

Žilinská univerzita v Žiline

Fakulta riadenia a informatiky

Projektovanie sietí 1

MPLS

Martin Drozdík

Miroslav Dočár

5ZKS11

Obsah

1	Protokol MPLS – Cvičenie 1	2
1.1	Fyzická topológia	2
1.2	Vypracovanie adresného plánu	3
1.3	Úlohy na vypracovanie	4
1.3.1	Použitie protokolu IS-IS	4
1.3.2	MPLS a LDP	5
1.3.3	Routereflector	7
2	Protokol MPLS - Cvičenie 2	10
3	Protokol MPLS – Cvičenie 3	15
4	Protokol MPLS – Cvičenie 4	18

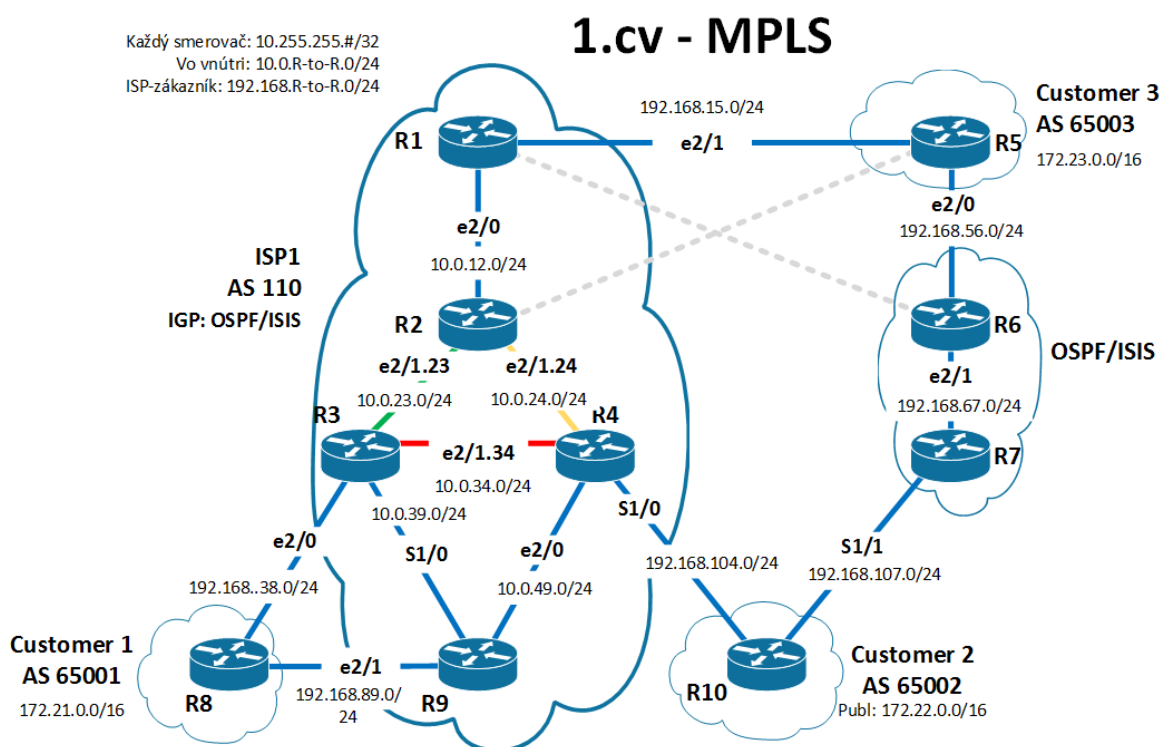
1 Protokol MPLS – Cvičenie 1

Hlavným cieľom cvičení bolo oboznámenie sa s protokolom MPLS a aplikovanie vedomostí pri konfigurácii tohto protokolu s použitím IGP smerovacích protokolov (OSPF alebo IS-IS) a BGP.

Zadanie cvičenia bolo tvorené topológiou a úlohami, ktoré bolo treba aplikovať v danej topológii.

1.1 Fyzická topológia

Nasledujúca topológia pozostáva z desiatich smerovačov označených ako R1 až R10, pričom smerovače R6 a R7 neboli zapnuté. V AS 110 sme použili smerovací protokol IS-IS.



1.2 Vypracovanie adresného plánu

Konkrétne pridelené adresy rozhraniám sú popísané v nasledujúcej tabuľke:

Smerovač	Rozhranie	Adresa	Maska
R1	Loopback0	10.255.255.1	255.255.255.255
	E2/0	10.0.12.1	255.255.255.0
	E2/1	192.168.15.1	255.255.255.0
R2	Loopback0	10.255.255.2	255.255.255.255
	E2/0	10.0.12.2	255.255.255.0
	E2/1.23	10.0.23.2	255.255.255.0
	E2/1.24	10.0.24.2	255.255.255.0
R3	loopback0	10.255.255.3	255.255.255.255
	E2/0	192.168.38.3	255.255.255.0
	E2/1.23	10.0.23.3	255.255.255.0
	E2/1.34	10.0.34.3	255.255.255.0
	S1/0	10.0.39.3	255.255.255.0
R4	Loopback0	10.255.255.4	255.255.255.255
	E2/0	10.0.49.4	255.255.255.0
	E2/1.24	10.0.24.4	255.255.255.0
	E2/1.34	10.0.34.4	255.255.255.0
	S1/0	192.168.104.4	255.255.255.0
R5	Loopback0	10.255.255.5	255.255.255.255
	E2/0	192.168.56.5	255.255.255.0
	E2/1	192.168.15.5	255.255.255.0
R6	Loopback0	10.255.255.6	255.255.255.255
	E2/0	192.168.56.6	255.255.255.0
	E2/1	192.168.67.6	255.255.255.0
R7	Loopback0	10.255.255.7	255.255.255.255
	E2/1	192.168.67.7	255.255.255.0
	S1/1	192.168.107.7	255.255.255.0
R8	Loopback0	10.255.255.8	255.255.255.255
	E2/0	192.168.38.8	255.255.255.0
	E2/1	192.168.89.8	255.255.255.0
R9	Loopback0	10.255.255.9	255.255.255.255
	E2/0	10.0.49.9	255.255.255.0
	E2/1	192.168.89.9	255.255.255.0
	S1/0	10.0.39.9	255.255.255.0
R10	Loopback0	10.255.255.10	255.255.255.255
	S1/0	192.168.104.10	255.255.255.0
	S1/1	192.168.107.10	255.255.255.0

