

# EXTREME NETWORKS LAYER 3 - TOIMINNALLISUUS

Jarkko Laaksonen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2012

Tietotekniikan koulutusohjelma  
Informaatioteknologian instituutti





Tekijä(t) LAAKSONEN, Jarkko	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 27.04.2012
	Sivumäärä 148 + 54	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi EXTREME NETWORKS LAYER 3 -TOIMINNALLISUUS		
Koulutusohjelma Tietotekniikan (Tietoverkkotekniikan) koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) NARIKKA, Jorma		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu VATANEN, Marko		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun SpiderNet-laboratorioympäristöön. Ympäristö toimii opetus- ja tutkimusympäristönä eri verkkotekniikoille ja mahdollistaa operaattoripohjaisen lähestymistavan eri tekniikoita tutkittaessa.</p> <p>Työn tarkoituksena oli tutkia verkkotekniikoiden toimintaa eri laitevalmistajien laitteiden kesken ja kuinka OSI-viitemallin layer 3 -toiminnallisuus toimii Extreme Networks-laitevalmistajan laitteilla. Työssä tarkasteltiin seuraavia tekniikoita: OSPF, BGP, NAT, VRRP, ESRP, PIM, MSDP, IPv6 (BGP4+), BFD ja reitityspoliittikoja.</p> <p>Opinnäytetyössä luotiin perustopologia, johon tutkittavia tekniikoita sovellettiin. Perustopologian avulla voidaan yhdistää eri tutkimuskohtien toiminnat yhdeksi kokonaisuudeksi ja mahdollistaa näin muiden tekniikoiden tutkiminen. Osa tutkimuskohteista vaati erillisen topologian, jotta tekniikan toimivuus voitiin todeta. Jokaiselle tutkimuskohdalle luotiin omat laitekohtaiset konfiguraatiot ja testaustoiminnot. Tutkimuskohtia IPv6 (BGP4+), NAT ja BFD ei ollut mahdollista toteuttaa SpiderNet-ympäristössä olevilla Extreme Networksin laitevalikoimalla johtuen tekniikoiden puuttumisesta laitteiden toiminnoista.</p> <p>Tutkittavien tekniikoiden toimivuuden todentamisen jälkeen voitiin todeta, että kyseiset tekniikat toimivat käytetyillä Extreme Networksin laitteilla. Laitteet pystyivät toimimaan ympäristössä, joka piti sisällään kahden muun laitevalmistajan laitteita.</p>		
Avainsanat (asiasanat) BGP, ESRP, Extreme Networks, MSDP, Multicast, OSPF, PIM, VRRP, Reitityspoliittikka		
Muut tiedot		



Author(s) LAAKSONEN, Jarkko	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 27042012
	Pages 148 + 54	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title LAYER 3 FUNCTIONALITY IN EXTREME NETWORKS		
Degree Programme Information Technology (Data Network Technology)		
Tutor(s) NARIKKA, Jorma		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences VATANEN, Marko		
Abstract <p>The thesis project was carried out in the laboratory environment called SpiderNet at JAMK University of Applied Sciences. The Environment acts as an educational and examining environment for different network technologies. It also enables ISP-based approach for different technologies.</p> <p>The primary objective of the thesis was to study network technologies in a multivendor environment and find out how OSI model, layer 3 functionality in particular works with Extreme Networks switches. The following techniques were examined: OSPF, BGP, NAT, VRRP, ESRP, PIM, IPv6 (BGP4+), BFD and routing policy rules.</p> <p>In the thesis a basic topology was created where the examined techniques were to be applied. With a basic topology different examined techniques can be combined as one entity. This entity allows examining even more techniques. Some of the examined techniques required different kind of topology to verify their functionality. Every examination point had their own device specific configurations and testing methods. It was not possible to execute the examined IPv6, NAT and BFD points in the SpiderNet environment. The reason for this was the lack of the aforementioned techniques in the Extreme Network switches used in the thesis.</p> <p>When the examined techniques were proven to function properly, it could be said that they work with the Extreme Networks equipment used in the thesis. The equipment was able to function in an environment that consisted of equipment from two other manufacturers.</p>		
Keywords BGP, ESRP, Extreme Networks, MSDP, Multicast, OSPF, PIM, VRRP, Routing policy		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

LYHENTEET.....	10
1 LÄHTÖKOHDAT .....	13
1.1 Toimeksiantaja .....	13
1.2 Tutkittavat kohteet.....	13
1.3 Tavoite.....	13
1.4 Tutkimusympäristö.....	14
1.4.1 SpiderNet.....	14
1.4.2 Topologiat ja laitteisto.....	15
1.4.3 Työssä käytetyt laitteet.....	18
2 OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF).....	19
2.1 Yleistä.....	19
2.2 OSPF:n toiminta.....	20
2.3 Hello-protokolla .....	21
2.4 Hello-paketti.....	21
2.5 DR- ja BDR-reitittimet.....	22
2.6 OSPF-alueet .....	23
2.7 LSA-viestit .....	25
3 BORDER GATEWAY PROTOCOL (BGP).....	27
3.1 Yleistä.....	27
3.2 AS-numerointi.....	27
3.3 BGP-naapuruussuhde ja -viestityypit.....	28
3.4 BGP-reittiheijastin.....	31
4 MULTICAST .....	34
4.1 Protocol Independent Multicast (PIM).....	34
4.1.1 Yleistä.....	34
4.1.2 Sparse-mode (PIM-SM).....	35

	2
4.1.3 RP-puu.....	36
4.1.4 Lyhimmän reitin puu (Shortest Path Tree, SPT).....	37
4.1.5 Bootstrap-protokolla.....	37
4.2 Multicast Source Discovery Protocol (MSDP) .....	39
4.2.1 Yleistä.....	39
4.2.2 Jakelupuun muodostuminen.....	40
4.2.3 PIM-SM ja RPF tarkistus eri AS-alueiden välillä.....	41
4.2.4 MSDP naapuruus.....	42
4.2.5 SA-viestit.....	43
5 REDUNDATTISET PROTOKOLLAT .....	44
5.1 Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP).....	44
5.1.1 Yleistä.....	44
5.1.2 Master-roolin valinta ja priority-arvo.....	45
5.1.3 Virtuaalisen reitittimen MAC-osoite.....	45
5.1.4 Tracking mode.....	45
5.1.5 Virtuaalisen reitittimen perustoiminta.....	46
5.2 Extreme Standby Router Protocol (ESRP).....	48
5.2.1 Yleistä.....	48
5.2.2 ESRP-domain .....	49
5.2.3 Master-kytkimen valinta .....	50
6 ROUTING POLICY .....	53
6.1 Yleistä.....	53
6.2 Poliittikkojen eri muodot.....	53
6.2.1 Reititietojen filtteriinti NLRI:n perusteella .....	53
6.2.2 Reititietojen filtteriinti AS_PATH-attribuutin perusteella.....	53
6.2.3 Reititietojen filtteriinti reittikarttojen (route maps) avulla.....	54
6.2.4 Peer-ryhmät .....	55
6.2.5 BGP-Communityt.....	55

7 NAT, BFD ja IPv6 .....	56
8 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS JA TULOKSET .....	57
8.1 Toteutusympäristö .....	57
8.1.1 Topologia .....	57
8.1.2 Laitteisto .....	58
8.1.3 Portit .....	59
8.1.4 IP-osoitteet .....	60
8.2 OSPF .....	60
8.2.1 Topologia ja laitteisto .....	60
8.2.2 Tutkittavat kohteet .....	61
8.2.3 OSPF-konfigurointi .....	61
8.2.4 Tulokset .....	67
8.3 BGP .....	74
8.3.1 Topologia ja laitteisto .....	74
8.3.2 Tutkittavat kohteet .....	74
8.3.3 BGP-konfigurointi .....	75
8.3.4 Tulokset .....	84
8.4 Multicast .....	90
8.4.1 PIM .....	90
8.4.1.1 Topologia ja laitteisto .....	90
8.4.1.2 Tutkittavat kohteet .....	91
8.4.2 PIM-konfigurointi .....	92
8.4.3 PIM-tulokset .....	97
8.4.4 MSDP .....	103
8.4.4.1 Topologia ja laitteisto .....	103
8.4.4.2 Tutkittavat kohteet .....	104
8.4.5 MSDP-konfigurointi .....	104
8.4.6 MSDP-tulokset .....	109

8.5 VRRP .....	115
8.5.1 Topologia ja laitteisto .....	115
8.5.2 Tutkittavat kohteet.....	116
8.5.3 VRRP-konfigurointi .....	116
8.5.4 VRRP-tulokset .....	120
8.5.4.1 OSPF-toimivuus .....	120
8.5.4.2 Master/backup-reitittimien tarkastelu .....	121
8.5.4.3 Master-roolin luovutus .....	122
8.6 ESRP .....	124
8.6.1 Topologia ja laitteisto .....	124
8.6.2 Tutkittavat kohteet.....	124
8.6.3 ESRP-konfigurointi .....	125
8.6.4 ESRP-tulokset .....	128
8.7 Routing policy .....	134
8.7.1 Topologia ja laitteisto .....	134
8.7.2 Tutkittavat kohteet.....	134
8.7.3 Konfigurointi.....	135
8.7.3.1 Route aggregation .....	136
8.7.3.2 Mainostettavien reitittietojen muokkaus .....	137
8.7.3.3 AS-numeron muuttaminen reitittietoon .....	138
8.7.3.4 AS-numeron lisääminen reitittietoon .....	139
8.7.4 Routing policy -tulokset .....	140
8.7.4.1 Route aggregation .....	140
8.7.4.2 Mainostettavien reitittietojen muokkaus .....	141
8.7.4.3 AS-numeron muuttaminen reitittietoon .....	142
8.7.4.4 AS-numeron lisääminen reitittietoon .....	144
9 YHTEENVETO .....	146
9.1 Toteutus ja tulosten arviointi.....	146

9.2 Jatkotutkimukset.....	147
LÄHTEET .....	149
LIITTEET.....	150
Liite 1. Portit .....	150
Liite 2. Perustopologian IP – osoitteistus.....	151
Liite 3 OSPF, WG1-R1-konfiguraatiot .....	152
Liite 4. OSPF, WG4-R1-konfiguraatiot .....	153
Liite 5. OSPF, WG5-R1-konfiguraatiot .....	154
Liite 6. OSPF, MetroSW1-konfiguraatiot .....	155
Liite 7. OSPF, MetroCore1-konfiguraatiot .....	157
Liite 8. OSPF, Juniper-R1-konfiguraatiot .....	158
Liite 9. BGP, Juniper-R2-konfiguraatiot.....	160
Liite 10. BGP, MetroCore1-konfiguraatiot.....	162
Liite 11. BGP, MetroCore2-konfiguraatiot .....	164
Liite 12. BGP, WG3-R1-konfiguraatiot.....	166
Liite 13. BGP, WG4-R1-konfiguraatiot.....	168
Liite 14. BGP, WG5-R1-konfiguraatiot.....	169
Liite 15. PIM, WG1-R1-konfiguraatiot.....	171
Liite 16. PIM, WG4-R1-konfiguraatiot.....	172
Liite 17. PIM, WG5-R1-konfiguraatiot.....	173
Liite 18. PIM, MetroCore1-konfiguraatiot.....	175
Liite 19. PIM, MetroSW1-konfiguraatiot .....	177
Liite 20. PIM, Juniper-R1-konfiguraatiot .....	179
Liite 21. VRRP, MetroCore1-konfiguraatiot .....	181
Liite 22. VRRP, MetroCore2-konfiguraatiot .....	183
Liite 23. VRRP, MetroSW1-konfiguraatiot .....	185
Liite 24. VRRP, MetroSW2-konfiguraatiot .....	186
Liite 25. VRRP, MetroSW3-konfiguraatiot .....	188



Liite 26. VRRP, MetroSW4-konfiguraatiot .....	189
Liite 27. ESRP, MetroCore1-konfiguraatiot .....	191
Liite 28. ESRP, MetroCore2-konfiguraatiot .....	193
Liite 29. ESRP, MetroSW1-konfiguraatiot .....	195
Liite 30. ESRP, MetroSW2-konfiguraatiot .....	197
Liite 31. ESRP, MetroSW3-konfiguraatiot .....	199
Liite 32. ESRP, MetroSW4-konfiguraatiot .....	201

## KUVIOT

KUVIO 1. Spidernet-topologia (ks. alkuperäinen kuvio: SpiderNet 2009.).....	15
KUVIO 2. Cisco core -ympäristö.....	16
KUVIO 3. Juniper-ympäristö.....	16
KUVIO 4. ExtremeNetworks-ympäristö.....	17
KUVIO 5. Työryhmän WG1-topologia .....	18
KUVIO 6. Täysin kytketty verkko.....	22
KUVIO 7. DR-reittimen vaikutus täysinkytketyssä verkossa.....	23
KUVIO 8. IANA:n aluekohtaiset internet-rekisterit (IANA.) .....	28
KUVIO 9. IBGP-ympäristö ilman reittiheijastinta .....	31
KUVIO 10. IBGP-ympäristö reittiheijastinta käytettäessä .....	32
KUVIO 11. Lyhimmän reitin puun hyöty .....	35
KUVIO 12. Jakelupuun muodostuminen PIM-domainien välille.....	40
KUVIO 13. Virtuaalisen reitittimen muodostaminen .....	46
KUVIO 14. Kahden virtuaalireitittimen muodostaminen .....	47
KUVIO 15. ESRP-domain .....	48
KUVIO 16. Tutkimusympäristön perustopologia.....	58
KUVIO 17. OSPF-topologia .....	60
KUVIO 18. OSPF-tulokset, Juniper-R1-reititystaulu .....	67
KUVIO 19. OSPF-tulokset, Juniper-R1-laitteelta ping-pyyntö STUB-alueeseen .....	68
KUVIO 20. OSPF-tulokset, MetroCore1-reititystaulu .....	68
KUVIO 21. OSPF-tulokset, MetroSW1-reititystaulu .....	69
KUVIO 22. OSPF-tulokset, MetroSW1-OSPF-alue tiedot.....	70

KUVIO 23. OSPF-tulokset, MetroSW1-linkkitilojen tietokanta .....	71
KUVIO 24. OSPF-tulokset, WG1-R1-reititystaulu .....	71
KUVIO 25. OSPF-tulokset, WG1-R1, ping-pyyntö Juniper-R1-laitteelle .....	72
KUVIO 26. OSPF-tulokset, WG5-R1-reititystaulu .....	72
KUVIO 27. OSPF-tulokset, WG5-R1, OSPF-alue 1 -tiedot.....	73
KUVIO 28. OSPF-tulokset, WG4-R1-reititystaulu .....	73
KUVIO 29. OSPF-tulokset, WG4-R1, ping-pyyntöt WG1-R1 ja Juniper-R1 .....	74
KUVIO 30. BGP-tutkimusympäristö .....	75
KUVIO 31. BGP-tulokset, MetroCore1, BGP-naapuruudet.....	84
KUVIO 32. BGP-tulokset, MetroCore2, BGP-naapuruudet.....	85
KUVIO 33. BGP-tulokset, MetroCore2-reititystaulu .....	85
KUVIO 34. BGP-tulokset, MetroCore2:n BGP:llä oppimat reitit .....	86
KUVIO 35. BGP-tulokset, WG3-R1-reititystaulu .....	87
KUVIO 36. BGP-tulokset, MetroCore1-reititystaulu .....	88
KUVIO 37. BGP-tulokset, WG5-R1-laitteelle saapuneet BGP-reittitiedot.....	89
KUVIO 38. BGP-tulokset, WG4-R1-laitteen BGP-reittitiedot.....	89
KUVIO 39. BGP-tulokset, WG4-R1-reititystaulu .....	90
KUVIO 40. Multicast-ympäristön topologia .....	91
KUVIO 41. PIM-tulokset, MetroCore1-valinta BSR-laitteeksi.....	98
KUVIO 42. PIM-tulokset, MetroCore1, RP-valinta .....	98
KUVIO 43. PIM-tulokset, WG1-R1-laitteen saama BSR-mainostus .....	99
KUVIO 44. PIM-tulokset, WG5-R1, IGMP-ryhmät.....	99
KUVIO 45. PIM-tulokset, MetroCore1, PIM-rajapinnan RP-toiminto .....	100
KUVIO 46. PIM-tulokset, WG5-R1, multicast-reititystaulu .....	100
KUVIO 47. PIM-tulokset, WG1-R1, multicast-reititystaulu .....	101
KUVIO 48. MSDP-tutkimusympäristö.....	103
KUVIO 49. MSDP-tulokset, WG2-R1-reititystaulu .....	109
KUVIO 50. MSDP-tulokset, MetroCore2-reititystaulu .....	109
KUVIO 51. MSDP-tulokset, MetroCore2, PIM-protokollan tiedot.....	110
KUVIO 52. MSDP-tulokset, WG2-R1-laitteen saama BSR-mainostus .....	110
KUVIO 53. MSDP-tulokset, MetroCore2-laitteen PIM-rajapinnat .....	111
KUVIO 54. MSDP-tulokset, WG2-R1, IGMP-ryhmät.....	111
KUVIO 55. MSDP-tulokset, MetroCore2, PIM-rajapinnan RP-toiminto .....	112
KUVIO 56. MSDP-tulokset, MetroCore1, MSDP-naapurit .....	112
KUVIO 57. MSDP-tulokset, MetroCore2, MSDP-naapurit .....	112

KUVIO 58. MSDP-tulokset, MetroCore1, SA-cache .....	113
KUVIO 59. MSDP-tulokset, MetroCore2:n vastaanottama SA-cache .....	113
KUVIO 60. MSDP-tulokset, MetroCore2, PIM cache -tiedot .....	114
KUVIO 61. MSDP-tulokset, WG2-R1:n multicast-reititystaulu .....	114
KUVIO 62. VRRP-tutkimusympäristö .....	115
KUVIO 63. VRRP-ympäristön IP-osoitteet .....	117
KUVIO 64. VRRP-roolit .....	119
KUVIO 65. VRRP-tulokset, MetroCore1-reititystaulu .....	120
KUVIO 66. VRRP-tulokset, MetroSW2-reititystaulu .....	120
KUVIO 67. VRRP-tulokset, MetroCore1:n VRRP-toiminto .....	121
KUVIO 68. VRRP-tulokset, MetroCore2:n VRRP-toiminto .....	121
KUVIO 69. VRRP-tulokset, MetroCore2:n VRRP MAC-osoite .....	122
KUVIO 70. VRRP-tulokset, MetroCore1:n VRRP-tila linkkivälin katketessa .....	122
KUVIO 71. VRRP-tulokset, MetroSW4:n VRRP-tila linkkivälin katketessa .....	123
KUVIO 72. ESRP-tutkimusympäristö .....	124
KUVIO 73. ESRP-ympäristön IP-osoitteet .....	125
KUVIO 74. ESRP-domain alueet .....	128
KUVIO 75. ESRP-tulokset, MetroCore1-reititystaulu .....	129
KUVIO 76. ESRP-tulokset, MetroCore1:n ESRP-toimintatila .....	129
KUVIO 77. ESRP-tulokset, MetroCore2:n ESRP-toimintatila .....	129
KUVIO 78. ESRP-tulokset, MetroSW1:n ESRP-toimintatila .....	129
KUVIO 79. ESRP-tulokset, MetroCore1:n ESRP-toiminto .....	130
KUVIO 80. ESRP-tulokset, MetroCore2:n ESRP-toiminto .....	131
KUVIO 81. ESRP-tulokset, MetroSW2:n ESRP-toiminto .....	131
KUVIO 82. ESRP-tulokset, MetroCore1:n ESRP-tilamuutos .....	132
KUVIO 83. ESRP-tulokset, MetroSW4:n ESRP-tilamuutos .....	133
KUVIO 84. ESRP-tulokset, MetroCore2-reititystaulu ESRP-masterin vaihtuessa ...	133
KUVIO 85. Routing policy -tutkimusympäristö .....	134
KUVIO 86. Routing policy, MetroCore2-reititystaulu .....	140
KUVIO 87. Routing policy, MetroCore2-reititystaulu route aggregationilla .....	141
KUVIO 88. Routing policy, Route aggregation, reitti Juniper-R2 -laitteella .....	141
KUVIO 89. Routing policy, reittitiedon mainostuksen estäminen .....	142
KUVIO 90. Routing policy, AS-numeron muuttaminen BGP-reittitietoon .....	143
KUVIO 91. Routing policy, MetroCore2-reititystaulu AS-lisäyksen jälkeen .....	143
KUVIO 92. Routing policy, reittitiedon muuttuminen AS300-alueeseen .....	144

KUVIO 93. Routing policy, AS300-alueen reittivalinta.....	145
---	-----

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. LSA-viestityypit.....	25
TAULUKKO 2. IANA:n 16- ja 32-bittinen AS-numerointi.....	27
TAULUKKO 3. ESRP-master -valintamääreet .....	50
TAULUKKO 4. Tutkimusympäristön laitteiden konsoliosoitteet .....	59

## LYHENTEET

ABR	Area Border Router
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AS	Autonomous System
ASBR	Autonomous System Border Router
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BDR	Backup Designated Router
BFD	Bidirectional Forwarding Detection
BGP	Border Gateway Protocol
BIDIR-PIM	Bidirectional PIM
BSR	Bootstrap Router
C-BSR	Candidate Bootstrap Router
C-RP	Candidate Rendezvous Point
DR	Designated Router
EBGP	Externat Border Gateway Protocol
ESRP	Extreme Standby Router Protocol
HSRP	Hot Standby Router Protocol

IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IBGP	Internal Border Gateway Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol
IOS	Internetwork Operating System
IPv6	Internet Protocol Version 6
JUNOS	Juniper Operating System
LSA	Link-State Advertisement
MAC	Media Access Control
MRIB	Multicast Routing Information Base
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol
NAT	Network Address Translation
NBMA	Non-Broadcast Multiple Access
NLRI	Network Layer Reachability Information
NSSA	Not-So-Stubby Area
OSPF	Open Shortest Path First
PDU	Protocol Data Unit

PIM	Protocol Independent Multicast
PIM-DM	Protocol Independent Multicast Dense Mode
PIM-SM	Protocol Independent Multicast Sparse Mode
RFC	Request For Comments
RIP	Routing Information Protocol
RP	Rendezvous Point
RPF	Reverse Path Forwarding
RPT	Rendezvous Point Tree
SPF	Shortest Path First
SPT	Shortest Path Tree
SSM	Source-Specific Multicast
TCP	Transmission Control Protocol
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
VLAN	Virtual Local Area Network
VRID	Virtual Router Identifier
VRRP	Virtual Router Redundancy Protocol
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

# 1 LÄHTÖKOHDAT

## 1.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulun teknologiayksikkö. Toimeksiantona oli selvittää koululla käytettävien laitteiden toiminnallisuutta. Valmis opinnäytetyö antaa toimeksiantajalle tietoa laitteiden yhteensopivuudesta eri tekniikoiden osalta.

Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) toimipisteet sijaitsevat keskeisillä paikoilla Jyväskylässä lukuun ottamatta Saarijärven Tarvaalaan keskitettyä luonnonvara-alaa. Kokonaisuudessa JAMK tarjoaa palveluitaan yli 8000 opiskelijalle. Palveluihin kuuluu korkeakoulututkintoon johtavaa koulutusta, ammatillista opettajakoulutusta, avoimia ammattikorkeakouluopintoja, täydennyskoulutusta ja oppisopimustyyppistä täydennyskoulutusta. (Tutustu JAMKiin 2011.)

## 1.2 Tutkittavat kohteet

Opinnäytetyö keskittyi laitevalmistajana tunnetun Extreme Networksin laitteiden toiminnallisuuteen OSI-viitemallin tasolla 3. Tutkittavina kohteina olivat myös kahden eri laitevalmistajan (Cisco Systems, Juniper Networks) yhteensopivuus Extreme Networksin laitteiden kanssa. Työssä käytetyt laitteet ovat osa Jyväskylän ammattikorkeakoulun SpiderNet-opetus- ja tutkimusympäristöä.

## 1.3 Tavoite

Opinnäytetyössä tavoitteena oli luoda laiteympäristöt kahdeksalle eri osakokonaisuudelle ja testata näissä eri tekniikoiden toiminnallisuutta. Työn avulla saatiin selville, kuinka Extreme Networksin laitteet toimivat tässä laiteympäristössä ja mitä ongelma-kohtia saattaa esiintyä eri laitevalmistajien laitteiden välillä. Tärkeimpinä kysymyksinä työssä olivat OSPF:n, BGP:n, NAT:n, IPv6:n, Multicastin (PIM+MSDP), VRRP:n & ESRP:n BFD:n ja Routing policyn toimivuus, kun käytössä on eri valmistajien laitteita.



Työ rajattiin siten, että selvitettiin pelkästään tutkittavien tekniikoiden toimivuus ko. laiteympäristössä. Toteutuspuolella työn ulkopuolelle jätettiin kaikki, mikä on epäolennaista tutkittavien tekniikoiden osalta.

Valmiin opinnäytetyön perusteella toimeksiantaja saa kokonaiskuvan Extreme Networksin laitteiden toimivuudesta OSI-viitemallin tasolla 3 ja toimeksiantajalle voidaan toteuttaa myös opiskelijoille suunnattuja laboratorioharjoituksia valitun tekniikan osalta.

## **1.4 Tutkimusympäristö**

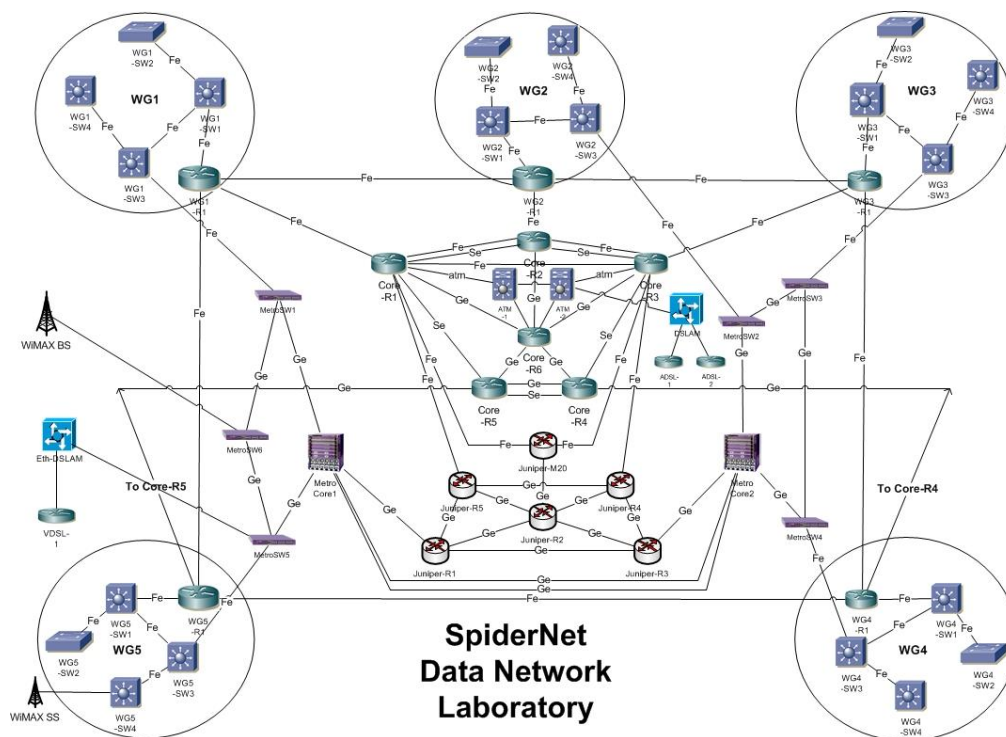
### **1.4.1 SpiderNet**

SpiderNetiksi kutsutaan Jyväskylän ammattikorkeakoulun Teknologiayksikössä sijaitsevaa tietoverkkolaboratoriota. Laboratoriojärjestelmän kehitys aloitettiin yli kymmenen vuotta sitten ja järjestelmää päivitetään edelleen. Teknillisiä ja laitteistopohjaisia ratkaisuja implementoidaan järjestelmään vastaamaan operaattoripohjaisia ja palveluntarjoajakohtaisia ratkaisuja. (SpiderNet 2009.)

Laboratorio on pääasiallisessa käytössä opetustarkoituksessa, mutta kokonaisratkaisua käytetään myös kehitysprojekteissa ja tutkimustarkoituksessa. SpiderNet mahdollistaa ammattikorkeakouluopiskelijoille hyvän tutkimusympäristön opinnäytetyöhön ja siihen liittyviin testausoperaatioihin. (SpiderNet 2009.)

## 1.4.2 Topologiat ja laitteisto

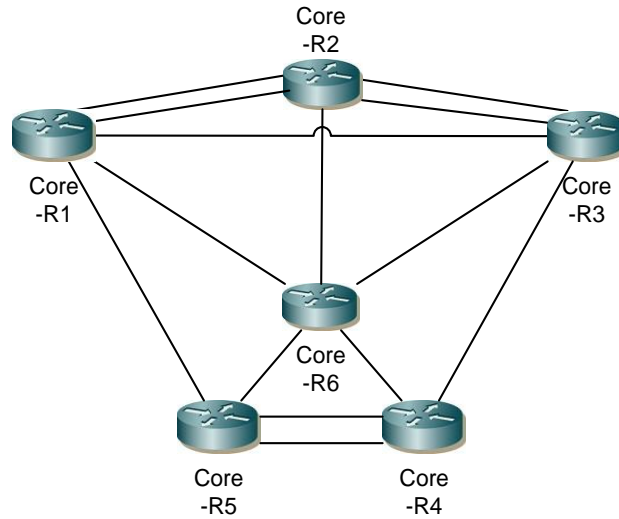
Spidernet on suunniteltu pääasiallisesti opetustarkoitusta silmällä pitäen. Topologiaan on mahdollistettu viisi erinäistä työryhmää (workgroup), jotka ovat täysin identtisiä toistensa kanssa. Nämä työryhmät ja koko topologia on kuvattu kuviossa 1. Kuviossa nähdään myös fyysinen kaapelointi laitteiden välillä.



KUVIO 1. Spidernet-topologia (ks. alkuperäinen kuvio: SpiderNet 2009.)

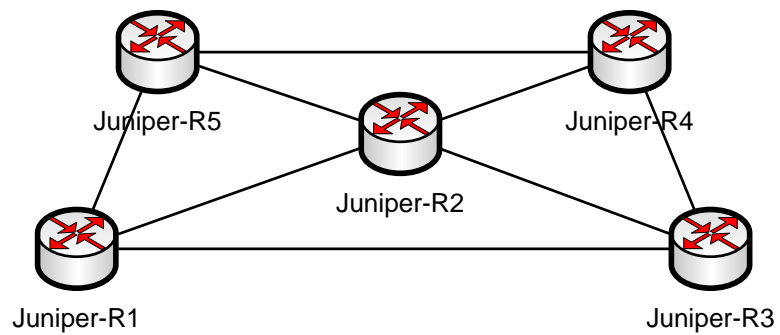
Topologia pitää sisällään neljä eri osa-alueetta, jotka on liitetty toisiinsa, ja tämä kokonaisuus muodostaa SpiderNetin. Nämä alueet on jaoteltu laitevalmistajakohtaisesti tai käyttötarkoituksen mukaisesti omiin ryhmiinsä.

Kuviossa 2 nähtävät Cisco Systemsin laitteet muodostavat ”core”-topologian. Ympäristössä on mahdollista toteuttaa runkoverkkotason toimintoja Cisco-laitteilla. Core R1 – R3 ovat Cisco Systems 3640-A-reitittimiä, joissa on käytössä IOS-versio 12.4(12). Core R4 – R5 ovat 7204VXR-reitittimiä IOS-versiolla 12.3(14)T7. R6 on 7206VXR-reititin IOS-versiolla 12.4(10a).



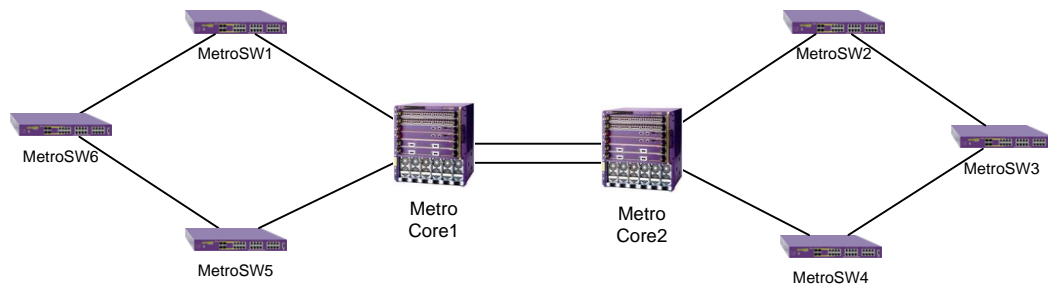
KUVIO 2. Cisco core -ympäristö

Juniper Networksin laitteet muodostavat Juniper-ympäristön kuvion 3 mukaisesti. Kaikki laitteet ovat J2320-reitittimiä ja Junos-versiona on 10.4R7.5.



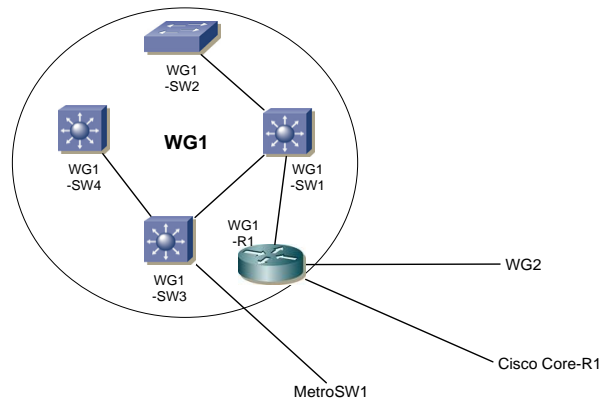
KUVIO 3. Juniper-ympäristö

ExtremeNetworksin laitteet luovat ”extreme”-ympäristön. Extreme-ympäristössä kaikki MetroSWx-laitteet ovat summit x250e-24t -kytkimiä XOS-versiolla 12.5.2.6. Näissä laitteissa on käytössä advanced edge -lisenssi. MetroCore 1 ja MetroCore 2 ovat BlackDiamond 12802 -kytkimiä, joissa on myös käytössä XOS 12.5.2.6 -versio. 12802-kytkimissä on kummassakin käytössä core-lisenssi. ExtremeNetworksin laitteista muodostuva ympäristö on kuvion 4 mukainen.



KUVIO 4. ExtremeNetworks-ympäristö

Nämä kolme ryhmää mahdollistavat operaattori- ja palveluntarjoajakohtaisen tutkimusympäristön SpiderNetissä. Neljäs ryhmä pitää sisällään viisi identtistä työryhmää, jotka kuvastavat verkkoja, joille voidaan tarjota muiden ryhmien tarjoamia palveluja. Kuviossa 5 on nähtävissä työryhmän numero 1 topologia. Kuviossa reunareitittimenä ja kytkimenä toimivat laitteet WG1-R1 ja WG1-SW3. WG1-R1-laitteena toimii Cisco Systemsin 2821-reititin IOS-versiolla 12.4(24)T2. SW1 on Ciscon Layer 3 -tason 3550-12T-kytkin IOS-versiolla 12.1(22)EA6. SW2 laitteena on Ciscon 2950-24-kytkin IOS-versiolla 12.1(22)EA3. SW3 on ExtremeNetworksin summit x250e-24t-kytkin XOS 12.5.2.6 -versiolla ja edge-lisenssillä. WG4-laite on Extremen valmistama ES48-kytkin extremeware-versiolla 4.1.19 (build 2).



KUVIO 5. Työryhmän WG1-topologia

Topologiaan on lisätty VDSL, WiMax, ATM ja Adsl-pohjaisia laitteita mahdollistamaan myös näiden ympäristöjen hyödyntämisen eri topologioiden kanssa. Spidernet mahdollistaa pelkästään sulkemalla laitteista fyysisiä rajapintoja monta erilaista topologiaa. Käytössä ovat myös virtuaaliset linkkivälit lähes kaikkien laitteiden välillä. Tämä mahdollistaa joustavan topologian luomisen muuttamatta itse fyysistä kaapelointia. Virtuaaliset yhteydet laitteiden välille luodaan käyttämällä ”center switch” -laitetta, joka on Ciscon 2950T-48-SI IOS-versiolla 12.1(22)EA9. Laitteeseen luodaan virtuaalisia linkkivälejä eri laitteiden välille, ja liitetyille laitteille tämä yhteys näyttää yhdeltä fyysiseltä yhteydeltä.

### 1.4.3 Työssä käytetyt laitteet

Työssä käytettiin ExtremeNetworksin, Cisco Systemsin ja Juniper Networksin laitteita. Tutkimusympäristö muodostettiin ExtremeNetworksin BlackDiamond 12802 -kytkimistä, summit x250e-24t -kytkimistä, Ciscon 2821-reitittimistä ja Juniperin J2320-reitittimistä. Näiden laitteiden avulla pystyttiin muodostamaan halutut topologiat jokaisen tutkittavan kohdan osalta. Koska Spidernet on valmiiksi tehty tutkimusympäristö, eivät kaikki laitteet olleet fyysisellä kaapeloinnilla yhteydessä toisiinsa eikä tätä kaapelointia voinut muuttaa. Tästä johtuen tutkimusympäristöä jouduttiin muuttamaan eri tutkittavien kohteiden kohdalla käyttämällä 2950T-48-SI-kytkintä. Kytkimen avulla luotiin virtuaaliset yhteydet laitteiden välille ja saatiin haluttu topologia jokaiselle tutkittavalle kohdalle.

## 2 OPEN SHORTEST PATH FIRST (OSPF)

### 2.1 Yleistä

OSPF-protokolla on suunniteltu IETF:n toimesta korvaamaan RIP-reititysprotokolla. Protokollan toiminta on määritelty IETF:n RFC:ssä 2328. OSPF on IETF:n suositteleva sisäinen reititysprotokolla (IGPR), joka ei ole valmistajakohtainen tai kenenkään organisaation hallinnassa. OSPF käyttää Dijkstran shortest path first (SPF) -algoritmia reittitietoja laskettaessa. OSPF:n tärkeimmät hyödyt verrattaessa etäisyysvektoriprotokoliin ovat nopea verkon uudelleen konvergoituminen, skaalautuvuus suurempiin verkkoihin ja pienempi herkkyys reititystiedossa olevaan väärään tietoon. Protokolla sisältää myös aluejaon tarjoten näin hierarkisen verkkotopologian muodostamisen. Aluejako pienentää myös protokollan vaikutusta laitteistoon vähentämällä prosessorikuormitusta ja muistin käyttöä. OSPF-reititysprotokolla mahdollistaa myös luokattomien verkkojen käytön. (Doyle & Carroll 2006, 335.)

## 2.2 OSPF:n toiminta

OSPF-perustoiminta voidaan jakaa seitsemään eri kohtaan. Kaikkien kohtien jälkeen linkkitilainformaatio on tulvitettu kaikille reitittimille OSPF-alueella ja naapurit ovat varmistaneet, että linkkitila tietueet ovat samanlaisia.

1. OSPF-reitittimet lähettävät hello-paketteja kaikista OSPF-aktivoituista portistaan. Naapuruus luodaan reitittimien välille kun Hello-paketissa määritellyt parametrit on hyväksytty kummankin laitteen puolesta.
2. Vierekkäisyys voi muodostua tiettyjen OSPF-reitittimien välille. OSPF määrittelee monta eri verkkotyyppiä ja reititintyyppiä. Vierekkäisyys määritellään reitittimien perusteella, jotka vaihtavat hello-paketteja ja verkon tyyppin mukaan, jonka yli hello-paketit saapuivat.
3. Jokainen reititin lähettää LSA-viestejä kaikille laitteille, joiden kanssa se on muodostanut vierekkäisyyden. LSA-viesteissä mainostetaan kaikki tieto reitittimen reiteistä, naapureista, linkkien tiloista ja muista mahdollisista muuttujista.
4. Jokainen reititin, joka vastaanottaa naapuriltaan LSA-viestin, tallentaa sen omaan linkkitila tietokantaan.
5. LSA-viestien tulvitus OSPF-verkon kaikille reitittimille mahdollistaa samanlaisen linkkitila tietokannan.
6. Kun tietokannat ovat valmiina, jokainen reititin muodostaa SPF-algoritmin avulla lyhimmän reitin puun jokaiseen tietokannassa olevaan osoitteeseen käyttäen itseään juurena tälle reitille.
7. Reitittimet muodostavat reititystaulun laskemistaan lyhimmän reitin puusta jokaiseen verkkoon.

(Doyle & Carroll 2006, 336.)

## 2.3 Hello-protokolla

OSPF-reitittimissä toimii hello-protokolla, joka suorittaa monia toimintoja OSPF:n toimivuuden takaamiseksi. Hello-protokolla pitää sisällään seuraavat toiminnot:

- Protokolla määrittää kuinka naapurit löydetään verkossa.
- Mainostaa parametrejä, jotka reitittimien tulee hyväksyä ennen kuin voivat muodostaa naapuruussuhteen toistensa kanssa.
- Lähettää hello-paketteja, joiden avulla naapuruussuhteet pysyvät aktiivisena.
- Varmistaa kaksisuuntaisen kommunikoinnin naapureiden välillä.
- Valitsee DR- ja BDR-reitittimet broadcast-verkossa ja NBMA-verkossa.

## 2.4 Hello-paketti

OSPF-reitittimet lähettävät hello-paketteja säännöllisesti OSPF-aktivoituista rajapinnoistansa. Naapuruussuhteen muodostamisen jälkeen reititin vastaanottaa hello-paketteja naapureiltaan ja jos naapurilta ei ole saapunut hello-pakettia määritellyn ajanjakson aikana (RouterDeadInterval), määrittää reititin naapuruussuhteen katkenneeksi. OSPF-reitittimet lähettävät hello-paketeissaan seuraavat tiedot.

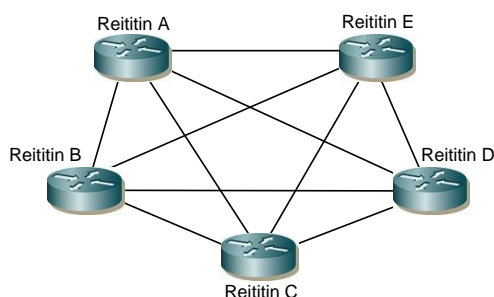
- Lähettävän reitittimen router ID -arvo (IP-osoite, jolla laite tunnistetaan).
- Lähettävän reitittimen rajapinnan area ID:n (OSPF-alue numero).
- Lähettävän reitittimen rajapinnan osoitemaskin.
- Autentikointitavan ja autentikointi-informaation.
- Lähettävän reitittimen rajapinnan HelloInterval ajan.
- Lähettävän reitittimen rajapinnan RouterDeadInterval ajan.
- Reitittimen priority-arvon.
- DR- ja BDR-reitittimien IP-osoitteet.
- Viisi lippubittä (ilmaisee mahdollisista lisätoiminnoista).
- Router ID -arvon reitittimistä, jotka ovat lähettäneet kyseiseen rajapintaan hello-viestejä viimeisen RouterDeadInterval ajanjakson välisenä aikana.

(Doyle & Carroll 2006, 338.)



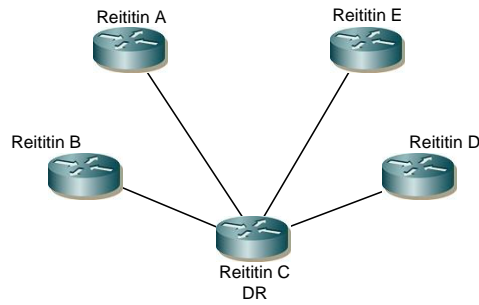
## 2.5 DR- ja BDR-reitittimet

Täysin kytketyissä verkoissa OSPF luo naapuruuden muiden OSPF-reitittimien kanssa. Tämä vierekkäisyys aiheuttaa sen, että jokainen reititin lähettää LSA-viestin jokaiselle naapurilleen. LSA-viestien tulvitus täysin kytketyissä verkoissa aiheuttaa suurta verkkoliikennettä. LSA-viestien määrää voidaan rajata valitsemalla DR- ja BDR-reitittimet. Kuviossa 6 nähdään täysin kytketty verkko, jossa on viisi OSPF-reititintä.



KUVIO 6. Täysin kytketty verkko

Reitittimet luovat OSPF-naapuruudet toistensa kanssa, ja verkossa tapahtuu LSA-viestien tulvitus laitteiden välillä. Valittu DR-reititin toimii täysin kytketyssä verkossa ns. esittelijänä, joka mainostaa verkon muille laitteille koko täysin kytketyn verkon ja hallitsee LSA-viestien lähetystä. Reitittimet mainostavat LSA-viesteissä reitittitietoja ja rajapinnan metric-arvoa, josta LSA-viesti on mainostettu. SPF-algoritmi käyttää tätä metric-arvoa laskiessaan lyhimmän reitin puuta. Kun DR-reititin saa naapuriltaan LSA-viestin, mainostaa se tämän viestin muille naapureille käyttäen oman lähettävän rajapinnan metric-arvona 0 arvoa. Vastaanottavat laitteet saavat näin alkuperäiseltä LSA-lähettäjältä oikean metric-arvon, eikä DR-reititin vaikuta SPF-algoritmiin. Kuviossa 7 nähdään aikaisemmin mainittu verkko, mutta nyt reitittimen C kaikki rajapinnat on valittu DR-reitittimiksi kaikille OSPF-alueen reitittimille. (Doyle & Carroll 2006, 340 – 342.)



KUVIO 7. DR-reittimen vaikutus täysinkytketyssä verkossa

DR-reitittimen vikaantuessa muut reitittimet joutuvat valitsemaan uuden DR-reitittimen ja synkronoivat tietokantansa tämän kanssa. Tämä aiheuttaa verkon käyttökätkon synkronoinnin ajaksi. DR:n toiminnon lisäksi verkon käytettävyyden parantamiseksi voidaan määrittää BDR, joka toimii DR:nä verkossa, kun alkuperäinen DR vikaantuu. Verkon muut laitteet ja DR muodostavat yhteyden BDR-laitteeseen. (Doyle & Carroll 2006, 340 – 342.)

## 2.6 OSPF-alueet

Suurissa verkkoympäristöissä LSA-viestien tulvitus ja tietokantojen ylläpito kuormittavat verkon reitittimiä. OSPF-protokollan avulla voidaan luoda loogisia OSPF-reititinryhmiä, jotka jakavat verkon alueisiin. Alueen sisällä olevien reitittimien ei tarvitse tietää toisen alueen topologiasta eikä LSA-viestejä tulviteta muihin OSPF-alueisiin. Alueen sisällä reitittimet ylläpitävät ainoastaan oman alueen tietokantaa linkkiyhteyksistä. (Doyle & Carroll 2006, 367 – 369.)

