive

O 5555::/64 [110/2]  
via FE80::217:5AFF:FE4B:5359, FastEthernet0/1

C 6666::/64 [0/0]  
via FastEthernet0/1, directly connected

L 6666::1/128 [0/0]  
via FastEthernet0/1, receive

L FF00::/8 [0/0]  
via Null0, receive

---

### Směrovač CE2B:

---

CE2B#show ipv6 route  
IPv6 Routing Table – Default – 6 entries

Codes: C – Connected, L – Local, S – Static, U – Per–user Static route  
B – BGP, M – MIPv6, R – RIP, I1 – ISIS L1  
I2 – ISIS L2, IA – ISIS interarea, IS – ISIS summary, D – EIGRP  
EX – EIGRP external  
O – OSPF Intra, OI – OSPF Inter, OE1 – OSPF ext 1, OE2 – OSPF ext 2  
ON1 – OSPF NSSA ext 1, ON2 – OSPF NSSA ext 2

O 4444::/64 [110/2]  
via FE80::21E:F7FF:FEAC:40D3, FastEthernet0/1

C 5555::/64 [0/0]  
via FastEthernet0/0, directly connected

L 5555::1/128 [0/0]  
via FastEthernet0/0, receive

C 6666::/64 [0/0]  
via FastEthernet0/1, directly connected

L 6666::2/128 [0/0]  
via FastEthernet0/1, receive

L FF00::8 [0/0]  
via Null0, receive

---