Ďalej v rámci logiky protokolu IS-IS bolo treba vypracovať aj L2 adresovanie v nasledujúcom tvare:

<#AFI.#AREA_ID.#SYSTEM_ID.#NSEL>, kde:

AFI – predstavuje hodnotu 49 pre privátne domény

AREA_ID – predstavuje číslo oblasti, v našom prípade 0002

SYSTEM_ID – je vypočítané z ip adresy rozhrania loopback0 na smerovači

NSEL – defaultne 00

Jednotlivé adresy sú popísané v nasledujúcej tabuľke:

Smerovač	NET adresa
R1	49.0002.0102.5525.5001.00
R2	49.0002.0102.5525.5002.00
R3	49.0002.0102.5525.5003.00
R4	49.0002.0102.5525.5004.00
R9	49.0002.0102.5525.5009.00

1.3 Úlohy na vypracovanie

MPLS basicconnectivity:

1. Použitie protokolu IS-IS
2. MPLS
3. LDP
4. RouteReflector
5. MP-BGP

1.3.1 Použitie protokolu IS-IS

Protokol IS-IS sme použili v AS 110 pre vnútornú komunikáciu medzi smerovačmi. Keďže sme už veľakrát tento protokol použili, uvádzame len základné výpisy (detailnejšie je rozpísaná v predchádzajúcich dokumentáciach).

```
R2#shisishostname
```

```
Level System ID    DynamicHostname (notag)
```

```
2  0102.5525.5003 R3
```

```
* 0102.5525.5002 R2
```

```
2  0102.5525.5001 R1
```

```
2  0102.5525.5004 R4
```

```
2  0102.5525.5009 R9
```

```
R2#shisisdata
```

```
IS-IS Level-2 Link State Database:
```

```
LSPID          LSP SeqNum  LSP Checksum  LSP Holdtime  ATT/P/OL
```

```
R1.00-00      0x0000002C 0x83B1        583           0/0/0
```

R2.00-00	* 0x00000034	0xCFEB	732	0/0/0
R2.01-00	* 0x00000013	0xDE7F	512	0/0/0
R3.00-00	0x00000030	0xA11E	1192	0/0/0
R3.02-00	0x00000014	0xF464	1047	0/0/0
R4.00-00	0x0000001C	0xEDE0	583	0/0/0
R4.01-00	0x00000004	0x2246	520	0/0/0
R4.02-00	0x00000004	0x3432	624	0/0/0
R9.00-00	0x00000017	0x7886	727	0/0/0
R9.02-00	0x00000004	0x6BEF	599	0/0/0

Konfiguračné príkazy pre IS-IS (použité na smerovačoch R1, R2, R3, R4, R9):

```
R1(config)#router isis
R1(config-router)#net 49.0002.0102.5525.5001.00
R1(config)#interface loopback0
R1(config-if)#ip router isis
```

IS-IS bol zapnutý len na vnútorných rozhraniach v AS 110 a na loopback-och.

1.3.2 MPLS a LDP

MPLS konfigurácia pozostávala zo 4 príkazov a bol nasadený len v AS 110, čiže na smerovačoch R1, R2, R3, R4, R9. Konfiguračné príkazy boli nasledovné:

```
R1(config)#ipcef - ciscoexpressforwarding
R1(config)#mplslabellprotocoll - LDP pre výmenu návěstí
R1(config)#mplsip - globálne zapnutie MPLS
R1(config-if)#mplsip - zapnutie MPLS na jednotlivých rozhraniach
```

Príkaz *mplsip* sme dali len na rozhrania smerujúce na smerovače vo vnútri AS 110. Loopbacky ale ostali bez tohto príkazu. Posledným príkazom bolo nastavenie LDP router-id na loopback-och daného smerovača:

```
R1(config-if)#mplsldp router-id loopback0 force
```

V nasledujúcej tabuľke je vidieť, že sa LDP identifikátor smerovača R1 sa nastavil ako adresa loopbacku0 a zároveň je vidieť aj suseda na rozhraní E2/0 smerovač R2 s LDP ID 10.255.255.2:

```
R1#shmplsldpdiscovery
Local LDP Identifier:
10.255.255.1:0
DiscoverySources:
Interfaces:
  Ethernet2/0 (ldp): xmit/recv
  LDP Id: 10.255.255.2:0
```

V nasledujúcej tabuľke je vidieť značkovanie jednotlivých trás:

```
R1#shmplsforwarding-table
```

LocalLabel	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	BytesLabel Switched	Outgoing interface	Next Hop
16	23	10.255.255.9/32	0	Et2/0	10.0.12.2
17	24	10.255.255.4/32	0	Et2/0	10.0.12.2
19	26	10.0.39.0/24	0	Et2/0	10.0.12.2
20	18	10.0.49.0/24	0	Et2/0	10.0.12.2
21	20	10.255.255.3/32	0	Et2/0	10.0.12.2
22	Pop Label	10.0.24.0/24	0	Et2/0	10.0.12.2
23	Pop Label	10.0.23.0/24	0	Et2/0	10.0.12.2
24	Pop Label	10.255.255.2/32	0	Et2/0	10.0.12.2
25	17	10.0.34.0/24	0	Et2/0	10.0.12.2