OSPF-alueet määritellään 32-bittisellä alue-ID:llä (area ID). Alue-ID voidaan ilmaista desimaaliarvona (alue 0) tai pisteytettynä desimaaliarvona (alue 0.0.0.0). OSPF-alueissa kulkeva liikenne voidaan määrittellä kolmeen eri kategoriaan:

- **Intra-alue**  
Paketit, jotka kulkevat ainoastaan yhden alueen sisällä.

- **Inter-alue**

Liikenne koostuu paketeista, jotka kulkevat eri OSPF-alueiden välillä.

- **Ulkoinen**

Liikenne koostuu paketeista, jotka kulkevat OSPF-alueelle toisesta reititysprotokollan alueesta.

Alue 0 on varattu backbone-alueeksi, joka vastaa eri OSPF-alueiden topologioiden yhdistämisestä. Eri OSPF-alueiden liikenne toiseen OSPF-alueeseen tulee kulkea backbone-alueen kautta. (Doyle & Carroll 2006, 367 – 369.)

### **OSPF-alueiden reitintyytit**

OSPF-alueiden kaikki reitittimet voidaan jakaa neljään ryhmään:

- **Internal-reitittimet**

Reitittimet, joiden kaikki rajapinnat kuuluvat samaan OSPF-alueeseen.

- **Alueen rajareititin (ABR)**

Yhdistää yhden tai useamman OSPF-alueen backbone-alueeseen. Toimii myös yhdyskäytävänä inter-alueen väliselle liikenteelle. Reititin ylläpitää erillisiä linkkitilojen tietokantoja jokaiselle OSPF-alueelle, johon on yhteydessä.

- **Backbone-reitittimet**

Reititin, jonka rajapinnoista vähintään yksi on yhdistettynä backbone-alueeseen.

- **Autonomisen alueen reunareititin (ASBR)**

Yhdyskäytävä OSPF-alueen ulkopuoliselle liikenteelle. Mahdollistaa reitittien tuonnin OSPF:ään toisesta reititysprotokollasta kuten BGP:stä.

(Doyle & Carroll 2006, 369 – 370-)

## 2.7 LSA-viestit

OSPF-alueet sisältävät monta erilaista reitintyyppiä ja näillä reitittimillä on erilaisia toimintoja mainostettaessa reittejä verkon muille laitteille. Taulukossa 1 nähdään LSA-viestien tyytit ja koodimerkintä, jolla ne tunnustetaan.

TAULUKKO 1. LSA-viestityypit

Koodi	Kuvaus
1	Reititin LSA
2	Network LSA
3	Network Summary LSA
4	ASBR Summary LSA
5	AS Ulkoinen LSA
6	Ryhmä LSA
7	NSSA ulkoinen LSA
8	Ulkoiset attribuutit LSA
9	Läpinäkymätön LSA (linkkiväli laajuinen)
10	Läpinäkymätön LSA (paikallinen alue laajuinen)
11	Läpinäkymätön LSA (AS laajuinen)

### Reititin LSA

Lähetetään jokaiselta reitittimeltä. LSA-viesti sisältää reitittimen linkit/rajapinnat, näiden tilat, linkkien cost-arvon ja OSPF-naapuruudet kyseiseltä linkkiväliltä. Reititin LSA -viestit kulkevat ainoastaan OSPF-alueen sisällä, josta ne on lähetetty.

### Network LSA

Täysin kytketyissä verkoissa DR lähettää network LSA:n kaikille naapureilleen. Viestit sisältävät DR-laitteena toimivan reitittimen reittitiedot ja kaikkien sen naapureiden tiedot. Network LSA -viestit kulkevat oman OSPF-alueen sisällä.

### Network Summary LSA

Lähehtävänä laitteena toimii OSPF-alueiden välillä toimiva ABR-reititin. LSA-viestit lähetetään toiseen alueeseen mainostamaan ulkoisia reittejä pois kyseisestä OSPF-alueesta. ABR mainostaa network summary -viestien avulla, mitä reittejä tämä pystyy saavuttamaan. Jos samaan kohteeseen löytyy monta eri vaihtoehtoa, valitsee ABR näistä pienimmän cost arvon omaavan ja mainostaa ainoastaan tätä.

### **ASBR Summary LSA**

ASBR mainostaa ASBR Summary LSA:n avulla reittimainostuksia asettamalla LSA-viestiin kohdelaitteeksi ASBR:n. ASBR summary LSA toimii samalla tavalla kuin Network Summary LSA, mutta kohdelaitteena kaikissa viesteissä on ASBR.

### **AS Ulkoinen LSA**

LSA-viesteillä mainostetaan koko OSPF-alueen ulkopuolista reittiä tai oletusreittiä OSPF-alueesta ulospäin. Ulkoiset LSA-viestit mainostetaan tulvittamalla kaikki OSPF-alueet.

### **Ryhmä LSA**

Käytetään Multicast OSPF -toiminnossa, jossa voidaan lähettää yhdeltä lähettäjältä moneen kohteeseen tai ryhmään.

### **NSSA Ulkoinen LSA**

OSPF-alue, joka toimii NSSA-tilassa, voi sisältää ASBR-reitittimen. ASBR-reititin vastaanottaa ulkoisen reittimainostuksen ja mainostaa tämän tiedon NSSA-alueen sisällä NSSA Ulkoisella LSA:lla. Nämä LSA:t mainostetaan ainoastaan NSSA-alueen sisällä.

### **Ulkoiset attribuutit LSA**

Ehdotettu vaihtoehto toteuttaa IBGP:llä BGP tietojen mainostaminen OSPF-domainin sisällä.

### **Läpinäkymättömät LSA:t**

Sisältää normaalin LSA-otsikon, jota seuraa ohjelmakohtainen informaatio. OSPF voi käyttää informaatiokenttää tai kenttää voi hyödyntää joku toinen ohjelma jakaakseen OSPF-domainissa informaatiota. LSA:t mahdollistavat lisätoimintojen tuomisen OSPF:ään kuten liikenteen hallintaparemetrejä MPLS-verkkoihin. (Doyle & Carroll 2006, 377 – 385.)

## 3 BORDER GATEWAY PROTOCOL (BGP)

### 3.1 Yleistä

BGP esiteltiin vuonna 1989 RFC:ssä 1105, jolloin ARPANET-verkkoon tuli kehittää protokolla mahdollistamaan mesh-verkot, nopea verkon konvergoituminen, silmukoiden havaitseminen ja tuki reitityspolitiikoille. Nykyinen BGP:n RFC on 4271. BGP-protokollan avulla voidaan vaihtaa reittitietoa eri AS-alueiden välillä. BGP mahdollistaa toiselle AS-alueelle tiedon, kuinka verkossa tavoitetaan oma AS-alue. Protokolla muodostaa TCP-yhteyden toisen AS-alueen reunareitittimeen ja vaihtaa reittitietoja tämän välillä. Jos yhteys katkeaa toisen AS-alueen laitteeseen, ei tältä saatuja reittitietoja saa enää käyttää reittejä laskettaessa. BGP:llä voidaan luoda naapuruussuhteita toiseen AS-alueeseen (EBGP) tai reittimainostuksia voidaan mainostaa oman AS-alueen sisällä (IBGP). (Medhi & Ramasamy 2007, 239.)

### 3.2 AS-numerointi

BGP:n avulla vaihdettaessa AS-alueiden välillä reittitietoa, tulee AS-numeroinnin olla yksilöllistä. Käytettäessä samaa AS-numerointia kahdella eri toimitsijalla, voi tämä aiheuttaa BGP:tä käytettäessä sen, että tiettyä reittiä ei hyväksytä BGP:n toimesta. Tästä syystä AS-numeroinnista vastaa IANA, joka jakaa organisaatioille ja palveluntarjoajille yksilölliset AS-numerot. IANA kontrolloi AS-numerointia ja ennen julkisen AS-numeron myöntämistä IANA päättää onko mahdollista käyttää privaattia AS-numeroa kyseisessä tilanteessa. Taulukossa 2 on esitetty IANA:n 16-bittinen ja 32-bittinen AS-numerointi ja käyttökohteet (Odom 2010, 400 – 401.) (IANA.)

TAULUKKO 2. IANA:n 16- ja 32-bittinen AS-numerointi

AS numeroarvo	Kohde
0	Varattu
1 – 64495	Julkiseen käyttöön IANA:n toimesta
64496 – 64511	Varattu dokumentointiin
64512 – 65534	Yksityiseen käyttöön
65535	Varattu
65536 - 65551	Varattu dokumentointiin
65552 - 4294967294	Julkiseen käyttöön IANA:n toimesta
4294967295	Varattu

IANA vastaa globaalisesti AS-numeroiden myöntämisestä aluekohtaisille internet rekistereille, joilta operaattorit voivat pyytää yksilöllistä AS-numeroa. Operaattorin halutessa AS-numeron, tulee se pyytää paikalliselta internet -rekisteriltä (LIR), maa-kohtaiselta internet -rekisteriltä tai näiden asianmukaiselta aluekohtaiselta internet -rekisteriltä (RIR). Kuviossa 8 on IANA:n aluekohtaiset internet -rekisterit, joilta palveluntarjoajat voivat pyytää AS-numeroa. (IANA.)



KUVIO 8. IANA:n aluekohtaiset internet-rekisterit (IANA.)

### 3.3 BGP-naapuruussuhde ja -viestityypit

BGP-toimintoa pyörittävät reitittimet luovat naapuruussuhteen toisessa AS-alueessa toimivaan EBGP-reitittimeen tai saman AS-alueen sisällä toimivaan IBGP-reitittimeen. Naapuruussuhde luodaan TCP:n avulla käyttäen laitteiden aukaisemaa TCP-porttia 179. Ennen naapuruussuhteen luontia, reitittimien välillä tapahtuu TCP:n kolmisuuntainen kättely ja aikaisemmin mainittu TCP-portti 179 aukaistaan. TCP huolehtii yhteyden aikana fragmentoinnista, uudelleenlähetyksestä ja muista toiminoista, jotta yhteys naapureiden välillä on luotettava. Toiminto myös vapauttaa BGP:n näistä tehtävistä, jolloin BGP:n tehtäväksi jää BGP-viestien vaihtaminen unicast-tyyppisenä liikenteenä TCP:n avulla naapureilleen. BGP käyttää neljää erilaista viestityyppiä vaihtaessaan BGP-viestejä naapureiden välillä:

## Open-viesti

TCP-yhteyden luonnin jälkeen naapurit vaihtavat toistensa kanssa open-viestit. Viestien avulla naapurit tunnistautuvat toisilleen ja määrittelevät BGP-parametrit. Open-viesti sisältää seuraavat tiedot:

- **BGP-versionumero**

Viestin avulla määritellään mitä BGP-versiota käytetään (2,3 tai 4). Naapurit vaihtavat open-viestillä tiedon, mikä BGP-versio on käytössä. Naapurin käyttäessä toista BGP-versiota, hylätään vastaanotettu open-viesti. Viestin lähettänyt naapuri muuttaa tämän jälkeen BGP-versiotaan ja lähettää uuden open-viestin. Naapuruussuhteen välinen BGP-versionumeron määrittely jatkuu, kunnes kumpikin naapuri hyväksyvät saman version.

- **AS-numero**

Lähettävä BGP-naapuri ilmoittaa oman AS-numeronsa. Numeron avulla vastaanottava laite tunnistaa, onko kyseessä EBGP- vai IBGP-naapuri.

- **Hold-aika**

Maksimi sekuntimäärä kunnes laitteen tulee vastaanottaa keepalive tai uusi update-viesti. Hold-ajan ollessa eri, naapureiden hold-ajaksi valitaan eroavista hold-ajoista pienempi sekuntimäärä.

- **BGP-tunniste**

Naapurilaitteen IP-osoite, jolla naapuri tunnistetaan verkossa.

- **Vaihtoehtoiset parametrit**

Käytetään esimerkiksi autentikoinnin, multiprotokollan tuen ilmaisuun ja reitin uudistukseen.

## Keepalive-viestit

Naapurin hyväksyessä saamansa open-viestissä määritellyt arvot, lähettää se vastauksena keepalive-viestin. Keepalive-viestiä käytetään myös ilmaisemaan naapurille aktiivisuudesta, jotta naapuri ei totea yhteyttä katkenneeksi.



## **Update-viesti**

Käytetään mainostamaan mahdollisia reittejä, poistettavia reittejä tai kumpiakin. Update viesti sisältää kolme erilaista tietokentää:

- **NLRI-tieto**

Ilmaisee mainostettavan IP-osoitteen prefixin ja sen pituuden.

- **Reittiattribuutit (Path-attributes)**

Mainostetun NLRI-tiedon muuttujat kulkevat tässä kentässä. Kentän avulla BGP pystyy valitsemaan lyhimmän reitin, havaitsemaan silmukoita tai määrittelemään reitityspolitiikan kyseiselle reitille.

- **Poistettavat reitit**

Ilmoittaa reiteistä, jotka on todettu tavoittamattomiksi. Kentässä ilmoitetaan IP-osoitteen prefix ja sen pituus.

## **Ilmoitusviesti**

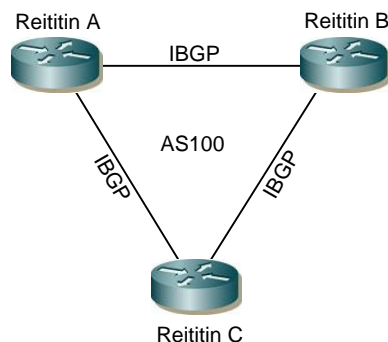
Lähetetään aina kun huomataan jokin virhetilanne. Viestillä voidaan kuitata esim. naapureiden välisiä yhteensopivuusongelmia. BGP-reititin sulkee aina yhteyden naapuriin saadessaan ilmoitusviestin. Naapuri yrittää muodostaa BGP-yhteyttä uudestaan muuttaen ilmoitusviestissä määritellyn virhetiedon mukaista arvoa.

(Doyle & DeHaven Carroll 2008, 93 – 95.)

### 3.4 BGP-reittiheijastin

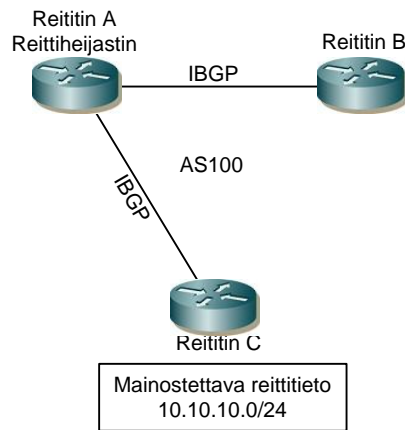
AS-alueen sisällä toimivat BGP-reitittimet vaihtavat suuria määriä reittitietoa keskenään ja jokainen BGP-reititin ylläpitää TCP-yhteyttä kaikkiin IBGP-naapureihinsa. Suurissa AS-alueissa tämä ratkaisu kuormittaa verkkoa. Yhtenä ratkaisuna voidaan käyttää yhtä tai useampaa AS-alueen IBGP-reitintä reittiheijastimena. Reittiheijastimen avulla voidaan mainostaa IBGP:llä opittuja reittejä määritellyille IBGP-naapureille. Toteutustapa lisää myös BGP-määritteisiin kaksi uutta tapaa estää silmukoiden syntymistä reittimainostuksissa.

Reittiheijastimen tarkoitus on poistaa turhat reittimainostukset ja yhteydet AS-alueen sisällä määriteltyjen IBGP-reitittimien väliltä. Kuvioissa 9 ja 10 on esitetty perusidea topologiasta ilman reittiheijastinta ja reittiheijastimen ollessa käytössä.



KUVIO 9. IBGP-ympäristö ilman reittiheijastinta

Kuviossa 9 oleva ympäristö sisältää reitittimet A, B ja C, jotka ovat toistensa IBG-naapureita AS-alueessa 100. Reitittimen C saadessa BGP:n reittimainostuksista reittitiedon kohteeseen 10.10.10.0/24, valitsee reititin C tämän reitin parhaimmaksi reitiksi kyseiseen verkko-osoitteeseen. Reititin C mainostaa reittitiedon reitittimille A ja B. Reititin C ylläpitää myös TCP-yhteyttä reitittimiin A ja B. Kuviossa 10, reititin A on valittu reittiheijastimeksi.



KUVIO 10. IBGP-ympäristö reittiheijastinta käytettäessä

Reitittimelle C saapuva reittitieto mainostetaan ainoastaan reitittimelle A. Reititin A pitää TCP-yhteyttä reitittimiin B ja C. Reititin A saa reittitiedon ja mainostaa tämän tiedon reitittimille B. Reitittimeltä B voidaan myös mainostaa reittejä reitittimen A kautta. Reittiheijastinta käytettäessä voidaan poistaa TCP-naapuruussuhde reitittimen C ja B väliltä.

### Reittiheijastimen yhteydet IBGP-naapureihin

Käytettäessä reittiheijastinta AS-alueen sisällä, voi reittiheijastimesta olla kahdenlaisia yhteyksiä toisiin IBGP-naapureihin:

- **Client-naapurit**  
Yhteydessä ainoastaan reittiheijastimeen ja muodostavat reittiheijastimen kanssa clusterin. TCP-yhteydet ainoastaan reittiheijastimeen.
- **Non-Client-naapurit**  
Yhteydessä reittiheijastimeen. Reitittimistä tulee olla yhteys myös toisiin IBGP-naapureihin.

Reittitiedon saapuessa non-client-naapurilta, reittiheijastin lähettää reittimainostuksen ainoastaan client-naapureilleen. Kun reittitieto saapuu reittiheijastimelle client-naapurilta, tulee tämä mainostaa kaikille client-naapureille ja non-client-naapureille.

Kun reittiheijastin saa uuden reittitiedon non-client-naapurilta, ei tätä enää tarvitse lähettää toisille non-client-naapureille, koska non-client-naapurit ovat kytkettyjä TCP-yhteydellä toisiin IBGP-naapureihin ja reittitieto vaihtuu tätä kautta.

### **Silmukoiden esto reittimainostuksissa**

Reittiheijastuksessa voidaan käyttää kahta eri tapaa estämään reittimainostusten muodostamia silmukoita. Reittiheijastin voi luoda IBGP-mainostukseen ORIGINATOR\_ID-arvon, joka on neljä tavua pitkä. Reittimainostuksien kulkiessa AS-alueen sisällä, jokainen IBGP-reititin tarkistaa kyseisen arvon ja jos laite tunnistaa ORIGINATOR\_ID-arvon omaksi BGP-tunnisteekseen, hylkää se paketin. Toinen tapa on CLUSTER\_LIST, jonka reittiheijastin luo jos kyseistä listaa ei vielä ole olemassa. Reittiheijastin lisää listaan oman CLUSTER\_ID-arvonsa ja mainostaa reittitiedon eteenpäin. Jos reittiheijastin saa reittimainostuksen takaisin, jossa on CLUSTER\_LIST määritelty, tarkistaa se CLUSTER\_ID-arvon. Jos mainostuksessa on sama CLUSTER\_ID kuin reittiheijastimella, hylätään paketti. (Bates, Chen, Chandra, Cisco Systems & Sonoa Systems 2006, 1 – 5.)

## 4 MULTICAST

### 4.1 Protocol Independent Multicast (PIM)

#### 4.1.1 Yleistä

Multicast-tekniikka mahdollistaa multicast-pakettien lähetyksen yhteen osoitteeseen verkossa eikä paketteja tarvitse lähettää jokaiselle vastaanottajalle erikseen. Verkossa pakettien lähetyks jokaiselle vastaanottajalle erikseen kuormittaa verkon kapasiteettia. Multicast-liikennettä vastaanottavat laitteet voivat ilmoittaa halustaan vastaanottaa kyseistä liikennettä ja reititin pystyy kopioimaan tulevan multicast-liikenteen oikeille laitteille. Tekniikan avulla voidaan jakaa yksi datavuo monelle eri vastaanottajalle. Toteutustapoja multicast-liikenteen jakamiseen verkossa on monia, mutta yksi niistä on protokollariippumaton PIM-mekanismi. (Doyle & DeHaven Carroll 2008, 398.)

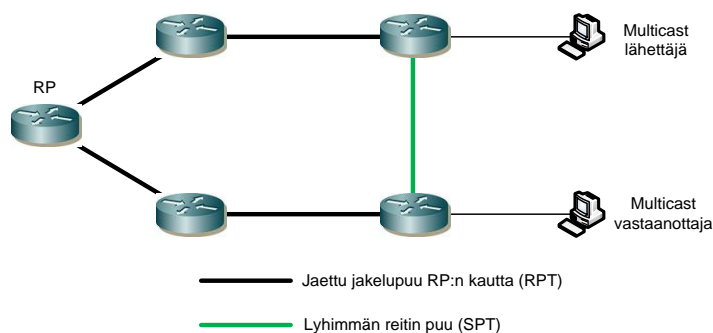
PIM-mekanismi luottaa reititysprotokollan luomaan reititystauluun ja täyttää oman reititystaulunsa (MRIB) tältä saamallaan reittitiedoilla. MRIB:n avulla PIM tietää naapurilaitteiden osoitteet, jotka osallistuvat PIM-toimintoon ja pystyy ohjaamaan liikenteen oikeaan suuntaan. Reitittimet, jotka osallistuvat PIM-toimintoon, vaihtavat PIM-naapureiden kanssa hello-viestejä ilmaisemaan aktiivisuudestaan ja osallistumisesta PIM-toimintoon. Multicast-liikennettä lähettävät ja vastaanottavat laitteet ilmoittavat oman verkkonsa yhteyspisteenä toimivalle PIM-reitittimellä multicast-liikenteen lähetyksestä tai vastaanotosta. Näiden pyyntöjen käsittelyssä PIM voi toimia kahdessa eri toimintatilassa. PIM voi toimia dense-tilassa (PIM-DM), jossa koko verkko tulvitetaan kyselyillä ja multicast-jakelupuu muodostetaan niiden laitteiden kesken, jotka tarvitsevat ko. liikennettä omille kytketyille laitteilleen. PIM-DM-toiminta on määritelty IETF:n RFC:ssä 3973. Toinen toimintatila on nimeltään sparse-tila (PIM-SM). Tämä tila mahdollistaa RP:n käytön tai jakelupuun muodostamisen lyhintä reittiä lähettäjältä vastaanottajalle (SPT). PIM-SM-toiminta on standardoitu IETF:n RFC:ssä 4601. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 419 – 422, 427.)

PIM-SM-toimintoa voidaan käyttää myös kahdella eri variantilla. Toinen näistä on RFC:ssä 5015 ehdotettu standardi Bidirectional PIM (BIDIR-PIM). BIDIR-PIM muo-

dostaa kaksisuuntaisia jaettuja puita yhdistääkseen multicast-lähetäjät ja vastaanottajat. Toiminnon avulla multicast-lähetys voidaan ohjata lähettäjältä suoraan RP:lle ja siitä vastaanottajalle jaettua puuta pitkin ilman lähettäjäkohtaista tilaa. Lisäksi PIM-SM-toiminto voidaan ottaa käyttöön RFC:ssä 4607 määritellyn Source-Specific Multicast (SSM) -toiminnon kanssa. SSM mahdollistaa vastaanottajien tunnistuksen lähettäjäkohtaisesti ja ryhmäkohtaisesti. Samalle multicast-ryhmälle voidaan näin tarjota monta eri lähettäjää.

#### 4.1.2 Sparse-mode (PIM-SM)

PIM-SM-tilassa PIM-reitittimet saavat tiedon laitteesta, joka toimii RP:nä koko multicast-jakelupuulle. RP:nä toimiva laite voi toimia RP:nä tietyille multicast-ryhmille tai kaikelle multicast-liikenteelle. Verkossa kulkeva multicast-liikenne kulkee tämän RP:n kautta jos käytetään kaikille ryhmille samaa RP:tä. Laitteet, jotka haluavat lähettää tai vastaanottaa multicast-liikennettä ilmoittavat tiedon omalle PIM-yhteyspisteelleen ja PIM-reititin lähettää tiedon edelleen kohti RP:nä toimivaa reitintä. Kun multicast-jakelupuu on muodostunut lähettäjältä RP:n kautta vastaanottajalle, voi multicast-liikenne kulkea tätä jakelupuuta pitkin. Käytettäessä PIM-SM-tilaa, voi verkossa olla lyhyempi reitti lähettäjältä vastaanottajalle, jolloin liikenteen lähetyks RP:n kautta ei ole optimaalisinta verkon kuormitusta ajatellen. PIM-SM voi muuttaa RP:n kautta kulkevan lähetyksen muodostamalla lyhimmän reitin puun (SPT) vastaanottajalta lähettäjälle, jolloin multicast-liikenne ohjataan lyhintä reittiä pitkin. Kuviossa 11 on esimerkki, jossa lyhimmän reitin puu (SPT) on verkon käyttöasteen kannalta parempi vaihtoehto kuin jaettu jakelupuu RP:tä (RPT) käytettäessä (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 487 – 488, 492.)



KUVIO 11. Lyhimmän reitin puun hyöty

### 4.1.3 RP-puu

Multicast-lähetyksen vastaanottajalta muodostuu RP-puu PIM-domainissa valitulle RP:lle. Laite, joka haluaa vastaanottaa multicast-lähetystä tietystä ryhmästä, tulee ilmaista tästä esim. IGMP-protokollan avulla. Yleensä laite, jolle ilmoitus menee ensimmäisenä, on verkossa valittu designated router (DR), joka toimii kyseisen aliverkon yhdyspisteinä verkossa. Reitittimen saatua ilmoituksen tarkistaa se multicast-ryhmälle tarkoitetun RP:n ja lähettää PIM-join -viestin valitulle RP:lle. (Miller 2009, 422.)

Lähetetty PIM-join -viesti lähtee (\*,G) tyyppisenä, jossa tähti merkkää, että ryhmään G hyväksytään kaikki lähteet. Lähetetty PIM-viesti kulkee jokaisen PIM-reitittimen kautta RP:lle ja jokainen matkalla oleva reititin liittyy omaan multicast-reititystauluun tämän pyynnön vastaanottaen tiettyyn multicast-ryhmään liikennettä. Jos matkalla RP:lle on reititin, jonka multicast-reititystaulusta löytyy jo merkintä pyydetyn multicast-ryhmän lähettäjistä, on reitti lähettäjälle tiedossa ko. reitittimeltä ja jakelupuu voidaan näin muodostaa. (Miller 2009, 422.)

Lähetyksen vastaanottaja ilmoittaa säännöllisesti omalle yhteyspisteelleen halusta vastaanottaa liikennettä tietystä multicast-ryhmästä. Yhteyspiste ilmoittaa tämän tiedon eteenpäin join-viesteinä, jotta verkon muut laitteet eivät aikakatkaise yhteyttä ja lopeta lähetystä vastaanottavalle laitteelle päin. Jos vastaanottava laite ei enää lähetä join-viestä yhteyspisteelle, lähettää reititin RP:lle päin prune-viestin, joka ilmoittaa multicast-ryhmän poistosta laitteiden tiedoista. (Miller 2009, 422.)

Verkossa multicast-liikennettä lähettävä laite ilmoittaa omalle yhteyspisteelleen halusta lähettää multicast-liikennettä. Laite, joka saa tämän ilmoituksen, lähettää PIM-register paketin RP:n IP-osoitteeseen. Multicast-liikennettä voidaan lähettää tämän jälkeen RP:lle, josta se ohjataan jakelupuun mukaan verkossa eteenpäin laitteille, jotka ovat ilmoittaneet halusta vastaanottaa ryhmän liikennettä. (Miller 2009, 422.)

#### 4.1.4 Lyhimmän reitin puu (Shortest Path Tree, SPT)

Multicast-liikennettä vastaanottava laite saa RP:n kautta jaetun puun menetelmällä multicast-liikenteen vastaanotettua. Tämä reitti saattaa kiertää verkossa monen laitteen kautta ja reitin optimaalisin, lyhin reitti lähettäjältä vastaanottajalle ei ole käytössä. Yhdyspisteenä toimiva reititin (DR), joka lähettää RP:lle päin PIM-join -viestejä, voi käynnistää lähettäjakohtaisen lyhimmän reitin puun (SPT). Reititin lähettää verkossa (S,G) join-pyyntön suoraan multicast-liikennettä lähettävälle laitteelle. S-kohta pyynnössä tarkoittaa lähettävän laitteen osoitetta ja G-kohta multicast-ryhmää, jonka liikennettä halutaan vastaanottaa. Viesti lähtee verkossa eteenpäin ja jokainen laite tarkistaa löytyykö omista multicast-reititystauluista kyseistä tietoa. Jos reititietoa ei ole, lähetetään paketti edelleen eteenpäin kohti kohdeverkkoa ja kohdeosoitetta. Kun pyyntö saapuu reitittimelle, jolla on tieto multicast-liikennettä lähettävästä laitteesta, voidaan liikenne lähettää käyttäen lyhimmän reitin puuta. (Miller 2009, 423.)

Kun lyhimmän reitin puu on muodostettu, vastaanottavan laitteen yhteyspisteenä toimiva reititin vastaanottaa kaksi kopiota lähetetyistä viesteistä. Toinen kopio saapuu lyhimmän reitin puuta pitkin (SPT) ja toinen tulee RP:n jakelupuun kautta (RPT). Reititin huomaa tämän ja lähettää RP:lle päin (S,G) prune-viestin ilmoittaen lähettävän laitteen osoitteen ja multicast-ryhmän. Tämä viesti kulkee verkossa RP:lle päin reititin kerrallaan. Jokainen laite tutkii omista tiedoistaan onko olemassa kytkettyjä laitteita, jotka tarvitsevat vielä multicast-liikennettä kyseiseltä lähettäjältä S, ilmoitetusta multicast-ryhmästä G. Jos vastaanottavia laitteita kyseiseltä lähettäjältä ei ole tiedossa, siirtyy prune-viesti lopulta RP:lle asti. (Miller 2009, 423.)

#### 4.1.5 Bootstrap-protokolla

Protokollan avulla voidaan multicast-verkkoon määrittää useampi ehdokas-RP (C-RP) ja näitä mainostavia ehdokas-BSR -reitittimiä (C-BSR). Protokolla helpottaa multicast-verkossa RP-reitittimien hallintaa valitsemalla prioriteetin ja IP-osoitteen perusteella yhden BSR-reitittimen, joka valitsee taas RP:nä toimivan reitittimen mainostaen sitä verkossa muille laitteille. Tekniikan avulla voidaan myös helpottaa turhaa RP-osoitteiden manuaalista konfiguroimista kaikkiin laitteisiin. Protokolla varmistaa, että verkossa käytetään aina samaa RP:tä samalle ryhmälle.



Multicast-verkossa, jossa käytetään bootstrap-protokollaa, tulee konfiguroida haluttuihin C-BSR -reitittimiin priority-arvo väliltä 0 – 255 ja kyseisen C-BSR -reitittimen IP-osoite. C-BSR -konfiguroimisen jälkeen reititin käynnistää laskurin, joka kuuntelee verkossa liikkuvia bootstrap-viestejä 130 sekunnin ajan. Jos 130 sekunnin aikana verkossa ei mainosteta muita C-BSR -laitteita, otaksuu kyseinen laite BSR-roolin verkossa ja rupeaa lähettämään bootstrap-viestejä. Jos C-BSR vastaanottaa bootstrap-viestin, vertaa se viestissä olevan lähettäjän priority-arvoa omaan C-BSR-priority -arvoonsa. Jos lähettäjän priority-arvo on suurempi, aloittaa laitteen 130 sekunnin laskuri uuden kierroksen. Mikäli taas C-BSR -laitteen oma priority-arvo on suurempi, rupeaa laite mainostamaan itseään BSR-laitteena joka 60:s sekunti. Priority-arvojen ollessa samat, voittaa korkein IP-osoite vertailun. PIM-reitittimen vastaanottaessa bootstrap-viestin, lähettää se saman viestin kaikkiin muihin portteihin paitsi porttiin, josta viesti saapui. Viestin kohdeosoitteena käytetään PIM-protokollan multicast-osoitetta 224.0.0.13 ja TTL-arvoksi asetetaan 1. Näin saadaan mainostettua kyseinen viesti verkon kaikille PIM-protokollaa käyttäville laitteille ja verkossa valittu BSR-reititin tunnetuksi PIM-domainin sisällä. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 489 – 491.)

Reitittimiin, jotka halutaan toimivan RP:nä verkossa, tulee asettaa C-RP:n IP-osoite ja prioriteetti väliltä 0 – 255. C-RP voidaan asettaa toimimaan RP:nä yhdelle tai useammalle multicast-ryhmälle. Kun BSR on valittu bootstrap-viestien perusteella, rupeaa verkon C-RP -laitteet mainostamaan itseään valitulle BSR:lle unicast-lähetyksenä BSR-laitteen IP-osoitteeseen. BSR vastaanottaa nämä mainostukset ja kokoaa RP-listan verkon kaikista C-RP-laitteista. Lista pitää sisällään C-RP-laitteen IP-osoitteen, prioriteetin ja mahdolliset ryhmät joille C-RP tarjoaa palveluaan. Tämä lista lähetetään taas BSR-laitteen toimesta verkon muille PIM-reitittimille multicast-osoitteeseen 224.0.0.13. PIM-reitittimen saatua BSR-mainostuksen RP-listasta, osaa reititin liittyä oikeaan RP-reitittimeen tarkistamalla RP-listasta mikä RP tulee valita millekin ryhmälle. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 489 – 491.)

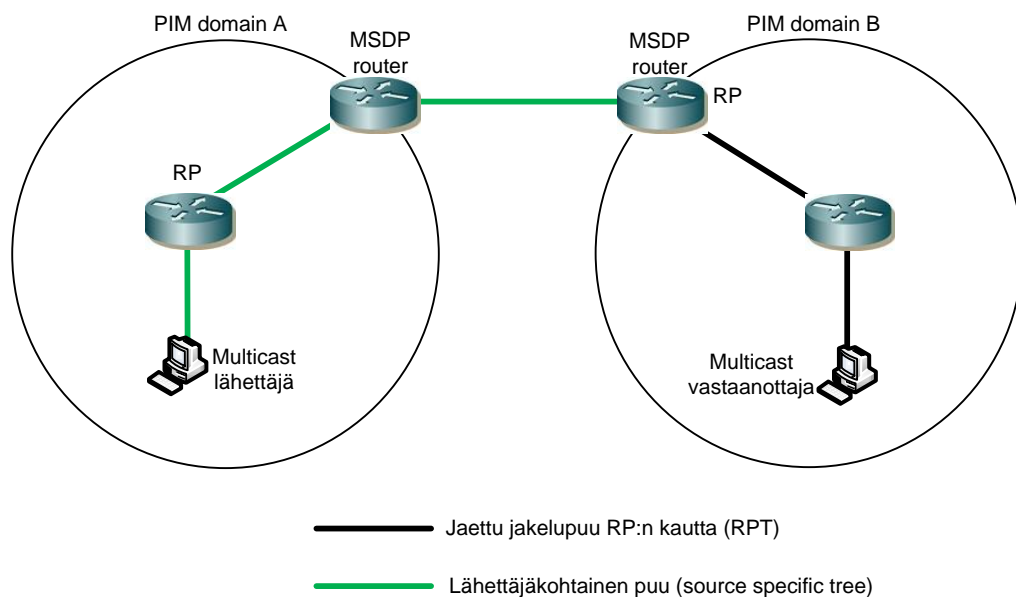
## 4.2 Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)

### 4.2.1 Yleistä

MSDP:n avulla voidaan ohjata multicast-liikennettä eri AS-alueissa toimivien multicast-domainien välillä. MSDP:llä voidaan säilyttää näiden AS-alueiden itsehallinto. Käytettäessä PIM-SM-mekanismia multicastin toteutukseen domainin sisällä, voidaan luoda MSDP-naapuruussuhteita. MSDP-naapuruussuhteiden avulla MSDP-reitittimet vaihtavat multicast-lähetyksen vastaanottopyyntöjä eri AS-alueissa toimivien RP-reitittimien välillä kunhan MSDP-toiminto on kyseisessä reitittimessä. RP-reitittimet saavat tiedon MSDP:n avulla toisessa AS-alueessa toimivan RP:n pyynnöstä lähettää multicast-liikennettä tietystä ryhmästä. PIM käyttää ulkoisen reititysprotokollan, kuten BGP:n avulla luotua reititystaulua AS-alueiden välisen reititiedon tarkistukseen ja RPF-multicast lähetykseen vastaanottavan laitteen AS-alueeseen päin. MSDP on määritelty RFC:ssä 3618 ja sen pääasiallinen käyttöympäristö on PIM-domainien välillä tai PIM-domainin sisällä. MSDP:n käyttöympäristöjä on kuvattu RFC:ssä 4611. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 602 - 604.)

## 4.2.2 Jakelupuun muodostuminen

MSDP vaihtaa PIM-domainissa toimivien RP-reitittimien sille ilmoittamia multicast lähettäjä- ja ryhmäosoitteita (S,G) SA-viesteillä omille MSDP-naapureilleen. PIM-domainissa toimiva RP saa multicast-liikennettä lähettävältä laitteelta rekisteröintiviestin ilmoittaen multicast-lähetyksestä. RP ilmoittaa säännöllisesti tämän (S,G) tiedon ja oman IP-osoitteensa MSDP:llä toisille MSDP-naapureille. MSDP-naapurit lähettävät tiedon oman PIM-domaininsa RP-reitittimille. Jos RP:lle on tullut join-viesti laitteelta, joka haluaa vastaanottaa kyseisen multicast-ryhmän liikennettä (\*,G), lisää RP SA-viestissä saadun (S,G) tiedon omaan multicast-tauluunsa ja lähettää join (S,G)-viestin lähettäjälle päin. Multicast-liikenteen jakelu kahden eri PIM-domainin kesken tapahtuu RP:nä toimivien reitittimien ja MSDP-naapureiden välillä lähettäjakohtaisen puun tyyppisenä liikenteenä (source specific tree). Laitteet, jotka haluavat vastaanottaa liikennettä toisesta PIM-domainista, muodostavat yhteyden normaalisti oman domaininsa RP:hen ja tässä domainissa jakelupuumenetelmänä liikennettä vastaanottavalle laitteelle toimii jaettu puu (shared tree). Kuviossa 12 on esitetty jakelupuun muodostuminen kahden eri PIM-domainin kesken. (Peterson & Davie 2012, 348 – 349.)



KUVIO 12. Jakelupuun muodostuminen PIM-domainien välille

### 4.2.3 PIM-SM ja RPF tarkistus eri AS-alueiden välillä

PIM-domainissa käytettäessä PIM-SM-toimintatila, luottaa PIM sisäiseen reitititysprotokollaan ja pystyy tekemään RPF-tarkistuksen lähettäjälle päin oman reititystaulunsa avulla. Multicast-lähetyksen tapahtuessa AS-alueiden välillä, tulee saman RPF-tarkistuksen onnistua, jotta multicast-reiitit hyväksytään multicast-reititystauluun toisessa PIM-domainissa. AS-alueiden väliseen reititietojen vaihtoon voidaan käyttää esimerkiksi BGP:tä, jonka avulla RP:nä toimivat reitittimet eri AS-alueissa saavat reititiedon toisiin RP-reitittimiin. RP:n saadessa ilmoituksen MSDP:n avulla toisesta AS-alueesta saapuvalla multicast-lähetykselle, tarkistaa RP onko multicast-tilussa tietoa pyynnöstä vastaanottaa tätä lähetystä. Jos pyyntö löytyy, tekee RP-reiitin RPF-tarkistuksen lähettäjälle päin ja jos tämä onnistuu, lisätään (S,G) merkintä multicast-tiluun ja liikennettä voidaan ohjata oikeaan rajapintaan. Jos merkintää ei löydy, ohjataan viesti PIM-domainin muille laitteille. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 603 - 606.)

AS-alueeseen saattaa tulla multicast-paketti reittiä pitkin, jonka kautta RPF-tarkistus ei onnistu. BGP mainostaa AS-alueiden välillä unicast-reittejä ja välillä RPF-tarkistus ei mene samaa reittiä kuin BGP:n luoman reititystaulun mukaan pitäisi. Näissä tapauksissa voidaan käyttää staattisia multicast-reittejä, mutta suurissa verkoissa toiminto ei ole järkevää suuresta hallinnoinnista johtuen. BGP-protokollasta löytyy laajennettu protokolla nimeltä Multiprotocol BGP (MBGP). Protokollan avulla voidaan määrittää reittimainostuksiin kuinka reititietoa käytetään. Käytetäänkö tietoa unicast reititykseen, multicast RPF-tarkistuksiin tai molempiin. Käytettäessä MBGP:tä voi normaali pakettidata kulkea tiettyä reittiä pitkin ja RPF-tarkistukset toista. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 603 - 606.)

#### 4.2.4 MSDP naapuruus

MSDP-naapurit vaihtavat SA-viestejä saadessaan tiedon RP:n kautta uudesta multicast-lähetyksestä. SA-viestejä lähetetään RP:ltä 60 sekunnin välein, kunhan multicast-lähettäjä lähettää dataa kyseiseen multicast-ryhmään. MSDP-naapuruussuhde perustuu TCP-portin 639 kautta tapahtuvaan tiedonsiirtoon. MSDP-reititin, jonka IP-osoite on suurempi, kuuntelee porttia 639 ja toiset kokeilevat muodostaa aktiivista yhteyttä tähän porttiin. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 609.)

Kun MSDP-naapuruussuhde on luotu, jokainen osapuoli lähettää KeepAlive-viestejä ja asettavat oman KeepAlive-ajastimen päälle. Ajastin asettuu aktiiviseksi kun MSDP-toiminto aktivoituu ja aloittaa ajanlaskun aina alusta kun MSDP-viesti lähetetään naapurille. RFC 3618 mukaan KeepAlive-laskurin tulee olla vähintään yhden sekunnin ja vähemmän kuin holdtime-laskurin ajan. Holdtime-laskuri aktivoituu samaan aikaan kuin naapureiden TCP-yhteys on muodostunut. Laskuri nollaantuu aina kun MSDP-viesti (KeepAlive) saapuu naapurilta. Laskurin tulee olla vähintään kolme sekuntia, mutta suositeltava aika on 75 sekuntia. Jos holdtime-laskurin aikavälin sisällä ei laite saa MSDP-naapurilta KeepAlive-viestiä, todetaan MSDP-naapuruus katkenneeksi. (Fenner & Meyer 2003, 4 – 5.)

## 4.2.5 SA-viestit

Fenner ja Meyer RFC 3618 mukaan jokainen RP, joka lähettää SA-viestejä, saa lähettää näitä viestejä SA-advertisement -ajastimen määrittelemän 60 sekunnin välein. RP ei saa lähettää näitä mainostuksia (S,G) toiselle RP:lle MSDP:n avulla muuna aikavälinä. Säännöllinen SA-viestien lähetyksen vaaditaan pitämään ilmoitukset multicast-lähetyksistä RP-laitteiden cachessa. RFC 3618 mukaan RP:n tulee aloittaa SA-viestien lähetyksen heti kun multicast-lähetyksestä lähettävältä laitteelta saadaan datapaketteja. (Fenner & Meyer 2003, 4.)

MSDP-naapureiden vaihtamia SA-viestejä on kolme erilaista:

### **Source Active**

RP saa rekisteröintiviestin multicast-lähettäjältä uudesta multicast-lähetyksestä. RP ilmoittaa MSDP:n avulla muille MSDP-naapureille viestin avulla lähettävän laitteen IP-osoitteen, multicast-ryhmän osoitteen ja oman RP IP-osoitteen.

### **Source Active Request**

Viestien avulla pyydetään (S,G) informaatiota MSDP-naapurilta, joka suorittaa SA-viestin cacheamista. RP ilmoittaa MSDP:lle pyynnöstä vastaanottaa (\*,G) ryhmästä multicast-liikennettä ja MSDP:n saadessa SA-viestin voi cacheaminen kyseisestä (S,G) alkaa kun MSDP tiedostaa (\*,G) pyynnön omasta domainistaan.

### **Source Active Responce**

Viestin avulla MSDP-naapuri, joka suorittaa cacheamista tietyille (S,G) multicast-lähetykselle, voi vastata Source Active Request -pyyntöön. Viestissä MSDP-laite ilmoittaa lähettävän laitteen (S) osoitteen, multicast-ryhmän (G) ja RP:n osoitteen. Vastauksen avulla Source Active Request -pyynnön lähettänyt MSDP-naapuri voi ilmoittaa omalle RP:lle, että multicast-liikennettä tulee ohjata ko. suuntaan. Jakelupuu voidaan aktivoida lähettävän laitteen RP:stä eteenpäin. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 609 - 612.)

## 5 REDUNDANTTISET PROTOKOLLAT

### 5.1 Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)

#### 5.1.1 Yleistä

VRRP on standardoitu IETF:n RFC:ssä 5798. Se tarjoaa vastaavia toimintoja kuin Ciscon valmistajakohtainen HSRP (RFC 2281), mutta VRRP on valmistajariippumaton ja toimii eri laitevalmistajien laitteilla. VRRP määrittelee valintaprotokollan, jonka avulla voidaan jakaa dynaamisesti vastuutoimintoja tietyille lähiverkon virtuaaliselle reitittimelle. Protokollan avulla voidaan luoda redundanttisuutta ympäristöihin, joissa käytetään staattisesti määriteltyä yhteyspistettä verkon liikenteen reititykseen. VRRP-reititin, joka kontrolloi virtuaaliseen reitittimeen liitettyjä IP-osoitteita, kutsutaan Master-reitittimeksi. Master-reititin ohjaa liitettyihin IP-osoitteisiin lähetetyt paketit verkossa eteenpäin. VRRP master-reitittimet konfiguroidaan virtuaalisella IP-osoitteella ja VRRP backup-reitittimet päättävät virtuaaliosoitteiden osoiteperheet kuljetusprotokollan perusteella. Valintaprosessi tarjoaa dynaamista edelleen lähetystä vaikka master-reititin ei olisi tavoitettavissa. IPv4-ympäristössä VRRP:n avulla saavutetaan oletusreitille korkea saatavuus ja minimoidaan jokaisen päätelaitteen konfigurointi virhetilanteen tapahtuessa. (Nadas & Ericsson 2010, 4, 9.)

Virtuaalireititin määritellään virtuaalireitittimen tunnisteella (VRID) ja asetetuilla IP-osoitteilla. VRRP-reititin voi toimia virtuaalireitittimessä käyttäen rajapintojensa IP-osoitteita tai reititin voidaan konfiguroida tukemaan useampaa virtuaalireitintä. Virtuaalireitittimen VRID-arvo ja IP-osoitteet konfiguroidaan kaikkiin lähiverkon virtuaalireitittimen VRRP-reitittimiin samanlaisiksi. (Hinden 2004, 5.)

Verkkoliikenteen minimoimiseksi ainoastaan virtuaalireitittimessä valittu master-reititin lähettää säännöllisiä VRRP-mainosviestejä. Virtuaalireitittimeen valittu backup-reititin ei osallistu säännöllisten mainostuksien lähetykseen ja pyrkii estämään master-reitittimen valintaa ainoastaan jos laitteeseen on määritelty korkeampi priority-arvo. (Hinden 2004, 5.)

### 5.1.2 Master-roolin valinta ja priority-arvo

Virtuaalireitittimessä master-roolin valintaan käytetään priority-arvoa. Korkeimman priority-arvon sisältämä VRRP-reititin valitaan master-laitteeksi. VRRP-reitittimet, jotka suojaavat virtuaalireitintä käyttävät priority-arvoja väliltä 1-254. Oletuksena kaikissa reitittimissä käytetään arvoa 100. VRRP-reitittimen, joka käyttää virtuaalireitittimeen määriteltyä IPv4-osoitetta tulee sisältää prioriteetti-arvon 255. Vikatilanteen sattuessa master-roolin omaava VRRP-reititin ilmoittaa prioriteetti 0 -arvolla muille VRRP-reitittimille, ettei enää osallistu VRRP:hen. Toiminnon avulla voidaan vaihtaa backup-reitittimien toimintatila master-tilaan nopeasti eikä backup-reitittimien tarvitse odottaa master-reitittimen aikakatkaisua. (Nadas & Ericsson 2010, 16.)

### 5.1.3 Virtuaalisen reitittimen MAC-osoite

Virtuaalireitittimessä käytetään VRID:n perusteella määräytyvää MAC-osoitetta. MAC-osoite määritellään hexadesimaalisena arvona 00-00-5E-00-01-[VRID]. MAC-osoitteessa kolme ensimmäistä oktettia (00-00-5E) tulee suoraan IANA:n määrittelemästä OUI:sta ja kaksi seuraavaa oktettia (00-01) on VRRP:lle määritetty osoiteblokki. Viimeinen oktetti määräytyy virtuaalireitittimessä käytetyn VRID:n perusteella. Tämä toimintamalli mahdollistaa maksimissaan 255 eri virtuaalireitintä lähiverkossa. Virtuaalireitittimessä master-rooliin valittu VRRP-reititin käyttää virtuaalista MAC-osoitetta vastatessaan virtuaaliseen reitittimeen saapuneisiin ARP-kyselyihin. Virtuaalireitittimessä käytetty virtuaalinen MAC-osoite mahdollistaa näin päätelaitteille nopean ja näkymättömän master-roolissa toimivan VRRP-reitittimen vaihdon. Päätelaitteet voivat näin käyttää aina samaa MAC-osoitetta liikennöinnissä. (Miller 2009, 372.)

### 5.1.4 Tracking mode

VRRP-reitittimiin voidaan asettaa erilaisia tracking mode toimintoja seuraamaan missä tilanteessa master-tila tulee luovuttaa backup-laitteelle. Tracking modella voidaan seurata fyysistä linkkiväliä, reititystaulun reitittietoa tai reititin voidaan asettaa pingaamaan tiettyä IP-osoitetta tietyn virhemarginaalin puitteissa. Jos seurattu toiminto ilmoittaa virheestä, luovutetaan master rooli. (Extreme Networks 2011, 1083,1087.)

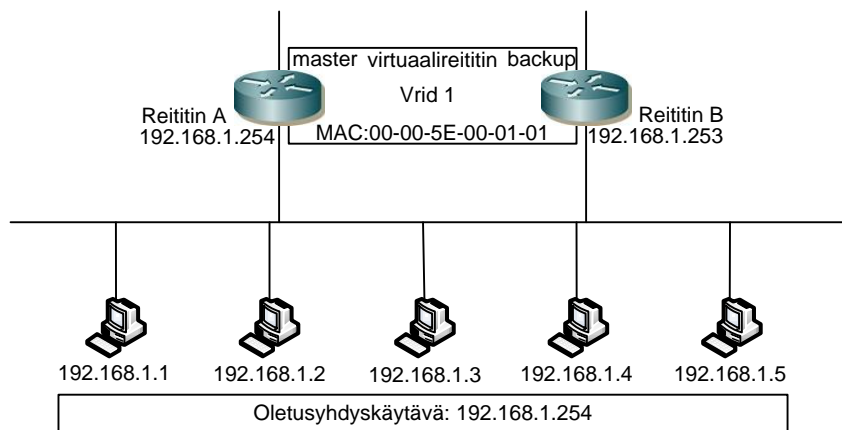


### 5.1.5 Virtuaalisen reitittimen perustoiminta

VRRP:llä voidaan yhdistää kaksi tai useampi fyysinen reititin yhdeksi virtuaaliseksi reitittimeksi, joka tarjoaa redundanttisuutta verkolle. Protokolla mukautuu myös tilanteisiin, joissa käytetään monia fyysisiä reitittimiä monessa eri virtuaalisessa reitittimessä. Kumpikin tapa tarjoaa korkeatasoista saatavuutta verkon reitittimille tai päätelaitteille.

#### Yksi virtuaalireititin

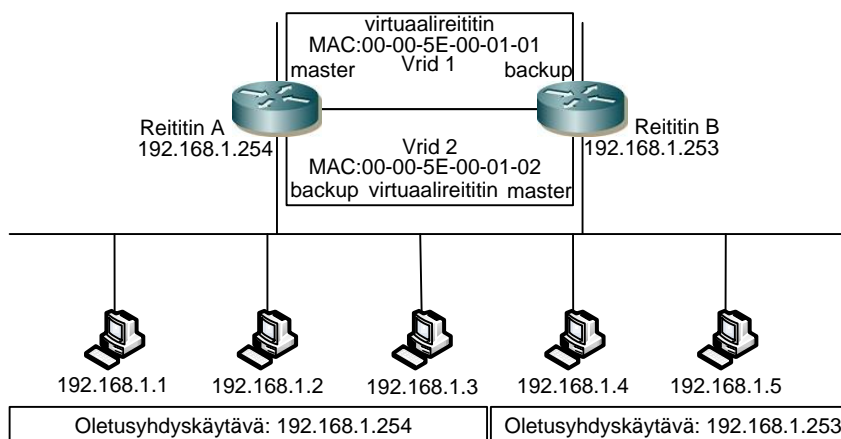
Kuviossa 13 nähdään esimerkki, jossa kaksi reititintä muodostaa virtuaalisen reitittimen IP-osoitteella 192.168.1.254. Virtuaalireitittimen VRID-arvoksi on asetettu 1. Kuvion topologian päätelaitteilla on lähiverkon IP-osoite verkko-osoitteenaan ja oletusyhdyskäytävänä VRRP master-reitittimen IP-osoite. Master-reitittimen vikaantessa siirtyy virtuaalireitittimessä toimiva backup-laite master-tilaan ja rupeaa toimittamaan yhdyskäytävän toimintoja. (Miller 2009, 366.)



KUVIO 13. Virtuaalisen reitittimen muodostaminen

## Useampi virtuaalireititin

Virtuaalireitittimien avulla voidaan myös jakaa verkon kuormitusta. Kuviossa 14 on esimerkkitopologia, jossa reitittimet muodostavat kaksi erillistä virtuaalista reititintä.



KUVIO 14. Kahden virtuaalireitittimen muodostaminen

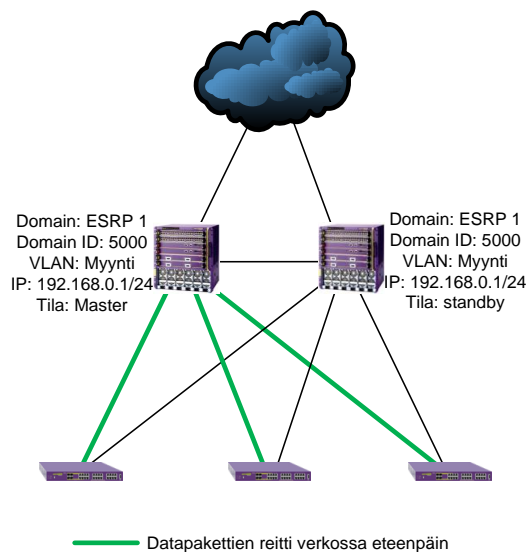
Reititin A toimii VRID-tunnuksella 1 olevalle virtuaalireitittimelle master-tilassa ja VRID-tunnuksella 2 olevalle virtuaalireitittimelle backup-tilassa. Vastaavasti Reititin B toimii backup-tilassa VRID 1 -tunnuksella olevalle virtuaalireitittimelle ja master-tilassa VRID 2 -tunnuksella olevalle virtuaalireitittimelle. Virhetilanteessa master-tilassa toimiva VRRP-reititin luovuttaa roolinsa backup-reitittimelle. Backup-reititin rupeaa toimittamaan master-reitittimen toiminteita. Kuvan topologiassa osa päätelaitteista käyttää reititintä A oletusyhdyskäytävänä ja osa B:tä. Jos virtuaalireitittimen master-reitittimessä tapahtuu virhe eikä tämä enää osallistu virtuaalireitittimeen, siirtyy backup-reititin master tilaan ja päätelaitteiden liikenne kulkee tämän kautta. Kuvion topologiassa päätelaitteiden kuormitus verkon yhdyskäytävälle on myös jaettu virtuaalireitittimien avulla. Näin verkkoon saadaan redundanttisuutta sekä verkon kuormituksen jakoa. (Miller 2009, 367.)

## 5.2 Extreme Standby Router Protocol (ESRP)

### 5.2.1 Yleistä

Extreme Standby Router Protocol on ExtremeXOS -käyttöjärjestelmän toiminto, jonka avulla useat kytkimet voivat tarjota redundanttisia reitityspalveluja muille verkon laitteille. ESRP-konfiguroidussa verkossa muut verkon laitteet näkevät ainoastaan yhden oletusreitittimen, jolla on ennalta määritelty IP-osoite ja MAC-osoite. Tämän seurauksena oletusreitittimen vaihtuessa ESRP:ssä virhetilanteen sattuessa, päätelaitteiden ARP-tauluja ei tarvitse uudistaa tai odottaa aikakatkaisua.

ESRP konfiguroidaan domain-pohjaisesti jokaiseen kytkimeen, jotka osallistuvat ESRP-toimintoon. Kytkimet vaihtavat keep-alive -paketteja jokaiselle VLAN:lle erikseen. Ainoastaan master-tilassa toimiva kytkin tarjoaa aktiivisesti Layer 3 -reititystä tai Layer 2 -kytkemistä jokaiselle VLAN:lle erikseen. Aktiivisena toimiva master-kytkin vastaa myös ARP-kyselyihin verkossa. Muut ESRP-toimintoon osallistuvat kytkimet ovat standby-tilassa odottaen mahdollista master-tilan vaihtumista. ESRP-domainiin kuuluvan VLAN:n kaikki kytkimet käyttävät samaa MAC-osoitetta ja IP-osoitetta. Kuviossa 15 nähdään ESRP-domain, jossa on käytössä Layer 2- ja Layer 3 -redundanttilisuus. (Extreme Networks 2011, 1045 – 1047.)



KUVIO 15. ESRP-domain

## 5.2.2 ESRP-domain

ESRP-domainit mahdollistavat monen VLAN:n konfiguroimisen yhden instanssin alaisuuteen. Yhdistämällä monia VLAN:ia yhden domainin alaisuuteen, voidaan tarjota redundanttisuutta domainin kaikille VLAN-yhteyksille. Domainsiin liitetyt VLAN:t hyödyntävät samaa aktiivista- ja standby -tilassa olevaa reititintä. ESRP-domainiin kuuluvien laitteiden välisiin PDU-pakettien lähetykseen käytetään master-VLAN:ia ja domainsiin on mahdollista lisätä suojeltuja VLAN-yhteyksiä, jotka ovat member-VLANeja. (Extreme Networks 2011, 1048 – 1049.)

### ESRP domain-ID

ESRP-paketit eivät tunnista itseään mihin domainsiin ne kuuluvat vaan tunnistukseen tulee käyttää domain-ID -arvoa tai master-VLAN:in 802.1Q tag-arvoa. Domain-ID:n tai VLANid:n avulla saapuvat paketit voidaan tunnistaa kuuluvaksi ESRP-domainiin. Jos ei käytetä master-VLAN:n 802.1Q tag-arvoa tai tämän VLANid-arvo on merkkaamaton, tulee määrittää domain-ID -arvo ennen ESRP:n aktivoimista. Domain-ID -arvot voidaan määrittää numeerisesti alueelta 4096 - 65535. (Extreme Networks 2011, 1048,1061.)

### Master-VLAN

ESRP-domainissa käytetään ESRP PDU:iden vaihtamiseen muiden ESRP-toimintoon osallistuvien laitteiden välillä master-VLAN:ia. Jokaisella domainilla pitää olla yksi master-VLAN ja kyseinen VLAN voi kuulua ainoastaan yhteen ESRP-domainiin keralla.

### Member-VLAN

Member-VLAN voidaan liittää osaksi ESRP-domainia. Tässä VLAN:ssa ei kuljeteta ESRP PDU:ita vaan VLAN kuuluu ainoastaan ESRP-domainiin suojeltuna yhteytenä. (Extreme Networks 2011, 1061 – 1062.)

## ESRP-aware -kytkin

ESRP-domainissa olevia kytkimiä, jotka eivät osallistu aktiivisesti ESRP-instanssiin kutsutaan ESRP-aware -kytkimiksi. Jotta kytkin osaa toimia domainissa ESRP-aware -kytkimenä, tulee kytkimeen konfiguroida master-VLAN, mahdolliset member-VLAN:t ja mahdollinen domain-ID -tunnus. ESRP-aware toiminto mahdollistaa kytkimelle ESRP-domainissa tapahtuvan virheen huomaamisen nopeammin ja mahdollisen datavuon ohjauksen uudelle ESRP-master -kytkimelle. (Extreme Networks 2011, 1054 – 1055.)

### 5.2.3 Master-kytkimen valinta

ESRP-domainissa master-kytkin, joka suorittaa Layer 3 -tason reititystä ja mahdollista Layer 2 -tason kytkemistä valitaan vaalien perusteella. ESRP-domainiin kuuluvat kytkimet suorittavat vaalit valitun vaalialgoritmin perusteella. Valittu vaalialgoritmi vertailee kytkimiin määriteltäviä arvoja ja fyysisiä ominaisuuksia. Valittu algoritmi määrittää ESRP-domainissa käytetyn master-kytkimen ja muut kytkimet siirtyvät standby-tilaan odottamaan mahdollista ilmoitusta vaalien uudelleenjärjestyksestä tai yhteyden katkeamista master – slave laitteiden välillä. ESRP master-kytkimen valintaan voidaan vaikuttaa taulukon 3 mukaisilla määreillä. (Extreme Networks 2011, 1055 – 1056.)

TAULUKKO 3. ESRP-master -valintamääreet

Stickiness	Korkeammalla arvolla on suurempi prioriteetti. ESRP-domainin valittua master-laitteen, muuttuu master-kytkimen sticky-arvoksi 1.
Aktiiviset portit	Laite, jolla on eniten aktiivisia portteja on etusijalla.
Tracking-tieto	Yhteydellisyys laitteesta määritettyyn verkkoon tai laitteen fyysinen tila.
ESRP-priority	Käyttäjakohtaisesti määriteltävä arvo väliltä 0 – 255. Korkeampi arvo merkitsee korkeampaa prioriteettiä lukuunottamatta arvoa 255. 0 default arvo 255 ESRP-kytkin pysyy slave-tilassa kunnes kyseinen arvo muutetaan käyttäjän toimesta. Laite, jonka priority-arvo on 255, ei voi koskaan olla master-laite.
Järjestelmän MAC osoite	Korkeampi MAC-osoite, korkeampi prioriteetti
Aktiivisen portin paino	Portin painoarvo määräytyy automaattisesti kaistanleveyden mukaan.

## ESRP-vaalialgoritmit

ESRP-master -laitteeksi voidaan domainissa valita laite 15 eri vaalialgoritmin perusteella. Domainin kaikki laitteet konfiguroidaan käyttämään samaa vaalialgoritmia. Algoritmissä ensimmäisenä olevalla määreellä on suurin painoarvo valittaessa master-kytkintä. Vaalialgoritmiiksi voidaan valita seuraavat kohdat:

- portit > tracking > priority
- portit > tracking > priority > mac
- priority > mac
- priority > portit > tracking > mac
- priority > tracking > portit > mac
- sticky > portit > tracking > priority
- sticky > portit > tracking > priority > mac
- sticky > portit > portin paino > tracking > priority > mac
- sticky > priority > portit > tracking > mac
- sticky > priority > tracking > portit > mac
- sticky > priority > mac
- sticky > tracking > portit > priority
- sticky > tracking > portit > priority > mac
- tracking > portit > priority
- tracking > portit > priority > mac

(Extreme Networks 2011, 1058 – 1060.)

## ESRP tracking

Toiminnon avulla seurataan virtuaalisen kytkimen yhteydessä määriteltyyn verkkoon tai laitteiston tilaa. Jos yhteydessä ei ole tai laitteiston tila ei vastaa määriteltyjä arvoja, ilmoittaa toiminto tästä vaalialgoritmille ja mahdollinen master-tilan luovutus voi alkaa. ESRP tracking toiminnolla voidaan seurata seuraavia tiloja:

- Laitteiston tilamuutoksissa ESRP tracking seuraa virtalähteen rikkoutumista, ylikuumentumista tai virtalähteen alimitoitusta laitteiston vaatimaan virtamäärään.
- VLAN-perusteinen seuranta seuraa yhteydessä määriteltyyn VLAN:iin. Jos yhteyttä määriteltyyn VLAN:iin ei kytkimestä enää ole, luovuttaa laite master-tilansa ja siirtyy slave-tilaan. Seurattavia VLAN-yhteyksiä voi olla ainoastaan yksi.
- Reititystaulupohjainen seuranta mahdollistaa maksimissaan kahdeksan eri reititiedon seurannan reititystaulusta. Jos jokainen määritetty reititieto puuttuu reititystaulusta, luovuttaa kytkin master-tilansa.
- Ping-seurannalla voidaan seurata yhteyttä mihin tahansa laitteeseen, joka pysyy kommunikoidaan kytkimen kanssa. Ping-arvoihin voidaan asettaa kuinka usein ping-pyyntö lähetetään (1s – 600s) ja kuinka monta ping-virhettä (1 – 256) saa olla ennen virhetilanteen ilmoitusta slave-kytkimelle ESRP-domainissa.

(Extreme Networks 2011, 1062 – 1065.)

## 6 ROUTING POLICY

### 6.1 Yleistä

Reitityspolitiikka on suunnitelma, jonka avulla reititysprotokollaan voidaan määrittää reitittimessä hyväksyttävien reittien ehdot tai muuttaa näiden parametrejä. Poliitiikan avulla voidaan vaikuttaa reittitietojen hyväksyntään laitteessa tai mainostettaessa toiselle laitteelle. Näiden ehtojen perusteella tiettyyn rajapintaan saapuvalle tai lähtevälle reittimainostukselle suoritetaan politiikan mukaiset toiminnot ja vertailut. BGP-reititysprotokollaa käytettäessä, reitityspolitiikka asettaa mitä reittitietoja toisen osapuolen hallinnoimasta verkosta hyväksytään tai kuinka omia reittitietoja mainostetaan. Reitityspolitiikan avulla voidaan myös hallita sisäverkon reittimainostuksia ja mahdollisia eri reittivaihtoehtoja käytettäessä IBGP:tä. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 208 - 209.)

### 6.2 Poliitikkojen eri muodot

#### 6.2.1 Reititietojen filtteriinti NLRI:n perusteella

Reitityspoliikan avulla voidaan määrittää mitä reittejä reititin hyväksyy tai mitä reittejä se mainostaa omissa mainostuksissaan. Poliitiikkaan voi määrittää reittitiedot, jotka hyväksytään tai hylätään tietyn NLRI-tiedon perusteella. NLRI sisältää mainostettavia saatavuuksia muista verkoista kuten verkko-osoitteita ja näiden prefixejä. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 211 - 212.)

#### 6.2.2 Reititietojen filtteriinti AS\_PATH-attribuutin perusteella

BGP-update -viestit sisältävät reittiattribuutteja, joista yksi on AS\_PATH. Attribuutin arvo kertoo verkon AS-numeron, josta update-viesti on saapunut. Tämän perusteella voidaan asettaa politiikkaan toiminto, joka hylkää tai hyväksyy tietystä AS-numeron omaavasta alueesta reittimainostukset. Poliitiikka voidaan määrittää myös estämään



tiettyyn AS-alueeseen reittimainostuksien lähetys. Tarkasteltaessa AS\_PATH-attribuuttia, politiikka käsittelee AS-kenttää ns. tekstiarvona. Tästä kentästä voidaan tehdä AS-numerohakua, joiden onnistuttua, politiikka suorittaa määritetyt toiminnot. AS-hakuihin määritellään esim. AS-aluenumero, joka alkaa tai loppuu tiettyyn alueeseen. Hauissa voi määrittää myös AS-alue, joka alkaa tai loppuu tietyllä numerolla. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 100, 219 - 220.)

### 6.2.3 Reittitietojen filteröinti reittikarttojen (route maps) avulla

Reittifilttereissä voidaan käyttää myös reittikarttoja, jotka voivat hyödyntää NLRI tai AS\_PATH perusteella tapahtuvaa filteröintiä. Reittikartoilla voidaan toteuttaa politiikka reittimeen saapuvalla tai siitä lähtevälle reittimainostukselle. Reittikarttojen avulla reitittimeen saapuva tai lähtevä reittimainostus voidaan muokata halutuksi attribuutteja muuttamalla. Reittikartan tärkein ominaisuus on attribuuttien muuttaminen, jolloin voidaan luoda halutun politiikan mukainen reittitieto tiettyyn pisteeseen tai tietyn pisteen kautta verkossa. Reittikarttoihin voidaan asettaa myös seuraavia attribuutteja: (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 224-226.)

#### **LOCAL\_PREF -attribuutti**

Attribuutti määrittää preferenssiarvon reittitiedolle tiettyyn kohdeosoitteeseen. Tiettyyn kohdeosoitteeseen voi olla monta eri reittiä, jolloin LOCAL\_PREF-arvoa muokkaamalla voidaan IBGP-ympäristössä asettaa haluttuja reittejä etusijalle valittaessa reittivaihtoehtoa. Muokattava attribuuttiarvo voi olla väliltä 0 - 4294967295. Korkeampi arvo merkitsee halutumpaa reittivaihtoehtoa. LOCAL\_PREF-arvoa muuttamalla voidaan reittikartan avulla asettaa tietyt reitit ensisijaisiksi reiteiksi jos reittivertailussa käytetään preferenssiarvoja. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 241.)

#### **MULTI\_EXIT\_DISC (MED) -attribuutti**

MED-attribuutin avulla voidaan vaikuttaa naapurina toimivan AS-alueen reitityspäätöksiin. BGP-reitittimen vaihtaessa reittitiedon toisen BGP-reitittimen kanssa, voidaan viestiin sisällyttää MED-arvo. Arvo valitaan 4 oktetin muodostamasta arvosta väliltä 0 - 4294967295. Arvoa käytettäessä reittitiedon valintaan, on pienimmällä arvolla suurin painoarvo. BGP-reititin voi mainostaa vastaanottamaansa reittitietoa tietyllä MED-arvolla omille IBGP-naapureilleen. Mainostettava reittitiedon MED-arvo saadaan vas-

taanotetusta reittimainostuksesta. BGP-reititin ei mainosta tätä MED-arvoa muille EBGP-naapureilleen. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 246.)

### **Reitin merkkaus (route tagging)**

Reittipäivityksissä voidaan viedä informaatiota tag-kentässä. Kentän informaatiolla reititysprotokolla pystyy viemään tietoa toiselle reititysprotokollalle jonkun muun reititysprotokollan välityksellä. Kentän arvolla ei ole merkitystä ns. siirtotienä toimivalle reititysprotokollalle. Tag-kenttää tukee; RIP2, EIGRP ,IS-IS,OSPF ja BGP. Esim. OSPF-ympäristössä ei AS-aluenumerot siirry reittimainostuksissa, joten voidaan käyttää reitin merkkausta BGP-reitittimellä viemään AS-alueesta AS-numero OSPF-domainin kautta toiselle AS-alueelle. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 256-258.)

## **6.2.4 Peer-ryhmät**

BGP-ympäristö, jossa samaa reitityspolitiikkaa toteutetaan monelle BGP-reitittimelle, lisää laitteiden hallinnointia ja konfigurointia. Reitittimien asettaminen kuuluvaksi tiettyyn peer-ryhmään pienentää konfigurointimäärää. Ryhmässä toimii yksi reititin, joka pitää sisällään muille peer-ryhmän jäsenille lähetettävät asetukset. Peer-ryhmän konfiguraatiot sisältävään reitittimeen asetetaan halutut optiot ja politiikat, jonka jälkeen tiedot siirtyvät muille jäsenille. Liittyäkseen peer-ryhmään, kaikkiin ryhmän reitittimiin asetetaan sama peer-ryhmä. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 265-266.)

## **6.2.5 BGP-Communityt**

Communityt määrittävät politiikkoja ryhmään, jotka sisältävät määritettyjä reittejä. Community on reittiattribuutti ja attribuutti siirtyy reittimainostuksessa BGP-reititimeltä toiselle. BGP-communityyn voidaan määrittää mm. seuraavia attribuutteja:

### **NO\_EXPORT**

Attribuutti mahdollistaa reitin mainostuksen naapuri AS-alueen sisällä, mutta kieltää reitin mainostuksen naapuri AS-alueesta toiselle AS-alueelle. Communityssä määritetty NO\_EXPORT-attribuutti voidaan myös hylätä naapuri AS-alueessa.

**NO\_ADVERTISE**

Lähetetään IBGP-naapureille. Estää IBGP-reititintä mainostamasta community-attribuutin NO\_ADVERTISE omaavaa reittiä muille IBGP-naapureille tai EBGP-naapureille. Rajaa tietyn reitin mainostuksen AS-alueen sisälle.

**LOCAL\_AS**

Käytetään BGP-konfederaation sisällä. Reitti mainostetaan konfederaation sisällä oleviin ali-autonomisiin -alueisiin. Reittiä ei mainosteta konfederaation ulkopuolelle. (Doyle & Carroll DeHaven 2008, 270-274.)

**7 NAT, BFD ja IPv6**

ExtremeXOS Concepts Guiden mukaan NAT-toimintoa ei löydy käytettävistä BlackDiamond- tai x250-kytkimistä. BFD-toiminto kuvataan manuaalin mukaan toimivaksi MPLS-tekniikkaa käytettäessä. BFD-clienttina voi toimia ainoastaan MPLS, jolloin käytössä tulee olla suora yhteys toiseen clienttiin (single hop). Toiminto tukee ainoastaan IPv4-tekniikkaa.

Tutkimusympäristössä oli IPv6-tekniikalla tarkoitus mainostaa IPv6-reittejä BGP:llä AS-alueesta toiseen AS-alueeseen. IPv6-reittien mainostus olisi ollut mahdollista toteuttaa BGP4+ -protokollalla, joka tuo normaaliin BGP-protokollaan lisätoimintoja kuten IPv6-tuen. Kyseinen toiminto löytyy Summit x450a-, x480-, x650-, BlackDiamond 8800- ja BlackDiamond 20800-sarjan -kytkimistä. Tutkimusympäristössä käytettiin x250- ja BlackDiamond 12802-sarjan -kytkimiä, joten IPv6-reittitietojen mainostus BGP:llä ei ollut mahdollista.

Toimintojen puutteellisuudesta johtuen, kyseisiä kohtia ei käsitellä tutkimuskohdissa.

## 8 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS JA TULOKSET

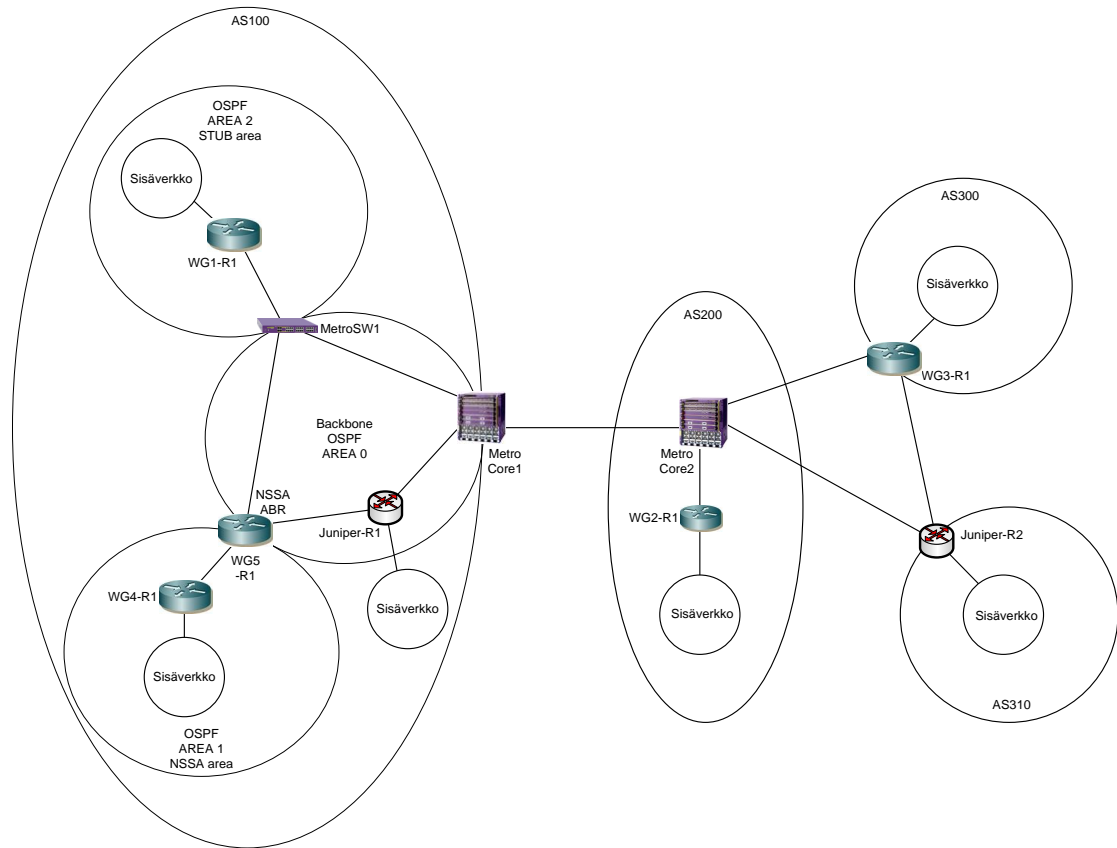
### 8.1 Toteutusympäristö

Työssä oli tutkittavina kohteina kahdeksan eri kohtaa. Näissä jokaisessa kohdassa jouduttiin miettimään toimivaa topologiaratkaisua ja käytettäviä laitteita. Näin saatiin tutkittaville kohteille toimiva ympäristö ja toiminnot oli helppo testata. Jokainen tutkittava kohta käsiteltiin omana itsenäisenä toimintona.

Osa tutkittavista kohteista oli mahdollista testata jo valmiiksi suunnitellussa topologiaratkaisussa. Osa kohteista vaati myös lisälaitteiden ottamista mukaan topologiaan. Jokaisen tutkittavan kohteen topologiaratkaisussa tuli myös huomioida tutkittavan kohteen toteutettavuus kyseisessä ympäristössä. Osa kohteista luotiin täysin erilainen ympäristö eikä alkuperäinen, valmis AS-aluepohjainen lähestymistapa ollut käytännöllinen tapa tutkia tekniikan toimivuutta. Osa tutkittavista kohteista oli mahdotonta testata Extreme Networksin laitteilla, koska toiminnot puuttuivat laitteista.

#### 8.1.1 Topologia

Lähtökohdana verkkotopologian suunnittelussa oli luoda palveluntarjoajaympäristöt ja yksi yrityksen sisäverkko. Näistä saatiin yksi suuri ympäristö, johon oli luotu AS-alueet eri palveluntarjoajille ja heidän verkoilleen. Näihin verkkoihin liitettiin myös yritysverkko, joka oli myös oma itsenäinen AS-alue. Kuviossa 16 nähdään topologiaratkaisu, jonka perusteella tutkittavia kohteita lähestyttiin.



KUVIO 16. Tutkimusympäristön perustopologia

Kuviossa on nähtävissä kolme palveluntarjoajapohjaista AS-aluetta ja yksi yritysverkko, joka on myös itsenäinen AS-alue. Kuvitteelliset palveluntarjoajan AS-alueet numeroitiin AS-aluenumeroilla 200,300 ja 310. Yritysverkko numeroitiin AS-aluenumeroilla 100. Topologiaratkaisussa oli mahdollista lisätä haluttuja sisäverkkoja jokaiseen AS-alueeseen kuvaamaan verkkoalueiden sisäisiä verkkoja.

AS-numeroitu yritysverkko piti sisällään yrityksen oman runkoverkon, johon oli myös suunniteltu OSPF-aluejako. Yrityksen runkoverkossa nähdään normaali backbone-alue, joka yhdistää STUB-alueen ja NSSA-alueen.

### 8.1.2 Laitteisto

Tutkittavien kohteiden erilaisista topologiaratkaisuista johtuen laitteisto muuttui riippuen tutkitusta kohteesta. Kytkimien ja reitittimien valmistajat ja mallit pysyivät kuitenkin samana koko tutkimuksen ajan. Osassa tutkittavien kohteiden topologiaratkai-

suissa saatettiin käyttää vain tiettyjä laitteita, jotta toiminnot oli mahdollista testata. Laitteina käytettiin Extreme Networksin summit x250e-24t -kytkimiä, BlackDiamond 12802-kytkimiä, Cisco Systemsin 2821-reitittimiä ja Juniper Networksin J2320-reitittimiä.

### **Konsoliosoitteet**

Jokaista laitetta voitiin hallita ottamalla yhteys laitteen konsoliosoitteeseen. Konsoliosoitteeseen saatiin yhteys Jyväskylän ammattikorkeakoulun tietoverkkolaboratorieverkosta käyttämällä Windows-käyttöjärjestelmän komentokehoitetta ja telnet-toimintoa. Taulukossa 4 on listattu jokaisen laitteen konsoliosoitteet.

TAULUKKO 4. Tutkimusympäristön laitteiden konsoliosoitteet

Laite	Malli	IP-osoite
WG1-R1	Cisco 2821	192.168.41.11
WG2-R1	Cisco 2821	192.168.41.21
WG3-R1	Cisco 2821	192.168.41.31
WG4-R1	Cisco 2821	192.168.41.41
WG5-R1	Cisco 2821	192.168.41.51
Juniper-R1	J2320	192.168.41.91
Juniper-R2	J2320	192.168.41.92
MetroSW1	x250e-24t	192.168.41.83
MetroSW2	x250e-24t	192.168.41.84
MetroSW3	x250e-24t	192.168.41.85
MetroSW4	x250e-24t	192.168.41.86
MetroSW5	x250e-24t	192.168.41.87
MetroCore1	BlackDiamond 12802	192.168.41.81
MetroCore2	BlackDiamond 12802	192.168.41.82
C-SW	Cisco 2950T-48-SI	192.168.41.100

### **8.1.3 Portit**

Jokaisen tutkittavan kohteen topologiaratkaisussa otettiin huomioon myös laitteiden väliset linkkivälit. Osa laitteista oli yhdistetty suoraan fyysisellä kaapeloinnilla ja osa jouduttiin yhdistämään toisiinsa käyttäen virtuaalisia yhteyksiä hyödyntämällä keskitettyä Ciscon 2950T-48-SI -kytkintä (C-SW1). Liitteessä 1 nähdään käytettyjen laitteiden porttinumerointi ja näiden yhteydellisyys fyysisellä kaapeloinnilla.

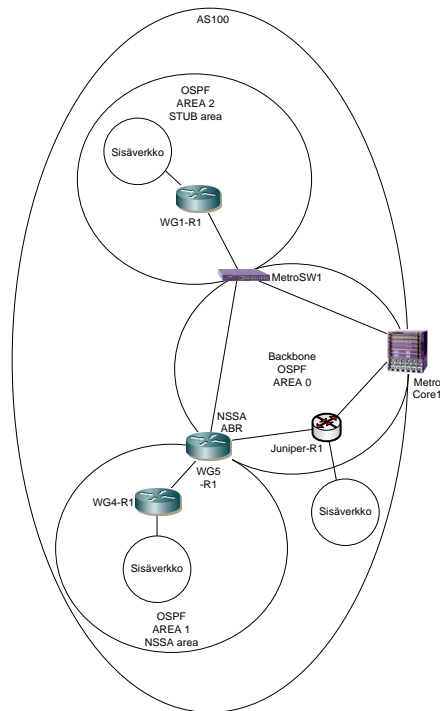
## 8.1.4 IP-osoitteet

Lähtökohtana käytetyn topologiaratkaisun perusteella, määritettiin IP-osoitteistus laiteympäristöön ja niiden rajapintoihin. Osassa tutkittavien kohteiden topologioissa jouduttiin määrittelemään myös sisäverkkojen osoitteita tiettyihin rajapintoihin ja osassa jouduttiin määrittelemään kokonaan uusi osoitteistus. Liitteessä 2 on määritetty perustopologiassa käytetyt IP-osoitteet.

## 8.2 OSPF

### 8.2.1 Topologia ja laitteisto

OSPF:n toimivuutta testattaessa voitiin hyödyntää perustopologin mukaista verkkoympäristöä pienin muutoksin. Tutkittavana kohteena oli OSPF-tekniikka, joten kolme eri palveluntarjoajaverkkoa (AS200, AS300 ja AS310) voitiin jättää verkkotopologiasta pois. Kuviossa 17 nähdään yrityksen oma verkkotopologia, johon OSPF-ympäristö luotiin.



KUVIO 17. OSPF-topologia

Topologiassa WG1-R1-, WG4-R1- ja WG5-R1-laitteet olivat Cisco Systemsin 2821-reitittimiä. Extreme Networksin laitteina käytettiin x250e-kytkintä (MetroSW1) ja BlackDiamond 12802 (MetroCore1) -kytkintä. Juniper Networksin laitteena käytettiin J2320-reititintä.

## 8.2.2 Tutkittavat kohteet

Yritysverkkoon luodaan kolme eri OSPF-aluetta. OSPF-toiminnon tulee toimia normaalisti backbone-alueessa ja tässä ympäristössä myös Juniper-R1-laitteessa oleva sisäverkko tulee kulkea reittimainostuksissa normaalisti area 0 sisällä. Määritettyyn Stub-alueeseen ei saa lähteä reittimainostuksia MetroSW1-laitteelta, koska alue ei mahdollista LSA5-tyypin mainostuksia. Stub-alueen reunareitittimenä toimiva MetroSW1-laitteen tulee myös mainostaa WG1-R1-laitteelle itseään yhdyskäytävänä verkossa eteenpäin. NSSA-alueen reunareitittimenä toimiva WG5-R1 tulee pystyä muuntamaan tyypin-7 LSA:t tyypin-5 LSA:ksi ja mainostaa näitä backbone-alueeseen. NSSA-alue ei ole täysin stub NSSA, joten backboneelta saapuu reittimainostukset normaalisti.

## 8.2.3 OSPF-konfigurointi

Konfigurointi aloitettiin OSPF-backbone -alueesta ja siihen liitettynä olevasta MetroCore1-laitteesta. Laitteelle määritettiin laitteenimi ja poistettiin kaikki portit pois käytöstä. Seuraavaksi otettiin halutut portit käyttöön ja aktivoitiin myös reititystoiminto laitteeseen.

```
#configure snmp sysname MetroCore1
#disable ports all
#enable ports 1:3,1:5
#enable ipforwarding
```

Seuraavaksi tuli luoda yhteydellisyys MetroSW1- ja Juniper-R1 -laitteeseen. Jotta yhteydellisyys saadaan toimimaan virtuaalisien lähiverkkojen avulla, jouduttiin poistamaan ”default vlan” kaikista porteista. Yhteydellisyys luotiin luomalla VLAN:t ja määrittelemällä näille IP-osoitteet ja halutut portit joihin VLAN liitetään. Lopuksi asetettiin luoduille VLAN-yhteyksille reititystoiminto päälle.



```
#configure vlan default delete ports all
#create vlan route-to-metroSW1
#configure vlan route-to-metroSW1 ipaddress 192.168.100.13 255.255.255.252
#configure vlan route-to-metroSW1 add ports 1:3 untagged

#create vlan route-to-juniper-r1
#configure vlan route-to-juniper-r1 ipaddress 192.168.100.10 255.255.255.252
#configure vlan route-to-juniper-r1 add ports 1:5 untagged

#enable ipforwarding vlan route-to-metroSW1
#enable ipforwarding vlan route-to-juniper-r1
```

Linkkivälien konfiguroimisen jälkeen luotiin OSPF-prosessi ja määritettiin tälle router-id -tunnus. Prosessiin liitettiin myös verkot, jotka kuuluvat OSPF-toimintoon. Lopuksi aktivoitiin OSPF-prosessi laitteessa.

```
#configure ospf routerid 10.0.0.6
#configure ospf add route-to-metroSW1 area 0.0.0.0
#configure ospf add route-to-juniper-r1 area 0.0.0.0
#enable ospf
```

MetroSW1-laitteelle tehtiin myös samat alkutoimenpiteet kuin MetroCore1-laitteelle. Laitteella ei kuitenkaan ollut suoraan fyysistä yhteyttä WG1-R1- ja WG5-R1-laitteisiin, joten näille linkkiväleille käytettiin Center-Switch-laitetta. Center-Switch-laitteelle luotiin vlanit tiettyihin rajapintoihin ja määritettiin näille vlan-tagit 937 ja 938 alla olevan konfiguroinnin mukaisesti.

```
#vlan 937
#name wg1-r1-to-metroSW1
#vlan 938
#name wg5-r1-to-metroSW1

#interface fa0/8
#switchport mode trunk
#no shutdown
```

## MetroSW1-konfigurointi

MetroSW1-laitteelle voitiin tämän jälkeen luoda VLAN:t IP-osoitteineen ja määrittää nämä vlan-tagit Center-Switch-laitteelle menevään porttiin. Alla on esitetty konfiguraatio WG1-R1-laitteelle menevästä VLAN:sta käyttäen virtuaalista linkkiväliä Center-Switchin kautta.

```
#create vlan route-to-wg1-r1
#configure vlan route-to-wg1-r1 ipaddress 192.168.100.17 255.255.255.252
#configure vlan route-to-wg1-r1 tag 937
#configure vlan route-to-wg1-r1 add ports 24 tagged
```

Jokaiselle luodulle VLAN:lle tuli myös aktivoida reititys päälle.

```
#enable ipforwarding vlan route-to-wg1-r1
```

Seuraavaksi määritettiin OSPF-prosessi ja router-id-tunnus laitteelle. OSPF-area 2 tuli olla yritysverkossa STUB-area, joten area 2 määritettiin STUB-verkoksi ja WG1-R1-laitteelle menevään default routena toimivan MetroSW1 OSPF-mainostukseen linkkiväliarvoksi 10.

```
#create ospf area 0.0.0.2
#configure ospf routerid 10.0.0.4
#configure ospf area 0.0.0.2 stub nosummary stub-default-cost 10
#configure ospf add route-to-wg1-r1 area 0.0.0.2
```

MetroSW1-laitteelle määritettiin myös backbone-alue toimimaan OSPF-prosessissa ja aktivoitiin lopuksi prosessi.

```
#configure ospf add route-to-metroCore1 area 0.0.0.0
#configure ospf add route-to-wg5-r1 area 0.0.0.0
#enable ospf
```

## WG1-R1-konfigurointi

Laitteelle konfiguroitiin yhteydellisyys MetroSW1-laitteeseen käyttäen virtuaalista linkkiväliä Center-Switchin avulla. Center-Switch-laitteeseen oli konfiguroitu aikaisemmin VLAN 937, joten yhteydellisyys MetroSW1-laitteeseen saatiin alla olevan konfiguraation avulla.

```
#interface FastEthernet0/1/1.937
#description Link to MetroSW1
#encapsulation dot1Q 937
#ip address 192.168.100.18 255.255.255.252
```

```
#interface FastEthernet0/1/1
#no shutdown
```

WG1-R1-laitteelle luotiin myös loopback-osoitteet, joista toinen (loopback 1) kuvasti laitteeseen kytkettyä sisäverkkoa.

```
#interface loopback 0
#ip address 10.0.0.5 255.255.255.255
#interface loopback 1
#ip address 222.222.222.1 255.255.255.255
```

OSPF-prosessiin määriteltiin alue 2 toimimaan STUB-alueena. Tähän alueeseen liitettiin MetroSW1-linkkiväli ja sisäverkkona toimiva loopback 1 -osoite.

```
#router ospf 1
#router-id 10.0.0.5
#area 2 stub
#network 192.168.100.16 0.0.0.3 area 2
#network 222.222.222.1 0.0.0.0 area 2
```

## WG5-R1-konfigurointi

Laitteessa ei ollut suoraan fyysistä yhteyttä mihinkään topologiassa käytettyyn laitteeseen. Yhteydet muodostettiin luomalla Center-Switch-laitteeseen VLAN:t ja näille tag-tunnukset. Yhteydet muihin laitteisiin muodostettiin tämän jälkeen alla olevan esimerkin mukaisesti.

```
#interface FastEthernet0/1/1.940
#description Link to Juniper-R1
#encapsulation dot1Q 940
#ip address 192.168.100.5 255.255.255.252
```

OSPF-prosessiin määritettiin NSSA:na toimiva verkko kuuluvaksi alue yhteen ja backbone-alueeseen kuuluvat MetroSW1- ja Juniper-R1-linkkivälit alue nollaan. Alue 1 määritettiin lopuksi NSSA:ksi.

```
#router ospf 1
#router-id 10.0.0.2
#network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
#network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 0
#network 192.168.100.20 0.0.0.3 area 0
#area 1 nssa
```

### **WG4-R1-konfigurointi**

WG4-R1-laitteeseen määritettiin yhteys WG5-R1-reitittimeen Center-Switchin kautta. Laitteen rajapintaan määritettiin IP-osoite ja VLAN-tag 939, jotta reititys Center-Switch-laitteella toimii oikein.

```
#interface FastEthernet0/1/1.939
#description Link to wg5-r1
#encapsulation dot1Q 939
#ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
```

Laitteeseen luotiin myös loopback-osoitteet, joista loopback 1 kuvasti kytkettyä sisäverkkoa.

```
#interface loopback 0
#ip address 10.0.0.1 255.255.255.255
#interface loopback 1
#ip address 192.168.0.1 255.255.255.255
```

OSPF-prosessiin määritettiin tunnus, router-id ja OSPF-alue 1 toimimaan NSSA-tilassa. Prosessin alue 1:een liitettiin virtuaalinen sisäverkko ja WG5-R1-yhteysväli.

```
#router ospf 1
#router-id 10.0.0.1
```

```
#area 1 nssa
#network 192.168.0.1 0.0.0.0 area 1
#network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
```

## Juniper-R1-konfigurointi

Laitteelle määritettiin sisäverkko ja yhteys MetroCore1-laitteeseen alla olevien kommentojen avulla.

```
#edit interfaces ge-1/0/2
#set unit 0 family inet address 192.168.100.9/30
#set unit 0 description metrocore1
#top
#edit interfaces ge-0/0/0
#set unit 0 family inet address 192.168.200.1/24
#set unit 0 description sisaverkko
```

WG5-R1-laitteeseen yhteys muodostettiin virtuaaliyhteydellä luomalla Center-Switch-laitteeseen menevään rajapintaan vlan tagging päälle ja unit 940 tag id 940. Juniper-laitteissa VLAN:t käyttävät ”unit” tunnuksia ja ”unit 0” on suoraan ge-1/0/7 rajapinnan fyysinen osoitusmuoto. Lopuksi määritettiin kuvaus ja IP-osoite rajapinnalle.

```
#edit interfaces ge-1/0/7
#set vlan-tagging
#set unit 0 vlan-id 1
#set unit 940 vlan-id 940
#set unit 940 description to-center-switch
#set unit 940 family inet address 192.168.100.6/30
```

OSPF-prosessi aktivoituu Juniper-laitteessa automaattisesti kun prosessi konfiguroidaan. Prosessiin asetettiin MetroCore1- ja WG5-R1-laitteille menevät rajapinnat kuuluvaksi OSPF backbone-alueeseen. Sisäverkko liitettiin myös tähän alueeseen toimimaan passive-tilassa, jolloin sisäverkkoa mainostetaan muille, mutta sisäverkkoon ei mainosteta reittimainostuksia.

```
#set protocols ospf area 0.0.0.0 interface ge-1/0/2.0
#set protocols ospf area 0.0.0.0 interface ge-1/0/7.940
#set protocols ospf area 0.0.0.0 interface ge-0/0/0 passive
#set routing-options router-id 10.0.0.3
```

OSPF-tutkimusympäristössä käytettyjen laitteiden konfiguraatiot on luettavissa liitteistä 3-8.