Pre zabezpečenie konektivity zákazníkov R5, R8 a R10, bolo potrebné nakonfigurovať na nich BGP a spojiť ich s AS 110. Taktiež bolo potrebné ohlasovať ich siete (v našom prípade to boli loopbacky0). Ako ukážka je ukázaný smerovač R10.

```
R10(config)# router bgp 65002
R10(config-router)#neighbor 192.168.104.4 remote-as 110
R10(config-router)#address-family ipv4 unicast
R10(config-router-af)#neighbor 192.168.104.4 activate
R10(config-router-af)#network 10.255.255.10 mask 255.255.255.255
```

Po týchto krokoch by sme mali vidieť v BGP tabuľke všetky smerovače. Použili sme príkaz *ipbgp ipv4 unicast*:

```
R10#sh ipbgp ipv4 unicast
```

	Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*>	10.255.255.1/32	192.168.104.4			0	110 i
*>	10.255.255.2/32	192.168.104.4			0	110 i
*>	10.255.255.3/32	192.168.104.4			0	110 i
*>	10.255.255.4/32	192.168.104.4	0		0	110 i
*>	10.255.255.5/32	192.168.104.4			0	110 65003 i
*>	10.255.255.8/32	192.168.104.4			0	110 65001 i
*>	10.255.255.9/32	192.168.104.4			0	110 i
*>	10.255.255.10/32	0.0.0.0	0		32768	i

Overenie konektivity v tomto štádiu sme overili tracerout-om, kde sme skúšali trasu medzi R5 a R10. Je vidieť aj návštevu MPLS po trase:

```
R5#traceroute 10.255.255.10 source 10.255.255.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.255.255.10
 1 192.168.15.1 84 msec 32 msec 24 msec
 2 10.0.12.2 [MPLS: Label 24 Exp 0] 32 msec 44 msec 36 msec
 3 10.0.24.4 92 msec 56 msec 100 msec
 4 192.168.104.10 116 msec * 76 msec
```

1.3.3 Routerreflector

Vo vnútri AS 110 sme sa rozhodli zvoliť RR smerovač R1. To zabezpečí tú vlastnosť, že už nebude vo vnútri potrebná fullmesh konektivita ale hub-and-spoke, kde hub bude R1 a spokmi budú R2, R3, R4 a R9.

Smerovače R2, R3, R4 a R9 treba nakonfigurovať na susedstvo len so smerovačom R1:

```
R2(config)# router bgp 110
R2(config-router)#neighbor 10.255.255.1 remote-as 110
R2(config-router)#neighbor 10.255.255.1 update-source Loopback0
R2(config-router)#address-family ipv4 unicast
R2(config-router-af)#neighbor 10.255.255.1 activate
R2(config-router-af)#neighbor 10.255.255.1 next-hop-self
R2(config-router-af)#network 10.255.255.2 mask 255.255.255.255
```

A následne treba smerovač R1 nastaviť ako RouteReflector. Bola použitá peergroup, pre zjednodušenie konfigurácie všetkých susedstiev:

```
R2(config)# router bgp 110
R2(config-router)#neighbor PEERSpeer-group
R2(config-router)#neighborPEERSremote-as 110
R2(config-router)#neighborPEERS update-source Loopback0
R2(config-router)#neighbor10.255.255.2peer-group PEERS
R2(config-router)#neighbor10.255.255.3peer-group PEERS
R2(config-router)#neighbor10.255.255.4peer-group PEERS
R2(config-router)#neighbor10.255.255.9peer-group PEERS
R2(config-router)#neighbor 192.168.15.5remote-as 65003

R2(config-router)#address-family ipv4 unicast
R2(config-router-af)#neighbor PEERS route-reflector-client
R2(config-router-af)#neighbor PEERS next-hop-self
R2(config-router-af)#neighbor 192.168.15.5 activate
```

Aktivovať susedov v peergroup sa už nemusí, pretože sú aktivovaní automaticky.

Ukážka, že sa RouteReflector naozaj podarilo nakonfigurovať je nasledujúca:

```
R1#sh ipbgppeer-group PEERS
BGP peer-group is PEERS, remote AS 110
BGP version 4
Neighborsessions:
  0 active, is not multisessioncapable (disabled)
Default minimum time between advertisement runs is 0 seconds

For address family: IPv4 Unicast
```


BGP neighbor is PEERS, peer-group internal, members:

10.255.255.2 10.255.255.3 10.255.255.4 10.255.255.9

Index 0, Advertise bit 0

Route-Reflector Client

NEXT_HOP is always this router for BGP paths

Update messages formatted 0, replicated 0

Number of NLRI in the update sent: max 0, min 0

Je tu vidieť, kto všetko patrí do tejto skupiny a aj pre akú addressfamily funguje.

Overenie funkčnosti sme vykonali tclsh skriptom pre ping všetkých loopbackov v sieti (pingali sme zo smerovača R10). Test prebehol úspešne a my sme mali plnú konektivitu v celej sieti:

```
R10#tclsh
R10(tcl)#foreachaddress {
+>10.255.255.1
+>10.255.255.2
+>10.255.255.3
+>10.255.255.4
+>10.255.255.5
+>10.255.255.8
+>10.255.255.9
+>10.255.255.10
+>} {
+>ping $addresssource 10.255.255.10 }
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.1, timeout is 2 seconds:
Packetsentwith a sourceaddress of 10.255.255.10
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 56/66/88 ms
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.2, timeout is 2 seconds:
Packetsentwith a sourceaddress of 10.255.255.10
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 16/44/80 ms
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.3, timeout is 2 seconds:
Packetsentwith a sourceaddress of 10.255.255.10
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/42/68 ms
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.4, timeout is 2 seconds:
Packetsentwith a sourceaddress of 10.255.255.10
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 12/30/64 ms
Type escape sequence to abort.
```

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.5, timeout is 2 seconds:

Packets sent with a source address of 10.255.255.10

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 60/89/116 ms

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.8, timeout is 2 seconds:

Packets sent with a source address of 10.255.255.10

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 48/64/84 ms

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.9, timeout is 2 seconds:

Packets sent with a source address of 10.255.255.10

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 32/51/72 ms

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.255.255.10, timeout is 2 seconds:

Packets sent with a source address of 10.255.255.10

!!!!