## 8.2.4 Tulokset

Juniper-R1-reitittimen reititystaulu on nähtävissä kuviossa 18

```

root@Juniper-R1> show route

inet.0: 14 destinations, 14 routes (14 active, 0 holddown, 0 hidden)
+ = Active Route, - = Last Active, * = Both

10.0.0.3/32      * [Direct/0] 01:11:42
                 > via lo0.0
192.168.0.1/32  * [OSPF/10] 00:15:25, metric 3
                 > to 192.168.100.5 via ge-1/0/7.940
192.168.100.0/30 * [OSPF/10] 01:10:05, metric 2
                 > to 192.168.100.5 via ge-1/0/7.940
192.168.100.4/30 * [Direct/0] 01:14:31
                 > via ge-1/0/7.940
192.168.100.6/32 * [Local/0] 01:14:31
                 Local via ge-1/0/7.940
192.168.100.8/30 * [Direct/0] 01:16:16
                 > via ge-1/0/2.0
192.168.100.9/32 * [Local/0] 01:16:16
                 Local via ge-1/0/2.0
192.168.100.12/30 * [OSPF/10] 01:02:12, metric 5
                 > to 192.168.100.10 via ge-1/0/2.0
192.168.100.16/30 * [OSPF/10] 00:41:07, metric 7
                 > to 192.168.100.5 via ge-1/0/7.940
192.168.100.20/30 * [OSPF/10] 01:10:05, metric 2
                 > to 192.168.100.5 via ge-1/0/7.940
192.168.200.0/24 * [Direct/0] 01:16:16
                 > via ge-0/0/0.0
192.168.200.1/32 * [Local/0] 01:16:16
                 Local via ge-0/0/0.0
222.222.222.1/32 * [OSPF/10] 00:41:07, metric 8
                 > to 192.168.100.5 via ge-1/0/7.940
224.0.0.5/32   * [OSPF/10] 01:10:15, metric 1
                 MultiRecv

```

KUVIO 18. OSPF-tulokset, Juniper-R1-reititystaulu

Kuviosta nähdään, että OSPF-protokollan avulla opittuja verkko-osoitteita löytyy reititystaulusta. Reititystaulusta löytyy kaikki mainostetut verkko-osoitteet ja yhteydessä toimii eri laitteiden välillä. Yhteydessä testattiin vielä stub-alueena toimivaan OSPF-alueeseen, josta löytyy IP-osoite 222.222.222.1. Kuviosta 19 nähdään ping-tulos kyseiseen osoitteeseen.

```

root@Juniper-R1> ping 222.222.222.1
PING 222.222.222.1 (222.222.222.1): 56 data bytes
64 bytes from 222.222.222.1: icmp_seq=0 ttl=253 time=3.006 ms
64 bytes from 222.222.222.1: icmp_seq=1 ttl=253 time=2.355 ms
64 bytes from 222.222.222.1: icmp_seq=2 ttl=253 time=3.986 ms
^C
--- 222.222.222.1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 2.355/3.116/3.986/0.670 ms

```

KUVIO 19. OSPF-tulokset, Juniper-R1-laitteelta ping-pyyntö STUB-alueeseen

MetroCore1-laite on vastaavasti oppinut OSPF:llä reititiedot reititystauluunsa. MetroCore1-laitteen reititystaulu on nähtävissä kuviossa 20.

```

* MetroCore1.2 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags VLAN Duration
#or 192.168.0.1/32 192.168.100.9 7 UG-D---um--f- route-to-juniper-r1 0
d:0h:20m:44s
#or 192.168.100.0/30 192.168.100.9 6 UG-D---um--f- route-to-juniper-r1 0
d:1h:7m:28s
#oa 192.168.100.4/30 192.168.100.9 5 UG-D---um--f- route-to-juniper-r1 0
d:1h:7m:28s
#d 192.168.100.8/30 192.168.100.10 1 U-----um--f- route-to-juniper-r1 0
d:2h:55m:40s
#d 192.168.100.12/30 192.168.100.13 1 U-----um--f- route-to-metroSW1 0d:
4h:9m:35s
#or 192.168.100.16/30 192.168.100.14 9 UG-D---um--f- route-to-metroSW1 0d:
0h:46m:30s
#oa 192.168.100.20/30 192.168.100.9 6 UG-D---um--f- route-to-juniper-r1 0
d:1h:7m:28s
#oa 192.168.200.0/24 192.168.100.9 5 UG-D---um--f- route-to-juniper-r1 0
d:1h:7m:28s
#or 222.222.222.1/32 192.168.100.14 10 UG-D---um--f- route-to-metroSW1 0d:
0h:46m:26s

Origin(Ori): (b) BlackHole, (be) EBGp, (bg) BGP, (bi) IBGP, (bo) BOOTP
(ct) CBT, (d) Direct, (df) DownIF, (du) DUMRP, (ei) ISISL1Ext
(e2) ISISL2Ext, (h) Hardcoded, (i) ICMP, (i1) ISISL1 (i2) ISISL2
(is) ISIS, (mb) MBGP, (mbe) MBGPExt, (mbi) MBGPInter, (mp) MPLS Lsp
(mo) MOSPF (o) OSPF, (o1) OSPFExt1, (o2) OSPFExt2
(oa) OSPFIntra, (oe) OSPFAsExt, (or) OSPFInter, (pd) PIM-DM, (ps) PI
M-SM
(r) RIP, (ra) RtAdurt, (s) Static, (sv) SLB_UIP, (un) Unknown
(*) Preferred unicast route (Ø) Preferred multicast route
(#) Preferred unicast and multicast route

Flags: (B) BlackHole, (D) Dynamic, (G) Gateway, (H) Host Route
(L) Matching LDP LSP, (l) Calculated LDP LSP, (m) Multicast
(P) LPM-routing, (R) Modified, (S) Static, (s) Static LSP
(T) Matching RSUP-TE LSP, (t) Calculated RSUP-TE LSP, (u) Unicast, (U) Up

```

KUVIO 20. OSPF-tulokset, MetroCore1-reititystaulu

Kuviosta nähdään opittujen verkko-osoitteiden edessä ”or” tai ”oa” merkintä. Or-merkintä tarkoittaa, että kyseinen verkko-osoite on opittu OSPF-protokollan avulla ja kyseinen verkko-osoite sijaitsee eri OSPF-alueessa kuin MetroCore1-laite. Esimerkkinä IP-osoite 222.222.222.1 pitää sisällään etumerkin ”or”. Kyseinen verkko-osoite

löytyy WG1-R1-reitittimen takaa ja kuuluu eri OSPF-alueeseen. Verkko-osoite 192.168.200.0/24 on merkattu ”oa” -merkinnällä, koska kyseinen tietue kuuluu samaan OSPF-alueeseen kuin MetroCore1. MetroCore1 kuuluu ”backbone” OSPF-alueeseen, johon on kytketty muut OSPF-alueet. Backbone-alue toimii runkona yritysverkon muiden OSPF-alueiden yhdistämisessä.

## Stub-verkko

MetroSW1-laite toimii tutkimusympäristössä stub-alueen reunareitittimenä ja backbone-alueen reitittimenä. Laite sai normaalisti OSPF-mainostukset kummastakin alueesta ja lisäsi nämä reititystauluunsa. Kuviossa 21 nähdään MetroSW1-laitteen reititystaulu.

```
* MetroSW1.6 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags VLAN Duration
#or 192.168.0.1/32 192.168.100.22 7 UG-D---um--f- route-to-wg5-r1 0d:0h
:1m:10s
#or 192.168.100.0/30 192.168.100.22 6 UG-D---um--f- route-to-wg5-r1 0d:0h
:1m:10s
#oa 192.168.100.4/30 192.168.100.22 6 UG-D---um--f- route-to-wg5-r1 0d:0h
:1m:10s
#oa 192.168.100.8/30 192.168.100.22 7 UG-D---um--f- route-to-wg5-r1 0d:0h
:1m:10s
#d 192.168.100.12/30 192.168.100.14 1 U-----um--f- route-to-metroCore1 0
d:3h:25m:8s
#d 192.168.100.16/30 192.168.100.17 1 U-----um--f- route-to-wg1-r1 0d:3h
:25m:8s
#d 192.168.100.20/30 192.168.100.21 1 U-----um--f- route-to-wg5-r1 0d:3h
:0m:58s
#oa 192.168.200.0/24 192.168.100.22 7 UG-D---um--f- route-to-wg5-r1 0d:0h
:1m:10s
#oa 222.222.222.1/32 192.168.100.18 6 UG-D---um--f- route-to-wg1-r1 0d:0h
:1m:10s
```

KUVIO 21. OSPF-tulokset, MetroSW1-reititystaulu



Kytkin toimi OSPF-alueessa 2 ja OSPF-alueessa 0 samanaikaisesti. Alue 2 tuli tutkimusympäristössä toimia stub-alueena. Kuviossa 22 näkyy MetroSW1-laitteen OSPF-alueiden tiedot.

```
* MetroSW1.8 # show ospf area 0.0.0.2
Area: 0.0.0.2 Type: Stub Summ: No Default Metric: 10
Router Id: 10.0.0.4
Spf Runs: 3 Num ABR: 1 Num ASBR: 0 Num LSA: 6 LSA Chksum:0x2b0b9
Interfaces:
  IP addr           Ospf  State      DR IP addr      BDR IP addr
192.168.100.17 /30  E     ODR        192.168.100.18  0.0.0.0
Inter-Area route Filter:
External route Filter:
Configured Address Ranges:

* MetroSW1.9 # show ospf area 0.0.0.0
Area: 0.0.0.0 Type: Normal
Router Id: 10.0.0.4
Spf Runs: 34 Num ABR: 2 Num ASBR: 1 Num LSA: 12 LSA Chksum:0x6a2e7
Interfaces:
  IP addr           Ospf  State      DR IP addr      BDR IP addr
192.168.100.14 /30  E     ODR        192.168.100.13  0.0.0.0
192.168.100.21 /30  E     ODR        192.168.100.22  0.0.0.0
Inter-Area route Filter:
External route Filter:
Configured Address Ranges:
```

#### KUVIO 22. OSPF-tulokset, MetroSW1-OSPF-alueetiedot

Kuviossa näkyy OSPF-alue 0.0.0.2, joka toimii stub-alueena. Tähän alueeseen on liitetty rajapinta, jonka IP-osoite on 192.168.100.17. Naapurilaitteen IP-osoite on 192.168.100.18, joka on WG1-R1-reitittimen rajapinnan IP-osoite. Alempi osio kuviossa kertoo OSPF-alue 0.0.0.0 tilasta. Kyseiseen alueeseen on liitetty kahden rajapinnan IP-osoitteet ja niiden perässä on nähtävillä naapurin IP-osoite. Alue 0.0.0.0 toimii normaalissa tilassa.

OSPF-alue 2 tuli toimia stub-alueena. Stub-alueeseen ei näin ollen lähetetä reittimainostuksia muista verkoista. MetroSW1-laitteeseen oli asetettu staattinen reitti, jota mainostetaan OSPF:llä stub-alueeseen oletusyhdyntävänä. Tämä mahdollistaa stub-alueesta reitin muihin verkkoihin. Kuviossa 23 on MetroSW1-laitteen OSPF-prosessin linkkitilojen tietokanta OSPF-alueen 2 osalta.

Router LSAs for area 0.0.0.2					
Link State ID	Adv Router	Seq#	Age	Chksum	#Links
10.0.0.4	10.0.0.4	0x800000002	263	0x175d	1
10.0.0.5	10.0.0.5	0x800000004	264	0x5154	2
192.168.100.17	192.168.100.17	0x800000041	645	0xd7bb	1

Network LSAs for area 0.0.0.2					
Link State ID	Adv Router	Seq#	Age	Chksum	
192.168.100.18	10.0.0.5	0x800000001	264	0x9b97	

Summary LSAs for area 0.0.0.2					
Link State ID	Adv Router	Seq#	Age	Chksum	
0.0.0.0	10.0.0.4	0x800000004	253	0x75ce	
0.0.0.0	192.168.100.17	0x800000030	630	0x5ee8	

### KUVIO 23. OSPF-tulokset, MetroSW1-linkkitilojen tietokanta

Kuviosta nähdään LSA-mainostuksissa lähtevät tiedot alue kahteen. MetroSW1-laitteeseen konfiguroitu staattinen reitti näkyy kuviossa osoitteella 0.0.0.0 ja tälle osoitteelle on asetettu vaihtoehtoiksi osoitteiksi MetroSW1-laitteen OSPF-prosessin IP-osoite tai WG1-R1-laitteelle olevan rajapinnan IP-osoite.

WG1-R1-reititin vastaanottaa OSPF-mainostuksissa ainoastaan staattisen reitin MetroSW1-laitteelta ja lisää tämän omaan reititystauluunsa. Kuviosta 24 nähdään WG1-R1-laitteen reititystaulun staattinen reitti.

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 192.168.100.17 to network 0.0.0.0

   222.222.222.0/32 is subnetted, 1 subnets
C       222.222.222.1 is directly connected, Loopback1
   10.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C       10.0.0.5 is directly connected, Loopback0
   192.168.100.0/30 is subnetted, 1 subnets
C       192.168.100.16 is directly connected, FastEthernet0/1/1.937
O*IA 0.0.0.0/0 [110/111] via 192.168.100.17, 02:57:10, FastEthernet0/1/1.937
wg1-r1#
```

### KUVIO 24. OSPF-tulokset, WG1-R1-reititystaulu

Yhteydellisyysden todentaminen stub-alueesta muihin alueisiin toteutettiin ping-toimintoa hyödyntäen. WG1-R1-laitteelta pingattiin IP-osoitetta 192.168.200.1, joka

on Juniper-R1-laitteessa olevan rajapinnan IP-osoite. WG1-R1-laite käytti testausvaiheessa oletusyhdyntävää ping-pyyntöä lähetyskseen. Kuviossa 25 nähdään ping-tulokset.

```
wg1-r1#ping 192.168.200.1
```

```
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.200.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/4 ms
```

KUVIO 25. OSPF-tulokset, WG1-R1, ping-pyyntö Juniper-R1-laitteelle

WG5-R1-reitittimen reititystaulu sisälsi yrityksen sisäverkon kaikki osoitteet. Reitittimen OSPF-protokollalla opitut ja suoraan yhdistetyt reitit näkyvät kuviossa 26

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
        i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
        ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
        o - ODR, P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is not set
```

```
    222.222.222.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA   222.222.222.1
        [110/7] via 192.168.100.21, 00:16:53, FastEthernet0/1/1.938
O     192.168.200.0/24
        [110/2] via 192.168.100.6, 00:44:56, FastEthernet0/1/1.940
C     10.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C     10.0.0.2 is directly connected, Loopback0
O     192.168.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O     192.168.0.1 [110/2] via 192.168.100.1, 02:59:55, FastEthernet0/1/1.939
O     192.168.100.0/30 is subnetted, 6 subnets
O     192.168.100.12
        [110/5] via 192.168.100.21, 00:16:57, FastEthernet0/1/1.938
O     192.168.100.8
        [110/2] via 192.168.100.6, 00:41:57, FastEthernet0/1/1.940
C     192.168.100.4 is directly connected, FastEthernet0/1/1.940
C     192.168.100.0 is directly connected, FastEthernet0/1/1.939
C     192.168.100.20 is directly connected, FastEthernet0/1/1.938
O IA   192.168.100.16
        [110/6] via 192.168.100.21, 00:16:58, FastEthernet0/1/1.938
```

KUVIO 26. OSPF-tulokset, WG5-R1-reititystaulu

WG5-R1-reititin toimi myös reunalaitteena OSPF-alue yhdelle. OSPF-alue yksi oli NSSA-alue, joten WG5-R1-reitittimen OSPF-prosessi alue yksi asetettiin toimimaan NSSA-tilassa. Tämä tarkoittaa, että LSA7/LSA5 -muunnokset tapahtuvat ko. reitittimessä ja OSPF yksi alueelta mainostetaan muutettua LSA:ta alue 0:an. Kuviossa 27 nähdään WG5-R1-reitittimen OSPF-alue yhden tiedot ja mahdollistettu LSA-muunnos.

```

Area 1
Number of interfaces in this area is 1
It is a NSSA area
Perform type-7/type-5 LSA translation
Area has no authentication
SPF algorithm last executed 00:01:37.176 ago
SPF algorithm executed 7 times
Area ranges are
Number of LSA 10. Checksum Sum 0x050990
Number of opaque link LSA 0. Checksum Sum 0x000000
Number of DCbitless LSA 0
Number of indication LSA 0
Number of DoNotAge LSA 0
Flood list length 0

```

KUVIO 27. OSPF-tulokset, WG5-R1, OSPF-alue 1 -tiedot

WG4-R1-reititin sai reittimainostukset ja lisäsi sisäverkon kaikki reitit normaalisti reititystauluunsa. Kuviossa 28 on WG4-R1-reititystaulu.

```

wg4-r1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

 222.222.222.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA   222.222.222.1
       [110/8] via 192.168.100.2, 00:09:38, FastEthernet0/1/1.939
O IA   192.168.200.0/24
       [110/3] via 192.168.100.2, 00:09:38, FastEthernet0/1/1.939
 10.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C       10.0.0.1 is directly connected, Loopback0
C       192.168.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C       192.168.0.1 is directly connected, Loopback1
O IA   192.168.100.0/30 is subnetted, 6 subnets
O IA   192.168.100.12
       [110/6] via 192.168.100.2, 00:09:39, FastEthernet0/1/1.939
O IA   192.168.100.8
       [110/3] via 192.168.100.2, 00:09:39, FastEthernet0/1/1.939
O IA   192.168.100.4
       [110/2] via 192.168.100.2, 00:09:40, FastEthernet0/1/1.939
C       192.168.100.0 is directly connected, FastEthernet0/1/1.939
O IA   192.168.100.20
       [110/2] via 192.168.100.2, 00:09:40, FastEthernet0/1/1.939
O IA   192.168.100.16
       [110/7] via 192.168.100.2, 00:09:40, FastEthernet0/1/1.939

```

KUVIO 28. OSPF-tulokset, WG4-R1-reititystaulu

Kuviosta nähdään, että reititystaulusta löytyy reitit muiden OSPF-alueiden verkkoihin ja näiden verkko-osoitteiden edestä löytyy merkintä IA. IA-merkintä tarkoittaa, että kyseinen reitti on opittu saman AS-alueen toiselta OSPF alueen reittimainostuksesta. Yhteydellisyys testattiin pingaamalla kahta eri IP-osoitetta. IP-osoite 222.222.222.1 on WG1-R1-reitittimessä oleva looginen rajapinta ja 192.168.200.1 on Juniper-R1-reitittimessä oleva looginen rajapinta. Ping-toimivuus nähdään kuviosta 29.

```
wg4-r1#ping 222.222.222.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 222.222.222.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/4 ms
wg4-r1#ping 192.168.200.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.200.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/4 ms
wg4-r1#_
```

KUVIO 29. OSPF-tulokset, WG4-R1, ping-pyyntöt WG1-R1 ja Juniper-R1

## 8.3 BGP

### 8.3.1 Topologia ja laitteisto

Topologiana käytettiin perustopologiaa, joka mahdollisti BGP-toimivuuden testauksen eri laitevalmistajien laitteiden kesken. Topologiasta jätettiin pois AS200 palveluntarjoajaverkon Cisco WG2-R1-reititin ja luotiin AS200-alueen sisäverkko suoraan MetroCore2-kytkimeen. Laitteistona käytettiin sivulla 59 esitetyssä taulukossa 4 kuvattuja laitteita.

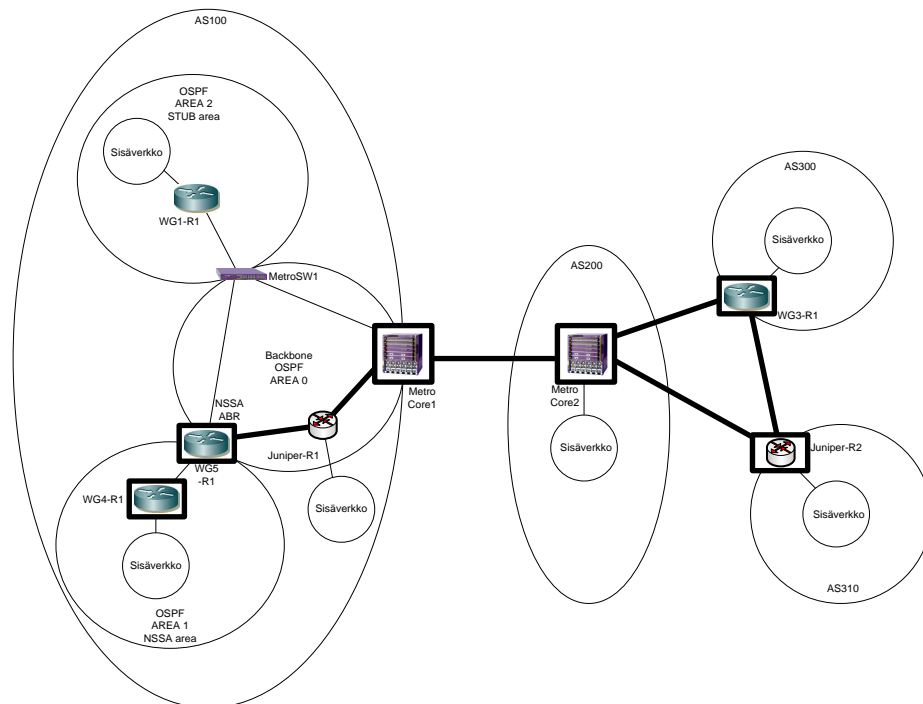
### 8.3.2 Tutkittavat kohteet

Tutkittavina kohteina oli EBGP:n avulla reittitietojen mainostus eri AS-alueiden välillä ja yritysverkossa sisäisellä (IBGP) BGP-tekniikalla muiden AS-alueiden reittitietojen mainostus.

AS100, AS200, AS300 ja AS310 -alueissa toimivat reunareitittimet konfiguroitiin mainostamaan sisäverkkojaan EBGP:n avulla toisille AS-alueille. Näin voitiin testata eri laitevalmistajien laitteiden yhteensopivuus. Eri alueiden sisäverkkojen tuli kulkea reittimainostuksissa toisille alueille. AS100-alueen sisällä testattiin IBGP-toiminto Ciscon ja Extreme Networksin laitteiden kesken. IBGP-tekniikkaa käyttävien laitteiden välille tuli luoda yhteydelliset naapuruussuhteet ja EBGP:llä opittujen reittitietojen mainostaminen tuli toteuttaa käyttämällä reittiheijastinta. IBGP toteutettiin käyttämällä MetroCore1-, WG4-R1- ja WG5-R1-laitteita.

### 8.3.3 BGP-konfigurointi

Aikaisemmassa tutkimuskohdassa luotiin perustopologian yritysverkkoon OSPF-reititysprotokollalla sisäverkon reititys. BGP:tä konfiguroitaessa OSPF-konfigurointi tehtiin ensin. Seuraavaksi konfiguroitiin neljän AS-alueen linkkivälit, BGP-naapuruudet ja sisäverkot. BGP-naapuruussuhteiden konfiguroinnin jälkeen AS100-alueen sisälle konfiguroitiin WG5-R1-laite toimimaan reittiheijastimena ja IBGP:llä voitiin siirtää reittitiedot WG4-R1-reitittimelle. Kuviossa 30 on esitetty laitteet ja linkkivälit, joille BGP-konfigurointi suoritettiin.



KUVIO 30. BGP-tutkimusympäristö

## WG3-R1-konfigurointi

Laitteelle konfiguroitiin laitenimi ja loopback 0 osoitteeksi sisäverkkoa kuvastava verkko, jota mainostettiin BGP:llä muihin AS-alueisiin.

```
#hostname wg3-r1
#interface loopback 0
#description sisaverkko wg3-r1
#ip address 199.0.0.1 255.255.255.0
```

Yhteydellisyys toisiin AS-alueisiin määritettiin käyttämällä Center-Switch -laitteen kautta virtuaalisia yhteydellisyyksiä. Center-Switch -laitteelle luotiin vlan 941 ja vlan 942 ja määritettiin nämä laitteen rajapintaan Fa0/30. Rajapinta määritettiin myös toimimaan trunk-tilassa.

```
Center-Switch
#vlan 941
#name wg3-r1-to-metrocore2
#vlan 942
#name wg3-r1-to-j-r2
#wg3-r1 rajapinta
#interface fa0/30
#switchport mode trunk
#no shutdown
```

WG3-R1-laitteelle määritettiin fyysiseen, Center-Switch-laitteelle menevään rajapintaan virtuaaliset rajapinnat ja asetettiin näihin VLAN tag-tunnukset ja IP-osoitteet.

```
interface FastEthernet0/1/1.941
description Link to MetroCore2
encapsulation dot1Q 941
ip address 101.100.100.2 255.255.255.252
```

```
interface FastEthernet0/1/1.942
description Link to Juniper-r2
encapsulation dot1Q 942
ip address 102.100.100.1 255.255.255.252
```

```
interface FastEthernet0/1/1
no shutdown
```

Yhteydellisyuden muodostamisen jälkeen määritettiin OSPF-prosessi pyörimään laitteelle, jotta OSPF:stä voidaan liittää sisäverkon mainostus BGP-prosessiin. OSPF-prosessille määritettiin router-id ja sisäverkko liitettiin alue nollana.

```
#router ospf 1
#router-id 12.12.12.1
#network 199.0.0.1 0.0.0.255 area 0
```

BGP-prosessi luotiin käyttäen AS-alunumeroa 300. Naapuruussuhteisiin määritettiin naapureiden IP-osoitteet ja naapurin AS-numero. Naapuruussuhteille annettiin myös kuvaavat nimet helpottamaan konfiguraatitiedon lukemista. Lopuksi BGP-prosessiin määritettiin sisäisestä OSPF-reititysprotokollasta reitittietojen mainostus BGP-prosessiin.

```
#router bgp 300
#neighbor 101.100.100.1 remote-as 200
#neighbor 101.100.100.1 description metrocore2
#neighbor 102.100.100.2 remote-as 310
#neighbor 102.100.100.2 description j2-r1
#redistribute ospf 1
```

### **Juniper-R2-konfigurointi**

AS-310 alueeseen luotiin sisäverkko alla olevan konfiguraation mukaisesti.

```
#edit interfaces ge-0/0/0
#set unit 0 family inet address 199.0.1.1/24
#set unit 0 description sisaverkko
```

Yhteydellisyys MetroCore2- ja WG3-R1-laitteeseen muodostettiin käyttäen Center-Switch-laitetta ja virtuaalisia yhteyksiä. Center-Switch-laitteelle oli WG3-R1-konfiguroinnin yhteydessä luotu vlan 942, joten enää tarvitsi luoda vlan 943 ja määrittää sitä toimimaan trunk-tilassa Juniper-R1-laitteeseen yhteydessä olevaan rajapintaan.

```
vlan 943
name j-r2-to-metrocore2
interface fa0/2
switchport mode trunk
no shutdown
```



Juniper-R2-laitteen ge-1/0/7 rajapintaan määritettiin vlan-tagging päälle, jotta rajapinnasta lähtevään liikenteeseen liitetään vlan-id -tunnus ja liikenne voidaan reitittää oikein Center-Switch-laitteella. Rajapintaan määritettiin virtuaaliset unit-rajapinnat, kuvaus yhteydestä ja IP-osoite. Lopuksi luotiin vielä virtuaalinen loopback-osoite.

```
#edit interfaces ge-1/0/7
#set vlan-tagging
#set unit 0 vlan-id 1
#set unit 942 vlan-id 942
#set unit 942 description to-wg3-r1
#set unit 942 family inet address 102.100.100.2/30
#set unit 943 vlan-id 943
#set unit 943 description to-metrocore2
#set unit 943 family inet address 101.100.100.6/30
#top
#set interfaces lo0 unit 0 family inet address 13.13.13.1/32
```

OSPF-prosessiin liitettiin sisäverkko, jolle määritettiin passive-tila. Passive-tila estää reittitietojen mainostuksen sisäverkkoon, mutta mahdollistaa sen mainostamisen muille. Prosessille asetettiin myös tunnisteena toimiva router-id.

```
#set protocols ospf area 0.0.0.0 interface ge-0/0/0 passive
#set routing-options router-id 13.13.13.1
```

Seuraavaksi luotiin BGP-prosessi, joka aktivoituu automaattisesti toimintaan kun konfigurointi on tehty. Prosessiin määritettiin AS-aluumeroksi 310. Juniper-R2-laitteeseen luotiin naapuruusryhmät wg3 ja metrocore2 ja näihin määritettiin AS-numerot, naapurin IP-osoitteet ja BGP-naapurin tyypiksi ulkoinen BGP-naapuri (EBGP).

```
#set routing-options autonomous-system 310
#set protocols bgp group wg3 peer-as 300 type external neighbor 102.100.100.1
#set protocols bgp group metrocore2 peer-as 200 type external neighbor
101.100.100.5
```

Juniper-laitteiden Junos-käyttöjärjestelmässä reittitietojen mainostus toisesta reititysprotokollasta toiseen vaatii sääntöjen luonnin. Juniper-R2-laitteessa pyörivä sisäverkko oli liitetty OSPF-prosessiin ja OSPF:stä tuli mahdollistaa reittitietojen vienti BGP-prosessiin. Aluksi luotiin säännölle nimi alla olevalla komennolla.

```
edit policy-options policy-statement ospf-to-bgp
```

Kun säännölle luodaan nimi, siirtyy konfigurointitila automaattisesti ospf-to-bgp nimisen säännön konfigurointitilaan. Tässä tilassa voidaan luoda halutut säännöt. Sääntöön määritettiin ”ospf-ainoastaan” niminen toiminto, joka lukee protokollasta OSPF ja alue 0:sta tulevan liikenteen. Seuraavaksi asetettiin hyväksymistoiminto luettavalle liikenteelle, jotta sääntö hyväksyy OSPF-liikenteen.

```
#edit policy-options policy-statement ospf-to-bgp  
#set term ospf-ainoastaan from protocol ospf area 0  
#set then accept
```

Säännön luonnin jälkeen määritettiin BGP-prosessiin minkä säännön perusteella mainostetaan toisesta reititysprotokollasta reittitietoja BGP-prosessissa ulkoverkkoon.

```
#set protocols bgp export ospf-to-bgp
```

## **MetroCore2-konfigurointi**

Laitteeseen konfiguroitiin laitenimi, poistettiin kaikki portit pois käytöstä ja aktivoitiin ainoastaan tarpeelliset portit. Kytkin tarvitsee myös reititustoimintoja, joten aktivoitiin reititustoiminto. Yhteydellisyyden saavuttamiseksi toisiin laitteisiin tuli poistaa ”default vlan” kaikista porteista, jotta VLAN:t voidaan liittää portteihin.

```
#configure snmp sysname MetroCore2  
#disable ports all  
#enable ports 1:1,1:19  
#enable ipforwarding  
#configure vlan default delete ports all
```

Sisäverkko määritettiin loopback -tilassa toimivaksi, jotta voidaan mainostaa verkkoa ilman fyysisen laitteen liittämistä kytkimeen. Kytkimen porttiin liitetty VLAN ei aktivoitu ellei ole fyysistä yhteyttä toiseen laitteeseen.

```
#create vlan sisaverkko  
#configure vlan sisaverkko ipaddress 195.0.0.1 255.255.255.0  
#enable loopback-mode vlan sisaverkko
```

MetroCore2-laitteesta oli fyysinen linkkiyhteys MetroCore1-laitteeseen, mutta WG3-R1- ja Juniper-R2-laitteeseen yhteydellisyys muodostettiin Center-Switch-laitteeseen aikaisemmin luotujen VLAN-yhteyksien avulla. Yhteydellisyys muihin AS-alueiden reunareitittimiin luotiin alla olevien konfiguraatioiden avulla. Jokainen VLAN laitettiin myös toimimaan reitittävänä.

```
#create vlan route-to-metrocore1
#configure vlan route-to-metrocore1 ipaddress 100.100.100.2 255.255.255.252
#configure vlan route-to-metrocore1 add ports 1:1 untagged
```

```
#create vlan route-to-wg3-r1
#configure vlan route-to-wg3-r1 ipaddress 101.100.100.1 255.255.255.252
#configure vlan route-to-wg3-r1 tag 941
#configure vlan route-to-wg3-r1 add ports 1:19 tagged
```

```
#create vlan route-to-juniper-r2
#configure vlan route-to-juniper-r2 ipaddress 101.100.100.5 255.255.255.252
#configure vlan route-to-juniper-r2 tag 943
#configure vlan route-to-juniper-r2 add ports 1:19 tagged
```

```
#enable ipforwarding vlan route-to-metrocore1
#enable ipforwarding vlan route-to-wg3-r1
#enable ipforwarding vlan route-to-juniper-r2
#enable ipforwarding vlan sisaverkko
```

Kytkimelle luotiin OSPF-prosessi router-id tunnisteella. Prosessiin määritettiin myös liitettäväksi AS-200 alueen sisäverkko. Lopuksi toiminto aktivoitiin *enable* komennolla.

```
#configure ospf routerid 11.11.11.1
#configure ospf add vlan sisaverkko area 0.0.0.0
#enable ospf
```

BGP-prosessiin määritettiin AS-200 aluenumero ja oma router-id tunniste. Naapuruussuhteet luotiin *create* komennon avulla, johon tuli määritellä BGP-naapurin IP-osoite ja AS-numero. Jokainen naapuruussuhde tuli aktivoida toimimaan prosessissa.

```
#configure bgp as-number 200
#configure bgp routerid 10.0.0.7
#create bgp neighbor 100.100.100.1 remote-as-number 100
#enable bgp neighbor 100.100.100.1
#create bgp neighbor 101.100.100.2 remote-as-number 300
#enable bgp neighbor 101.100.100.2
```

```
#create bgp neighbor 101.100.100.6 remote-as-number 310
#enable bgp neighbor 101.100.100.6
```

BGP-toiminnon konfiguroimisen jälkeen tuli määrittää mitä BGP mainostaa toisille naapureille. AS-alueeseen oli luotu loopback-osoitteeseen sisäverkko, joka toimi suoraan kytketyn verkon tavalla. BGP määriteltiin mainostamaan suoraan kytkettyjä verkkoja ja aktivoitiin alla olevien konfiguraatioiden mukaisesti.

```
#enable bgp export direct
#enable bgp
```

### **MetroCore1-konfigurointi**

Topologiapohjana käytettiin perustopologiaa, jonka yritysverkkoon (AS-100) oli konfiguroitu OSPF toimintaan. Yhteydellisyyttä MetroCore1-laitteesta sisäverkkoon ei tarvinnut enää määrittää, mutta yhteys MetroCore2-laitteeseen tuli luoda. Laitteesta aktivoitiin MetroCore2-laitteeseen yhteydessä oleva fyysinen rajapinta, liitettiin tähän porttiin luotu VLAN IP-osoitteeseen ja aktivoitiin VLAN-yhteyteen reititustoiminto.

```
#enable ports 1:1
#create vlan route-to-metrocore2
#configure vlan route-to-metrocore2 ipaddress 100.100.100.1 255.255.255.252
#configure vlan route-to-metrocore2 add ports 1:1 untagged
# enable ipforwarding vlan route-to-metrocore2
```

Laitteeseen luotiin myös oletusyhdykäytävä 100.100.100.1 ja liitettiin tämän mainostus OSPF-prosessiin. Oletusyhdykäytävää mainostetaan OSPF:ssä cost-arvolla 1 ja ase-type-2 -arvolla. Ase-type määrittää kuinka yhteyksien linkkivälien cost arvoja vertaillaan jos samaan osoitteeseen on useampia reittejä. Ase-type-2 asettaa cost-arvoksi ainoastaan sisäverkossa olevien linkkivälien arvot ja ase-type-1 määrittää cost-arvoon mahdollisen ulkoverkon osoitteeseen olevan cost-arvon ja sisäverkon cost-arvon.

```
#configure iproute add default 100.100.100.1
#enable ospf originate-default always cost 1 type ase-type-2
```

BGP-tekniikkaa testattiin myös yritysverkon sisällä käyttäen IBGP:tä. BGP muodostaa naapuruussuhteet fyysisesti yhdistettyihin naapureihin, mutta tekniikka mahdollistaa reittitiedon välityksen ei fyysisesti yhdistetylle laitteelle reittiheijastimen avulla. Jotta mainostus reittiheijastimen kautta toimii oikein, luotiin MetroCore1-laitteelle aluksi loopback-rajapinta ja määritettiin tämän mainostus OSPF-prosessissa.

```
#create vlan bgphallinta
#configure vlan bgphallinta ipaddress 10.0.0.6 255.255.255.255
#enable loopback-mode vlan bgphallinta
#enable ipforwarding vlan bgphallinta

# configure ospf add bgphallinta area 0.0.0.0
```

BGP-prosessiin määritettiin alueen AS-numero ja router-id-tunniste. Prosessiin määritettiin myös naapuruussuhde AS-200 alueeseen.

```
#configure bgp as-number 100
#configure bgp routerid 10.0.0.6
#create bgp neighbor 100.100.100.2 remote-as-number 200
#enable bgp neighbor 100.100.100.2
```

IBGP-toimintoa testattaessa BGP-prosessiin määritettiin myös sisäverkon naapuruussuhde WG5-R1-laitteessa olevaan loopback-osoitteeseen 10.0.0.2. Koska kyseessä oli IBGP, määritettiin AS-alue numeroksi 100. Naapuruussuhteeseen asetettiin reitti-mainostuksen lähdeosoitteeksi MetroCore1-laitteessa oleva 10.0.0.6 osoite, koska ilman tätä WG5-R1-laite ei voi luoda TCP-yhteyttä MetroCore1-laitteeseen.

```
#create bgp neighbor 10.0.0.2 remote-as-number 100
#enable bgp neighbor 10.0.0.2
#configure bgp neighbor 10.0.0.2 source-interface ipaddress 10.0.0.6
```

WG5-R1-laitteelle lähteviin IBGP-mainostuksiin määritettiin BGP-prosessi mainostamaan itseään seuraavana hyppynä reittitietoja muodostettaessa. BGP-prosessi mainostaa normaalisti seuraavana hyppynä omaa reittiään ko. verkkoon ja tässä tapauksessa WG5-R1-laitteelle olisi mennyt seuraavana hyppyosoitteena oleva 100.100.100.1 osoite. WG5-R1-laitteella ei ole suoraan tietoa tästä osoitteesta, koska sitä ei mainosteta normaalisti OSPF-prosessissa. Ilman alla olevaa käskyä ei WG5-R1-laite hyväksy BGP-reittitauluunsa IBGP:llä mainostettuja reittejä.

```
#configure bgp neighbor 10.0.0.2 next-hop-self
```

Lopuksi määritettiin OSPF-reittitietojen mainostus BGP:hen ja aktivoitiin prosessi.

```
#enable bgp export ospf  
#enable bgp
```

### **WG5-R1-konfigurointi**

WG5-R1-laite on konfiguroitu toimimaan yritysverkossa aikaisemmassa OSPF-osiossa. Koska MetroCore1-laitteessa pyörivä BGP-prosessi luo yhteyden 10.0.0.2 naapuriin tulee WG5-R1-laitteessa oleva loopback-osoite mainostaa OSPF:ssä alla olevan komennolla.

```
#network 10.0.0.2 0.0.0.0 area 0
```

Laitteeseen luodaan BGP-prosessi AS-aluenumeraalla 100. Prosessille asetetaan myös router-id-tunniste. Naapuriksi määritetään MetroCore1-laitteessa oleva loopback-osoite, joka on mainostettu OSPF:llä WG5-R1-laitteelle.

```
#router bgp 100  
#bgp router-id 10.0.0.2  
#neighbor 10.0.0.6 remote-as 100  
#neighbor 10.0.0.6 description metrocore1
```

WG5-R1-laite toimii reittiheijastimena IBGP-prosessissa WG4-R1-laitteelle. BGP-prosessiin luodaan naapuruus WG4-R1-laitteen rajapinnan IP-osoitteeseen ja määritetään AS-alueeksi 100. Naapuruussuhteeseen määritetään myös WG5-R1 toimimaan reittiheijastimena WG4-R1-reitittimelle.

```
#neighbor 192.168.100.1 remote-as 100  
#neighbor 192.168.100.1 description wg4-r1  
#neighbor 192.168.100.1 route-reflector-client
```

### **WG4-R1**

Laitteessa oli OSPF-konfigurointi valmiina ja yritysverkossa yhteydessä oli toisiin laitteisiin konfiguroitu aikaisemmin. Laitteeseen luotiin BGP-prosessi AS-

alunumerolla 100 ja määritettiin router-id-tunnukseksi WG5-R1-laitteelle olevan rajapinnan IP-osoite. Naapuruussuhde luotiin WG5-R1-laitteen loopback-osoitteeseen 10.0.0.2 AS-alueella 100. Naapurille annettiin myös kuvaava nimi.

```
#router bgp 100
#bgp router-id 192.168.100.1
#neighbor 10.0.0.2 remote-as 100
#neighbor 10.0.0.2 description wg5-r1 bgp
```

BGP-konfiguraatiot eri laitteille on eritelty liitteissä 3, 6, 8 ja 9 – 14.

### 8.3.4 Tulokset

BGP-toimintoa suorittavien laitteiden tuli muodostaa naapuruussuhde laitteisiin, joiden kanssa reittitietoja vaihdetaan. MetroCore1-kytkin toimi AS-100 alueen reunareitittimenä ja muodosti yhteyden IBGP- ja EBGP-naapureihin. IBGP-naapurit toimivat AS-alueen sisällä ja EBGP-naapurina olivat muiden AS-alueiden reunareitittimet. Kuviossa 31 on MetroCore1-laitteen `#show bgp neighbors` komennolla saadut tiedot eri naapuruussuhteista.

Peer	AS	Weight	State	InMsgs	OutMsgs	InQ	Up/Down
Ie-- 10.0.0.2	100	1	ESTABLISHED	1	8	<0	> 0:0:00:08
Ee-- 100.100.100.2	200	1	ESTABLISHED	12	6	<0	> 0:0:02:12

Flags: <d> disabled, <e> enabled, <E> external peer, <I> internal peer  
<m> EBGP multihop, <r> route reflector client

```
BGP Peer Statistics
  Total Peers          : 2
  EBGP Peers           : 1
  RR Client            : 0
  Enabled              : 2
  IBGP Peers           : 1
  EBGP Multihop       : 0
  Disabled             : 0
```

#### KUVIO 31. BGP-tulokset, MetroCore1, BGP-naapuruudet

Kuviossa näkyy naapurina 10.0.0.2 AS-alunumerolla 100. Tämä on merkattu alkuun Ie-merkinnällä. Alussa olevat merkinnät kertovat naapuruussuhteen tyyppin ja tilan. Ie-merkintä tarkoittaa, että kyseessä on sisäinen BGP-naapuruussuhde (I) ja naapuri on aktivoitu (e). Toisena merkintänä näkyy Ee 100.100.100.2 AS-alunumerolla 200. Alussa olevat Ee-merkinnät kertovat, että kyseessä on ulkoinen BGP-naapuruussuhde

(E) ja naapuri on aktivoitu (e). MetroCore1-laite on yhteydessä AS200-alueeseen, joten naapuruussuhde näkyy EBGP:nä.

MetroCore1-kytkin loi naapuruussuhteen AS200-alueen reunareitittimeen MetroCore2. MetroCore2-laitteesta on naapuruussuhteet kolmeen eri AS-alueeseen. Laite vaihtaa reittitietoja eri AS-alueiden välisistä reittitiedoista näiden laitteiden kesken. Kuviossa 32 nähdään MetroCore2-laitteen BGP-naapuruussuhteet.

```

Peer                AS      Weight State           InMsgs OutMsgs<InQ>  Up/Down
-----
Ee-- 100.100.100.1    100    1     ESTABLISHED    7       13  <0  > 0:0:02:02
Ee-- 101.100.100.2    300    1     ESTABLISHED    6       11  <0  > 0:0:01:40
Ee-- 101.100.100.6    310    1     ESTABLISHED    6       11  <0  > 0:0:01:47

Flags: <d> disabled, <e> enabled, <E> external peer, <I> internal peer
       <n> EBGP multihop, <r> route reflector client

BGP Peer Statistics
  Total Peers      : 3
  EBGP Peers      : 3
  RR Client       : 0
  Enabled         : 3
  IBGP Peers      : 0
  EBGP Multihop  : 0
  Disabled        : 0

```

### KUVIO 32. BGP-tulokset, MetroCore2, BGP-naapuruudet

Kuviossa on kolme eri naapuruutta ja jokaisessa on alussa merkintä Ee. Tämä ilmoittaa, että kyseessä on ulkoinen BGP-naapuruussuhde (E) ja naapuri on aktivoitu laitteessa (e). Seuraavaksi näkyy naapurilaitteiden IP-osoitteet ja mikä AS-numero on naapurilla. Vastaavat toimintatilat löytyvät AS-300 ja AS-310 reunareitittimistä.

MetroCore1 mainostaa BGP-mainostuksissa OSPF:ltä opittuja sisäverkon IP-osoitteita. Kuviossa 33 nähdään MetroCore2-laitteen reititystaulu.

```

Ori Destination      Gateway           Mtr  Flags          ULAN          Duration
#be 10.0.0.2/32       100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#be 13.13.13.1/32     101.100.100.6    1    UG-D---un-f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:0m:45s
#d 100.100.100.0/30   100.100.100.2    1    U-----un-f- route-to-metrocore1 0
d:1h:30m:22s
#d 101.100.100.0/30   101.100.100.1    1    U-----un-f- route-to-wg3-r1 0d:1h
:30m:22s
#d 101.100.100.4/30   101.100.100.5    1    U-----un-f- route-to-juniper-r2 0
d:1h:30m:21s
#be 101.100.100.4/30   101.100.100.6    1    UG-D---un---- route-to-juniper-r2 0
d:0h:0m:45s
#be 102.100.100.0/30   101.100.100.6    1    UG-D---un-f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:0m:45s
#be 192.168.0.1/32    100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#be 192.168.100.0/30  100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#be 192.168.100.4/30  100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#be 192.168.100.16/30 100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#be 192.168.100.20/30 100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#be 192.168.200.0/24  100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s
#d 195.0.0.0/24       195.0.0.1        1    U-----un-f- sisaverkko 0d:1h:30m:
23s
#be 199.0.0.0/24       101.100.100.2    0    UG-D---un-f- route-to-wg3-r1 0d:0h
:0m:28s
#be 199.0.1.0/24       101.100.100.6    1    UG-D---un-f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:0m:45s
#be 222.222.222.1/32  100.100.100.1    1    UG-D---un-f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:45s

```

### KUVIO 33. BGP-tulokset, MetroCore2-reititystaulu



Kuviossa näkyy #be merkinnällä olevia reittitietoja. Nämä reitit on lisätty reititystauluun BGP:n omasta reititystaulusta kun lyhin reitti verkkoon on saatu selville. MetroCore2-laitteen reititystaulusta löytyy reitit kaikkiin kolmeen eri AS-alueen sisäverkkoon. Kuviossa 34 nähdään MetroCore2-laitteen BGP-reitit, jotka se on oppinut BGP-mainostuksista muilta BGP-naapureilta.

```
* MetroCore2.40 # show bgp routes all
Feasible Routes
-----
h
  Destination          Peer           Next-Hop       LPref Weight MED   AS-Pat
*>i 10.0.0.2/32         100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>i 13.13.13.1/32      101.100.100.6 101.100.100.6 100   1     310
  i 13.13.13.1/32      101.100.100.2 101.100.100.2 100   1     300 31
0
* i 101.100.100.4/30   101.100.100.6 101.100.100.6 100   1     310
  i 101.100.100.4/30   101.100.100.2 101.100.100.2 100   1     300 31
0
*>i 102.100.100.0/30   101.100.100.6 101.100.100.6 100   1     310
  i 102.100.100.0/30   101.100.100.2 101.100.100.2 100   1     300 31
0
*>i 192.168.0.1/32     100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>i 192.168.100.0/30   100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>i 192.168.100.4/30   100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>i 192.168.100.16/30  100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>i 192.168.100.20/30  100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>i 192.168.200.0/24   100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
*>? 199.0.0.0/24       101.100.100.2 101.100.100.2 100   1     300
  ? 199.0.0.0/24       101.100.100.6 101.100.100.6 100   1     310 30
0
*>i 199.0.1.0/24       101.100.100.6 101.100.100.6 100   1     310
  i 199.0.1.0/24       101.100.100.2 101.100.100.2 100   1     300 31
0
*>i 222.222.222.1/32   100.100.100.1 100.100.100.1 100   1     100
```

KUVIO 34. BGP-tulokset, MetroCore2:n BGP:llä oppimat reitit

Kuviossa nähdään kaikki mahdolliset reitit, jotka on saatu BGP-mainostuksissa. Tähti merkintä rivin alussa tarkoittaa, että kyseinen reitti on valittu lyhimmäksi reitiksi verkkoon. Tässä taulussa tähdellä merkatut reitit siirtyvät reititystauluun ja niitä käytetään reititietojen laskemiseen. Tähdellä merkityt reitit ovat myös reittejä, joita mainostetaan BGP-mainostuksissa muille BGP-naapureille.

AS-300 alueella BGP-prosessia pyöritti WG3-R1-reititin. MetroCore2-laite mainostaa BGP:llä opittuja reittitietoja BGP-naapureilleen. Kuviossa 35 on WG3-R1-reitittimen reititystaulu.

```

102.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
C    102.100.100.0 is directly connected, FastEthernet0/1/1.942
222.222.222.0/32 is subnetted, 1 subnets
B    222.222.222.1 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:30
100.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
B    100.100.100.0 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:41
101.0.0.0/30 is subnetted, 2 subnets
B    101.100.100.4 [20/0] via 102.100.100.2, 01:31:02
C    101.100.100.0 is directly connected, FastEthernet0/1/1.941
B    192.168.200.0/24 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:31
B    199.0.1.0/24 [20/0] via 102.100.100.2, 01:31:03
10.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
B    10.0.0.2 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:32
C    199.0.0.0/24 is directly connected, Loopback0
192.168.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
B    192.168.0.1 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:32
13.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
B    13.13.13.1 [20/0] via 102.100.100.2, 01:31:04
192.168.100.0/30 is subnetted, 4 subnets
B    192.168.100.4 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:32
B    192.168.100.0 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:32
B    192.168.100.20 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:32
B    192.168.100.16 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:32
B    195.0.0.0/24 [20/0] via 101.100.100.1, 00:14:43

```

KUVIO 35. BGP-tulokset, WG3-R1-reititystaulu

Kuviossa näkyy AS-100 alueelta olevia reittimerkintöjä. Nämä reittitiedot ovat saapuneet MetroCore2-laitteelta BGP-reittimainostuksissa. Kuviossa näkyvä verkko-osoite 192.168.200.0/24 löytyy AS-100 alueelta Juniper-R1-reitittimen takaa. Tämä verkko on mainostettu OSPF-reititysprotokollalla AS-100 alueen sisällä MetroCore1-laitteelle, josta kyseinen verkko on mainostettu BGP-prosessilla eteenpäin.

Tutkimusympäristössä laajin reititystaulu löytyi MetroCore1-laitteesta. Laite sai BGP-mainostuksissa reittitiedot kolmelta eri AS-alueelta ja tämän lisäksi laite tiesi oman AS-100 alueen sisäverkon osoitteet. Kuviossa 36 on MetroCore1-laitteen reititystaulu.

Ori	Destination	Gateway	Mtr	Flags	ULAN	Duration
#s	Default Route	100.100.100.1	1	U----S-um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	1h:33m:25s					
#oa	10.0.0.2/32	192.168.100.9	6	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:19m:30s					
#d	10.0.0.6/32	10.0.0.6	1	U-----um--f-	bgphallinta	0d:1h:33m:26s
#be	13.13.13.1/32	100.100.100.2	2	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#d	100.100.100.0/30	100.100.100.1	1	U-----um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	1h:33m:27s					
be	100.100.100.0/30	100.100.100.2	1	UG-D---um----	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#be	101.100.100.0/30	100.100.100.2	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#be	101.100.100.4/30	100.100.100.2	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#be	102.100.100.0/30	100.100.100.2	2	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#or	192.168.0.1/32	192.168.100.9	7	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:19m:25s					
#or	192.168.100.0/30	192.168.100.9	6	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:19m:30s					
#oa	192.168.100.4/30	192.168.100.9	5	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:21m:42s					
#d	192.168.100.8/30	192.168.100.10	1	U-----um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:33m:27s					
#d	192.168.100.12/30	192.168.100.13	1	U-----um--f-	route-to-metroSW1	0d:1h:33m:28s
d:	1h:33m:28s					
#or	192.168.100.16/30	192.168.100.14	9	UG-D---um--f-	route-to-metroSW1	0d:1h:20m:50s
d:	1h:20m:50s					
#oa	192.168.100.20/30	192.168.100.9	6	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:19m:30s					
#oa	192.168.200.0/24	192.168.100.9	5	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r1	0
d:	1h:32m:36s					
#be	195.0.0.0/24	100.100.100.2	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#be	199.0.0.0/24	100.100.100.2	2	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:7s					
#be	199.0.1.0/24	100.100.100.2	2	UG-D---um--f-	route-to-metrocore2	0
d:	0h:3m:19s					
#or	222.222.222.1/32	192.168.100.14	10	UG-D---um--f-	route-to-metroSW1	0d:1h:19m:53s
d:	1h:19m:53s					

KUVIO 36. BGP-tulokset, MetroCore1-reititystaulu

MetroCore1-laitteesta on myös yhteys sisäverkossa toimivaan BGP-reitittimeen, joka pyörittää BGP-prosessia AS100-alueen sisällä. AS100-alueen sisällä BGP-naapuruussuhde luotiin käyttämällä reittiheijastinta, koska naapuri ei ollut suoraan yhteydessä MetroCore1-laitteeseen. Tästä johtuen reittimainostukset lähtivät aluksi reittiheijastimelle, joka sisäverkossa oli WG5-R1-laite. MetroCore1-laitteen naapuruussuhteissa näkyy naapurin IP-osoitteena 10.0.0.2, joka myös viittaa WG5-R1-laitteeseen. Kuviossa 37 nähdään WG5-R1-laitteelle saapuneet BGP-reittimainostukset.

```

wg5-r1#show bgp
BGP table version is 197, local router ID is 10.0.0.2
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
r>i10.0.0.2/32	10.0.0.6		100	0	i
*>i13.13.13.1/32	10.0.0.6		100	0	200 310 i
*>i101.100.100.0/30	10.0.0.6		100	0	200 ?
*>i101.100.100.4/30	10.0.0.6		100	0	200 ?
*>i102.100.100.0/30	10.0.0.6		100	0	200 310 i
r>i192.168.0.1/32	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.0/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.4/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.16/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.20/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.200.0	10.0.0.6		100	0	i
*>i195.0.0.0	10.0.0.6		100	0	200 ?
*>i199.0.0.0	10.0.0.6		100	0	200 300 ?
*>i199.0.1.0	10.0.0.6		100	0	200 310 i
r>i222.222.222.1/32	10.0.0.6		100	0	i

### KUVIO 37. BGP-tulokset, WG5-R1-laitteelle saapuneet BGP-reittitiedot

Kuviosta näkyy reittitietojen edessä ”r”-merkintä. Tämä ilmoittaa, että kyseistä reittiä ei lasketa ollenkaan, koska AS-polku viittaa omaan AS-alueeseen. WG5-R1-laite toimi reittiheijastimena, joten vastaavat BGP-reittitiedot toimitettiin oikealle BGP-naapurille WG4-R1. WG4-R1-laitteen BGP-reittitaulussa on samat reitit kuin WG5-R1-reitittimessä. Kuviossa 38 on esitetty WG4-R1:n BGP-reittitaulu.

```

wg4-r1#show bgp
BGP table version is 197, local router ID is 192.168.100.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
r>i10.0.0.2/32	10.0.0.6		100	0	i
*>i13.13.13.1/32	10.0.0.6		100	0	200 310 i
*>i101.100.100.0/30	10.0.0.6		100	0	200 ?
*>i101.100.100.4/30	10.0.0.6		100	0	200 ?
*>i102.100.100.0/30	10.0.0.6		100	0	200 310 i
r>i192.168.0.1/32	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.0/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.4/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.16/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.100.20/30	10.0.0.6		100	0	i
r>i192.168.200.0	10.0.0.6		100	0	i
*>i195.0.0.0	10.0.0.6		100	0	200 ?
*>i199.0.0.0	10.0.0.6		100	0	200 300 ?
*>i199.0.1.0	10.0.0.6		100	0	200 310 i
r>i222.222.222.1/32	10.0.0.6		100	0	i

### KUVIO 38. BGP-tulokset, WG4-R1-laitteen BGP-reittitiedot

Kuvion tähdellä merkatut reittitiedot lisätään reitittimen reititystauluun. Seuraavana hyppynä tiettyyn verkko-osoitteeseen on MetroCore1-laitteen osoite. Kuvioista 39 nähdään WG4-R1-reititystaulu ja eri reititysprotokollista opitut reitit.

```

    102.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
B    102.100.100.0 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:20
    222.222.222.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA  222.222.222.1
      [110/8] via 192.168.100.2, 01:26:17, FastEthernet0/1/1.939
    101.0.0.0/30 is subnetted, 2 subnets
B    101.100.100.4 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:20
B    101.100.100.0 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:20
O IA  192.168.200.0/24
      [110/3] via 192.168.100.2, 01:26:25, FastEthernet0/1/1.939
B    199.0.1.0/24 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:21
    10.0.0.0/32 is subnetted, 3 subnets
O IA  10.0.0.2 [110/2] via 192.168.100.2, 01:26:26, FastEthernet0/1/1.939
C    10.0.0.1 is directly connected, Loopback0
O IA  10.0.0.6 [110/13] via 192.168.100.2, 01:26:27, FastEthernet0/1/1.939
B    199.0.0.0/24 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:22
    192.168.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C    192.168.0.1 is directly connected, Loopback1
    13.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
B    13.13.13.1 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:22
    192.168.100.0/30 is subnetted, 6 subnets
O IA  192.168.100.12
      [110/6] via 192.168.100.2, 01:26:19, FastEthernet0/1/1.939
O IA  192.168.100.8
      [110/3] via 192.168.100.2, 01:26:27, FastEthernet0/1/1.939
O IA  192.168.100.4
      [110/2] via 192.168.100.2, 01:26:27, FastEthernet0/1/1.939
C    192.168.100.0 is directly connected, FastEthernet0/1/1.939
O IA  192.168.100.20
      [110/2] via 192.168.100.2, 01:26:27, FastEthernet0/1/1.939
O IA  192.168.100.16
      [110/7] via 192.168.100.2, 01:26:19, FastEthernet0/1/1.939
B    195.0.0.0/24 [200/0] via 10.0.0.6, 00:10:23

```

#### KUVIO 39. BGP-tulokset, WG4-R1-reititystaulu

Kuviossa on merkattu O-merkinnällä OSPF-protokollalla opitut reitit sisäverkosta. B-merkintä kertoo reittitiedon saapuneen BGP-protokollalla.

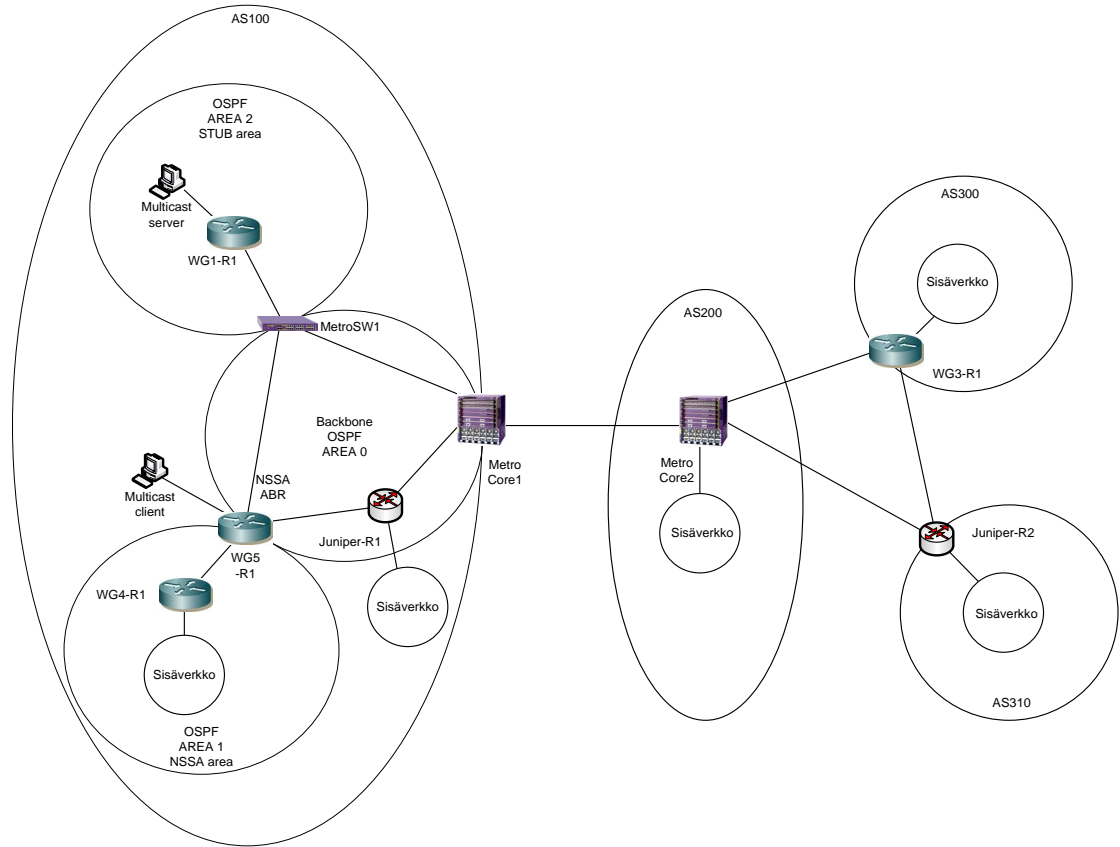
## 8.4 Multicast

### 8.4.1 PIM

#### 8.4.1.1 Topologia ja laitteisto

Multicast-toteutus PIM-tekniikalla pystyttiin konfiguroimaan valmiiseen topologiaan, jota oli käytetty BGP:tä tutkittaessa. Topologian laitteisiin on konfiguroitu OSPF- ja BGP-toiminnot valmiiksi. Yritysverkkoon AS100 lisättiin kaksi tietokonetta, joista

toinen toimi multicast-liikennettä lähettävänä palvelimena (multicast server) ja toinen vastaanottavana päätelaitteena (multicast client). Kuviossa 40 on esitetty perustopologia ja siihen lisätyt päätelaitteet (multicast server ja multicast client).



KUVIO 40. Multicast-ympäristön topologia

#### 8.4.1.2 Tutkittavat kohteet

Laiterympäristö koostuu kolmen eri laitevalmistajan laitteista ja tutkimustulokset kertovat näiden laitteiden yhteensopivuuden PIM-ympäristössä. Yritysverkkoon oli tarkoitus mahdollistaa multicast-liikenteen reititys sitä vastaanottavalle laitteelle PIM-tekniikkaa käyttäen. Topologiassa olevan client-päätelaitteen tuli pystyä kirjautumaan keskitetylle RP:lle (Rendezvous Point) ja ilmoittaa halusta vastaanottaa multicast-liikennettä määritellystä multicast IP-osoitteesta. RP:n tuli olla tietoinen multicast server laitteen lähettämästä datavirrasta multicast IP-osoitteeseen ja ohjata tämä liikenne oikealle vastaanottajalle. PIM-domainissa olevien laitteiden linkkivälit tuli myös toimia sparse-modessa.

## 8.4.2 PIM-konfigurointi

Ennen varsinaista laitteiden konfiguroimista tarkistettiin mahdollisia yhteensopivuusongelmia. Laitevalmistaja Cisco:n ohjeissa mainittiin, että jos laiteympäristössä on muiden laitevalmistajien laitteita, joudutaan käyttämään bootstrap mekanismia. Toiminto mainostaa muille PIM-domainissa oleville laitteille mahdollisesta RP:stä.

### WG1-R1-konfigurointi

Laitteesta poistettiin käytöstä looginen loopback 1 -rajapinta, koska tämän rajapinnan IP-osoite liitettiin multicast-liikennettä lähettävän palvelimen yhdyskäytäväosoitteeksi. Myös loopback 1 -rajapinnan IP-osoitteen mainostus poistettiin OSPF-reittimainostuksissa.

Rajapintaan Fa0/1/0 oli kytketty multicast-liikennettä lähettävä tietokone, joten rajapintaan määritettiin IP-osoite 222.222.222.1/24 ja asetettiin se toimimaan sparse-modessa alla olevien komentojen avulla.

```
#interface FastEthernet0/1/0
#description sisaverkko
#ip address 222.222.222.1 255.255.255.0
#ip pim sparse-mode
#no shutdown
```

Uusi verkko-osoite tuli liittää OSPF-reittimainostuksiin yhteydellisuuden saavuttamiseksi yritysverkon sisällä.

```
#router ospf 1
#network 222.222.222.0 0.0.0.255 area 2
```

Reitittimen multicast-reititystoiminto ja MetroSW1-laitteelle olevan rajapinnan määrittäminen PIM-toimintoon sparse-modessa määritettiin seuraavilla komennoilla.

```
#ip multicast-routing
#interface fastethernet 0/1/1.937
#ip pim sparse-mode
```

## MetroSW1-konfigurointi

Laitteen konfiguroinnin yhteydessä paljastui, että kyseinen advanced edge -lisenssillä pyörivä x250-kytkin mahdollistaa vain kaksi aktiivista PIM-protokollalla toimivaa porttia. Koska tutkittavana kohteena oli PIM-protokollan toimivuus laiteympäristössä, jätettiin MetroSW1 – MetroCore1 laitteiden välinen yhteys testausympäristöstä kokonaan pois.

Laitteen multicast-reititystoiminto poistettiin käytöstä, jotta WG1-R1- ja WG5-R1-laitteille menevistä vlan yhteyksistä pystyi poistamaan igmp snooping -toiminnon. Jos igmp snooping on aktiivinen, ei vlan yhteyksille voi määrittää multicast-liikenteen reititystoimintoa päälle. Alla olevien komentojen avulla VLAN-yhteyksistä poistuu igmp snooping -toiminto ja aktivoituu multicast-liikenteen reititys. Extreme-laitteissa jokainen rajapinta pitää aktivoida erikseen.

```
#disable ipmcforwarding  
#disable igmp snooping route-to-wg1-r1  
#disable igmp snooping route-to-wg5-r1
```

```
#enable ipmcforwarding  
#enable ipmcforwarding route-to-wg1-r1  
#enable ipmcforwarding route-to-wg5-r1
```

MetroSW1-laitteessa PIM-toimintoon tuli määrittää mitkä VLAN-rajapinnat kuuluvat PIM-domainiin ja missä tilassa nämä toimivat.

```
#configure pim add vlan route-to-wg1-r1 sparse  
#configure pim add vlan route-to-wg5-r1 sparse
```

Rajapintoihin määritettiin aktiiviseksi myös pim snooping. Toiminnon avulla PIM-protokollan liikenne ohjautuu ainoastaan laitteille, joiden tarvitsee sitä vastaanottaa.

```
#enable pim snooping route-to-wg1-r1  
#enable pim snooping route-to-wg5-r1
```



PIM-toiminto ja PIM snooping -toiminto aktivoitui alla olevilla komennoilla.

```
#enable pim
#enable pim snooping
```

### **WG5-R1-konfigurointi**

Laitteeseen tuli asettaa multicast-reititystoiminto aktiiviseksi. Myös MetroSW1- ja Juniper-R1-laitteisiin yhteydessä oleviin loogisiin rajapintoihin asetettiin PIM-protokolla toimimaan sparse-modessa.

```
#ip multicast-routing
#interface fastethernet 0/1/1.938
#ip pim sparse-mode
#interface fastethernet 0/1/1.940
#ip pim sparse-mode
```

Reitittimen porttiin Fa0/1/0 on kytketty multicast-liikennettä vastaanottava tietokone ja tälle rajapinnalle tuli määrittää yhdyskäytävän IP-osoite. Rajapintaan tuli myös määrittää PIM-protokollan toimivuus sparse-modessa. Alla olevat konfiguroinnit mahdollistavat multicast-lähetystä vastaanottavan tietokoneen liittämisen reitittimeen.

```
#interface fastethernet 0/1/0
#ip address 222.222.200.1 255.255.255.0
#ip pim sparse-mode
#no shutdown
```

Kun reitittimen tietokoneelle johtava portti on konfiguroitu yhdyskäytäväksi, tulee vielä mainostaa yhdyskäytävän verkko-osoitetta OSPF-reittimainostuksissa. PIM-protokolla ei vaihda reittitietoja vaan luottaa toisten reititysprotokollien reittitietoihin yhteyksiä muodostettaessa. Alla oleva konfiguraatio lisää yhdyskäytävän mainostuksen OSPF-prosessiin ja yritysverkon laitteet saavat verkko-osoitteen omaan reititystauluunsa.

```
#router ospf 1
#network 222.222.200.0 0.0.0.255 area 0
```

## Juniper-R1-konfigurointi

PIM-protokollan testausympäristössä käytettiin bootstrap-tekniikkaa, jossa määritetty bootstrap router (BSR) lähettää PIM-mainostuksissa RP:n osoitetta PIM-domainin muille laitteille. Juniper-R1-laite toimii PIM-domainissa, mutta laitteeseen ei ole kytetty multicast-datavuota lähettävää tai vastaanottavaa laitetta. Junos-käyttöjärjestelmässä, PIM-protokollaan tulee määrittää rajapinnat, joissa protokolla toimii ja missä tilassa nämä toimivat. PIM-protokolla aktivoituu automaattisesti konfiguroinnin jälkeen ja laite pystyy vastaanottamaan ja lähettämään määritettyihin PIM-rajapintoihin BSR:ltä saatua RP-mainostusta. Alla oleva konfiguraatio asettaa Juniper-R1-laitteen rajapintoihin PIM-toimivuuden sparse-modessa.

```
#set protocols pim interface ge-1/0/2.0 mode sparse
#set protocols pim interface ge-1/0/7.940 mode sparse
```

## MetroCore1-konfigurointi

Laitteesta tuli poistaa igmp snooping käytöstä, koska kytkin toimii reitittimenä ko. topologiassa. Konfiguroinnissa käytettyä PIM snooping -toimintoa ei voida myöskään kytkeä käyttöön VLAN-rajapintoihin jos näissä on käytössä igmp snooping. Reititys-toiminnon aktivointi multicast-liikenteelle ja Juniper-R1-laitteelle yhteydessä olevaan VLAN-rajapintaan konfiguroitiin alla olevilla komennoilla.

```
#enable ipmcforwarding
#enable ipmcforwarding route-to-juniper-r1
```

MetroCore1-laite toimii candidate RP:nä (C-RP) ja candidate bootstrap routerinä (C-BSR). PIM-domainissa C-BSR-laitteista valitaan vaalien perusteella yksi laite, joka tulee toimimaan koko domainissa BSR-laitteena ja mainostaa tunnettuja RP-osoitteita. C-RP-laitteista valitaan myös vaalien perusteella RP:nä toimivat laitteet. PIM-domainissa käytössä oli yksi C-RP, jolle tuli määrittää mitä multicast-liikennettä ko. RP saa päästää läpi. C-RP-toiminnolle tuli luoda politiikka, jossa on sääntöön määritelty sallittu multicast-osoiteavaruus. Politiikka luotiin alla olevalla käskyllä.

```
#edit policy mcryhmat.pol
```

Politiikan luonnin jälkeen voidaan konfiguroida sääntöjä politiikan sisälle. Multicast-osoiteavaruuden sallivaksi säännöksi nimettiin sääntö ”ryhmat”. Sääntö lukee kaikkea liikennettä ja jos liikenteen nlri osoitteena on 239.0.0.0/24 -osoiteavaruus, niin liikenne sallitaan. Poliitiikan lopussa on oletuksena automaattinen ”deny all” toiminto, joka estää kaiken muun liikenteen. Sääntönä tätä ei politiikan konfiguroinnissa näy, koska kyseessä on oletussääntö. Alla on esitetty politiikan mcryhmat.pol sisältämä sääntö.

```
entry ryhmat {
    if match any {
    }
    then {
        nlri 239.0.0.0/24 ;
        permit ;
    }
}
```

Politiikan konfiguroimisen jälkeen tuli määrittää mikä rajapinta osallistuu PIM-domain toimintaan ja missä mode-tilassa. MetroSW1-laitteen rajallisesta PIM-rajapintojen määrästä johtuen, konfiguroitiin ainoastaan Juniper-R1-laitteelle oleva VLAN-rajapinta alla olevalla komennolla.

```
#configure pim add vlan route-to-juniper-r1 sparse
```

C-RP:nä toimivaksi rajapinnaksi asetettiin Juniper-R1-laitteeseen yhteydessä oleva VLAN ja tähän liitettiin aikaisemmin luotu politiikka ”mcryhmat”. C-RP:lle tuli myös määrittää priority-arvo, jonka perusteella vaalien yhteydessä valitaan käytettävä RP-osoite. C-RP-toiminto asetettiin MetroCore1-laitteelle seuraavalla komennolla.

```
#configure pim crp route-to-juniper-r1 mcryhmat 10
```

PIM-domainiin tuli myös määrittää C-BSR-laite, joka mainostaa valittua RP:tä PIM-mainostuksissa. C-BSR-laitteeksi valittiin myös MetroCore1- ja sen Juniper-R1-laitteelle oleva VLAN-rajapinta priority-arvolla 10. Topologiassa ei ole muita C-RP:nä tai C-BSR:nä toimivia laitteita, joten MetroCore1-laite toimii PIM-domainissa kumpakin laitteena. C-BSR-toiminto aktivoitiin MetroCore1-laitteelle seuraavalla komennolla.

```
#configure pim cbsr route-to-juniper-r1 10
```

Kytkimessä tuli aktivoida lopuksi PIM snooping -toiminto Juniper-R1-laitteelle johtavaan VLAN-rajapintaan ja vielä erikseen käyttöön koko laitteessa. PIM-toiminto vaati myös käynnistyksen omalla komennollaan.

```
#enable pim snooping vlan route-to-juniper-r1  
#enable pim snooping  
#enable pim
```

Konfiguroitujen laitteiden konfiguraatiot on esitetty liitteissä 15 – 20. Muiden topologian laitteiden valmiit konfiguraatiot löytyy liitteistä 9 ja 11 – 13.

### **Multicast server**

Tietokoneeseen määritettiin manuaalisesti IP-osoitteeksi 222.222.222.2/24 ja yhdyskäytäväosoitteeksi kytketyn WG1-R1-laitteen 222.222.222.1 IP-osoite.

### **Multicast client**

Tietokoneeseen määritettiin manuaalisesti IP-osoitteeksi 222.222.200.2/24 ja yhdyskäytäväosoitteeksi kytketyn WG5-R1-laitteen 222.222.200.1 IP-osoite.

## **8.4.3 PIM-tulokset**

Testausympäristössä laitettiin multicast server -laitteena toiminut tietokone lähettämään videokuvaa multicast-osoitteeseen 239.0.0.1. Ohjelma, jolla videokuvaa lähetettiin oli VLC player -niminen ohjelma. Multicast client -tietokoneella käytettiin vastaavaa ohjelmaa kuvalähetyksen vastaanottoon.

MetroCore1-laite oli konfiguroitu toimimaan priority-arvojen perusteella BSR:nä, että C-RP:nä. Kuviossa 41 nähdään, että MetroCore1-laite on valittu vaalien perusteella BSR-laitteeksi ja BSR-tila on ”ELECTED”.

```
* MetroCore1.4 # show pim detail
PIM Enabled, Version 2
PIM CRP Enabled on 1 interfaces
BSR state : Elected ; BSR Hash Mask Length: 255.255.255.252
Current BSR Info : 192.168.100.10 (Priority 10) expires after 47 sec
Configured BSR Info : 192.168.100.10 (Priority 10) in vlan route-to-juniper-r1
CRP Adv Interval : 60 sec ; CRP Holdtime: 150
BSR Interval : 60 sec ; BSR Timeout : 130
Cache Timer : 210 sec ; Prune Timer : 210
Assert Timeout : 210 sec ; Register Suppression Timeout,Probe: 60, 5
Generation Id : 0x4f1cbb35
PIM-DM State Refresh TTL : 16
PIM-DM State Refresh Source Active Timer : 210
PIM-DM State Refresh Origination Interval : 60
Threshold for Last Hop Routers: 0 kbps
Threshold for RP : 0 kbps
Register-Rate-Limit-Interval : Always active
PIM SSM address range : None
Register Checksum to include data
Active Sparse Ckts 1 Dense Ckts 0 State Refresh Ckts 0

Global Packet Statistics (In/Out)
C-RP-Advs 95 97
Registers 8438 0
RegisterStops 0 2
```

KUVIO 41. PIM-tulokset, MetroCore1-valinta BSR-laitteeksi

Kuviossa näkyy myös tämänhetkisenä BSR IP-osoitteena 192.168.100.10 priority-arvolla 10. MetroCore-laitteeseen oli konfiguroitu BSR-toiminnallisuus Juniper-R1-laitteelle olevaan rajapintaan ja asetettu IP-osoitteeksi 192.168.100.10 priority-arvolla 10. Koska PIM-domainissa ei ole konfiguroitu muita C-BSR-laitteita, valitaan vaalien perusteella kyseinen laite BSR:ksi. Kuviossa on myös rajattu PIM-protokollan lähettämät ja vastaanottamat C-RP-mainostukset PIM-domainissa. MetroCore1-laitteeseen konfiguroitiin C-RP-osoitteeksi sama 192.168.100.10 IP-osoite, jota mainostetaan BSR-mainostuksissa RP-osoitteena muille laitteille. Kuviossa 42 näkyy MetroCore1-laitteeseen vaalien perusteella valittu RP-osoite, joka on saatu BSR-mainostuksista. Kuviossa nähdään myös mille multicast-osoitteelle ko. RP toimii.

```
* MetroCore1.9 # show pim rp-set
Group      Mask      C-RP      Origin      Priority  Timeout
239.0.0.0  255.255.255.0  192.168.100.10  Bootstrap  10      97
```

KUVIO 42. PIM-tulokset, MetroCore1, RP-valinta

BSR-mainostuksissa muut laitteet saavat tiedon valitusta BSR-toimintoa suorittavasta laitteesta. Kuviossa 43 on WG1-R1-laitteen saamat tiedot aktiivisesta BSR-reitittimestä, toiminta-ajasta ja milloin BSR-tiedot vapautetaan jos ei uutta mainostusta saada.

```
wg1-r1#show ip pim bsr-router
PIMv2 Bootstrap information
BSR address: 192.168.100.10 <?>
Uptime: 00:04:48, BSR Priority: 10, Hash mask length: 30
Expires: 00:01:12
```

KUVIO 43. PIM-tulokset, WG1-R1-laitteen saama BSR-mainostus

Multicast-lähetys ja -vastaanotto aktivoitiin tietokoneissa. Lähettävä tietokone laitettiin lähettämään multicast-liikennettä osoitteeseen 239.0.0.1 ja lähetystä vastaanottavaan tietokoneeseen laitettiin sama osoite. WG5-R1-reitittimeen kytkettynä ollut tietokone lähetti igmp-ryhmäliittymisviestin halusta vastaanottaa multicast-liikennettä osoitteesta 239.0.0.1. Tämä pyyntö rekisteröityi ensimmäisenä WG5-R1-reitittimeen ja siirtyi siitä RP-reitittimenä toimivalle laitteelle PIM-domainin sisällä. Kuviossa 44 nähdään WG5-R1-laitteen igmp-ryhmät ja vastaanottavan tietokoneen pyyntö osoitteen 239.0.0.1 multicast-lähetyksestä.

```
wg5-r1#show ip igmp groups
IGMP Connected Group Membership
Group Address      Interface      Uptime      Expires      Last Reporter  Gr
oup Accounted
239.255.255.250    FastEthernet0/1/0 00:57:11    00:02:13    222.222.200.2
239.0.0.1          FastEthernet0/1/0 00:06:17    00:02:19    222.222.200.2
224.0.1.40         FastEthernet0/1/1.938 01:40:20    00:02:57    192.168.100.22
```

KUVIO 44. PIM-tulokset, WG5-R1, IGMP-ryhmät

MetroCore1-laitteessa toimii RP-toiminto, johon multicast-lähetysten vastaanotto-pyyntöt saapuvat. Laitteen RP:nä toimivaan rajapintaan on määritetty politiikan ”mc-ryhmat” perusteella mille multicast-lähetyksille RP-toimintoa suoritetaan. RP-toimintoa voidaan tarkastella *show pim detail* komennolla, jonka avulla nähdään MetroCore1-laitteessa toimivan ”route-to-juniper-r1”-rajapinnan RP-toiminta. Kuviossa 45 on esitettyä käytössä oleva politiikka ja saapuneet multicast-liittymispyynnöt (join).

```

PIM SPARSE Interface[1] on ULAN route-to-juniper-r1 is enabled and up
IP adr: 192.168.100.10    mask: 255.255.255.252    DR of the net: 192.168.10
0.10
Passive                : No
Hello Interval         : 30 sec
Neighbor Time out     : 105 sec
Join/Prune Interval   : 60 sec
Join/Prune holdtime   : 210 sec
Trusted Gateway       : none
CRP group List        : mcryhmat with priority 10
Shutdown priority     : 1024
Source Specific Multicast : Disabled
State Refresh         : Off
State Refresh Capable : No
Border                : No
Neighbor IP address   Generation Id    Expires    State Refresh
192.168.100.9        0x3e2b5fed    94         No

Packet Statistics (In/Out)
Hellos                183           191    Bootstraps           0           97
Join/Prunes           98            3      Asserts              0           0
Grafts                0             0      GraftAcks            0           0
State Refresh         0             0

```

KUVIO 45. PIM-tulokset, MetroCore1, PIM-rajapinnan RP-toiminto

WG5-R1-reitittimen multicast-reititystaulussa näkyy merkintä \*, 239.0.0.1. Tämä tarkoittaa, että reititin vastaanottaa mistä tahansa lähteestä osoitettua liikennettä multicast-ryhmään 239.0.0.1. Tiedon alapuolella on merkattu mihin liitänäraajapintaan ohjataan ko. liikennettä. Kuviossa 46 on esitetty WG5-R1:n multicast reititystaulu.

```

wg5-r1#show ip mroute
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,
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 MDI-data group, y - Sending to MDI-data group,
U - RD & Vector, v - Vector
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or UCD, State/Mode
<*, 239.255.255.250>, 00:53:48/00:02:40, RP 0.0.0.0, flags: SJC
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:33:47/00:02:40
<*, 239.0.0.1>, 00:53:33/stopped, RP 192.168.100.10, flags: SJC
Incoming interface: FastEthernet0/1/1.940, RPF nbr 192.168.100.6
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:02:55/00:02:41
<222.222.222.2, 239.0.0.1>, 00:02:11/00:02:52, flags: T
Incoming interface: FastEthernet0/1/1.938, RPF nbr 192.168.100.21
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:02:11/00:02:41
<*, 224.0.1.40>, 01:36:58/00:01:59, RP 0.0.0.0, flags: DCL
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
FastEthernet0/1/1.938, Forward/Sparse, 01:36:58/00:01:59

```

KUVIO 46. PIM-tulokset, WG5-R1, multicast-reititystaulu

Kuvioon on merkattu punaisella liikenteen vastaanotto mistä tahansa osoitteesta kunhan se on osoitettu multicast-ryhmään 239.0.0.1. Sisään tulevana rajapintana on RP:lle päin oleva rajapinta, koska käytettäessä sparse-modea tulee multicast-jakelupuun muodostua RP:n kautta tai lyhyimmän puun kautta. Reititin vastaanottaa lähetystä automaattisesti RP:n kautta jos ei ole mahdollista käyttää lyhyempää reittiä lähettävään osapuoleen. Tietueeseen on merkattu myös käytössä oleva RP-osoite. Tämä liikenne ohjataan reitittimen rajapintaan FA0/1/0, joka on vastaanottavan tietokoneen rajapinta.

Kuvioon sinisellä merkattu alue kertoo, että reititin tietää multicast-liikennettä lähettävän koneen osoitteen ja että tämä liikenne kuuluu myös ryhmään 239.0.0.1. Käytettäessä sparse-modea jakelupuun tyyppinä, voi PIM-domainissa reitti lähettävän ja vastaanottavan laitteen välillä muodostua lyhintä reittiä pitkin. Lippumerkintänä (flags) näkyy T-merkintä, joka kertoo SPT-bitin -asetuksesta. SPT (Shortest Path Tree) jakelupuu muodostaa lyhimmän reitin mukaan yhteydessä lähettäjän ja vastaanottajan välille. Tästä syystä sisään tulevana rajapintana näkyy MetroSW1-laitteelle päin oleva rajapinta FA0/1/1.938 IP-osoitteella 192.168.100.21. Liikenne ohjataan näin automaattisesti FA0/1/0 rajapintaan.

Kuviossa 47 on esitetty WG1-R1-laitteen multicast-reititystaulu.

```
wg1-r1#show ip mroute
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,
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 MDI-data group, y - Sending to MDI-data group,
U - 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
<*, 239.255.255.255>, 00:01:56/00:02:01, RP 0.0.0.0, flags: SJC
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:01:56/00:02:01
<*, 239.0.0.1>, 00:02:01/stopped, RP 192.168.100.10, flags: SPF
  Incoming interface: FastEthernet0/1/1.937, RPF nbr 192.168.100.17
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/1.937, Forward/Sparse, 00:00:59/00:02:30
<222.222.222.2, 239.0.0.1>, 00:02:02/00:03:29, flags: FT
  Incoming interface: FastEthernet0/1/0, RPF nbr 0.0.0.0, Registering
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/1.937, Forward/Sparse, 00:00:59/00:02:30
<*, 224.0.1.40>, 00:02:18/00:02:59, RP 0.0.0.0, flags: DCL
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:02:18/00:02:59
```

KUVIO 47. PIM-tulokset, WG1-R1, multicast-reititystaulu



Punaisella merkattu alue näyttää multicast-liikenteen vastaanoton mistä tahansa IP-osoitteesta ryhmään 239.0.0.1. Sisään tulevana rajapintana on MetroSW1-laitteelle oleva rajapinta, koska RP sijaitsee kyseisessä suunnassa. Lipputilaan (flags) on merkattu P-merkintä, joka tarkoittaa pruned-tilaa. WG1-R1-reitittimellä ei ole tietoa laitteista, jotka haluavat vastaanottaa kyseistä multicast-liikennettä. Yhteys estetään kunnes joku laite ilmoittaa halusta vastaanottaa lähetystä multicast-ryhmästä 239.0.0.1.

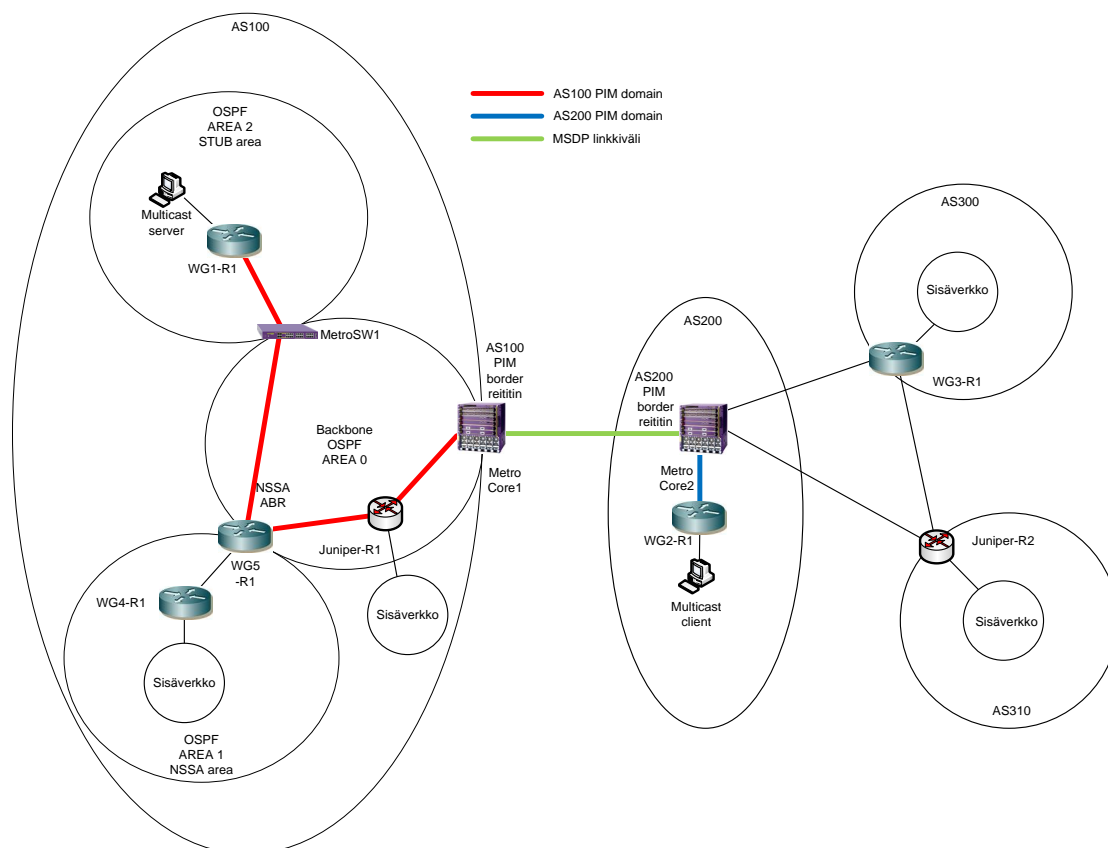
Sinisellä merkitystä kohdasta nähdään multicast-ryhmään 239.0.0.1 lähettäväksi lähteeksi 222.222.222.2 IP-osoite. Lippumerkinnässä (flags) on merkattu T, joten käytetään lyhintä mahdollista puuta kohteeseen. Sisään tulevana rajapintana on merkattu FA0/1/0-rajapinta, johon multicast-liikennettä lähettävä tietokone on kytketty. Lähtevänä rajapintana on Fa0/1/1.937, joka ohjaa liikenteen MetroSW1-laitteelle.

## 8.4.4 MSDP

### 8.4.4.1 Topologia ja laitteisto

Topologiapohjana käytettiin PIM-protokollan tutkimusvaiheessa käytettyä perustopologiaa ja siihen tehtyjä konfiguraatioita. Topologiaan oli valmiina yhteydellisyys AS-alueiden välillä. Yritysverkossa toimi OSPF-tekniikka ja PIM-protokollalla oli tehty PIM-domain verkon sisään.

Topologiaa muutettiin AS200-alueen sisällä, jotta alueen sisälle saatiin toimimaan PIM-domain ja MSDP-tekniikan testaus onnistuisi. Alueen ASBR:nä toimivaan MetroCore2-kytkimeen liitettiin Ciscon 2821-reititin ja multicast-lähetystä vastaanottava tietokone liitettiin reitittimen rajapintaan. Kuviossa 48 nähdään lopullinen topologia ja testausympäristö.



KUVIO 48. MSDP-tutkimusympäristö

#### 8.4.4.2 Tutkittavat kohteet

Tutkimusympäristössä tutkittiin PIM-domain alueissa toimivien RP-osoitteiden mainostusta AS100- ja AS200-alueiden kesken. AS200-alueen PIM-domainin reunakytkimen tuli saada SA-mainostus AS100-alueelta ja samalla mainostaa RP:n multicast-lähetyspyyntöä AS100-alueen PIM-domainin reunakytkimelle. Tämän RP:nä toimivien laitteiden välisen keskustelun tuli tapahtua käyttäen MSDP-protokollaa. AS200-alueessa sijaitsevan tietokoneen tuli pystyä lähettämään liittymispyyntö haluttuun multicast-ryhmään MetroCore2-laitteelle. MetroCore2-laitteen tuli pystyä keskustelemaan MetroCore1-laitteen kanssa tästä pyynnöstä ja multicast-lähetys tuli ohjata AS100 PIM-domain alueelta AS200 PIM-domainiin.