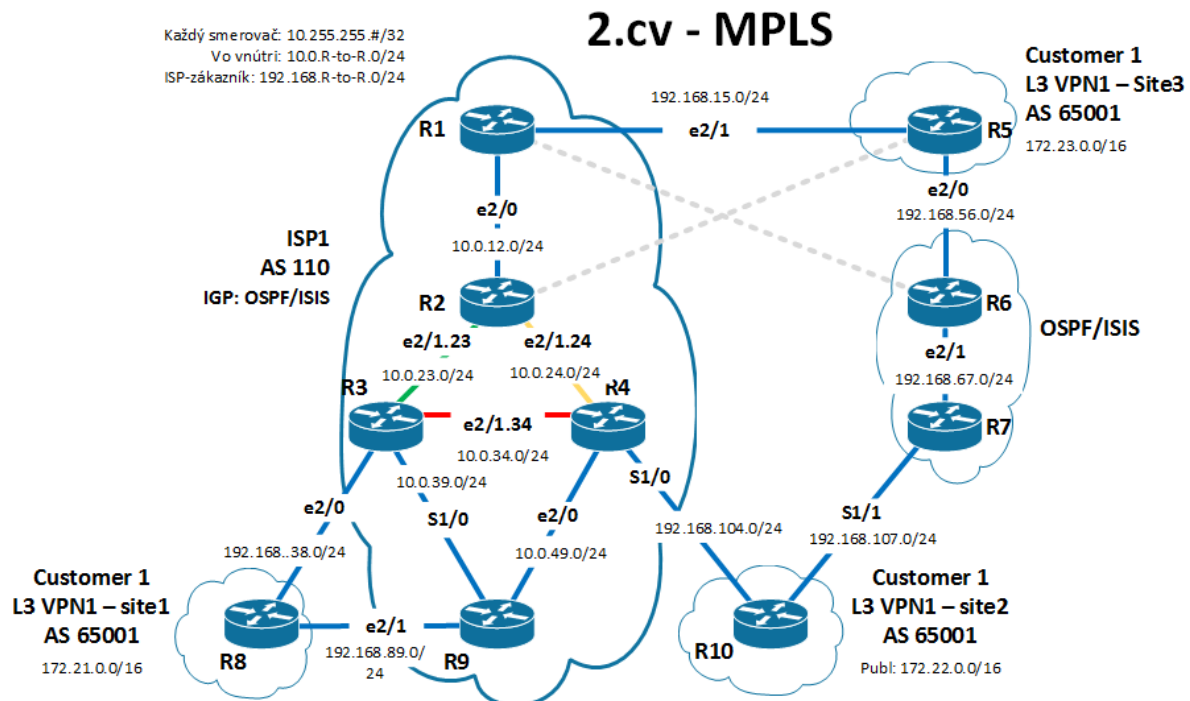
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/7/12 ms

Nakoniec ešte ukážka smerovacej tabuľky na smerovači R2, kde je vidieť pekne všetky loopbacky a 3 z nich sú vnesené do tabuľky pomocou BGP protokolu (R5, R8 a R10):

```
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 17 subnets, 2 masks
C    10.0.12.0/24 is directly connected, Ethernet2/0
L    10.0.12.2/32 is directly connected, Ethernet2/0
C    10.0.23.0/24 is directly connected, Ethernet2/1.23
L    10.0.23.2/32 is directly connected, Ethernet2/1.23
C    10.0.24.0/24 is directly connected, Ethernet2/1.24
L    10.0.24.2/32 is directly connected, Ethernet2/1.24
i L1 10.0.34.0/24 [115/20] via 10.0.24.4, 02:56:59, Ethernet2/1.24
      [115/20] via 10.0.23.3, 02:56:59, Ethernet2/1.23
i L1 10.0.39.0/24 [115/20] via 10.0.23.3, 04:01:13, Ethernet2/1.23
i L1 10.0.49.0/24 [115/20] via 10.0.24.4, 02:56:43, Ethernet2/1.24
i L1 10.255.255.1/32 [115/20] via 10.0.12.1, 04:05:06, Ethernet2/0
C    10.255.255.2/32 is directly connected, Loopback0
i L1 10.255.255.3/32 [115/20] via 10.0.23.3, 04:01:13, Ethernet2/1.23
i L1 10.255.255.4/32 [115/20] via 10.0.24.4, 02:57:08, Ethernet2/1.24
B    10.255.255.5/32 [200/0] via 10.255.255.1, 00:06:37
B    10.255.255.8/32 [200/0] via 10.255.255.3, 00:06:28
i L1 10.255.255.9/32 [115/30] via 10.0.24.4, 02:51:48, Ethernet2/1.24
      [115/30] via 10.0.23.3, 02:51:48, Ethernet2/1.23
B    10.255.255.10/32 [200/0] via 10.255.255.4, 00:06:21
```

2 Protokol MPLS - Cvičenie 2

V rámci druhého cvičenia z MPLS bolo potrebné pozmeniť topológiu tak, že všetci traja zákazníci sa nachádzajú v tom istom autonómnom systéme AS 65001 nasledovne:



Všetkým trom zákazníkom bolo potrebné pridať nové siete pre rozhranie Loopback10 nasledovne:

R5	Loopback10	172.23.0.5 /24
R8	Loopback10	172.21.0.8 /24
R10	Loopback10	172.22.0.10 /24

Týchto zákazníkov sme teraz namiesto BGP prepojili pomocou VPN. Preto bolo potrebné na smerovačoch v rámci AS 110 zapnúť VRF (Virtual Routing Instance) pre všetkých zákazníkov.