#### 8.4.5 MSDP-konfigurointi

##### WG2-R1-konfigurointi

Laitteelle luotiin kuvaava nimi ja aktivoitiin multicast-liikenteen reititustoiminto aktiiviseksi seuraavilla komennoilla.

```
#hostname WG2-R1
#ip multicast-routing
```

Koska fyysistä yhteyttä MetroCore2-kytkimeen ei ole, jouduttiin käyttämään virtuaalista yhteysväliä C-SW-laitteen kautta. C-SW-kytkimeen luotiin vlan 944 ja määritettiin se toimimaan trunk-tilassa laitteen Fa0/25-portissa. WG2-R1-reitittimen FA0/1/1-rajapintaan luotiin virtuaalinen .944 rajapinta, johon määritettiin 802.11Q-kapseloinniksi vlan id -osoite 944 ja asetettiin IP-osoite MetroCore2-linkkivälille. MetroCore2-laitteelle oleva yhteys tuli myös määrittää toimimaan PIM-protokollassa sparse-mo-  
dessa. Konfigurointi rajapintaan Fa0/1/1 suoritettiin alla olevien komentojen mukaisesti.

```
#interface FastEthernet0/1/1.944
#description Link to MetroCore2
#encapsulation dot1Q 944
#ip address 20.0.0.2 255.255.255.252
#ip pim sparse-mode
#interface FastEthernet0/1/1
```

```
#no shutdown
```

Reitittimeen liitetään multicast-liikennettä vastaanottava tietokone laitteen rajapintaan Fa0/1/0. Rajapintaan määritettiin IP-osoite ja asetettiin se toimimaan PIM-protokollan sparse-mode -tilassa.

```
#interface FastEthernet0/1/0  
#description sisaverkko  
#ip address 195.0.0.1 255.255.255.0  
#ip pim sparse-mode  
#no shutdown
```

OSPF-prosessi määritettiin yhteydellisyden saavuttamiseksi MetroCore2-laitteesta multicast-liikennettä vastaanottavaan tietokoneeseen. PIM-protokolla käyttää muiden reititysprotokollien reititystauluja muodostettaessa reittejä valittuun kohteeseen, joten MetroCore2-laitteen reititystaulussa piti olla reittitieto verkkoon 195.0.0.0/24. WG2-R1-laitteen OSPF-prosessi konfiguroitiin seuraavasti.

```
#router ospf 1  
#network 20.0.0.1 0.0.0.3 area 0  
#network 195.0.0.0 0.0.0.255 area 0
```

Reititin ei saanut reititysprotokollalla reittitietoa WG1-R1-laitteeseen kytketystä multicast-liikennettä lähettävästä laitteesta tai sen verkko-osoitteesta. Reitittimeen asetettiin staattinen reitti. Staattinen reitti asetettiin seuraavalla komennolla.

```
#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 20.0.0.1
```

Reitti ohjaa kaiken liikenteen suoraan MetroCore2-kytkimellä olevaan rajapintaan, josta on reitti verkkoon 222.222.222.0/24. Metrocore1-laitteella on myös reitti verkkoon 195.0.0.0/24, koska kytkimeen on asetettu default-reitti, joka ohjaa kaiken liikenteen rajapintaan 100.100.100.1.

## MetroCore2-konfigurointi

Kyttimeen luotiin vlan, jonka avulla saatiin yhteydellisyys toimimaan WG2-R1-reitittimeen C-SW kautta. VLAN liitettiin C-SW-laitteelle johtavaan porttiin 1:19 VLAN id-arvolla 944. Tähän loogiseen VLAN-rajapintaan määritettiin myös IP-osoite ja aktivoitiin reititystoiminto. Konfigurointi suoritettiin alla olevilla komennoilla.

```
#create vlan route-to-wg2-r1
#configure vlan route-to-wg2-r1 ipaddress 20.0.0.1 255.255.255.252
#configure vlan route-to-wg2-r1 tag 944
#configure vlan route-to-wg2-r1 add ports 1:19 tagged
#enable ipforwarding vlan route-to-wg2-r1
```

Yhteydellisyyden toimiessa WG2-R1-reitittimeen, luotiin OSPF-prosessi reititietojen mainostukseen WG2-R1 ja MetroCore2 välillä. MetroCore2-kytkimelle luotiin OSPF-prosessi ja liitettiin tähän WG2-R1-reitittimelle oleva VLAN-rajapinta. Laitteesta poistettiin samalla VLAN sisaverkko, koska tämä verkko-osoite siirtyi WG2-R1-laitteeseen.

```
#disable vlan sisaverkko
#configure ospf routerid 11.11.11.1
#configure ospf add vlan area route-to-wg2-r1 0.0.0.0
```

Seuraavaksi tuli poistaa PIM-protokollaa käyttäviltä linkkiväleiltä igmp snooping pois käytöstä. Näille linkkiväleille ei tule multicast-liikennettä lähetäviä tai vastaanottavia laitteita käyttöön. Linkkiväleille tuli asettaa kuitenkin multicast-liikenteen reititystoiminto aktiiviseksi.

```
#disable igmp snooping vlan route-to-wg2-r1
#disable igmp snooping vlan route-to-metrocore1
#enable ipmcforwarding route-to-wg2-r1
#enable ipmcforwarding route-to-metrocore1
```

PIM-domainissa toimivat rajapinnat määritettiin toimimaan sparse-modessa seuraavasti.

```
#configure pim add vlan route-to-wg2-r1 sparse
#configure pim add vlan route-to-metrocore1 sparse
```

Laitteeseen tuli luoda seuraavaksi politiikka, jota käytetään PIM-protokollan C-RP:ssä liikenteen rajaukseen. AS200-alueessa toimivassa PIM-domainissa käytettiin myös BSR:ää RP:n mainostuksessa PIM-domainin laitteille, koska käytössä on Extreme Networks ja Ciscon laitteita. Politiikka luotiin samanlaiseksi kuin aikaisemmassa PIM-tutkimuskohteessa seuraavilla komennoilla ja politiikkamäärittäyksillä.

```
#edit policy mcryhmat.pol
```

```
entry ryhmat {
    if match any {
        }
    then {
        nlri 239.0.0.0/24 ;
        permit ;
        }
    }
```

Ehdokaskohtaamispaikaksi (C-RP) määritettiin WG2-R1-laitteelle oleva fyysinen rajapinta. MSDP:tä käytettäessä Extreme Networks laitteet ei hyväksy loogisia rajapintoja kuten loopback-osoitteita vaan C-RP:ksi tulee määrittää fyysisesti kytketty rajapinta. PIM CRP-komentoon määritettiin käytettäväksi WG2-R1-reitittimelle oleva rajapinta, liitettiin luotu politiikka ja asetettiin C-RP-vaaleissa käytettäväksi priority-arvoksi 10 seuraavalla komennolla.

```
#configure pim crp route-to-wg2-r1 mcryhmat 10
```

Käytettävän RP:n mainostamiseen muille laitteille PIM-domainin sisällä käytettiin BSR:ää ja ehdokkaaksi valittiin myös WG2-R1-reitittimelle oleva rajapinta priority-arvolla 10. Laitteeseen tuli aktivoida pim snooping, jotta PIM-liittymisviestit lähetetään ainoastaan PIM-toimintoon osallistuville laitteille.

```
#configure pim cbsr route-to-wg2-r1 10
#enable pim snooping vlan route-to-wg2-r1
```

PIM-domainiin tuli määrittää myös alueella toimiva rajareititin, joka estää PIM-mainostuksien ohjauksen alueen ulkopuolelle. AS200-alueessa kyseinen laite oli MetroCore2-kytkin.

```
#configure pim route-to-metrocore1 border
```

MSDP-prosessiin konfiguroitiin naapuruussuhde MetroCore1-kytkimeen ja määritettiin alueen AS-numero. Naapuri tuli myös aktivoida toimimaan kyseisessä prosessissa.

```
#create msdp peer 100.100.100.1 remote-as 100  
#enable msdp peer 100.100.100.1
```

Lopuksi konfiguroidut prosessit tuli aktivoida toimintaan seuraavilla komennoilla.

```
#enable ospf  
#enable msdp  
#enable pim  
#enable pim snooping
```

### **MetroCore1-konfigurointi**

Laitteen peruskonfiguraationa käytettiin aikaisemmassa PIM-tutkimuskohteessa käytettyjä konfiguraatioita. AS100-alueessa toimi valmiina PIM-domain, jolle tuli määrittää reunareititin. Reunareitittimenä toimi MetroCore1-laite, koska tästä laitteesta oli ainut yhteys ulkoverkkoon PIM-domainista.

```
#configure pim route-to-metrocore2 border
```

Seuraavaksi luotiin MSDP-prosessi, johon määriteltiin naapuruussuhde AS200-alueessa olevaan kytkimeen MetroCore2. Naapuri ja luotu prosessi tuli myös aktivoida.

```
#create msdp peer 100.100.100.2 remote-as 200  
#enable msdp peer 100.100.100.2
```

Multicast-liikenteen reitityspuun luonnin onnistumiseen, kytkimestä oleva linkkiväli toiseen AS-alueeseen tuli määrittää sparse-modeen.

```
#configure pim add vlan route-to-metrocore2 sparse
```

## 8.4.6 MSDP-tulokset

WG2-R1-reitittimeen luotiin staattinen 0.0.0.0 reitti osoitteeseen 20.0.0.1, jotta yhteydellisyys toimii topologian muihin laitteisiin. Kuviossa 49 on esitetty reitittimen reititustaulussa näkyvä oletusyhdykäytävä.

```

Gateway of last resort is 20.0.0.1 to network 0.0.0.0
    20.0.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
C       20.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1/1.944
C       195.0.0.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1/0
S*    0.0.0.0/0 [1/0] via 20.0.0.1

```

KUVIO 49. MSDP-tulokset, WG2-R1-reititustaulu

WG2-R1 ja MetroCore2 vaihtoivat reititietoja OSPF-protokollalla. MetroCore2-laitteen tuli tietää multicast-liikennettä vastaanottavan laitteen verkko-osoite, jotta liikenteen reititys toimii. Kuviossa 50 on esitetty MetroCore2-laitteen reititustaulu ja saatu reititieto WG2-R1-laitteelta OSPF-protokollalla.

Ori	Destination	Gateway	Mtr	Flags	ULAN	Duration
#be	10.0.0.2/32	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#be	13.13.13.1/32	101.100.100.6	1	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r2	0
d:0h:4m:31s						
#d	20.0.0.0/30	20.0.0.1	1	U-----um--f-	route-to-wg2-r1	0d:0h:7m:13s
#d	100.100.100.0/30	100.100.100.2	1	U-----um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:29s						
#d	101.100.100.0/30	101.100.100.1	1	U-----um--f-	route-to-wg3-r1	0d:0h:7m:28s
#d	101.100.100.4/30	101.100.100.5	1	U-----um--f-	route-to-juniper-r2	0
d:0h:7m:28s						
#be	101.100.100.4/30	101.100.100.6	1	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r2	0
d:0h:4m:31s						
#be	102.100.100.0/30	101.100.100.6	1	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r2	0
d:0h:4m:31s						
#be	192.168.0.1/32	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#be	192.168.100.0/30	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#be	192.168.100.4/30	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#be	192.168.100.16/30	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#be	192.168.100.20/30	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#be	192.168.200.0/24	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:14s						
#oa	195.0.0.0/24	20.0.0.2	6	UG-D---um--f-	route-to-wg2-r1	0d:0h:6m:43s
#be	199.0.1.0/24	101.100.100.6	1	UG-D---um--f-	route-to-juniper-r2	0
d:0h:4m:31s						
#be	222.222.222.0/24	100.100.100.1	1	UG-D---um--f-	route-to-metrocore1	0
d:0h:7m:15s						

KUVIO 50. MSDP-tulokset, MetroCore2-reititustaulu



PIM-domain muodostui laitteista MetroCore2 ja WG2-R1. Domainissa käytettiin BSR-toimintoa kertomaan RP:n osoite muille laitteille. C-BSR-laitteeksi määritettiin MetroCore2-laite ja siinä oleva WG2-R1-laitteelle päin oleva rajapinta. Samaan laitteeseen asetettiin myös C-RP, joka toimii RP:nä PIM-domainissa. Kuviossa 51 nähdään MetroCore2:n PIM-tiedot.

```
* MetroCore2.44 # show pim detail
PIM Enabled, Version 2
PIM CRP Enabled on 1 interfaces
BSR state : ELECTED ; BSR Hash Mask Length: 255.255.255.252
Current BSR Info : 20.0.0.1 (Priority 10) expires after 43 sec
Configured BSR Info : 20.0.0.1 (Priority 10) in vlan route-to-wg2-r1
CRP Adv Interval : 60 sec ; CRP Holdtime: 150
BSR Interval : 60 sec ; BSR Timeout : 130
Cache Timer : 210 sec ; Prune Timer : 210
Assert Timeout : 210 sec ; Register Suppression Timeout,Probe: 60, 5
Generation Id : 0x4f1cc368
PIM-DM State Refresh TTL : 16
PIM-DM State Refresh Source Active Timer : 210
PIM-DM State Refresh Origination Interval : 60
Threshold for Last Hop Routers: 0 kbps
Threshold for RP : 0 kbps
Register-Rate-Limit-Interval : Always active
PIM SSM address range : None
Register Checksum to include data
Active Sparse Ckts 2 Dense Ckts 0 State Refresh Ckts 0

Global Packet Statistics (In/Out)
C-RP-Advs 17 18
Registers 0 0
RegisterStops 0 0
```

KUVIO 51. MSDP-tulokset, MetroCore2, PIM-protokollan tiedot

Kuvioon on merkattu punaisella BSR-tilan tiedot ja mainostukset. BSR-tila on valittuna ja osoitteeksi asetettiin 20.0.0.1, joka on WG2-R1-laitteelle päin oleva rajapinta. C-RP:nä toimii sama IP-osoite ja kuviossa C-RP-Advs kertoo BSR:n mainostamien C-RP-mainostusten määrän. BSR-tieto kulkee PIM-domainissa WG2-R1-laitteelle, jotta RP:n mainostus onnistuisi. Kuviossa 52 on WG2-R1-reitittimen vastaanottaman BSR-mainostuksen määrittelemät tiedot.

```
WG2-R1#show ip pim bsr-router
PIMv2 Bootstrap information
BSR address: 20.0.0.1 (?)
Uptime: 00:01:26, BSR Priority: 10, Hash mask length: 30
Expires: 00:01:43
```

KUVIO 52. MSDP-tulokset, WG2-R1-laitteen saama BSR-mainostus

MetroCore2- ja MetroCore1-laitteisiin määritettiin toimimaan PIM-domainissa border-tila ulkoverkon rajapintoihin. Border-tilassa toimivat laitteet eivät enää lähetä PIM-mainostuksia määritellystä rajapinnasta eteenpäin. Kuviossa 53 on MetroCore2-laitteen PIM-domainin rajapinnat ja näihin merkatut liput (flags).

```

ULAN          Cid  IP Address          Designated      Flags          Hello J/P      Nbrs
Router
Int          Int
route-to-metrocore1  2 100.100.100.2 /30 100.100.100.2 rifms-----b- 30 6
0 1
route-to-wg2-r1      1 20.0.0.1 /30 20.0.0.2 rifmsc----- 30 60
1

```

KUVIO 53. MSDP-tulokset, MetroCore2-laitteen PIM-rajapinnat

AS100-alueeseen olevan rajapinnan lipussa on nähtävissä b-merkintä, joka ilmaisee kyseisen rajapinnan toimivan border-tilassa. WG2-R1-laitteelle olevan rajapinnan lipussa nähtävä c-merkintä tarkoittaa, että C-RP-toiminto on käytössä.

Multicast-liikennettä tuotettiin VLC player -ohjelmalla lähettämällä videota määritettyyn multicast-ryhmään. Liikennettä vastaanottavalla tietokoneella aktivoitiin saman ohjelman avulla multicast-lähetyksen vastaanotto. WG2-R1-reitittimeen kytkettynä ollut tietokone lähetti igmp-ryhmäliittymisviestin halusta vastaanottaa multicast-liikennettä osoitteesta 239.0.0.1. Tämä pyyntö rekisteröityi PIM-domainin sisällä MetroCore2-kytkimen RP:lle. Kuviossa 54 nähdään WG2-R1-laitteen igmp-ryhmät ja vastaanottavan tietokoneen pyyntö osoitteen 239.0.0.1 multicast-lähetyksestä.

```

WG2-R1#show ip igmp groups
IGMP Connected Group Membership
Group Address      Interface          Uptime      Expires      Last Reporter  Gr
oup Accounted
239.255.255.250    FastEthernet0/1/0 00:10:53    00:01:52    195.0.0.2
239.0.0.1          FastEthernet0/1/0 00:02:59    00:02:54    195.0.0.2
224.0.1.40         FastEthernet0/1/1.944 00:34:20    00:02:33    20.0.0.2

```

KUVIO 54. MSDP-tulokset, WG2-R1, IGMP-ryhmät

AS200-alueen PIM-domainissa RP-toiminto on MetroCore2-laitteessa, johon multicast-lähetysten vastaanottopyynnöt saapuvat. RP:nä toimivaan rajapintaan on määritetty politiikan ”mcrghmat” perusteella mille multicast-lähetyksille RP-toimintoa suoritetaan. RP-toimintoa voidaan tarkastella *show pim detail* komennolla, jonka avulla nähdään laitteessa toimivan ”route-to-wg2-r1”-rajapinnan toiminta. Kuviossa 55 on esitettyä käytössä oleva politiikka ja saapuneet multicast-liittymispyynnöt (join).

```

PIM SPARSE Interface[1] on ULAN route-to-wg2-r1 is enabled and up
IP adr: 20.0.0.1    mask: 255.255.255.252    DR of the net: 20.0.0.2
Passive           : No
Hello Interval    : 30 sec
Neighbor Time out : 105 sec
Join/Prune Interval : 60 sec
Join/Prune holdtime : 210 sec
Trusted Gateway   : none
CRP group List    : mcrghmat with priority 10
Shutdown priority : 1024
Source Specific Multicast : Disabled
State Refresh     : Off
State Refresh Capable : No
Border           : No
Neighbor IP address      Generation Id    Expires    State Refresh
20.0.0.2                 0x50a8cc8e     93         No

Packet Statistics <In/Out>
Hellos                   34                35    Bootstraps                0                18
Join/Prunes              23                0      Asserts                   0                0
Grafts                   0                 0      GraftAcks                 0                0
State Refresh            0                 0

```

KUVIO 55. MSDP-tulokset, MetroCore2, PIM-rajapinnan RP-toiminto

MSDP-naapuruussuhteet luotiin MetroCore1- ja MetroCore2-laitteiden välille. Kuvioissa 56 ja 57 on esitetty naapuruussuhteiden todennus laitteiden välillä.

```

* MetroCore1.17 # show msdp peer
Peer Address      State      Up/Down    Resets  SA_Cnt  Name
-----
-e 100.100.100.2  ESTABLISHED 00:06:54  1       0
Flags: (*) default peer, (d) disabled, (e) enabled

```

KUVIO 56. MSDP-tulokset, MetroCore1, MSDP-naapurit

```

* MetroCore2.36 # show msdp peer
Peer Address      State      Up/Down    Resets  SA_Cnt  Name
-----
-e 100.100.100.1  ESTABLISHED 00:05:59  1       1
Flags: (*) default peer, (d) disabled, (e) enabled

```

KUVIO 57. MSDP-tulokset, MetroCore2, MSDP-naapurit

MSDP välittää eri AS-alueiden välillä multicast reittitietoa RP:nä toimiville laitteille. Testausympäristössä multicast-liikennettä lähettävä tietokone on tiedossa AS100-alueen PIM-domainissa toimivalla RP:llä. Tämä RP ilmoittaa multicast-lähetyksestä tiedon MSDP-toiminnolle. Kuviossa 58 näkyy paikallisen AS100-alueen RP:nä toimivan rajapinnan ilmoitus multicast-lähetyksestä MSDP:lle.

```

Multicast ryhmä
* MetroCore1.16 # show msdp sa-cache
  Group Address      Source Address      Originator          Peer Address      Age/Ageout In
-----
a239.0.0.1          222.222.222.2      192.168.100.10     0.0.0.0           00:03:59/00:00
Number of accepted SAs      : 1
Number of rejected SAs     : 0
Number of local SAs        : 1
Flags: <a> Accepted, <f> Filtered by policy, <r> RPF check failed
  
```

Lähettävän laitteen osoite (Source Address)  
 RP osoite (Originator)

KUVIO 58. MSDP-tulokset, MetroCore1, SA-cache

MSDP ilmoittaa naapurilleen saamansa tiedot, jotta naapurin RP saa vastaavat. Kuviossa 59 nähdään MetroCore2 MSDP:n saamat tiedot MetroCore1-laitteelta.

```

Multicast ryhmä
* MetroCore2.33 # show msdp sa-cache
  Group Address      Source Address      Originator          Peer Address      Age/Ageout In
-----
a239.0.0.1          222.222.222.2      192.168.100.10     100.100.100.1     00:02:32/05:27
Number of accepted SAs      : 1
Number of rejected SAs     : 0
Number of local SAs        : 0
Flags: <a> Accepted, <f> Filtered by policy, <r> RPF check failed
  
```

Lähettävän laitteen osoite (Source Address)  
 Naapurin osoite (Peer Address)  
 RP osoite (Originator)

KUVIO 59. MSDP-tulokset, MetroCore2:n vastaanottama SA-cache

Multicast-liikennettä lähettävän laitteen IP-osoite siirtyy AS100-alueen sisällä PIM-domainissa RP:n kautta MSDP:lle. MSDP siirtää tämän tiedon SA-cache tiedossa naapurina toimivalle MSDP-laitteelle. Naapuri ilmoittaa tiedon eteenpäin oman PIM-alueen RP:lle. Kuviossa 60 nähdään MetroCore2-kytkimen PIM cache -tiedot.

```
* MetroCore2.43 # show pim cache
Index  Dest Group      Source                InUlan  Origin
[0000] 239.0.0.1        20.0.0.1 (WR)       (null)  Sparse
[0001] 239.0.0.1        222.222.222.2 (S)  route-to-metrocore1 Sparse

Number of multicast cache = 2

Entry flags :-
      R: RP tree. S: Source tree. W: Any source.
```

### KUVIO 60. MSDP-tulokset, MetroCore2, PIM cache -tiedot

Kuviossa nähdään, että lähettävän laitteen IP-osoite 222.222.222.2 on merkattu S-lippumerkinnällä. Tämä tieto kertoo lähteen multicast-liikenteelle ryhmään 239.0.0.1. Taulussa näkyy myös lähteenä 20.0.0.1 lippumerkinnöillä WR. Tämä lähde hyväksyy liikenteen multicast-ryhmään 239.0.0.1 mistä tahansa lähteestä ja toimii RP-puuna mahdollisesti saapuvalla liikenteelle.

WG2-R1-reitittimen multicast-reititystaulusta löytyy myös merkintä \*, 239.0.0.1. Reititin vastaanottaa mistä tahansa lähteestä osoitettua liikennettä multicast-ryhmään 239.0.0.1. Kuviossa 61 on esitetty WG2-R1:n multicast-reititystaulu.

```
WG2-R1#show ip mroute
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,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDI-data group sender,
       Y - Joined MDI-data group, y - Sending to MDI-data group,
       U - RD & Uvector, v - Uvector
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or UCD, State/Mode

(*, 239.255.255.250), 00:10:03/00:02:42, RP 0.0.0.0, flags: SJC
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:10:03/00:02:42

(*, 239.0.0.1), 00:02:10/stopped, RP 20.0.0.1, flags: SJC
  Incoming interface: FastEthernet0/1/1.944, RPF nbr 20.0.0.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:02:11/00:02:41

<222.222.222.2, 239.0.0.1>, 00:01:13/00:02:55, flags: JT
  Incoming interface: FastEthernet0/1/1.944, RPF nbr 20.0.0.1
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/0, Forward/Sparse, 00:01:13/00:02:41

(*, 224.0.1.40), 00:33:32/00:01:15, RP 0.0.0.0, flags: DCL
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1/1.944, Forward/Sparse, 00:33:32/00:01:15
```

### KUVIO 61. MSDP-tulokset, WG2-R1:n multicast-reititystaulu

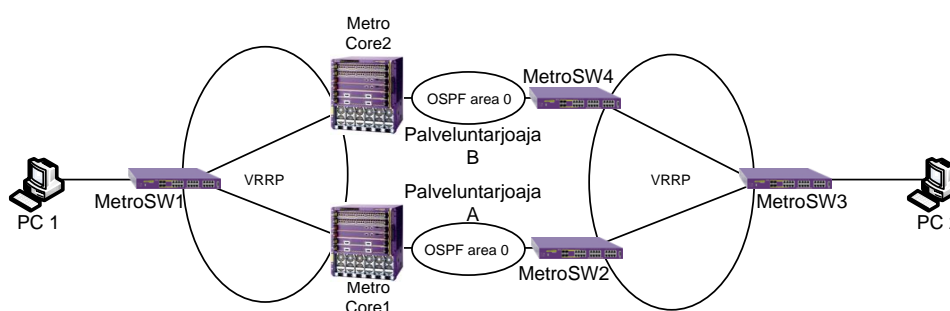
Punaisella merkattu alue kertoo liikenteen vastaanotosta mistä tahansa osoitteesta kunhan se on osoitettu multicast-ryhmään 239.0.0.1. Sisään tulevana rajapintana on MetroCore2:n RP:lle päin oleva rajapinta, koska käytettäessä sparse-modea tulee multicast-jakelupuun muodostua RP:n kautta tai lyhyimmän puun kautta. Merkatussa alueessa näkyy myös, että vastaanotto on pysäytetty, koska lyhin puu on muodostunut.

Sinisellä merkatussa alueessa on nähtävissä, että lyhimmän reitin puu on muodostunut RP:n kautta. Multicast-liikennettä lähettävän koneen IP-osoite on 222.222.222.2 ja multicast-ryhmä on 239.0.0.1. Tämä liikenne ohjataan laitteen FA0/1/0-rajapinnasta eteenpäin suoraan multicast-liikennettä vastaanottavalle laitteelle.

## 8.5 VRRP

### 8.5.1 Topologia ja laitteisto

VRRP-toimintoa testattaessa ei käytetty perustopologiaa vaan suunniteltiin uusi verkotopologia, jossa pystyttiin toteuttamaan redundanttisuus. Topologiaan luotiin kaksi toisistaan erillä olevaan verkkoa, joiden välille tehtiin reittitietojen vaihtaminen OSPF-tekniikalla. Nämä OSPF-alueet kuvastavat testausympäristössä palveluntarjoajaympäristöjä. Kuviossa 62 on esiteltyä verkkotopologia ja määritellyt ympäristöt, joissa VRRP:tä tutkitaan.



KUVIO 62. VRRP-tutkimusympäristö

Laitteistona käytettiin MetroSWx-laitteiden kohdalla Extreme Networksin summit x250e -kytkimiä ja MetroCore”x”-laitteiden kohdalla BlackDiamond 12802 -kytkimiä. Reunakytkimiin SW1 ja SW3 liitettiin normaalit kannettavat.

## 8.5.2 Tutkittavat kohteet

Tutkimuskohteena oli VRRP-toiminto ja kuinka redundanttisuus saadaan toimimaan Extreme Networks laitevalmistajan laitteilla. Kumpaankin VRRP-ympäristöön tuli luoda oma VRRP-instanssi ja määritellä tunnus tälle toiminnolle. Instanssissa tuli määritellä virtuaalinen IP-osoite, jota verkon laitteet pystyivät käyttämään yhdyskäytävänä. Palveluntarjoajaympäristöjen tuli mahdollistaa toisen VRRP-toiminnon omaavan verkon yhteydellisyys toiseen verkkoon mainostamalla reittitietoja. Kumpaankin VRRP-verkkoon määriteltiin master-roolin omaavat kytkimet, jotka hoitivat reititystä verkossa eteenpäin. Palveluntarjoajaverkon yhteydellisyyden katketessa näiden reitittimenä toimivien kytkimien tuli luovuttaa master-rooli backup-laitteena toimivalle kytkimelle ja yhteydellisyys piti muodostua backup-laitteiden kautta käyttäen toisen palveluntarjoajan yhteyttä. VRRP-toimintaa testattiin myös pingaamalla PC1-tietokoneella toisessa verkossa olevaa kannettavaa (PC2). Kun ping-pyyntöihin vastattiin normaalisti, voitiin irroittaa MetroCore1 – MetroSW2 välinen fyysinen kaapeli. Yhteyden tuli muodostua automaattisesti backup-reitittimenä toimivan laitteen kautta.

## 8.5.3 VRRP-konfigurointi

Topologian jokaiselle laitteelle konfiguroitiin laitenimet ja poistettiin käytöstä kaikki portit ennen varsinaista konfiguroinnin aloittamista.

```
#configure snmp sysname MetroCore1
#disable ports all
```

MetroCore1-, MetroCore2-, MetroSW2- ja MetroSW4-laitteille konfiguroitiin halutut portit käyttöön ja aktivoitiin reititystoiminto. Laitteista poistettiin myös kaikista rajapinnoista ”default vlan”. MetroSW1- ja MetroSW3-laitteet toimivat pelkkinä kytkiminä, joten näissä laitteissa otettiin vain halutut portit käyttöön, eikä ko. laitteita tarvitse konfiguroida enempää.

```
MetroCore1
#enable ports 1:3,1:6
#enable ipforwarding
#configure vlan default delete ports all
```

Yhteydellisyys laitteiden välillä toteutettiin luomalla vlan:it ja nimeämällä nämä kuvaamaan mihin ko. vlan on yhteydessä. Jokaiselle vlan:lle määritettiin IP-osoite ja liitettiin tiettyyn porttiin ilman VLAN tag-ID:tä. Jokaiseen luotuun virtuaaliseen verkkoon tuli ottaa käyttöön reititustoiminto, jotta verkon reititys toimii.

#### *MetroCore1*

```
#create vlan route-to-sisaverkko
```

```
#configure vlan route-to-sisaverkko ipaddress 192.168.0.1 255.255.255.0
```

```
#configure vlan route-to-sisaverkko add ports 1:3 untagged
```

```
#create vlan route-to-metroSW2
```

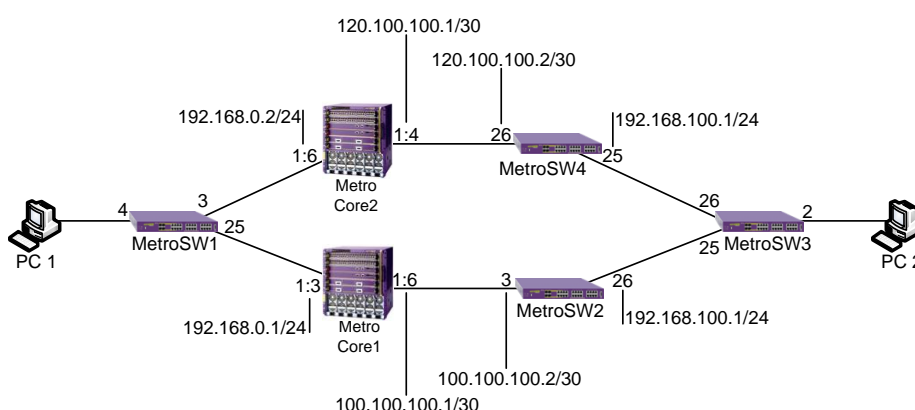
```
#configure vlan route-to-metroSW2 ipaddress 100.100.100.1 255.255.255.252
```

```
#configure vlan route-to-metroSW2 add ports 1:6 untagged
```

```
#enable ipforwarding vlan route-to-sisaverkko
```

```
#enable ipforwarding vlan route-to-metroSW2
```

Kuviossa 63 nähdään laitteille konfiguroidut IP-osoitteet ja mihin porttiin nämä on liitetty.



KUVIO 63. VRRP-ympäristön IP-osoitteet

OSPF-toiminnot luotiin MetroCore1 – MetroSW2 ja MetroCore2 – MetroSW4 laitteiden välille. Laitteille luotiin OSPF-instanssit ja määritettiin näille tunnus 0. OSPF-toimintoihin määritettiin, että mikä verkko liitetään toimintoon ja mikä ko. verkon OSPF-alue on. Jotta yhteydellisyys verkosta toiseen toimii, jouduttiin OSPF-toimintoihin määrittelemään myös sisäverkkojen suoraan kytkettyjen yhteyksien mainostaminen OSPF-reittimainostuksissa.



```
MetroCore1
#create ospf area 0.0.0.0
#configure ospf add route-to-metroSW2 area 0.0.0.0
#enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
```

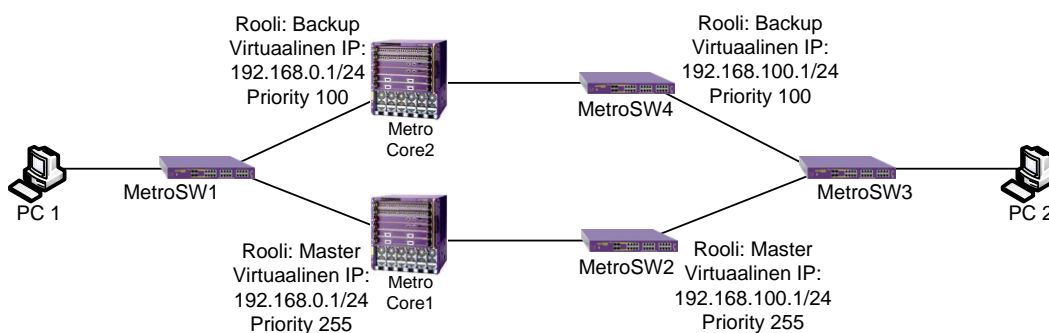
Kumpaankin sisäverkkoon tuli luoda VRRP-instanssi toimintaan. Instanssi tuli määrittellä toimimaan sisäverkossa. Toiminnolle tuli myös määrittellä tunniste ”vrid”.

```
MetroCore1
# create vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1
```

Vrid määrittää myös VRRP-reitittimelle virtuaalisen MAC-osoitteen. MAC-osoite muodostuu 00 00 5E 00 01 <vrid>. Kun sisäverkkoihin oli määritelty VRRP, tuli määrittää kummassa sisäverkon kytkimistä toimii master-virtuaalireititintoiminto. Määritetty master-laite suorittaa näin ollen yhdyskäytävän virkaa ja mainostaa omaa virtuaalista MAC-osoitettaan ARP-kyselyissä verkon laitteille. Master-rooli sisäverkossa valittiin priority-arvoa muuttamalla. Oletuksena kun VRRP otetaan käyttöön, on priority-arvo 100. Priority-arvon ollessa 255 tulee ko. virtuaalireitittimestä automaattisesti master-laite. MetroCore1 – MetroCore2 ja MetroSW2 – MetroSW4 laitteille määritettiin myös VRRP-toimintoon virtuaaliset IP-osoitteet, jotka toimivat yhdyskäytävä-osoitteina. Sisäverkoissa olevat laitteet tietävät yhdyskäytäväosoitteen ja virtuaalisen MAC-osoitteen. Vian sattuessa backup-reititin osaa vastaanottaa tähän MAC-osoitteeseen tulevan liikenteen ja ohjata sen eteenpäin.

```
MetroCore1
#configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 priority 255
#configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 add 192.168.0.1
```

Kuviossa 64 nähdään VRRP-toimintojen virtuaaliset yhdyskäytäväosoitteet, laitteiden roolit ja priority-arvot.



KUVIO 64. VRRP-roolit

Jotta virtuaalinen reititin osaa tehdä master-roolin luovutuksen backup-reitittimenä toimivalle virtuaalireitittimelle oikealla hetkellä, määritettiin IP-reitittiedon seuraus päälle. Toiminto seuraa kytkimissä OSPF-reititysprotokollan muodostamaa reititystaulua ja ko. taulussa tiettyä reittiä. Toiminto piti laittaa kaikkiin laitteisiin, joissa VRRP-instanssit olivat käytössä.

#### *MetroCore1*

```
# configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 add track-iproute 192.168.100.0/24
```

Jos reititieto ei ole kytkimen reititystaulussa, muuttaa master-VRRP-reititin priority-arvokseen 0. Backup-reititin omaksuu master-roolin ja vastaanottaa tämän jälkeen master-reitittimen virtuaaliseen MAC-osoitteeseen osoitettua liikennettä. Sama toiminto on toteutettu kumpaankin sisäverkkoon.

Peruskytkiminä toimivat MetroSW1 ja MetroSW3 suorittavat kytkintoimintoa ja näille laitteille ei tarvinnut laittaa mitään toimintoja käyttöön. Topologian neljälle muulle laitteelle aktivoitiin OSPF ja VRRP päälle alla olevilla komennoilla.

```
#enable ospf  
#enable vrrp
```

VRRP-tutkimusympäristön laitteiden konfiguraatiot löytyy liitteistä 21 – 26.

## 8.5.4 VRRP-tulokset

### 8.5.4.1 OSPF-toimivuus

Jotta yhteydellisyys kahden eri verkon välillä toimii, joudutaan välittämään reittitiedot verkkojen välisillä reitittimillä. Topologiassa oli konfiguroitu MetroCore1 ja MetroSW2 mainostamaan toisilleen reittitietoja suoraan yhdistetyistä verkoista. Myös MetroCore2 ja MetroSW4 välittivät toisilleen vastaavat tiedot. Kuviossa 65 nähdään MetroCore1:n reititystaulu. Kuviossa on myös nähtävissä MetroSW2:n mainostama 192.168.100.0/24 verkko.

```

Ori Destination Gateway Mtr Flags VLAN Duration
#d 100.100.100.0/30 100.100.100.1 1 U-----um--f- route-to-metroSW2 0d:
0h:6m:48s
#d 192.168.0.0/24 192.168.0.1 1 U-----um--f- route-to-sisaverkko 0
d:0h:6m:49s
#o1 192.168.100.0/24 100.100.100.2 6 UG-D---um--f- route-to-metroSW2 0d:
0h:1m:3s

```

KUVIO 65. VRRP-tulokset, MetroCore1-reititystaulu

Myös MetroSW2:n piti mainostaa suoraan yhdistetyt verkkonsa OSPF-tekniikkaa käyttäen. Kuviossa 66 nähdään MetroSW2:n reititystaulu ja taulussa on myös MetroCore1:n mainostama verkko 192.168.0.0/24.

```

Ori Destination Gateway Mtr Flags VLAN Duration
#d 100.100.100.0/30 100.100.100.2 1 U-----um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:4m:41s
#o1 192.168.0.0/24 100.100.100.1 6 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:3m:56s
#d 192.168.100.0/24 192.168.100.1 1 U-----um--f- route-to-metroSW3 0d:
0h:4m:41s

```

KUVIO 66. VRRP-tulokset, MetroSW2-reititystaulu

MetroCore2 – MetroSW4 laitteiden välillä tapahtuva reittitietojen vaihto toimi myös aikaisemmin esitettyjen kuvioden mukaan. Laitteet vaihtoivat reititystietonsa normaalisti.

### 8.5.4.2 Master/backup-reitittimien tarkastelu

Topologiaan oli luotu kumpaankin sisäverkkoon VRRP-toiminto, jossa oli määritelty virtuaalinen master-reititin ja tälle backup-reititin. MetroCore1-laite oli konfiguroitu master-reitittimeksi määrittelemällä priority-arvoksi 255. Kuviossa 67 on MetroCore1 #show vrrp detail tulokset kun vrrp on aktivoitu.

```

ULAN: route-to-sisaverkko      URID: 1          URRP: Enabled State: MASTER
Virtual Router: UR-Default
Priority: 255(master) Advertisement Interval: 1 sec
Preempt: Yes      Authentication: None
Virtual IP Addresses:
  192.168.0.1
Tracking mode: ALL
Tracked Pings: -
Tracked IP Routes: 192.168.100.0/255.255.255.0
Tracked ULANs: -
  * indicates a tracking condition has failed

```

#### KUVIO 67. VRRP-tulokset, MetroCore1:n VRRP-toiminto

Kuviossa näkyy, että MetroCore1-laitteessa toimii VRRP master-reititin ja priority-arvo on 255, joka määrää laitteen VRRP-toiminnon automaattisesti master-tilaan. MetroCore1 – MetroCore2 verkkoon oli myös määritelty virtuaalinen IP-osoite 192.168.0.1. Master-roolin vaihtumiseen tulee ”tracked IP routes” kohdassa mainitun IP-osoitteen puuttua MetroCore1-laitteen reititystaulusta. Kyseinen kohta on MetroSW2:n mainostama reititieto.

MetroCore2-laitteen VRRP-toimintoon oli määritelty priority-arvoksi 100, joka on myös default-arvo. Laite toimii backup-reitittimenä VRRP-toiminnolle. Kuviossa 68 MetroCore2:n #show vrrp detail tiedot.

```

ULAN: route-to-sisaverkko      URID: 1          URRP: Enabled State: BACKUP
Virtual Router: UR-Default
Priority: 100(backup) Advertisement Interval: 1 sec
Preempt: Yes      Authentication: None
Virtual IP Addresses:
  192.168.0.1
Tracking mode: ALL
Tracked Pings: -
Tracked IP Routes: 192.168.100.0/255.255.255.0
Tracked ULANs: -
  * indicates a tracking condition has failed

```

#### KUVIO 68. VRRP-tulokset, MetroCore2:n VRRP-toiminto

Myös MetroCore2 pitää sisällään virtuaalisen IP-osoitteen 192.168.0.1 ja laite seuraa MetroSW4-laitteen mainostaa verkko-osoitetta reittitaulustaan. MetroCore1-laitteessa pyörivän master-reitittimen virtuaalinen MAC-osoite muokkaantui 00 00 5e 00 01 <vrid> perusteella. Kuviossa 69 on MetroCore2:n VRRP-toiminnossa nähtävä sama MAC-osoite master-laitteelle.

```

      VLAN Name  URID  Pri  Virtual IP Addr  State  Master Mac Address  Virtual-Router
route-t(En)  0001  100  192.168.0.1      BKUP   00:00:5e:00:01:01   UR-Default

En-Enabled, Ds-Disabled, Pri-Priority

```

KUVIO 69. VRRP-tulokset, MetroCore2:n VRRP MAC-osoite

#### 8.5.4.3 Master-roolin luovutus

Master-roolin luovutus testattiin katkaisemalla linkkiväli MetroCore1- ja MetroSW2-laitteiden välistä. MetroSW2-laite ei enää voinut mainostaa OSPF:n avulla reittitietoja MetroCore1-laitteelle ja MetroCore1-laitteen reititystaulusta ei enää löytynyt 192.168.100.0/24 verkkoon reittiä. Kuviossa 70 nähdään MetroCore1-laitteen VRRP-tila linkkivälin katkaisun jälkeen.

```

VLAN: route-to-sisaverkko      URID: 1      VRRP: Enabled State: INIT
Virtual Router: UR-Default
Priority: 255(master) Advertisement Interval: 1 sec
Preempt: Yes Authentication: None
Virtual IP Addresses:
192.168.0.1
Tracking mode: ALL
Tracked Pings: -
Tracked IP Routes: *192.168.100.0/255.255.0
Tracked VLANs: -
* indicates a tracking condition has failed

```

KUVIO 70. VRRP-tulokset, MetroCore1:n VRRP-tila linkkivälin katketessa

VRRP-toiminnossa priority-arvo säilyy samana yhteyden katketessa. VRRP-toiminto siirtyy INIT (initiating)-tilaan ja rupeaa lähettämään multicast-mainoksissaan priority-arvoa 0, joka kertoo master-roolin luovutuksesta. MetroCore2-laite vastaanottaa tämän ilmoituksen ja rupeaa toimimaan master-roolissa vastaanottaen virtualiseen MAC-

osoitteeseen osoitettua liikennettä. Vastaavasti sama tapahtumaketju toteutuu toisessa sisäverkossa. Kuviossa 71 on esitetty MetroSW4-laitteen VRRP-tila kun linkkiyhteys on katkaistu MetroCore1- ja MetroSW2-laitteen väliltä.

```

VLAN: route-to-metroSW3      URID: 1      VRRP: Enabled State: MASTER
Virtual Router: UR-Default
Priority: 100(backup) Advertisement Interval: 1 sec
Preempt: Yes Authentication: None
Virtual IP Addresses:
  192.168.100.1
Tracking mode: ALL
Tracked Pings: -
Tracked IP Routes: 192.168.0.0/255.255.255.0
Tracked VLANs: -
* indicates a tracking condition has failed

```

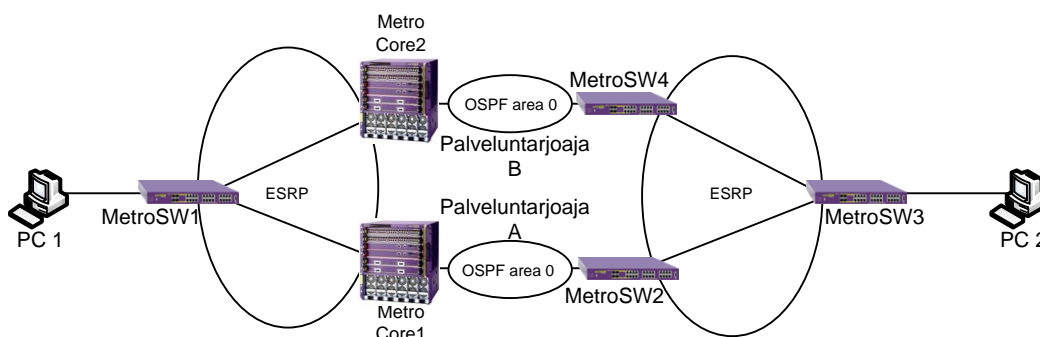
KUVIO 71. VRRP-tulokset, MetroSW4:n VRRP-tila linkkivälin katketessa

MetroSW4-laite vastaanottaa master-tilan luovutuksesta ilmoituksen MetroSW2-laitteelta ja muuttaa oman VRRP-toiminnon tilan master-tilaan. MetroSW4-laite rupeaa myös vastaanottamaan virtuaaliseen MAC-osoitteeseen osoitettua liikennettä ja liikenne kulkee laitteen kautta ulkoverkkoon.

## 8.6 ESRP

### 8.6.1 Topologia ja laitteisto

ESRP:tä tutkittaessa käytettiin samaa topologiaa kuin VRRP-tutkimuskohdassa. Topologian sisäverkkoihin luotiin ESRP-instanssit, jotka toteuttavat redundanttisuutta sisäverkkojen kytkimien MetroSW1- ja MetroSW3-liitetyille laitteille. Kuviossa 72 on esitetty tutkimusympäristön verkkotopologia.