Pre vytvorenie tejto unikátnej VPN cesty treba definovať Route Distinguisher (RD) a Route Target (RT) nasledovne:

```
R1(config)# ip vrf z1
R1(config-vrf)# rd 110:1
R1(config-vrf)# route-target 110:1
```

Ako príklad je uvedená konfigurácia na smerovači R1, tento úkon však treba zopakovať aj na ostatných smerovačoch v rámci AS 110.

Následne je potrebné danú VRF priradiť všetkým rozhraniam smerujúcim k danému zákazníkovi. Toto treba spraviť na R1 smerom k R5, na smerovači R9 smerom k R8 a taktiež na smerovači R4 smerom k R10.

```
R1(config)# interface Ethernet2/0
R1(config-if)# ip vrf forwarding z1
```

Po zadaní tohto príkazu sa z rozhrania odstráni IP adresa, preto sa odporúča dodržať nasledovnú postupnosť konfigurácie:

- Vytvoriť VRF
- Priradiť VRF k rozhraniu
- Priradiť IP adresu k rozhraniu

VRF používa vlastnú smerovaciu tabuľku takže po konfigurácii sa záznam presunie z globálnej smerovacej tabuľky do smerovacej tabuľky VRF z1 nasledovne:

```
R1#show ip vrf
```

Name	Default RD	Interfaces
z1	110:1	Et2/1

Rovnako ako v prvej časti sme si ako route-reflector zvolili smerovač R1. Tentoraz však bolo potrebné nakonfigurovať pomocou address-family vpnv4 nasledovne:

```
R1(config)# router bgp 110
R1(config-router)# no bgp default ipv4-unicast
R1(config-router)# neighbor PEERS peer-group
R1(config-router)# neighbor PEERS remote-as 110
R1(config-router)# neighbor PEERS update-source Loopback0
R1(config-router)# neighbor 10.255.255.2 peer-group PEERS
R1(config-router)# neighbor 10.255.255.3 peer-group PEERS
R1(config-router)# neighbor 10.255.255.4 peer-group PEERS
R1(config-router)# neighbor 10.255.255.9 peer-group PEERS
R1(config-router)# neighbor 192.168.15.5 remote-as 65001
R1(config-router)# address-family vpnv4
R1(config-router-af)# neighbor PEERS send-community extended
R1(config-router-af)# neighbor PEERS route-reflector-client
R1(config-router-af)# neighbor 10.255.255.3 activate
R1(config-router-af)# neighbor 10.255.255.4 activate
R1(config-router-af)# neighbor 10.255.255.9 activate
R1(config-router-af)# neighbor 10.255.255.2 activate
```

```
R3(config)# router bgp 110
R3(config-router)# no bgp default ipv4-unicast
R3(config-router)# neighbor 10.255.255.1 remote-as 110
R3(config-router)# neighbor 10.255.255.1 update-source Lo0
R3(config-router)# address-family vpnv4
R3(config-router-af)# neighbor 10.255.255.1 activate
```

Túto konfiguráciu treba zopakovať aj na ostatných PE smerovačoch (R2, R4, R9).

Následne je potrebné nadviazať BGP susedstvá medzi PE (Provider edge) smerovačmi v AS 110 a CE (Customer edge) smerovačmi v zákazníckych AS 65001.

Ako bolo spomenuté vyššie PE smerovače toto spojenie riešia pomocou VRF, preto aj konfiguračné zmeny vykonávame v konfiguračnom režime vrf z1 nasledovne:

```
R1(config)# router bgp 110
R1(config-router)# address-family ipv4 vrf z1
R1(config-router-af)# neighbor 192.168.15.5 remote-as 65001
R1(config-router-af)# neighbor 192.168.15.5 activate
R1(config-router-af)# neighbor 192.168.15.5 as-override
R1(config-router-af)# redistribute connected
```

Napríklad príkazov as-override sme zabezpečili aby smerovače nezhadzovali siete, ktoré prechádzajú do rovnakého AS, konkrétne AS 65001. Týmto spôsobom sa zákazníckym smerovačom objavia siete Lo0 aj Lo10.

Príkazom redistribute connected sme zabezpečili distribúciu všetkých pripojených sietí zákazníka v rámci BGP.

Príklad je uvedený na smerovači R1 smerom ku zákazníckemu smerovaču R5, rovnakú konfiguráciu musíme vykonať aj na smerovači R9 smerom k R8 a taktiež na smerovači R4 smerom k R10.

CE smerovače sa konfigurujú podobne, avšak nie v móde VRF ale v klasickom address-family ipv4 unicast, keďže zákazníci sa nezaujímajú o VRF. Musíme teda aktivovať spojenie na suseda a siete, ktoré chceme ohlasovať.

Na smerovačoch CE (R5, R8, R10) nám od poslednej konfigurácie ostal nakonfigurovaný BGP protokol ale so zlým AS, pri smerovači R5 to bol konkrétne AS 65003. Tieto AS môžeme vymazať pretože budeme konfigurovať iba AS 65001.

```
R5(config)# no router bgp 65003
R8(config)# no router bgp 65001
R10(config)# no router bgp 65002
```

```
R5(config)# router bgp 65001
```

```
R5(config-router)# address-family ipv4 unicast
R5(config-router-af)# network 10.255.255.5 mask 255.255.255.255
R5(config-router-af)# network 172.23.0.0 mask 255.255.255.0
R5(config-router-af)# neighbor 192.168.15.1 activate
```

Obdobnú konfiguráciu musíme vykonať aj na ostatných zákazníckych smerovačoch R8 a R10.