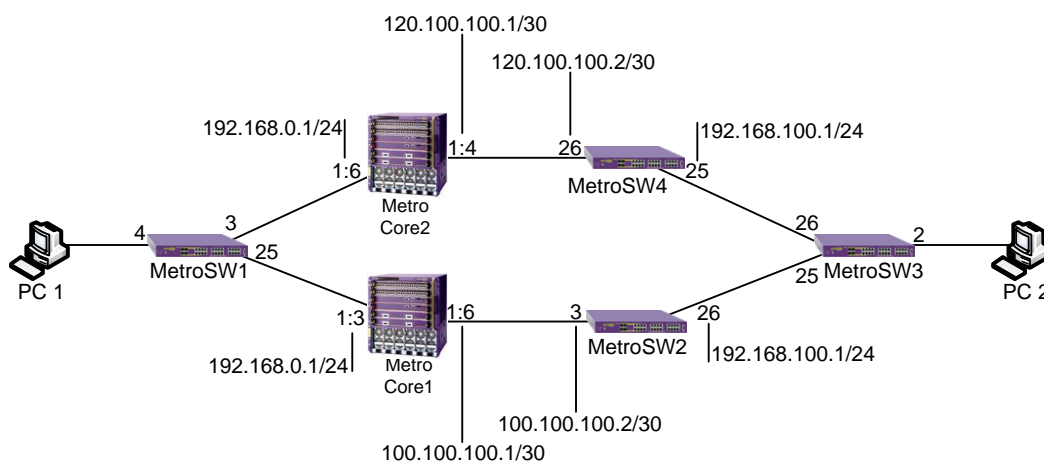
KUVIO 72. ESRP-tutkimusympäristö

### 8.6.2 Tutkittavat kohteet

Yhteydellisyden PC1-laitteesta PC2-laitteeseen tuli olla redundanttinen vaikka linkkiväli ”Palveluntarjoaja A” katkeaa. ESRP-instansseihin määritettyjen priority-arvojen perusteella, ESRP toiminnon tuli suorittaa vaalivalinta ja valita aktiivinen ESRP-instanssissa toimiva laite. Tutkimusympäristössä MetroCore1 – MetroSW2 linkkivälin katketessa ESRP-instanssien tuli vapauttaa näissä laitteissa toimivat ESRP-master tilat. Laitteissa MetroCore2 ja MetroSW4 aktivoituu master-toiminto ja yhdyskäytäväosoite.

### 8.6.3 ESRP-konfigurointi

Laitteissa käytettiin konfiguraatiopohjana VRRP-tutkimuskohdassa määriteltyjä perusasetuksia kuten laitteiden nimeämiskäytäntöä ja porttien käyttöönottoa. Palveluntarjoajaverkkojen välinen yhteydellisyys oli konfiguroitu aikaisemmassa tutkimuskohdassa sekä näiden välinen OSPF-protokollan toimivuus. ESRP-instanssin luominen kumpaankin sisäverkkoon vaati kaikkien sisäverkkoon kuuluvien laitteiden lisäkonfiguroinnin peruskonfiguraatioiden lisäksi. Kumpaankin sisäverkkoon luotiin yksi yhdyskäytäväosoite, jota käytettiin ESRP-instanssissa toimivien aktiivilaitteiden rajapintojen IP-osoitteena. Kuviossa 73 on esitetty tutkimusympäristön IP-osoitteet, ja laitteiden portit.



KUVIO 73. ESRP-ympäristön IP-osoitteet

#### MetroCore1-konfigurointi

Kytkimeen luotiin ESRP-instanssi ”sisaverkkoESRP” nimellä. Luotuun instanssiin määritettiin domain-id -arvoksi 5000. Tutkimusympäristössä ei sisäverkoilla ole erillistä VLAN id -tunnusta, joten suojattu sisäverkon liikenne kulkee laitteiden välillä ilman tunnistetta. Domain-id on pakko määrittää tässä tapauksessa, jotta ESRP-instanssi tietää mistä domainista käsiteltävä liikenne saapuu.

```
#create esrp sisaverkkoESRP
#configure esrp sisaverkkoESRP domain-id 5000
```



Seuraavaksi tuli määrittää mikä verkko on master-verkko. Tämän verkon liikenne on yhdistetty ESRP-instanssiin suojatuksi yhteydeksi ja ESRP PDU -ilmoitukset kulkevat tässä verkossa.

```
#configure esrp sisaverkkoESRP add master sisaverkko
```

MetroCore1-kytkin määritettiin toimimaan sisäverkon ESRP-domainissa master-tilassa asettamalla priority-arvoksi 10. ESRP-domainissa master-tilassa toimiva laite valitaan vaalialgoritmin perusteella. Extreme Networksin kytkimissä on mahdollista käyttää 15 erilaista variaatiota minkä perusteella master-tila valitaan. Kaikkiin topologian laitteisiin asetettiin vaalialgoritmiksi priority-arvo > mac-osoite. Priority-arvo ja vaalialgoritmin valinta konfiguroitiin alla olevan konfiguraation mukaisesti.

```
#configure esrp sisaverkkoESRP priority 10  
#configure esrp sisaverkkoESRP election-policy priority > mac
```

ESRP-instanssiin määritettiin myös track-vlan päälle, joka seuraa VLAN-yhteyttä ja sen tilaa. MetroCore1-laitteeseen määritettiin track-vlan seuraamaan MetroSW2-laitteelle olevaa VLAN-yhteyttä. Jos yhteys katkeaa, vapauttaa MetroCore1-laite oman master-tilansa ESRP-domainissa ja liikenne kulkee MetroCore2-laitteen kautta, koska tällä on toiseksi suurin priority-arvo domainissa.

```
#configure esrp sisaverkkoESRP add track-vlan route-to-metroSW2
```

ESRP-konfiguroinnin jälkeen tuli instanssi käynnistää kytkimessä.

```
#enable esrp sisaverkkoESRP
```

### **MetroSW1-konfigurointi**

Peruskonfiguraation ollessa valmiina tuli laitteeseen tehdä ESRP-instanssi ja määrittää tämä toimimaan ESRP-aware -tilassa. Konfigurointi aloitettiin luomalla VLAN ”sisaverkko” ja määrittelemällä tälle yhdyskäytävänä käytetty IP-osoite.

```
#create vlan sisaverkko
#configure vlan sisaverkko ipaddress 192.168.0.1 255.255.255.0
```

Seuraavaksi luotiin ESRP-prosessi ja asetettiin domain-id -arvoksi 5000. Suojatuksi verkoksi määritettiin aikaisemmin luotu sisäverkko.

```
#configure esrp sisaverkkoESRP domain-id 5000
#configure esrp sisaverkkoESRP add master sisaverkko
```

Instanssin priority-arvoksi asetettiin 2 ja vaalialgoritmiksi priority >mac. Selektiiviksi porteiksi määritettiin portit 3 ja 25. Selektiivinen ohjaus määrittää mihin portteihin ko. ESRP-domainissa liikkuvia ESRP PDU:ita ohjataan. Oletuksena kytkin lähettää domainissa liikkuvat PDU:t kaikkiin portteihin, joihin master VLAN on liitetty. Tämä taas saattaa aiheuttaa turhaa verkkoliikennettä laitteille, jotka eivät kuulu samaan ESRP-ryhmään. Tässä tapauksessa porttiin 4 ei tarvitse lähettää näitä tietoja, koska porttiin on liitetty tietokone.

```
#configure esrp sisaverkkoESRP priority 2
#configure esrp sisaverkkoESRP election-policy priority > mac
#configure esrp sisaverkkoESRP aware add selective-forward-ports 3, 25
```

## **MetroCore2-konfigurointi**

Kytkimeen oli valmiina peruskonfiguraatiot aikaisemmasta tutkimuskohdasta. Laitteen konfiguroitiin vastaavasti kuin MetroCore1-laite, mutta sisäverkon ESRP-instanssiin määritettiin priority-arvoksi 5 ja seurattu track-vlan oli MetroSW4-laitteelle oleva VLAN.

## **MetroSW2- ja MetroSW4-konfigurointi**

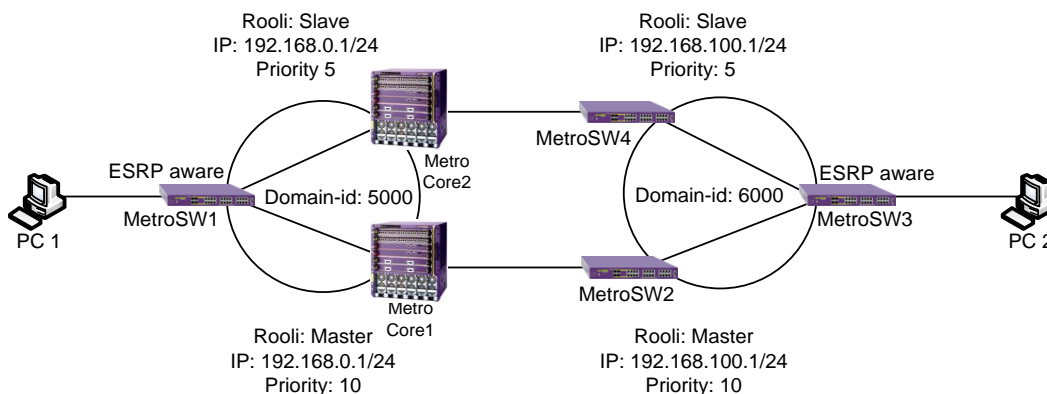
Laitteisiin oli valmiit peruskonfiguraatiot aikaisemmasta VRRP-tutkimuskohdasta. Sisäverkon VLAN-rajapinnan IP-osoitteeksi määritettiin kumpaankin laitteeseen 192.168.100.1, joka toimi yhdyskäytäväosoitteena tietokoneelle. Laitteisiin luotiin ESRP-instanssi ”ulkoverkkoESRP” ja määritettiin vastaavat konfiguraatiot kuin MetroCore1- ja MetroCore2-laitteille vaihtamalla ainoastaan master VLAN ja track-vlanit vastaamaan oikeita tietoja.

## MetroSW3-konfigurointi

Konfigurointi oli vastaava kuin MetroSW1-laitteessa pienin muutoksin. Sisäverkon IP-osoite muuttui vastaamaan oikeaa IP-osoitetta, ESRP-instanssin domain-id -arvoksi asetettiin 6000 ja selektiiviset portit muuttuivat porteiksi 25 ja 26.

## ESRP-domain alueet

Kuviossa 74 on esitetty topologiassa olevat ESRP-domain alueet, näissä olevien laitteiden priority-arvot ja laitteiden toimintatilat.



KUVIO 74. ESRP-domain alueet

Tutkimusympäristössä käytettyjen laitteiden konfiguraatiot on esitetty liitteissä 27 – 32.

### 8.6.4 ESRP-tulokset

Reittitietojen vaihtuminen kahden eri sisäverkon välillä toimi normaalin OSPF-protokollan mukaisesti niissä laitteissa, jotka toimivat ESRP-instanssissa master-tilassa. Reittitiedot vaihtuivat MetroCore1- ja MetroSW2-laitteiden välillä normaalisti. Kuviossa 75 nähdään MetroCore1-laitteen reititystaulu ja siihen saapunut ilmoitus OSPF-protokollalla verkosta 192.168.100.0/24.

```
* MetroCore1.27 # show ospf
ospf          Show ospf
ospfv3       OSPF for IPv6 CLI command
* MetroCore1.27 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags ULAN Duration
#d 100.100.100.0/30 100.100.100.1 1 U-----um--f- route-to-metroSW2 0d:
0h:3m:35s
#d 192.168.0.0/24 192.168.0.1 1 U-----um--f- sisaverkko 0d:0h:3m:3
6s
#o1 192.168.100.0/24 100.100.100.2 6 UG-D---um--f- route-to-metroSW2 0d:
0h:1m:15s
```

#### KUVIO 75. ESRP-tulokset, MetroCore1-reititystaulu

Jokainen laite oli konfiguroitu toimimaan määritellyssä tilassa. ESRP-instanssi ”sisaverkko” konfiguroitiin MetroCore1-, MetroCore2- ja MetroSW1-laitteisiin niin, että MetroCore1-laitteen tuli toimia master-tilassa, MetroCore2-laitteen slave-tilassa ja MetroSW1 aware-tilassa. Kuvioissa 76 – 78 on esitetty näiden laitteiden show esrp komennolla laitteiden toimintatilat (state).

```
* MetroCore1.26 # show esrp
Configured Mode:          Extended
# ESRP domain configuration :
-----
Domain Grp Ver ULAN  UID  DId  IP/IPX          State Master MAC Address Nbr
-----
sisaverkkoESRP 0  E  sisaverkko 4094 5000 192.168.0.1      Master 00:04:96:1e:
ab:f0 1
```

#### KUVIO 76. ESRP-tulokset, MetroCore1:n ESRP-toimintatila

```
* MetroCore2.26 # show esrp
Configured Mode:          Extended
# ESRP domain configuration :
-----
Domain Grp Ver ULAN  UID  DId  IP/IPX          State Master MAC Address Nbr
-----
sisaverkkoESRP 0  E  sisaverkko 4094 5000 192.168.0.1      Slave 00:04:96:1e:
ab:f0 1
```

#### KUVIO 77. ESRP-tulokset, MetroCore2:n ESRP-toimintatila

```
* MetroSW1.12 # show esrp
Configured Mode:          Extended
# ESRP domain configuration :
-----
Domain Grp Ver ULAN  UID  DId  IP/IPX          State Master MAC Address Nbr
-----
sisaverkkoESRP 0  E  sisaverkko 4094 5000 192.168.0.1      Aware 00:00:00:00:
00:00 0
```

#### KUVIO 78. ESRP-tulokset, MetroSW1:n ESRP-toimintatila

MetroCore1-laite konfiguroitiin master-tilaan määrittelemällä ESRP-instanssin priority-arvoksi 10. MetroCore2-laitteeseen taas asetettiin priority-arvoksi 5. Vastaavasti MetroSW2 ja MetroSW4 saivat samanlaiset arvot. Toinen ESRP-instanssi konfiguroitiin domain-tunnuksella 6000 ja toinen 5000. Kummassakin verkossa olevat ESRP-domainit toimivat extended-tilassa, joka on oletustoimintatila. Extended-tila tukee ainoastaan laitteita, joissa on käytössä ExtremeXOS-käyttäjärjestelmä. Kuviossa 79 nähdään MetroCore1-laitteen ESRP-toiminnon tila.

```
* MetroCore1.29 # show esrp "sisaverkkoESRP"
```

```
Domain:                sisaverkkoESRP
Group:                 0
Operational Version:  extended
Ulan Interface:       sisaverkko
Ulan Tag:              4094
Domain Id:             5000
IP Address:            192.168.0.1          192.168.0.1
Domain Type            Standard
Election Policy:      standby > priority > mac
```

	This System	Neighbor system
State:	Master	Slave
Priority:	10 [10 ]	5
MAC:	00:04:96:1e:ab:f0	00:04:96:1e:6c:10
Active Ports:	1	1
Tracked Active Ulan Ports:	1	1
Tracked IP Routes & Pings:	0	0
Sticky Flag:	0	0
Active Ports Weight:	1000	100
Hello Timeout:	2	2
Sequence Number:	467	26
Hand Shake Flag:	0	0
Restart Flag:	0	0
Shutdown Flag:	0	0

KUVIO 79. ESRP-tulokset, MetroCore1:n ESRP-toiminto

Kuviossa näkyy domainin id -tunnus, joka on 5000. ESRP-instanssille on määritelty IP-osoitteeksi 192.168.0.1, jota käytetään yhdyskäytäväosoitteena. Käskyn avulla nähdään myös tila, joka laitteella on. MetroCore1 toimii master-tilassa ja naapurina oleva laite toimii slave-tilassa priority-arvolla 5. Kuviossa 80 on vastaavasti MetroCore2-laitteen ESRP-tiedot.

```
* MetroCore2.30 # show esrp "sisaverkkoESRP"
```

```
Domain:                sisaverkkoESRP
Group:                 0
Operational Version:  extended
Ulan Interface:       sisaverkko
Ulan Tag:             4094
Domain Id:            5000
IP Address:           192.168.0.1          192.168.0.1
Domain Type           Standard
Election Policy:
standby > priority > mac
```

	This System	Neighbor system
State:	Slave	Master
Priority:	5 15 1	10
MAC:	00:04:96:1e:6c:10	00:04:96:1e:ab:f0
Active Ports:	1	1
Tracked Active Ulan Ports:	1	1
Tracked IP Routes & Pings:	0	0
Sticky Flag:	0	0
Active Ports Weight:	100	1000
Hello Timeout:	2	2
Sequence Number:	26	492
Hand Shake Flag:	0	0
Restart Flag:	0	0
Shutdown Flag:	0	0

KUVIO 80. ESRP-tulokset, MetroCore2:n ESRP-toiminto

MetroSW2-laite oli konfiguroitu priority-arvolla 10 ESRP-instanssiin, joka toimi ulkoverkossa domain id -tunnuksella 6000. Kuviossa 81 nähdään MetroSW2 ESRP-tiedot ja naapurina toimivan MetroSW4-tiedot.

```
* MetroSW2.2 # show esrp "ulkoverkkoESRP"
```

```
Domain:                ulkoverkkoESRP
Group:                 0
Operational Version:  extended
Ulan Interface:       route-to-metroSW3
Ulan Tag:             4093
Domain Id:            6000
IP Address:           192.168.100.1      192.168.100.1
Domain Type           Standard
Election Policy:
standby > priority > mac
```

	This System	Neighbor system
State:	Master	Slave
Priority:	10 [10 ]	5
MAC:	00:04:96:28:35:c4	00:04:96:28:36:ce
Active Ports:	1	1
Tracked Active Ulan Ports:	1	1
Tracked IP Routes & Pings:	0	0
Sticky Flag:	0	0
Active Ports Weight:	1000	1000
Hello Timeout:	2	2
Sequence Number:	629	27
Hand Shake Flag:	0	0
Restart Flag:	0	0
Shutdown Flag:	0	0

KUVIO 81. ESRP-tulokset, MetroSW2:n ESRP-toiminto

Redundanttisuus testattiin katkaisemalla yhteys MetroCore1- ja MetroSW2-laitteen väliltä. Tämä aiheutti kummassakin laitteessa ESRP-tilamuutoksen ja ilmoituksen ESRP-domainiin master-tilan luovutuksesta. Kuviossa 82 nähdään MetroCore1-laitteen ESRP-tiedot.

```
* MetroCore1.29 # show esrp "sisaverkkoESRP"
Domain:                sisaverkkoESRP
Group:                 0
Operational Version:  extended
Ulan Interface:       sisaverkko
Ulan Tag:              4094
Domain Id:             5000
IP Address:            192.168.0.1          192.168.0.1
Domain Type:          Standard
Election Policy:      standby > priority > mac
-----
```

	This System	Neighbor system
State:	Slave	Master
Priority:	255[10 1	5
MAC:	00:04:96:1e:ab:f0	00:04:96:1e:6c:10
Active Ports:	1	1
Tracked Active Ulan Ports:	0	1
Tracked IP Routes & Pings:	0	0
Sticky Flag:	0	0
Active Ports Weight:	1000	100
Hello Timeout:	2	2
Sequence Number:	741	112
Hand Shake Flag:	0	0
Restart Flag:	0	0
Shutdown Flag:	0	0

KUVIO 82. ESRP-tulokset, MetroCore1:n ESRP-tilamuutos

MetroCore1-laite on seurannut linkkiväliä MetroSW2-laitteelle ja kun tämä yhteys ei ole enää käytettävissä, muuttaa laite priority-arvokseen 255 ja siirtyy ”standby”-tilaan. Naapurina toimiva laite saa tiedon master-tilan luovutuksesta ja siirtyy itse toimimaan master-tilassa, koska domainissa ei ole korkeammalla prioriteetillä toimivia laitteita. Kuviossa 83 nähdään MetroSW4-laitteen ESRP-tila kun MetroSW2 on ilmoittanut master-tilan luovutuksesta priority-arvoa muuttamalla.

```
* MetroSW4.1 # show esrp "ulkoverkkoESRP"
Domain:                ulkoverkkoESRP
Group:                 0
Operational Version:  extended
Ulan Interface:       route-to-metroSW3
Ulan Tag:              4093
Domain Id:             6000
IP Address:            192.168.100.1          192.168.100.1
Domain Type:           Standard
Election Policy:       standby > priority > mac
```

	This System	Neighbor system
State:	Master	Slave
Priority:	5 [5 1]	255
MAC:	00:04:96:28:36:ce	00:04:96:28:35:c4
Active Ports:	1	1
Tracked Active Ulan Ports:	1	0
Tracked IP Routes & Pings:	0	0
Sticky Flag:	0	0
Active Ports Weight:	1000	1000
Hello Timeout:	2	2
Sequence Number:	39	685
Hand Shake Flag:	0	0
Restart Flag:	0	0
Shutdown Flag:	0	0

### KUVIO 83. ESRP-tulokset, MetroSW4:n ESRP-tilamuutos

Kun master-tilat siirtyvät MetroCore2- ja MetroSW4-laitteille, aktivoituu näissä laitteissa sisäverkon rajapinnat. Rajapintoihin on määritetty yhdyskäytäväosoitteet, mutta nämä rajapinnat eivät ole olleet aktiivisina, koska ESRP-instanssi on sulkenut ne. Rajapintojen aktivoituminen näkyy myös MetroCore2:n ja MetroSW4:n reititystauluissa. Laitteiden toimiessa slave-tilassa ei reititystauluissa ollut ulkoverkoista merkintää, koska ulkoverkko ei ollut aktiivinen OSPF-prosessiin osallistuneessa laitteessa. Kuviossa 84 on MetroCore2-laitteen reititystaulu, jossa näkyy toisen verkon verkko-osoite 192.168.100.0/24.

```
* MetroCore2.29 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags ULAN Duration
#d 120.100.100.0/30 120.100.100.1 1 U-----um--f- route-to-metroSW4 0d:
0h:5m:54s
#d 192.168.0.0/24 192.168.0.1 1 U-----um--f- sisaverkko 0d:0h:5m:5
4s
#o1 192.168.100.0/24 120.100.100.2 5 UG-D---um--f- route-to-metroSW4 0d:
0h:0m:7s
```

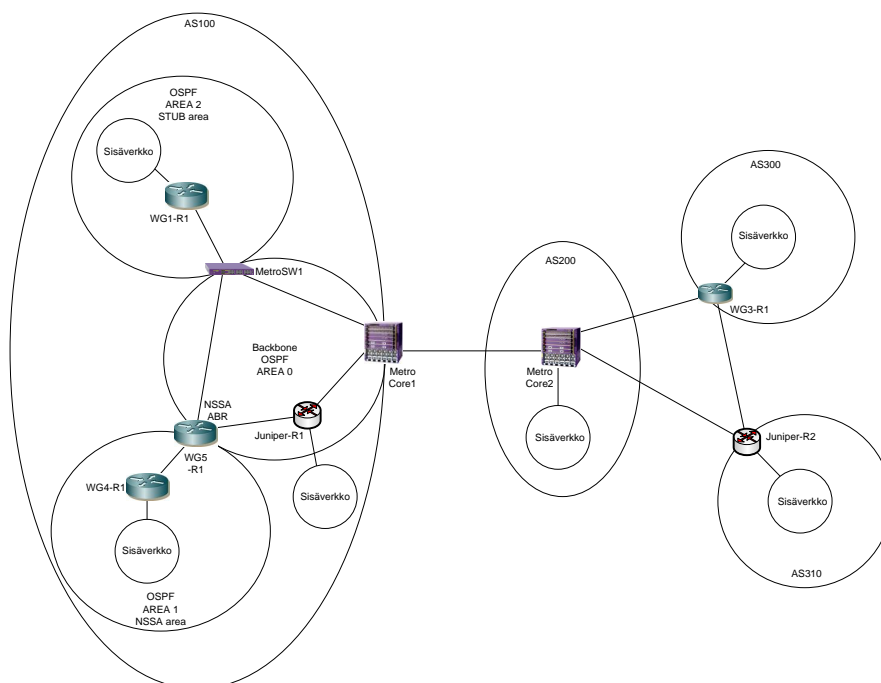
### KUVIO 84. ESRP-tulokset, MetroCore2-reititystaulu ESRP-masterin vaihtuessa



## 8.7 Routing policy

### 8.7.1 Topologia ja laitteisto

Topologiana käytettiin perustopologiaa, johon oli konfiguroitu aikaisemmin toteutettu OSPF- ja BGP-toiminto. Ympäristössä toimii reittitietojen mainostus eri AS-alueiden välillä ja yritysverkossa. Laitteistona käytettiin Extreme Networksin BlackDiamond 12802 -kytkimiä, Ciscon 2821- ja Juniperin J2320-reitittimiä. Kuviossa 85 AS-alueista muodostuva topologia, johon on implementoitu OSPF- ja BGP-toiminto.



KUVIO 85. Routing policy -tutkimusympäristö

### 8.7.2 Tutkittavat kohteet

#### Route aggregation

Yritysverkon backbone-verkossa olevien laitteiden linkkivälit mainostuvat OSPF:llä MetroCore1-kytkimelle ja tästä BGP:llä eteenpäin. Route aggregation yhdistää nämä verkot ja mainostaa ainoastaan yhtä reittitietoa BGP:n reittimainostuksissa

## **Mainostettavien reittitietojen muokkaus**

MetroCore1-laitteen reititystaulussa olevaa 192.168.100.0/24 verkkoa ei mainosteta ollenkaan BGP:llä muille AS-alueille. Route Policyillä voidaan muokata mitä reittitietoja halutaan tai ei haluta mainostaa reititysprotokollalla.

## **AS-numeron muuttaminen reittitietoon**

Tietystä AS-alueesta saapuvat reittitiedot välitetään BGP:llä normaalisti eteenpäin, mutta BGP:n mainostamaan reittitietoon voidaan muuttaa AS-alueen numero. Tämän avulla voidaan ohjata liikenne kulkemaan mainostettavaan AS-alueeseen toisen AS-alueen kautta. Pelkkä AS-numeron muuttaminen ei mahdollista yhteydellisyyttä johtuen reittitiedoissa olevasta next-hop -osoitteesta, joka viittaa aina saapuvan AS-alueen reunareitittimen rajapintaan. Next-hop -osoite tulee määrittää niin, että AS-alue ja IP-osoite viittaavat samaan alueeseen minkä kautta liikenne halutaan ohjata.

## **AS-numeron lisääminen reittitietoon**

AS-alueista saapuviin BGP-reittimainostuksiin voidaan lisätä haluttujen AS-alueiden numeroita.

## **8.7.3 Konfigurointi**

Konfigurointi toteutettiin MetroCore1- tai MetroCore2-laitteelle tutkittavasta kohteesta riippuen. Konfigurointi tapahtui käyttäen VI-editoria, jonka avulla voidaan luoda haluttuja politiikkoja ja näihin tiettyjä toiminteita. Poliitiikan luonti tapahtuu yleensä luomalla nimellinen politiikka, johon luodaan sääntöjä, mitkä tulee vastata tutkittavaa liikennettä tai kohdetta. Vastaavuuden löydyttyä on sääntöön määritetty, mitä tehdään seuraavaksi kun sääntö toteutuu. Extreme Networks-laitteisiin luotujen politiikkojen lopussa on automaattinen oletussääntö, joka estää kaiken. Tästä johtuen osassa politiikoista on määritelty toiminto ohittamaan tämä oletussääntö hyväksymällä kaikki liikenne.

Tutkimusympäristön peruskonfiguraatiot on esitetty liitteissä 3, 6, ja 8 – 14.

### 8.7.3.1 Route aggregation

Route aggregation helpottaa pienentämään reititystaulun kokoa yhdistämällä haluttuja verkkoja yhdeksi kokonaisuudeksi. Jotta politiikkamääritteitä voidaan tehdä, tulee luoda politiikka jollain nimellä.

```
#edit policy aggregate
```

Luotuun politiikkaan määritettiin sääntö aggregate. Kun politiikka liitetään rajapintaan tai toimintoon, astuu aggregate-sääntö aktiiviseksi. Sääntö tutkii reittitietoja ja hyväksyy ainoastaan yritysverkon MetroCore1 – MetroSW1, MetroSW1 – WG5-R1, WG5-R1 – Juniper-R1 ja Juniper-R1 – MetroCore1 välisten linkkivälien verkko-osoitteet.

```
entry aggregate {
    if match any {
        nlri 192.168.100.0/30 ;
        nlri 192.168.100.4/30 ;
        nlri 192.168.100.16/30 ;
        nlri 192.168.100.20/30 ;
    }
    then {
        permit;
    }
}
```

BGP-prosessiin määritettiin aggregate-osoite, jota mainostetaan politiikassa määritettyjen verkko-osoitteiden sijasta. BGP-mainostuksessa aggregate-toiminto käyttää ainoastaan summary routea ja mainostuspolitiikkana aggregate nimistä politiikkaa. Aggregate niminen politiikka pitää sisällään aikaisemmin määritetyt verkko-osoitteet, jotka hyväksytään koottuun verkko-osoitteeseen 192.168.100.0/27. BGP ei mainosta politiikassa mainittuja verkko-osoitteita vaan yhdistää ne ennen reittimainostusta yhdeksi verkko-osoitteeksi. Lopuksi BGP-prosessiin aktivoitiin aggregation-toiminto.

```
#configure bgp add aggregate-address 192.168.100.0/27 summary-only advertise-
policy aggregate
#enable bgp aggregation
```

### 8.7.3.2 Mainostettavien reittitietojen muokkaus

BGP:ssä mainostettavia reittitietoja voidaan poistaa kokonaan reittimainostuksesta. MetroCore1-laitteen reittitaulussa on yritysverkossa olevien laitteiden linkkivälien verkko-osoitteet ja nämä osoitteet mainostetaan BGP:llä eteenpäin muille AS-alueille. Määritetty politiikka estää 192.168.100.0/24 -osoiteavaruuteen kuuluvien verkko-osoitteiden mainostukset BGP-reittimainostuksissa. Poliitiikan luonti aloitettiin määrittelemällä nimi.

```
#edit policy bgpulos
```

Seuraavaksi luotiin sääntö ”linkkivalit”, joka tutkii määriteltyä osoiteavaruutta. Jos osoiteavaruuteen viittaava osoite löytyy reittitiedoista, estetään tämä osoite mainostuksista. Poliitiikan loppuun luotiin sääntö ”kaikki”, joka sallii kaiken muun liikenteen.

```
entry linkkivalit {
    if match any {
        nlri 192.168.100.0/24 ;
        }
        then {
            deny ;
        }
    }

entry kaikki {
    if match any {
        }
        then {
            permit ;
        }
    }
```

Poliitiikka aktivoitiin MetroCore1-laitteen BGP-prosessissa määritettyyn naapuruussuhteeseen MetroCore2-laitteen kanssa. Poliitiikka määritettiin seuraamaan ulospäin suuntautuvia reittimainostuksia alla olevan komennon avulla.

```
#configure bgp neighbor 100.100.100.2 route-policy out bgpulos
```

### 8.7.3.3 AS-numeron muuttaminen reittitietoon

AS-aluumeron muuttamisen avulla voidaan ohjata liikennettä verkossa halutun pisteen kautta. MetroCore2 saa BGP:llä mainostuksia AS100-, AS300- ja AS310 -alueista. Laitteelle luotiin politiikka, joka ohjaa liikenteen AS310-alueeseen AS-310-alueen kautta. Politiikka luotiin nimellä.

```
#edit policy asvaihto2
```

Ensimmäiseen sääntöön määritettiin, että as-path tulee loppua 310-alueeseen. Kun tämä toteutuu, muuttuu BGP-reittimainostuksessa ko. verkon AS-poluksi 300 ja 310. Reittimainostukseen muutettiin myös seuraavan hypyn IP-osoite MetroCore2 BGP-naapurin, WG3-R1-osoitteeksi. Lopuksi määritettiin myös kaikki muut mainostukset sallituksi.

```
entry asvaihto2
if match all {
    as-path "310$";
    }
    then {
    as-path "300 310";
    next-hop 101.100.100.2;
    permit;
    }
}
entry kaikki {
    if match any {
    }
    then {
    permit;
    }
}
```

Politiikka aktivoitiin MetroCore2-laitteen BGP-prosessiin Juniper-R2-naapurisuhteeseen. Politiikka on aktiivinen ainoastaan naapurista saapuvien reittimainostuksien tarkastelussa.

```
#configure bgp 101.100.100.6 route-policy in asvaihto2
```

### 8.7.3.4 AS-numeron lisääminen reittitietoon

Juniper-R2-laitteeseen on konfiguroitu sisäverkko IP-osoiteavaruudella 199.0.1.0/24. Juniper-R2-laite mainostaa tätä osoitetta BGP:llä muille naapureille ja MetroCore2-laite mainostaa tietoa eteenpäin omille BGP-naapureilleen. Poliitiikan konfigurointi tehtiin MetroCore2-laitteelle rajapintaan, joka vastaanottaa suoraan Juniper-R2-laitteelta tulevia BGP-mainostuksia.

Poliitikalle määritettiin toimintoa kuvaava nimi.

```
#edit policy asvaihto
```

VI-editorin käynnistyttyä luotiin sääntö ”asvaihto” ja määritettiin tähän Juniper-R2-laitteeseen kytketyn sisäverkon verkko-osoite, joka tulee löytyä reittimainostuksesta. Kun sääntö toteutuu, määritettiin seuraamukseksi as-path -osoitteiden lisäys reittitietoon ja sallittiin reitti. Poliitiikan loppuun määritettiin myös sääntö, joka sallii kaikki muut reittimainostukset.

```
entry asvaihto {
    if match all {
        nlri 199.0.1.0/24 ;
    }
    then {
        as-path 200;
        as-path 300;
        as-path 310;
        permit;
    }
}
entry kaikki {
    if match any {
    }
    then {
        permit;
    }
}
```

Poliitikka liitettiin MetroCore2:n BGP-prosessiin ja siellä Juniper-R2 -naapuruussuhteeseen. Poliitikka asetettiin käyttöön tutkimaan saapuvia reittimainostuksia ko. naapurilta seuraavalla komennolla.

```
#configure bgp 101.100.100.6 route-policy in asvaihto
```

## 8.7.4 Routing policy -tulokset

### 8.7.4.1 Route aggregation

Reittitietojen muokkaus ja yhdistäminen suoritettiin MetroCore1-laitteessa. BGP-mainostukset lähtivät MetroCore2-laitteelle niin, että AS100-alueen backbone-alueen linkkivälien IP-osoitteet ei välity BGP-mainostuksissa. Kuviossa 86 nähdään MetroCore2-laitteen reititystaulu ilman route aggregationia.

```
* MetroCore2.41 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags ULAN Duration
#be 10.0.0.2/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:14m:31s
#be 13.13.13.1/32 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:15m:18s
#d 100.100.100.0/30 100.100.100.2 1 U-----um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:28m:4s
#d 101.100.100.0/30 101.100.100.1 1 U-----um--f- route-to-wg3-r1 0d:0h:
:28m:4s
#d 101.100.100.4/30 101.100.100.5 1 U-----um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:28m:3s
#be 101.100.100.4/30 101.100.100.6 1 UG-D---um---- route-to-juniper-r2 0
d:0h:15m:18s
#be 102.100.100.0/30 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:15m:18s
#be 192.168.0.1/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:14m:21s
#be 192.168.100.0/30 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:14m:31s
#be 192.168.100.4/30 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:16m:42s
#be 192.168.100.16/30 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:15m:50s
#be 192.168.100.20/30 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:15m:40s
#be 192.168.200.0/24 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:27m:36s
#d 195.0.0.0/24 195.0.0.1 1 U-----um--f- sisaverkko 0d:0h:28m:
5s
#be 199.0.0.0/24 101.100.100.2 0 UG-D---um--f- route-to-wg3-r1 0d:0h:
:14m:54s
#be 199.0.1.0/24 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:15m:18s
#be 222.222.222.1/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:14m:44s
```

KUVIO 86. Routing policy, MetroCore2-reititystaulu

Reititystaulusta nähdään, että reittitiedot 192.168.100.0/30, 192.168.100.4/30, 192.168.100.16/30 ja 192.168.100.20/30 on mainostettu MetroCore1-laitteelta. Route aggregationin aktivoimisen jälkeen nämä reittitiedot estetään ja mainostetaan ainoastaan yhtä osoiteavaruutta. Kuviossa 87 on esitetty MetroCore2-laitteen reititystaulu route aggregationin aktivoimisen jälkeen. Kuvioon on merkattu punaisella MetroCore1-laitteelta tuleva aggregation-mainostus

```
* MetroCore2.42 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags ULAN Duration
#be 10.0.0.2/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:19m:32s
#be 13.13.13.1/32 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:20m:19s
#d 100.100.100.0/30 100.100.100.2 1 U-----um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:33m:5s
#d 101.100.100.0/30 101.100.100.1 1 U-----um--f- route-to-wg3-r1 0d:0h
:33m:5s
#d 101.100.100.4/30 101.100.100.5 1 U-----um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:33m:4s
#be 101.100.100.4/30 101.100.100.6 1 UG-D---um---- route-to-juniper-r2 0
d:0h:20m:19s
#be 102.100.100.0/30 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:20m:19s
#be 192.168.0.1/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:19m:22s
#be 192.168.100.0/27 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:0m:43s
#be 192.168.200.0/24 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:32m:37s
#d 195.0.0.0/24 195.0.0.1 1 U-----um--f- sisaverkko 0d:0h:33m:
6s
#be 199.0.0.0/24 101.100.100.2 0 UG-D---um--f- route-to-wg3-r1 0d:0h
:19m:55s
#be 199.0.1.0/24 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:20m:19s
#be 222.222.222.1/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:19m:45s
```

KUVIO 87. Routing policy, MetroCore2-reititystaulu route aggregationilla

Sama reittitieto mainostetaan MetroCore2-laitteelta eteenpäin muille BGP-naapureille. Kuviossa 88 on Juniper-R2 -reitittimen reititystaulusta kohta, jossa nähdään yhdistetty reittitieto ja eri reittivaihtoehdot ko. verkko-osoitteeseen.

```
192.168.100.0/27 *[BGP/170] 00:07:02, localpref 100
AS path: 200 100 I
> to 101.100.100.5 via ge-1/0/7.943
[BGP/170] 00:06:43, localpref 100
AS path: 300 200 100 I
> to 102.100.100.1 via ge-1/0/7.942
```

KUVIO 88. Routing policy, Route aggregation, reitti Juniper-R2 -laitteella

#### 8.7.4.2 Mainostettavien reittitietojen muokkaus

MetroCore1-laitteeseen luotu politiikka ja sen määrittäminen MetroCore2-naapuruussuhteeseen esti politiikkaan määritettyjen reittitietojen mainostuksen BGP-mainoksissa. Kuviossa 89 on MetroCore2-laitteen reititystaulu.



```

* MetroCore2.59 # show iproute
Ori Destination Gateway Mtr Flags VLAN Duration
#be 10.0.0.2/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:3m:8s
#be 13.13.13.1/32 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:48m:2s
#d 100.100.100.0/30 100.100.100.2 1 U-----um--f- route-to-metrocore1 0
d:1h:0m:48s
#d 101.100.100.0/30 101.100.100.1 1 U-----um--f- route-to-wg3-r1 0d:1h
:0m:48s
#d 101.100.100.4/30 101.100.100.5 1 U-----um--f- route-to-juniper-r2 0
d:1h:0m:47s
#be 101.100.100.4/30 101.100.100.6 1 UG-D---um---- route-to-juniper-r2 0
d:0h:48m:2s
#be 102.100.100.0/30 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:48m:2s
#be 192.168.0.1/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:3m:8s
#be 192.168.200.0/24 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:3m:8s
#d 195.0.0.0/24 195.0.0.1 1 U-----um--f- sisaverkko 0d:1h:0m:4
9s
#be 199.0.0.0/24 101.100.100.2 0 UG-D---um--f- route-to-wg3-r1 0d:0h
:47m:38s
#be 199.0.1.0/24 101.100.100.6 1 UG-D---um--f- route-to-juniper-r2 0
d:0h:48m:2s
#be 222.222.222.1/32 100.100.100.1 1 UG-D---um--f- route-to-metrocore1 0
d:0h:3m:8s

```

KUVIO 89. Routing policy, reittitiedon mainostuksen estäminen

Kuviosta nähdään, että MetroCore1-laite ei ole mainostanut kiellettyä verkko-osoitetta reittimainostuksissa BGP:llä. Poliitiikkaan oli määritetty verkko-osoitteeksi 192.168.100.0/24. Tähän osoiteavaruuteen kuuluu 4 eri verkko-osoitetta AS100-alueesta, mutta näitä ei ole mainostettu poliitiikan määrittelystä johtuen.

### 8.7.4.3 AS-numeron muuttaminen reittitietoon

MetroCore2-laitteeseen luotu poliitiikka muuttaa AS-reitin määritetyltä naapurilta tuleviin reittimainostuksiin. MetroCore2-laitteeseen määritettiin poliitiikka toimimaan Juniper-R2:n BGP-naapuruussuhteessa. Poliitiikka muuttaa seuraavan hypyn osoitteeksi 101.100.100.2 ja AS-poluksi 300 ja 310. Kuviossa 90 on esitetty MetroCore2-laitteen BGP-reititystaulu.

Feasible Routes							
	Destination	Peer	Next-Hop	LPref	Weight	MED	AS-Pat
h							
*>i	10.0.0.2/32	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	13.13.13.1/32	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
i	13.13.13.1/32	101.100.100.6	101.100.100.2	100	1		300 31
0	310						
*	i 101.100.100.4/30	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
i	101.100.100.4/30	101.100.100.6	101.100.100.2	100	1		300 31
0	310						
*>i	102.100.100.0/30	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
i	102.100.100.0/30	101.100.100.6	101.100.100.2	100	1		300 31
0	310						
*>i	192.168.0.1/32	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.0/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.4/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.16/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.20/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.200.0/24	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>?	199.0.0.0/24	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1	0	300
?	199.0.0.0/24	101.100.100.6	101.100.100.6	100	1		310 30
0							
*>i	199.0.1.0/24	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
i	199.0.1.0/24	101.100.100.6	101.100.100.2	100	1		300 31
0	310						
*>i	222.222.222.1/32	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100

### KUVIO 90. Routing policy, AS-numeron muuttaminen BGP-reittitietoon

Kuviosta nähdään, että ”peer” -osiossa on Juniper-R2-laitteelta, IP-osoitteesta 101.100.100.6 tullut mainostuksia. Näihin mainostuksiin on muuttunut automaattisesti ”next-hop” -osoite, joka oli määritelty politiikassa. Myös AS-polku on muuttunut kaikkiin Juniper-R2-laitteelta tullessiin mainostuksiin. Kuviossa 91 on MetroCore2-laitteen reititystaulu, johon BGP-reittitiedot lopulta lisätään.

Ori	Destination	Gateway	Mtr	Flags	ULAN	Duration
#be	10.0.0.2/32	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#be	13.13.13.1/32	101.100.100.2	2	UG-D---un--f-	route-to-wg3-r1	0d:0h
:	10m:41s					
#d	100.100.100.0/30	100.100.100.2	1	U-----un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	1h:22m:54s					
#d	101.100.100.0/30	101.100.100.1	1	U-----un--f-	route-to-wg3-r1	0d:1h
:	22m:54s					
#d	101.100.100.4/30	101.100.100.5	1	U-----un--f-	route-to-juniper-r2	0
d:	1h:22m:53s					
be	101.100.100.4/30	101.100.100.2	2	UG-D---un----	route-to-wg3-r1	0d:0h
:	10m:41s					
#be	102.100.100.0/30	101.100.100.2	2	UG-D---un--f-	route-to-wg3-r1	0d:0h
:	10m:41s					
#be	192.168.0.1/32	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#be	192.168.100.0/30	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#be	192.168.100.4/30	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#be	192.168.100.16/30	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#be	192.168.100.20/30	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#be	192.168.200.0/24	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					
#d	195.0.0.0/24	195.0.0.1	1	U-----un--f-	sisaverkko	0d:1h:22m:55s
#be	199.0.0.0/24	101.100.100.2	0	UG-D---un--f-	route-to-wg3-r1	0d:0h
:	10m:41s					
#be	199.0.1.0/24	101.100.100.2	2	UG-D---un--f-	route-to-wg3-r1	0d:0h
:	10m:41s					
#be	222.222.222.1/32	100.100.100.1	1	UG-D---un--f-	route-to-metrocore1	0
d:	0h:10m:59s					

### KUVIO 91. Routing policy, MetroCore2-reititystaulu AS-lisäyksen jälkeen

Kuviosta nähdään reittitieto 199.0.1.0/24. Tähän reittitietoon on määritetty gateway-osoitteeksi 101.100.100.2, joka on WG3-R1-laitteen rajapinta. Verkkoon 199.0.1.0/24 osoitettu liikenne kulkee näin WG3-R1-laitteen kautta määritellyn politiikan mukaisesti.

BGP mainostaa reittitietoja myös MetroCore1-laitteelle, jolle välittyy reittitieto verkkoon 199.0.1.0/24 AS300-alueen kautta. MetroCore1-laite saa tiedon MetroCore2-laitteelta, joten AS-polkuun lisätään vielä AS200-alue. Kuviossa 92 on MetroCore1-laitteen BGP-reititystaulu ja verkko-osoitteeseen 199.0.1.0/24 johtava polku.

Feasible Routes							
h	Destination	Peer	Next-Hop	LPref	Weight	MED	AS-Pat
*>i	13.13.13.1/32	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200 30
0	310						
* ?	100.100.100.0/30	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200
*>?	101.100.100.0/30	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200
*>?	101.100.100.4/30	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200
*>i	102.100.100.0/30	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200 30
0	310						
*>?	195.0.0.0/24	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200
*>?	199.0.0.0/24	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200 30
0							
*>i	199.0.1.0/24	100.100.100.2	100.100.100.2	100	1		200 30
0	310						

KUVIO 92. Routing policy, reittitiedon muuttuminen AS300-alueeseen

#### 8.7.4.4 AS-numeron lisääminen reittitietoon

MetroCore2-laitteeseen luotiin politiikka, joka määritteli verkko-osoitteeseen 199.0.1.0/24 johtavaan AS-polkuun eri AS-alueiden lisäämisen. Normaalisti Juniper-R2-laite mainostaisi 199.0.1.0/24 verkkoa AS310-numerolla kaikille BGP-naapureilleen. MetroCore2-laitteeseen luotiin politiikka, joka lisää AS-numeroita määriteltyyn verkkomainostukseen. Politiikka liitettiin MetroCore2-laitteen rajapintaan, josta oli BGP-naapuruussuhde Juniper-R2 laitteeseen. Kuviossa 93 on MetroCore2-laitteen BGP-reititystaulu.