Po takejto konfigurácii by sa na smerovačoch CE v smerovacej tabuľke pre BGP ipv4 unicast mali objaviť siete smerovačov CE (R5, R8, R10) oboch rozhraní (Lo0 a Lo10).

```
R5#show ip bgp ipv4 unicast
BGP table version is 18, local router ID is 172.23.0.5
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, m multipath, b backup-path, f RT-Filter,
               x best-external, a additional-path, c RIB-compressed,
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
RPKI validation codes: V valid, I invalid, N Not found
```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 10.255.255.5/32	0.0.0.0	0		32768	i
*> 10.255.255.8/32	192.168.15.1			0	110 110 i
*> 10.255.255.10/32	192.168.15.1			0	110 110 i
*> 172.21.0.0/24	192.168.15.1			0	110 110 i
*> 172.22.0.0/24	192.168.15.1			0	110 110 i
*> 172.23.0.0/24	0.0.0.0	0		32768	i
r> 192.168.15.0	192.168.15.1	0			0 110 ?
*> 192.168.38.0	192.168.15.1				0 110 ?
*> 192.168.104.0	192.168.15.1				0 110 ?

Overiť to môžeme nástrojmi ping alebo traceroute napríklad zo zákazníckeho smerovača R5 na R10 nasledovne:

```
R5#ping 172.22.0.10 source 172.23.0.5
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.22.0.10, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 172.23.0.5
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 68/93/108 ms
```

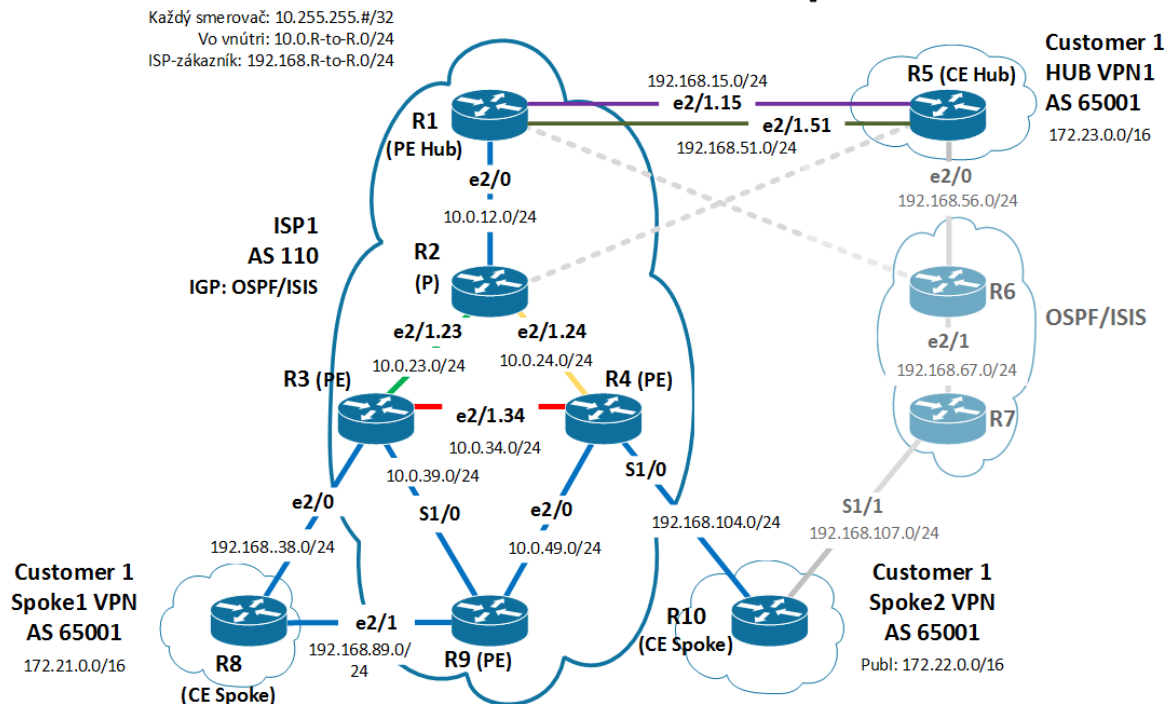
```
R5#traceroute 172.22.0.10 source 172.23.0.5
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.22.0.10
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
```

<i>1 192.168.15.1 [AS 110] 84 msec 28 msec 36 msec</i>
<i>2 10.0.12.2 [MPLS: Labels 24/25 Exp 0] 148 msec 80 msec 68 msec</i>
<i>3 192.168.104.4 [AS 110] [MPLS: Label 25 Exp 0] 96 msec 76 msec 44 msec</i>
<i>4 192.168.104.10 [AS 110] 108 msec * 108 msec</i>

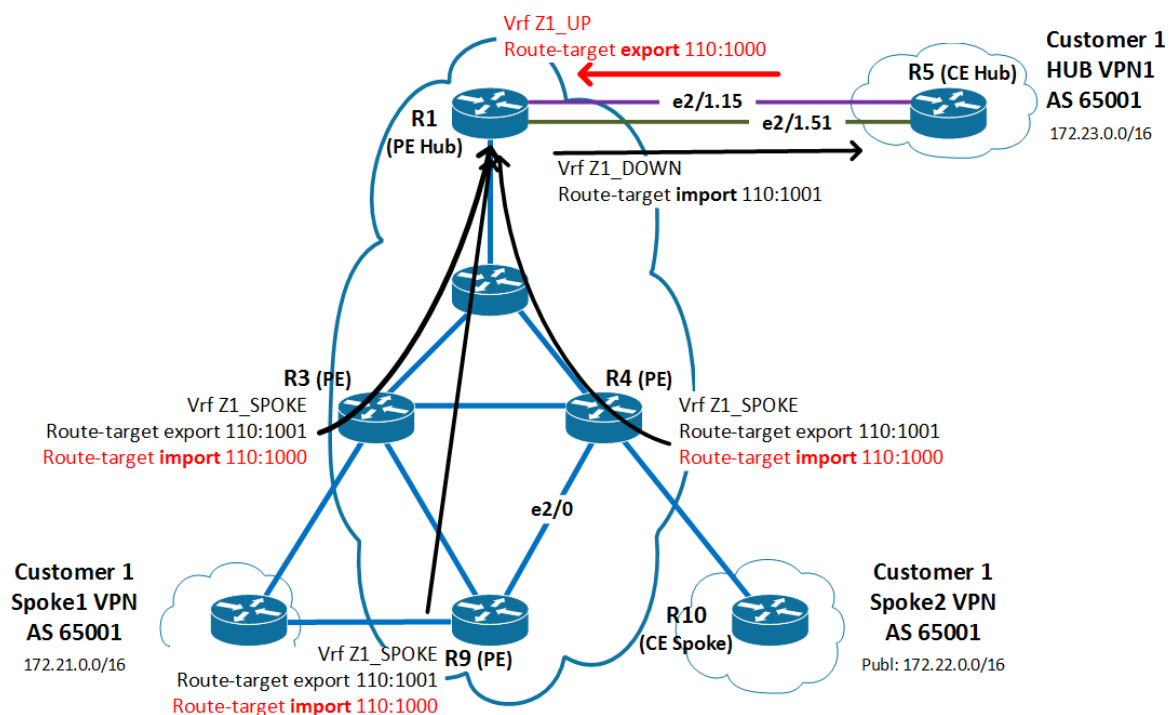
3 Protokol MPLS – Cvičenie 3

V nasledujúcom cvičení bolo cieľom nakonfigurovať topológiu HUB and SPOKE pomocou VPN ako v predchádzajúcom cvičení. Topológia sa zmenila nasledovne:

3.cv – Hub and Spoke VPN



Princíp VRF je zobrazený na nasledovnom obrázku:



V prvom rade bolo potrebné odstrániť staré VRF, ktoré sa používali v predchádzajúcich cvičeniach. Konkrétne príkazom *no ip vrf z1*. Následne sme museli zmeniť rozhranie e2/1 na smerovačoch R1 a R5, vytvoriť dva subrozhrania kde jeden slúžil ako import pri komunikácii s HUBom a druhý slúžil ako export. Konfigurácia na smerovači R1 je nasledovná:

Zákaznícke vrf pre export a import:

```
R1(config)# ip vrf z1_down
R1(config-vrf)# rd 110:2
R1(config-vrf)# route-target import 110:1001

R1(config)# ip vrf z1_up
R1(config-vrf)# rd 110:1
R1(config-vrf)# route-target export 110:1000
```

Konfigurácia subrozhraní pre smer import a export:

```
R1(config)# interface Ethernet2/1
R1(config-if)# no ip address

R1(config)# interface Ethernet2/1.15
R1(config-if)# encapsulation dot1Q 15
R1(config-if)# ip vrf forwarding z1_up
R1(config-if)# ip address 192.168.15.1 255.255.255.0

R1(config)# interface Ethernet2/1.51
R1(config-if)# encapsulation dot1Q 51
R1(config-if)# ip vrf forwarding z1_down
R1(config-if)# ip address 192.168.51.1 255.255.255.0
```

Konfigurácia smerovacieho protokolu BGP, address-family vrf pre import a export:

```
R1(config)# router bgp 110
R1(config-router)# address-family ipv4 vrf z1_down
R1(config-router-as)# neighbor 192.168.51.5 remote-as 65001
R1(config-router-as)# neighbor 192.168.51.5 activate
R1(config-router-as)# neighbor 192.168.51.5 as-override

R1(config-router)# address-family ipv4 vrf z1_up
R1(config-router-as)# redistribute static
R1(config-router-as)# neighbor 192.168.15.5 remote-as 65001
R1(config-router-as)# neighbor 192.168.15.5 activate
R1(config-router-as)# neighbor 192.168.15.5 as-override
R1(config-router-as)# default-information originate
```

A nakoniec defaultná cesta, aby celá komunikácia smerovala na HUB. Túto cestu sme do BGP redistribuovali pomocou príkazov *redistribute static* a *default-information originate*.

```
R1(config)# ip route vrf z1_up 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.15.5
```

Toto bola ukážka konfigurácie na smerovači R1, samozrejme subrozhrania bolo treba nastaviť aj na smerovači R5.

Zákaznícke vrf bolo treba nakonfigurovať aj na ostatných okrajových PE smerovačoch (R3, R4, R9), avšak nie dve pre import a export ako pri smerovači R1, ale iba jednu vrf nasledovne:

```
R4(config)# ip vrf z1_spoke
R4(config-vrf)# rd 110:1
R4(config-vrf)# route-target export 110:1001
R4(config-vrf)# route-target import 110:1000

R4(config)# interface Ethernet2/0
R4(config-if)# ip vrf forwarding z1_spoke
R4(config-if)# ip address 192.168.38.3 255.255.255.0

R4(config)# router bgp 110
R4(config-router)# address-family ipv4 vrf z1_spoke
R4(config-router-af)# neighbor 192.168.38.8 remote-as 65001
R4(config-router-af)# neighbor 192.168.38.8 activate
R4(config-router-af)# neighbor 192.168.38.8 as-override
```

Overením tejto konfigurácie môže byť príkaz *traceroute*, ktorý nám ukáže že každá cesta bude prechádzať cez HUB smerovač R5. Nasledovný príkaz ukazuje cestu zo smerovača R8 na smerovač R10:

```
R8#traceroute 172.22.0.10 source 172.21.0.8
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.22.0.10
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.89.9 [AS 110] 48 msec 32 msec 28 msec
 2 10.0.39.3 [AS 110] [MPLS: Labels 20/26 Exp 0] 260 msec 80 msec 132 msec
 3 10.0.23.2 [AS 110] [MPLS: Labels 21/26 Exp 0] 84 msec 240 msec 152 msec
 4 192.168.15.1 [AS 110] [MPLS: Label 26 Exp 0] 188 msec 232 msec 88 msec
 5 192.168.15.5 [AS 110] 120 msec 116 msec 144 msec
 6 192.168.51.1 [AS 110] 84 msec 104 msec 128 msec
 7 10.0.12.2 [AS 110] [MPLS: Labels 24/27 Exp 0] 272 msec * 224 msec
 8 *
   192.168.104.4 [AS 110] [MPLS: Label 27 Exp 0] 216 msec 248 msec
 9 192.168.104.10 [AS 110] 236 msec * 264 msec
```

4 Protokol MPLS – Cvičenie 4

V rámci tohto cvičenia bolo potrebné nastaviť multicast cez VPN, tzv. Draft Rosen koncept. Pre lepšiu viditeľnosť a komunikáciu uzlov v sieti sme sa rozhodli vrátiť do stavu z druhého cvičenia, kde sme nemali Hub and Spoke topológiu ale mali sme troch zákazníkov z AS 65001 prepojených pomocou VPN.

Ukážka konfigurácie na smerovači R1:

```
R5(config)# ip multicast-routing
R5(config)# interface Loopback0
R5(config-if)# ip address 3.3.3.3 255.255.255.255
R5(config-if)# ip pim sparse-mode
R5(config)# interface Ethernet2/0
R5(config-if)# ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
R5(config-if)# ip pim sparse-mode
R5(config)# interface Ethernet2/1
R5(config-if)# ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
R5(config-if)# ip pim sparse-mode
R5(config)# ip pim rp-address 10.255.255.1
```

Rovnakú konfiguráciu treba aplikovať aj na ostatné smerovače s tým, že adresa RP (Rendezvous Point) bude pre smerovače PE adresa smerovača R1 10.255.255.1 a pre smerovače CE to bude adresa Lo10 smerovača R5 172.23.0.5.

Na okrajových PE smerovačoch (R1, R3, R4) bolo potrebné zadať nasledovný príkaz pre smerovanie na VRF:

```
R1(config)# ip multicast-routing vrf z1
```

A taktiež bolo treba pridať do zákazníckej VRF z1 nasledovný príkaz pre vyhradenie multicastovej skupiny:

```
R1(config)#ip vrf z1
R1(config-vrf)#mdt default 239.1.2.3
```

Na týchto okrajových smerovačoch bolo taktiež treba zadať nasledovný príkaz pre nastavenie RP zákazníckej VRF:

```
R1(config)# ip pim vrf Z1 rp-address 172.23.1.1
```

Následne bolo potrebné pre overenie funkčnosti, požiadať o pridelenie smerovača do multicastovej skupiny. Na smerovači R8 sme požiadali o vstup do multicastovej skupiny 239.1.1.1 nasledovne:

```
R8(config)# interface Lo10
R8(config-if)#ip igmp join-group 239.1.1.1
R8#sh ip igmp groups
```

IGMP Connected Group Membership

Group Address	Interface	Uptime	Expires	Last Reporter	Group Accounted
229.1.1.1	Loopback10	00:00:04	never	172.21.0.8	
224.0.1.40	Ethernet2/0	02:19:44	00:01:58	192.168.38.8	

Následné overenie bolo riešené pingom zo strany zákazníka na multicastovú skupinu. Do multicastovej skupiny sme priradili smerovač R8 aj smerovač R10, preto vo výpise vidíme dve odpovede.

```
R5#ping 229.1.1.1 source Lo10 repeat 5
```

```
Type escape sequence to abort.
```

```
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 229.1.1.1, timeout is 2 seconds:
```

```
Reply to request 0 from 172.21.0.8, 84 ms
```

```
Reply to request 0 from 172.22.0.10, 88 ms
```

```
Reply to request 1 from 172.22.0.10, 88 ms
```

```
Reply to request 1 from 172.21.0.8, 88 ms
```

```
Reply to request 2 from 172.22.0.10, 88 ms
```

```
Reply to request 2 from 172.21.0.8, 88 ms
```

```
Reply to request 3 from 172.22.0.10, 88 ms
```

```
Reply to request 3 from 172.21.0.8, 88 ms
```

```
Reply to request 4 from 172.22.0.10, 88 ms
```

```
Reply to request 4 from 172.21.0.8, 88 ms
```

Na nasledovnom výpise môžeme vidieť zdroj pre danú multicastovú skupinu (229.1.1.1) je smerovač R5 s IP adresou rozhrania 192.168.15.5. Následná komunikácia prebieha cez rozhranie Tunnel3, pretože Draft-Rosen využíva GRE tunelovanie.

```
R1#sh ip mroute vrf z1 229.1.1.1
```

```
IP Multicast Routing Table
```

```
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
```

```
L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
```

```
T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry, E - Extranet,
```

```
X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
```

```
U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
```

```
Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
```

```
Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group,
```

```
G - Received BGP C-Mroute, g - Sent BGP C-Mroute,
```

```
Q - Received BGP S-A Route, q - Sent BGP S-A Route,
```

```
V - RD & Vector, v - Vector
```

```
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
```

```
Timers: Uptime/Expires
```

```
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode
```

```
(*, 229.1.1.1), 00:18:20/00:02:50, RP 172.23.0.5, flags: S
```

```
Incoming interface: Ethernet2/1, RPF nbr 192.168.15.5
```

Outgoing interface list:

Tunnel3, Forward/Sparse, 00:11:58/00:02:50

(192.168.15.5, 229.1.1.1), 00:13:25/00:03:29, flags: T

Incoming interface: Ethernet2/1, RPF nbr 192.168.15.5

Outgoing interface list:

Tunnel3, Forward/Sparse, 00:11:58/00:02:50