Feasible Routes							
	Destination	Peer	Next-Hop	LPref	Weight	MED	AS-Pat
h							
*>i	10.0.0.2/32	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	13.13.13.1/32	101.100.100.6	101.100.100.6	100	1		310
i	13.13.13.1/32	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
*	101.100.100.4/30	101.100.100.6	101.100.100.6	100	1		310
i	101.100.100.4/30	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
*>i	102.100.100.0/30	101.100.100.6	101.100.100.6	100	1		310
i	102.100.100.0/30	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
*>i	192.168.0.1/32	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.0/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.4/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.16/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.100.20/30	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>i	192.168.200.0/24	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100
*>?	199.0.0.0/24	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1	0	300
?	199.0.0.0/24	101.100.100.6	101.100.100.6	100	1		310 30
0							
*>i	199.0.1.0/24	101.100.100.2	101.100.100.2	100	1		300 31
0							
i	199.0.1.0/24	101.100.100.6	101.100.100.6	100	1		310 30
0	200 310						
*>i	222.222.222.1/32	100.100.100.1	100.100.100.1	100	1		100

### KUVIO 93. Routing policy, AS300-alueen reittivalinta

Kuviosta nähdään kaksi reittimainostusta eri AS-poluilla verkkoon 199.0.1.0/24. Kumpaankin tietoon on merkattu ”peer”-kohtaan laite, josta mainostus kyseiseen verkkoon on saapunut. 101.100.100.2 on WG3-R1-laite ja 101.100.100.6 on Juniper-R2-laite. ”Next-Hop” ilmoittaa mihin IP-osoitteeseen tulee liikenne ohjata, jotta tavoitetaan määritetty verkko-osoite (*destination*). MetroCore2-laite valitsee automaattisesti lyhyemmän reitin ko. verkkoon. Valittu reitti verkkoon 199.0.1.0/24 on merkattu kuvioon tähdellä.

Politiikka on luonut Juniper-R2-laitteelta saapuneeseen 199.0.1.0/24 verkon mainostukseen AS-poluksi 310 300 200 ja 310. Tämä reitti määrittelee, että verkkoon 199.0.1.0/24 kuljettaisiin kolmen eri AS-alueen läpi ennen kuin tavoitettaisiin haluttu verkko-osoite. MetroCore2-laite valitsee tästä syystä automaattisesti WG3-R1-laitteen AS-alueen kautta reitin Juniper-R2 -laitteen sisäverkkoon.

## 9 YHTEENVETO

### 9.1 Toteutus ja tulosten arviointi

Työn toteutus alkoi perustopologian suunnittelulla ja tutkimalla kuinka tekniikoiden käyttö topologiassa olisi mahdollista. Topologiaratkaisut onnistuivatkin mielestäni hyvin. Perustopologia tarjosi ympäristön, jossa pystyttiin toteuttamaan suurin osa tutkimuskohdista. Kun tutkimusympäristö oli suunniteltu, aloitettiin OSPF-konfigurointi. OSPF-konfiguraatit toimivat Extremen laitteilla normaalisti ja en nähnyt mitään eroavaisuutta toiminnallisuudessa kun lopullinen OSPF-ympäristö oli konfiguroitu. OSPF-konfigurointi mahdollisti BGP:n toteuttamisen perustopologiaan. BGP toimi myös testausympäristössä normaalisti. BGP:tä konfiguroitaessa sain paremman kokonaiskuvan eri AS-alueiden välisestä toiminnallisuudesta. Perustopologiassa reittitietojen mainostus OSPF:stä BGP:llä toiseen AS-alueeseen toteutettiin kaikilla laitevalmistajilla eri tavoilla, joka lisäsi oman haasteensa konfigurointiin.

VRRP:tä ja ESRP:tä tutkittaessa jouduttiin luomaan kummallekin tutkimuskohdalle omat topologiat. Tutkimuskohdat muistuttivat hieman toisiaan, sillä kumpikin tarjoaa redundanttisuutta verkon laitteille. Tekniikoiden toimivuus voitiin todeta suoraan Extremen-kytkimistä tarkistamalla protokollien toiminnallinen tila. Toinen tapa oli aiheuttaa jokin fyysinen vika, kuten verkkopiuhan ”katkeaminen” poistamalla verkkokaapeli kytkimen portista. Kumpikin tekniikka soveltuu hyvin SpiderNet ympäristössä redundanttisen topologian suunnitteluun ja tutkimiseen.

Opinnäytetyön kannalta haastavin osio oli PIM- ja MSDP-protokollien toiminta perustopologiassa. PIM-protokolla luottaa toisen reititysprotokollan reittitietoihin. Nämä saatiin toteutettua aiemman tutkimuskohdan OSPF-toiminnalla. Kun konfigurointi oli tehty valmiiksi, paljastui ongelma, jossa yhdelle Cison laitteelle ei saatu RP:n osoitetta Extreme Networks in laitteelta. Ongelma näytti aluksi johtuvan siitä, että Cisco reititin oli kiinni Extremen x250-kytkimessä, josta oli kaksi eri reittiä RP:nä toimivalla kytkimelle. Kyseinen x250-kytkin tuki ainoastaan kahta rajapintaa PIM-protokollaa käytettäessä. Toinen näistä RP:lle menevistä reiteistä ei voinut toimia PIM-protokollaa käyttäen. Koska PIM laskee reitin RP:lle päin, niin tässä tapauksessa Cison reitit-

timeltä saapuva kysely ohjautui x250-laitteelta reititystaulun mukaan lyhintä reittiä pitkin RP:lle. Lyhin reitti x250-laitteelta oli rajapinta, joka ei toiminut PIM-domainissa. Koska opinnäytetyössä testattiin yleistä toimivuutta, niin tämä x250-kytkimen linkkiväli RP:lle sammutettiin ja tarkistettiin saadaanko RP-osoite Ciscon reitittimelle. Ongelma jatkui, joten asiaa tutkittiin lisää. Ciscon mukaan käytettäessä kolmannen osapuolen laitteita, tulee PIM-toimintoa käytettäessä ottaa BSR-toiminto mukaan. Laitteisiin konfiguroitiin BSR ja nyt RP:n osoite saatiin vietyä BSR:n avulla Ciscon reitittimelle. PIM-toteutus oli haastava, koska suoraa tietoa ei ollut BSR:n pakollisesta käytöstä ko. tutkimusympäristössä. Multicast-lähetyksen vastaanotto onnistui suunnitelman mukaan ja ratkaisumallit olivat mielestäni onnistuneita tutkittavan kohdan kannalta.

MSDP-tutkimuskohta saatiin konfiguroitua hyödyntäen valmista PIM-tutkimuskohtaa. MSDP-toiminto oli suhteellisen yksiselitteinen konfiguroida. Osana MSDP:n toiminnallisuuden ymmärtämistä helpotti aikaisempi PIM-kohdan tutkiminen. MSDP:n konfiguroimisen aikana nousi esiin Extremen manuaaleista eroavaisuus laitevalmistajien välillä. Cisco suosittelee RP:n konfiguroimista loogisiin rajapintoihin, jolloin ainoastaan laiterikko voi aiheuttaa palvelun kaatumisen. Extremen kytkimellä tämä toiminto ei ollut mahdollista vaan RP oli pakko asettaa toimimaan fyysiseen rajapintaan. Tämä taas aiheuttaa ympäristössä, jossa ei ole vaihtoehtoja RP:tä käytettävissä redundantisuuden häviämisen.

Reitityspoliitikat toimivat normaalisti, koska kyseessä on normaali ”tekstipohjainen” tapa verrata saapuvaa tietoa esim. AS-alueen numerosta tai perus IP-vertailusta. Poliitikat mahdollistavat monta erilaista tapaa käsitellä ja muokata reittitietoja.

## 9.2 Jatkotutkimukset

Lisätutkimuskohtana PIM/MSDP-kohdassa olisi mahdollista testata MBPG-toimintaa. Tutkimusympäristön Extreme Networksin laitteet eivät tätä toimintoa tukeneet. MBGP:llä voitaisiin mainostaa normaalisti AS-alueiden välisiä reittitietoja ja samalla voidaan mainostaa halutut reitit multicastille. PIM/MSDP-toiminnot voivat näin muodostaa reitit käyttäen multicast-reittitietoja ja normaali IPv4-liikenne taas ohjautuu BGP:n luoman reittitaulun perusteella.

ESRP- ja VRRP-tutkimuskohdissa jatkotutkimuksena voidaan todentaa mahdolliset muutosprosessin viiveet. Valmiisiin tutkimustopologioihin voidaan simuloida virhetilanteita ja seurata kuinka kauan kestää kytkimien tilavaihdokset ja näistä johtuvat yhteyden katkeamiset.

## LÄHTEET

- Bates, T., Chen, E., Chandra, R., Cisco Systems & Sona Systems. 2006. RFC 4456 BGP Route Reflection: An alternative to Full Mesh Internet BGP (IBGP). Viitattu 2.3.2012. <http://tools.ietf.org/html/rfc4456>.
- Doyle, J. & Carroll, J. 2006. Routing TCP/IP: Volume I. 2. painos. Cisco Press. Indianapolis, USA.
- Doyle, J. & Carroll DeHaven, J. 2008. Routing TCP/IP: Volume II. 15. painos. Cisco Press. Indianapolis, USA.
- Extreme Networks. 2011. ExtremeXOS Concepts Guide Software Version 12.5 Rev. 02.
- Fenner, E. & Meyer, E. 2003. RFC 3618 Multicast Source Discovery Protocol (MSDP). Viitattu 2.3.2012. <http://tools.ietf.org/html/rfc3618>.
- Hinden, R. 2004. RFC2338 Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) Viitattu 21.2.2012. <http://tools.ietf.org/html/rfc3768>.
- IANA. 2012. Number Resources. Viitattu 5.3.2012. <http://www.iana.org/>, IP Addressess & AS Numbers.
- Tutustu JAMKiin. Jyväskylän ammattikorkeakoulun verkkosivut. 2011. Viitattu 19.12.2011. <Http://www.jamk.fi>, tutustu.
- Labranet. 2009. SpiderNet. Viitattu 19.12.2011. <Http://student.labranet.jamk.fi>, SpiderNet.
- Medhi, D. & Ramasamy, K. 2007. Network Routing, Algorithms, protocols and architectures. Morgan Kaufmann, Elsevier, San Francisco, USA.
- Miller, P. 2009. TCP/IP - The Ultimate Protocol Guide: Volume 1 – Data Delivery and Routing. BrownWalker Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Nadas, S. & Ericsson, Ed. 2010. RFC 5798 Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) for IPv4 and IPv6. Viitattu 21.2.2012. <http://tools.ietf.org/html/rfc5798>.
- Odom, W. 2010. CCNP Route 642-902 Official Certification Guide, Cisco Press, Indianapolis, USA.
- Peterson, L. & Davie, B. 2012. Computer networks: a systems approach – 5<sup>th</sup> ed. Morgan Kaufmann, Elsevier, USA.



# LIITTEET

## Liite 1. Portit

Laite	Portti	Kohdelaite	Kohdeportti
MetroSW1			
	3	MetroCore2	1:6
	4		
	24	C-SW1	Fe0/8
	25	MetroCore1	1:3
MetroSW2	3	MetroCore1	1:6
	5		
	25	MetroCore2	1:3
	26	MetroSW3	25
MetroSW3	2		
	25	MetroSW2	26
	26	MetroSW4	25
MetroSW4	25	MetroSW3	26
	26	MetroCore2	1:4
MetroCore1	1:1	MetroCore2	1:1
	1:3	MetroSW1	25
	1:5	Juniper-R1	Ge-1/0/2
	1:6	MetroSW2	3
MetroCore2	1:1	MetroCore1	1:1
	1:4	MetroSW4	26
	1:6	MetroSW1	3
	1:19	C-SW1	Fe0/7
Juniper-R1	Ge-0/0/0		
	Ge-1/0/2	MetroCore1	1:5
	Ge-1/0/7	C-SW1	Fe0/1
Juniper-R2	Ge-0/0/0		
	Ge-1/0/7	C-SW1	Fe0/2
WG1-R1	Fe0/1/0		
	Fe0/1/1	C-SW1	Fe0/20
WG2-R1	Fe0/1/0		
	Fe0/1/1	C-SW1	Fe0/25
WG3-R1	Fe0/1/1	C-SW1	Fe0/30
WG4-R1	Fe0/1/1	C-SW1	Fe0/35
WG5-R1	Fe0/1/1	C-SW1	Fe0/40
C-SW1	Fe0/1	Juniper-R1	Ge-1/0/7
	Fe0/2	Juniper-R2	Ge-1/0/7
	Fe0/7	MetroCore2	1:19
	Fe0/8	MetroSW1	24
	Fe0/20	WG1-R1	Fe0/1/1
	Fe0/25	WG2-R1	Fe0/1/1
	Fe0/30	WG3-R1	Fe0/1/1
	Fe0/35	WG4-R1	Fe0/1/1
	Fe0/40	WG5-R1	Fe0/1/1

## Liite 2. Perustopologian IP – osoitteistus

Laite	Portti	VLAN ID	IP – osoite	Aliverkon maski
MetroSW1	24	937	192.168.100.17	255.255.255.252
	24	938	192.168.100.21	255.255.255.252
	25		192.168.100.14	255.255.255.252
MetroCore1	1:1		100.100.100.1	255.255.255.252
	1:3		192.168.100.13	255.255.255.252
	1:5		192.168.100.10	255.255.255.252
MetroCore2		BGPhallinta	10.0.0.6	255.255.255.255
	1:1		100.100.100.2	255.255.255.252
	1:19	941	101.100.100.1	255.255.255.252
	1:19	943	101.100.100.5	255.255.255.252
	1:19	944	20.0.0.1	255.255.255.252
Juniper-R1	Ge0/0/0		192.168.200.1	255.255.255.0
	Ge1/0/2		192.168.100.9	255.255.255.252
	Ge1/0/7	940	192.168.100.6	255.255.255.252
Juniper-R2	Ge0/0/0		199.0.1.1	255.255.255.0
	Ge1/0/7	942	102.100.100.2	255.255.255.252
		943	101.100.100.6	255.255.255.252
WG1-R1	Loopback0		10.0.0.5	255.255.255.255
	Loopback1		222.222.222.1	255.255.255.255
	0/1/1	937	192.168.100.18	255.255.255.252
WG2-R1	0/1/0		195.0.0.1	255.255.255.0
	0/1/1	944	20.0.0.2	255.255.255.252
WG3-R1	Loopback0		199.0.0.1	255.255.255.0
	Fe0/1/1	941	101.100.100.2	255.255.255.252
	Fe0/1/1	942	102.100.100.1	255.255.255.252
WG4-R1	Loopback0		10.0.0.1	255.255.255.255
	Loopback1		192.168.0.1	255.255.255.255
	Fe0/1/1	939	192.168.100.1	255.255.255.252
WG5-R1	Loopback0		10.0.0.2	255.255.255.255
	Fe0/1/1	938	192.168.100.22	255.255.255.252
	Fe0/1/1	939	192.168.100.2	255.255.255.252
	Fe0/1/1	940	192.168.100.5	255.255.255.252

### Liite 3 OSPF, WG1-R1-konfiguraatiot

```
wg1-r1#show running-config
Building configuration...
!
Current configuration : 1495 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg1-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.5 255.255.255.255
!
interface Loopback1
 ip address 222.222.222.1 255.255.255.255
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.937
 description Link to MetroSW1
 encapsulation dot1Q 937
 ip address 192.168.100.18 255.255.255.252
!
router ospf 1
 router-id 10.0.0.5
 log-adjacency-changes
 area 2 stub
 network 192.168.100.16 0.0.0.3 area 2
 network 222.222.222.1 0.0.0.0 area 2
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 4. OSPF, WG4-R1-konfiguraatiot

```
wg4-r1#show running-config
Building configuration...
```

```
Current configuration : 1466 bytes
```

```
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg4-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.1 255.255.255.255
!
interface Loopback1
 ip address 192.168.0.1 255.255.255.255
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.939
 description Link to wg5-r1
 encapsulation dot1Q 939
 ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
!
router ospf 1
 router-id 10.0.0.1
 log-adjacency-changes
 area 1 nssa
 network 192.168.0.1 0.0.0.0 area 1
 network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 5. OSPF, WG5-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 1710 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg5-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.2 255.255.255.255
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.938
 description Link to MetroSW1
 encapsulation dot1Q 938
 ip address 192.168.100.22 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/1/1.939
 description Link to wg4-r1
 encapsulation dot1Q 939
 ip address 192.168.100.2 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/1/1.940
 description Link to Juniper-R1
 encapsulation dot1Q 940
 ip address 192.168.100.5 255.255.255.252
!
router ospf 1
 router-id 10.0.0.2
 log-adjacency-changes
 area 1 nssa
 network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
 network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 0
 network 192.168.100.20 0.0.0.3 area 0
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 6. OSPF, MetroSW1-konfiguraatiot

```
* MetroSW1.28 # show configuration
#
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW1"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
configure vlan default delete ports 1-26
create vlan "route-to-metroCore1"
create vlan "route-to-wg1-r1"
configure vlan route-to-wg1-r1 tag 937
create vlan "route-to-wg5-r1"
configure vlan route-to-wg5-r1 tag 938
disable port 1
disable port 2
disable port 3
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 26
configure vlan route-to-metroCore1 add ports 25 untagged
configure vlan route-to-wg1-r1 add ports 24 tagged
configure vlan route-to-wg5-r1 add ports 24 tagged
configure vlan route-to-metroCore1 ipaddress 192.168.100.14 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroCore1
```

```
configure vlan route-to-wg1-r1 ipaddress 192.168.100.17 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-wg1-r1
configure vlan route-to-wg5-r1 ipaddress 192.168.100.21 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-wg5-r1
```

```
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

```
configure ospf routerid 10.0.0.4
enable ospf
create ospf area 0.0.0.2
configure ospf area 0.0.0.2 stub nosummary stub-default-cost 10
configure ospf add vlan route-to-metroCore1 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-metroCore1 priority 0
configure ospf add vlan route-to-wg1-r1 area 0.0.0.2
configure ospf vlan route-to-wg1-r1 priority 0
configure ospf add vlan route-to-wg5-r1 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-wg5-r1 priority 0
```

## Liite 7. OSPF, MetroCore1-konfiguraatiot

```
* MetroCore1.19 # show configuration
#
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroCore1"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "route-to-juniper-r1"
create vlan "route-to-metroSW1"
disable port 1:1
disable port 1:2
disable port 1:4
disable port 1:6
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:19
disable port 1:20
configure vlan route-to-juniper-r1 add ports 1:5 untagged
configure vlan route-to-metroSW1 add ports 1:3 untagged
configure vlan route-to-metroSW1 ipaddress 192.168.100.13 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW1
configure vlan route-to-juniper-r1 ipaddress 192.168.100.10 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-juniper-r1
#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.6
enable ospf
configure ospf add vlan route-to-juniper-r1 area 0.0.0.0
configure ospf add vlan route-to-metroSW1 area 0.0.0.0
```



## Liite 8. OSPF, Juniper-R1-konfiguraatit

```
version 10.4R7.5;
system {
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
}
interfaces {
  ge-0/0/0 {
    unit 0 {
      description sisaverkko;
      family inet {
        address 192.168.200.1/24;
      }
    }
  }
  ge-1/0/0 {
    unit 0;
  }
  ge-1/0/1 {
    unit 0;
  }
  ge-1/0/2 {
    unit 0 {
      description metrocore1;
      family inet {
        address 192.168.100.9/30;
      }
    }
  }
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
  ge-1/0/7 {
    vlan-tagging;
    unit 0 {
      vlan-id 1;
    }
    unit 940 {
      description to-center-switch;
      vlan-id 940;
      family inet {
        address 192.168.100.6/30;
      }
    }
  }
}
lo0 {
  unit 0 {
    family inet {
      address 10.0.0.3/32;
    }
  }
}
```

```
    }
  }
}
routing-options {
  router-id 10.0.0.3;
}
protocols {
  ospf {
    area 0.0.0.0 {
      interface ge-1/0/2.0;
      interface ge-1/0/7.940;
      interface ge-0/0/0.0 {
        passive;
      }
    }
  }
}
security {
  zones {
    security-zone All {
      host-inbound-traffic {
        system-services {
          all;
        }
        protocols {
          all;
        }
      }
      interfaces {
        all;
      }
    }
  }
  policies {
    default-policy {
      permit-all;
    }
  }
}
```

## Liite 9. BGP, Juniper-R2-konfiguraatiot

```
version 10.4R7.5;
system {
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interfaces {
  ge-0/0/0 {
    unit 0 {
      description sisaverkko;
      family inet {
        address 199.0.1.1/24;
      }
    }
  }
}
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
  ge-1/0/7 {
    vlan-tagging;
    unit 0 {
      vlan-id 1;
    }
    unit 942 {
      description to-wg3-r1;
      vlan-id 942;
      family inet {
        address 102.100.100.2/30;
      }
    }
    unit 943 {
      description to-metrocore2;
      vlan-id 943;
      family inet {
        address 101.100.100.6/30;
      }
    }
  }
}
lo0 {
  unit 0 {
    family inet {
      address 13.13.13.1/32;
    }
  }
}
}
routing-options {
  router-id 13.13.13.1;
  autonomous-system 310;
```

```
}
protocols {
  bgp {
    export ospf-to-bgp;
    group wg3 {
      type external;
      peer-as 300;
      neighbor 102.100.100.1;
    }
    group metrocore2 {
      type external;
      peer-as 200;
      neighbor 101.100.100.5;
    }
  }
  ospf {
    area 0.0.0.0 {
      interface ge-0/0/0.0 {
        passive;
      }
    }
  }
}
policy-options {
  policy-statement ospf-to-bgp {
    term ospf-ainoastaan {
      from {
        protocol ospf;
        area 0.0.0.0;
      }
    }
    then accept;
  }
}
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 10. BGP, MetroCore1-konfiguraatiot

```
configure snmp sysName "MetroCore1"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "bgphallinta"
enable loopback-mode vlan bgphallinta
create vlan "route-to-juniper-r1"
create vlan "route-to-metrocore2"
create vlan "route-to-metroSW1"
disable port 1:2
disable port 1:4
disable port 1:6
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:19
disable port 1:20
configure vlan route-to-juniper-r1 add ports 1:5 untagged
configure vlan route-to-metrocore2 add ports 1:1 untagged
configure vlan route-to-metroSW1 add ports 1:3 untagged
configure vlan route-to-metroSW1 ipaddress 192.168.100.13 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW1
configure vlan route-to-juniper-r1 ipaddress 192.168.100.10 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-juniper-r1
configure vlan route-to-metrocore2 ipaddress 100.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore2
configure vlan bgphallinta ipaddress 10.0.0.6 255.255.255.255
enable ipforwarding vlan bgphallinta

#
# Module fdb configuration.
#
```

```
#
# Module rtmgr configuration.
#
configure iproute add default 100.100.100.1

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

# Module bgp configuration.
#
configure bgp AS-number 100
configure bgp routerid 10.0.0.6
create bgp neighbor 10.0.0.2 remote-AS-number 100
configure bgp neighbor 10.0.0.2 source-interface ipaddress 10.0.0.6
enable bgp neighbor 10.0.0.2
create bgp neighbor 100.100.100.2 remote-AS-number 200
enable bgp neighbor 100.100.100.2
configure bgp neighbor 10.0.0.2 next-hop-self
enable bgp export ospf-intra
enable bgp export ospf-inter
enable bgp export ospf-extern1
enable bgp export ospf-extern2
enable bgp
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.6
enable ospf originate-default always cost 1 type ase-type-2
enable ospf
configure ospf add vlan bgphallinta area 0.0.0.0
configure ospf add vlan route-to-juniper-r1 area 0.0.0.0
configure ospf add vlan route-to-metroSW1 area 0.0.0.0
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 11. BGP, MetroCore2-konfiguraatiot

```
configure snmp sysName "MetroCore2"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "route-to-juniper-r2"
configure vlan route-to-juniper-r2 tag 943
create vlan "route-to-metrocore1"
create vlan "route-to-wg3-r1"
configure vlan route-to-wg3-r1 tag 941
create vlan "sisaverkko"
enable loopback-mode vlan sisaverkko
disable port 1:2
disable port 1:3
disable port 1:4
disable port 1:5
disable port 1:6
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:20
configure vlan route-to-juniper-r2 add ports 1:19 tagged
configure vlan route-to-metrocore1 add ports 1:1 untagged
configure vlan route-to-wg3-r1 add ports 1:19 tagged
configure vlan sisaverkko ipaddress 195.0.0.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan sisaverkko
configure vlan route-to-metrocore1 ipaddress 100.100.100.2 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore1
configure vlan route-to-wg3-r1 ipaddress 101.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-wg3-r1
configure vlan route-to-juniper-r2 ipaddress 101.100.100.5 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-juniper-r2
```

```
!  
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!  
!  
  
#  
# Module bgp configuration.  
#  
configure bgp AS-number 200  
configure bgp routerid 10.0.0.7  
create bgp neighbor 100.100.100.1 remote-AS-number 100  
enable bgp neighbor 100.100.100.1  
create bgp neighbor 101.100.100.2 remote-AS-number 300  
enable bgp neighbor 101.100.100.2  
create bgp neighbor 101.100.100.6 remote-AS-number 310  
enable bgp neighbor 101.100.100.6  
enable bgp export direct  
enable bgp  
  
!  
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!  
!  
  
#  
# Module ospf configuration.  
#  
configure ospf routerid 11.11.11.1  
enable ospf  
configure ospf add vlan sisaverkko area 0.0.0.0  
  
!  
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!  
!
```



## Liite 12. BGP, WG3-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 1788 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg3-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
description sisaverkko wg3-r1
ip address 199.0.0.1 255.255.255.0
!
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface GigabitEthernet0/1
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/0/0
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
!
interface Serial0/0/1
no ip address
shutdown
!
interface FastEthernet0/1/0
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1
no ip address
duplex auto
speed auto
!
```

```
interface FastEthernet0/1/1.941
description Link to MetroCore2
encapsulation dot1Q 941
ip address 101.100.100.2 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/1/1.942
description Link to Juniper-r2
encapsulation dot1Q 942
ip address 102.100.100.1 255.255.255.252
!
router ospf 1
router-id 12.12.12.1
log-adjacency-changes
network 199.0.0.0 0.0.0.255 area 0
!
router bgp 300
no synchronization
bgp log-neighbor-changes
redistribute ospf 1
neighbor 101.100.100.1 remote-as 200
neighbor 101.100.100.1 description metrocore2
neighbor 102.100.100.2 remote-as 310
neighbor 102.100.100.2 description j2-r1
no auto-summary
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 13. BGP, WG4-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 1650 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg4-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.1 255.255.255.255
!
interface Loopback1
 ip address 192.168.0.1 255.255.255.255
!
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.939
 description Link to wg5-r1
 encapsulation dot1Q 939
 ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
!
router ospf 1
 router-id 10.0.0.1
 log-adjacency-changes
 area 1 nssa
 network 192.168.0.1 0.0.0.0 area 1
 network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
!
router bgp 100
 no synchronization
 bgp router-id 192.168.100.1
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 10.0.0.2 remote-as 100
 neighbor 10.0.0.2 description wg5-r1 bgp
 no auto-summary
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 14. BGP, WG5-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 2050 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg5-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.2 255.255.255.255
!
interface GigabitEthernet0/0
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface GigabitEthernet0/1
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/0/0
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
interface Serial0/0/1
 no ip address
 shutdown
!
interface FastEthernet0/1/0
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.938
 description Link to MetroSW1
```

```
encapsulation dot1Q 938
ip address 192.168.100.22 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/1/1.939
description Link to wg4-r1
encapsulation dot1Q 939
ip address 192.168.100.2 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/1/1.940
description Link to Juniper-R1
encapsulation dot1Q 940
ip address 192.168.100.5 255.255.255.252
!
router ospf 1
router-id 10.0.0.2
log-adjacency-changes
area 1 nssa
network 10.0.0.2 0.0.0.0 area 0
network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 0
network 192.168.100.20 0.0.0.3 area 0
!
router bgp 100
no synchronization
bgp router-id 10.0.0.2
bgp log-neighbor-changes
neighbor 10.0.0.6 remote-as 100
neighbor 10.0.0.6 description metrocore1
neighbor 192.168.100.1 remote-as 100
neighbor 192.168.100.1 description wg4-r1
neighbor 192.168.100.1 route-reflector-client
no auto-summary
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 15. PIM, WG1-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 1549 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg1-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.5 255.255.255.255
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/0
 description sisaverkko
 ip address 222.222.222.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.937
 description Link to MetroSW1
 encapsulation dot1Q 937
 ip address 192.168.100.18 255.255.255.252
 ip pim sparse-mode
!
router ospf 1
 router-id 10.0.0.5
 log-adjacency-changes
 area 2 stub
 network 192.168.100.16 0.0.0.3 area 2
 network 222.222.222.0 0.0.0.255 area 2
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 16. PIM, WG4-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 1665 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg4-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
ip multicast-routing
!
interface Loopback0
ip address 10.0.0.1 255.255.255.255
!
interface Loopback1
ip address 192.168.0.1 255.255.255.255
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/1
no ip address
duplex auto
speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.939
description Link to wg5-r1
encapsulation dot1Q 939
ip address 192.168.100.1 255.255.255.252
!
router ospf 1
router-id 10.0.0.1
log-adjacency-changes
area 1 nssa
network 192.168.0.1 0.0.0.0 area 1
network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
!
router bgp 100
no synchronization
bgp router-id 192.168.100.1
bgp log-neighbor-changes
neighbor 10.0.0.2 remote-as 100
neighbor 10.0.0.2 description wg5-r1 bgp
no auto-summary
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 17. PIM, WG5-R1-konfiguraatiot

```
Current configuration : 2187 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname wg5-r1
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
ip cef
!
ip multicast-routing
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface Loopback0
 ip address 10.0.0.2 255.255.255.255
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interface FastEthernet0/1/0
 ip address 222.222.200.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1/1.938
 description Link to MetroSW1
 encapsulation dot1Q 938
 ip address 192.168.100.22 255.255.255.252
 ip pim sparse-mode
!
interface FastEthernet0/1/1.939
 description Link to wg4-r1
 encapsulation dot1Q 939
 ip address 192.168.100.2 255.255.255.252
!
interface FastEthernet0/1/1.940
 description Link to Juniper-R1
 encapsulation dot1Q 940
 ip address 192.168.100.5 255.255.255.252
```



```
ip pim sparse-mode
!
router ospf 1
router-id 10.0.0.2
log-adjacency-changes
area 1 nssa
network 10.0.0.2 0.0.0.0 area 0
network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 1
network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 0
network 192.168.100.20 0.0.0.3 area 0
network 222.222.200.0 0.0.0.255 area 0
!
router bgp 100
no synchronization
bgp router-id 10.0.0.2
bgp log-neighbor-changes
neighbor 10.0.0.6 remote-as 100
neighbor 10.0.0.6 description metrocore1
neighbor 192.168.100.1 remote-as 100
neighbor 192.168.100.1 description wg4-r1
neighbor 192.168.100.1 route-reflector-client
no auto-summary
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 18. PIM, MetroCore1-konfiguraatiot

```
configure snmp sysName "MetroCore1"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "bgphallinta"
enable loopback-mode vlan bgphallinta
create vlan "route-to-juniper-r1"
create vlan "route-to-metrocore2"
create vlan "route-to-metroSW1"
disable port 1:2
disable port 1:3
disable port 1:4
disable port 1:6
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:20
configure vlan route-to-juniper-r1 add ports 1:5 untagged
configure vlan route-to-metrocore2 add ports 1:1 untagged
configure vlan route-to-metroSW1 add ports 1:3 untagged
configure vlan route-to-metroSW1 ipaddress 192.168.100.13 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW1
configure vlan route-to-juniper-r1 ipaddress 192.168.100.10 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-juniper-r1
configure vlan route-to-metrocore2 ipaddress 100.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore2
configure vlan bgphallinta ipaddress 10.0.0.6 255.255.255.255
enable ipforwarding vlan bgphallinta

configure iproute add default 100.100.100.1
#
# Module mcmgr configuration.
```

```
#
disable igmp snooping vlan "route-to-juniper-r1"
enable ipmcforwarding vlan "bgphallinta"
enable ipmcforwarding vlan "route-to-juniper-r1"
enable ipmcforwarding vlan "route-to-metrocore2"
enable ipmcforwarding vlan "route-to-metroSW1"
enable pim snooping vlan "route-to-juniper-r1"
enable pim snooping vr VR-Default
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
# Module bgp configuration.
#
configure bgp AS-number 100
configure bgp routerid 10.0.0.6
create bgp neighbor 10.0.0.2 remote-AS-number 100
configure bgp neighbor 10.0.0.2 source-interface ipaddress 10.0.0.6
enable bgp neighbor 10.0.0.2
create bgp neighbor 100.100.100.2 remote-AS-number 200
enable bgp neighbor 100.100.100.2
configure bgp neighbor 10.0.0.2 next-hop-self
enable bgp export ospf-intra
enable bgp export ospf-inter
enable bgp export ospf-extern1
enable bgp export ospf-extern2
enable bgp
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.6
enable ospf originate-default always cost 1 type ase-type-2
enable ospf
configure ospf add vlan bgphallinta area 0.0.0.0
configure ospf add vlan route-to-juniper-r1 area 0.0.0.0
configure ospf add vlan route-to-metroSW1 area 0.0.0.0
#
# Module pim configuration.
#
configure pim add vlan "route-to-juniper-r1" sparse
configure pim crp vlan "route-to-juniper-r1" "mcryhmat" 10
enable pim
configure pim cbsr vlan "route-to-juniper-r1" 10
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 19. PIM, MetroSW1-konfiguraatiot

```
configure snmp sysName "MetroSW1"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
configure vlan default delete ports 1-26
create vlan "route-to-metroCore1"
create vlan "route-to-wg1-r1"
configure vlan route-to-wg1-r1 tag 937
create vlan "route-to-wg5-r1"
configure vlan route-to-wg5-r1 tag 938
disable port 1
disable port 2
disable port 3
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 25
disable port 26
configure vlan route-to-metroCore1 add ports 25 untagged
configure vlan route-to-wg1-r1 add ports 24 tagged
configure vlan route-to-wg5-r1 add ports 24 tagged
configure vlan Mgmt ipaddress 10.0.0.4 255.255.255.255
configure vlan route-to-metroCore1 ipaddress 192.168.100.14 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroCore1
configure vlan route-to-wg1-r1 ipaddress 192.168.100.17 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-wg1-r1
```

```
configure vlan route-to-wg5-r1 ipaddress 192.168.100.21 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-wg5-r1
```

```
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
```

```
#
disable igmp snooping vlan "route-to-wg1-r1"
disable igmp snooping vlan "route-to-wg5-r1"
enable ipmcforwarding vlan "route-to-metroCore1"
enable ipmcforwarding vlan "route-to-wg1-r1"
enable ipmcforwarding vlan "route-to-wg5-r1"
enable pim snooping vlan "route-to-wg1-r1"
enable pim snooping vlan "route-to-wg5-r1"
enable pim snooping vr VR-Default
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
```

```
#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.4
enable ospf
create ospf area 0.0.0.2
configure ospf area 0.0.0.2 stub nosummary stub-default-cost 10
configure ospf add vlan route-to-metroCore1 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-metroCore1 priority 0
configure ospf add vlan route-to-wg1-r1 area 0.0.0.2
configure ospf vlan route-to-wg1-r1 priority 0
configure ospf add vlan route-to-wg5-r1 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-wg5-r1 priority 0
```

```
#
# Module ospfv3 configuration.
#
```

```
#
# Module pim configuration.
#
configure pim add vlan "route-to-wg1-r1" sparse
configure pim add vlan "route-to-wg5-r1" sparse
enable pim
```

```
!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 20. PIM, Juniper-R1-konfiguraatiot

```
version 10.4R7.5;
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
interfaces {
  ge-0/0/0 {
    unit 0 {
      description sisaverkko;
      family inet {
        address 192.168.200.1/24;
      }
    }
  }
  ge-1/0/0 {
    unit 0;
  }
  ge-1/0/1 {
    unit 0;
  }
  ge-1/0/2 {
    unit 0 {
      description metrocore1;
      family inet {
        address 192.168.100.9/30;
      }
    }
  }
}
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
  ge-1/0/7 {
    vlan-tagging;
    unit 0 {
      vlan-id 1;
    }
    unit 940 {
      description to-center-switch;
      vlan-id 940;
      family inet {
        address 192.168.100.6/30;
      }
    }
  }
}
lo0 {
  unit 0 {
    family inet {
      address 10.0.0.3/32;
    }
  }
}
```

```
    }  
  }  
}  
routing-options {  
  router-id 10.0.0.3;  
}  
protocols {  
  ospf {  
    area 0.0.0.0 {  
      interface ge-1/0/2.0;  
      interface ge-1/0/7.940;  
      interface ge-0/0/0.0 {  
        passive;  
      }  
    }  
  }  
  pim {  
    interface ge-1/0/2.0 {  
      mode sparse;  
    }  
    interface ge-1/0/7.940 {  
      mode sparse;  
    }  
  }  
}  
!  
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!  
!
```

## Liite 21. VRRP, MetroCore1-konfiguraatiot

```
configure snmp sysName "MetroCore1"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "route-to-metroSW2"
create vlan "route-to-sisaverkko"
disable port 1:1
disable port 1:2
disable port 1:4
disable port 1:5
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:19
disable port 1:20configure vlan route-to-metroSW2 add ports 1:6 untagged
configure vlan route-to-sisaverkko add ports 1:3 untagged
configure vlan route-to-sisaverkko ipaddress 192.168.0.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan route-to-sisaverkko
configure vlan route-to-metroSW2 ipaddress 100.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW2

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module ospf configuration.
#
enable ospf
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
configure ospf add vlan route-to-metroSW2 area 0.0.0.0
```



```
!  
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!  
!  
#  
# Module vrrp configuration.  
#  
create vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1  
configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 priority 255  
configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 add 192.168.0.1  
enable vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1  
configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 add track-iproute 192.168.100.0 2  
55.255.255.0
```

## Liite 22. VRRP, MetroCore2-konfiguraatiot

```
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroCore2"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "route-to-metroSW4"
create vlan "route-to-sisaverkko"
disable port 1:1
disable port 1:2
disable port 1:3
disable port 1:5
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:19
disable port 1:20

configure vlan route-to-metroSW4 add ports 1:4 untagged
configure vlan route-to-sisaverkko add ports 1:6 untagged
configure vlan route-to-sisaverkko ipaddress 192.168.0.2 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan route-to-sisaverkko
configure vlan route-to-metroSW4 ipaddress 120.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW4
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
#
# Module ospf configuration.
#
enable ospf
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
```

```
configure ospf add vlan route-to-metroSW4 area 0.0.0.0
!  
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!  
!  
#  
# Module vrrp configuration.  
#  
create vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1  
configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 add 192.168.0.1  
enable vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1  
configure vrrp vlan route-to-sisaverkko vrid 1 add track-iproute 192.168.100.0 2  
55.255.255.0
```

## Liite 23. VRRP, MetroSW1-konfiguraatiot

```
* MetroSW1.4 # show confi
#
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW1"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
disable port 1
disable port 2
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
disable port 26
configure vlan Default add ports 1-26 untagged

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 24. VRRP, MetroSW2-konfiguraatiot

```
* MetroSW2.24 # show configuration
#
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW2"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
configure vlan default delete ports 1-26
create vlan "route-to-metrocore1"
create vlan "route-to-metroSW3"
disable port 1
disable port 2
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
disable port 25
configure vlan route-to-metrocore1 add ports 3 untagged
configure vlan route-to-metroSW3 add ports 26 untagged
configure vlan route-to-metrocore1 ipaddress 100.100.100.2 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore1
configure vlan route-to-metroSW3 ipaddress 192.168.100.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW3
```

```
!  
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!  
!  
  
#  
# Module ospf configuration.  
#  
enable ospf  
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1  
configure ospf add vlan route-to-metrocore1 area 0.0.0.0  
configure ospf vlan route-to-metrocore1 priority 0  
configure ospf vlan route-to-metroSW3 priority 0  
  
!  
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!  
!  
  
#  
# Module vrrp configuration.  
#  
create vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1  
configure vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1 priority 255  
configure vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1 add 192.168.100.1  
enable vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1  
configure vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1 add track-iproute 192.168.0.0 255.2  
55.255.0  
  
!  
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!  
!
```

## Liite 25. VRRP, MetroSW3-konfiguraatiot

```
#
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW3"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
disable port 1
disable port 3
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
configure vlan Default add ports 1-26 untagged,

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 26. VRRP, MetroSW4-konfiguraatiot

```
#
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW4"
configure sys-recovery-level switch reset
#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
configure vlan default delete ports 1-26
create vlan "route-to-metrocore2"
create vlan "route-to-metroSW3"
disable port 1
disable port 2
disable port 3
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
configure vlan route-to-metrocore2 add ports 26 untagged
configure vlan route-to-metroSW3 add ports 25 untagged
configure vlan route-to-metrocore2 ipaddress 120.100.100.2 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore2
configure vlan route-to-metroSW3 ipaddress 192.168.100.2 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW3

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```



```
#
# Module ospf configuration.
#
enable ospf
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
configure ospf add vlan route-to-metrocore2 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-metrocore2 priority 0
configure ospf vlan route-to-metroSW3 priority 0

!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!

#
# Module vrrp configuration.
#
create vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1
configure vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1 add 192.168.100.1
enable vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1
configure vrrp vlan route-to-metroSW3 vrid 1 add track-iproute 192.168.0.0 255.2
55.255.0

!
!oletuskonfiguraatitulosia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 27. ESRP, MetroCore1-konfiguraatiot

```
configure snmp sysName "MetroCore1"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "route-to-metroSW2"
create vlan "sisaverkko"
disable port 1:1
disable port 1:2
disable port 1:4
disable port 1:5
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:19
disable port 1:20
configure vlan route-to-metroSW2 add ports 1:6 untagged
configure vlan sisaverkko add ports 1:3 untagged
configure vlan sisaverkko ipaddress 192.168.0.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan sisaverkko
configure vlan route-to-metroSW2 ipaddress 100.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW2
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module esrp configuration.
#
create esrp sisaverkkoESRP
configure esrp sisaverkkoESRP domain-id 5000
configure esrp sisaverkkoESRP priority 10
configure esrp sisaverkkoESRP add master sisaverkko
```

```
configure esrp sisaverkkoESRP election-policy priority > mac
enable esrp sisaverkkoESRP
configure esrp sisaverkkoESRP add track-vlan route-to-metroSW2
```

```
!
```

```
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
```

```
!
```

```
#
```

```
# Module ospf configuration.
```

```
#
```

```
configure ospf routerid 10.0.0.1
```

```
enable ospf
```

```
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
```

```
configure ospf add vlan route-to-metroSW2 area 0.0.0.0
```

```
!
```

```
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
```

```
!
```

## Liite 28. ESRP, MetroCore2-konfiguraatiot

```
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroCore2"
configure slot 1 module GM-20XTR
configure sys-recovery-level slot 1 reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1:1-20
configure vr VR-Default add ports 1:1-20
configure vlan default delete ports 1:1-20
create vlan "route-to-metroSW4"
create vlan "sisaverkko"
disable port 1:1
disable port 1:2
disable port 1:3
disable port 1:5
disable port 1:7
disable port 1:8
disable port 1:9
disable port 1:10
disable port 1:11
disable port 1:12
disable port 1:13
disable port 1:14
disable port 1:15
disable port 1:16
disable port 1:17
disable port 1:18
disable port 1:19
disable port 1:20
configure vlan route-to-metroSW4 add ports 1:4 untagged
configure vlan sisaverkko add ports 1:6 untagged
configure vlan sisaverkko ipaddress 192.168.0.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan sisaverkko
configure vlan route-to-metroSW4 ipaddress 120.100.100.1 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW4

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module esrp configuration.
#
create esrp sisaverkkoESRP
```

```
configure esrp sisaverkkoESRP domain-id 5000
configure esrp sisaverkkoESRP priority 5
configure esrp sisaverkkoESRP add master sisaverkko
configure esrp sisaverkkoESRP election-policy priority > mac
enable esrp sisaverkkoESRP
configure esrp sisaverkkoESRP add track-vlan route-to-metroSW4

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.2
enable ospf
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
configure ospf add vlan route-to-metroSW4 area 0.0.0.0

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 29. ESRP, MetroSW1-konfiguraatiot

```
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW1"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
create vlan "sisaverkko"
disable port 1
disable port 2
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
disable port 26
configure vlan Default add ports 1-26 untagged
configure vlan sisaverkko ipaddress 192.168.0.1 255.255.255.0

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module esrp configuration.
#
create esrp sisaverkkoESRP
configure esrp sisaverkkoESRP domain-id 5000
configure esrp sisaverkkoESRP priority 2
```

```
configure esrp sisaverkkoESRP add master sisaverkko
configure esrp sisaverkkoESRP election-policy priority > mac
configure esrp sisaverkkoESRP aware add selective-forward-ports 3, 25 group 0
```

```
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

```
#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf vlan sisaverkko priority 0
```

```
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 30. ESRP, MetroSW2-konfiguraatiot

```
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW2"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
configure vlan default delete ports 1-26
create vlan "route-to-metrocore1"
create vlan "route-to-metroSW3"
disable port 1
disable port 2
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
disable port 25
configure vlan route-to-metrocore1 add ports 3 untagged
configure vlan route-to-metroSW3 add ports 26 untagged
configure vlan route-to-metrocore1 ipaddress 100.100.100.2 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore1
configure vlan route-to-metroSW3 ipaddress 192.168.100.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW3

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```



```
#

#
# Module esrp configuration.
#
create esrp ulkoverkkoESRP
configure esrp ulkoverkkoESRP domain-id 6000
configure esrp ulkoverkkoESRP priority 10
configure esrp ulkoverkkoESRP add master route-to-metroSW3
configure esrp ulkoverkkoESRP election-policy priority > mac
enable esrp ulkoverkkoESRP
configure esrp ulkoverkkoESRP add track-vlan route-to-metrocore1

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.3
enable ospf
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
configure ospf add vlan route-to-metrocore1 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-metrocore1 priority 0
configure ospf vlan route-to-metroSW3 priority 0

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 31. ESRP, MetroSW3-konfiguraatiot

```
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW3"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
create vlan "route-to-metroSW3"
disable port 1
disable port 3
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
configure vlan Default add ports 1-26 untagged
configure vlan route-to-metroSW3 ipaddress 192.168.100.1 255.255.255.0

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module esrp configuration.
#
create esrp ulkoverkkoESRP
configure esrp ulkoverkkoESRP domain-id 6000
configure esrp ulkoverkkoESRP priority 2
```

```
configure esrp ulkoverkkoESRP add master route-to-metroSW3
configure esrp ulkoverkkoESRP election-policy priority > mac
configure esrp ulkoverkkoESRP aware add selective-forward-ports 25-26 group 0
```

```
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

```
#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf vlan route-to-metroSW3 priority 0
```

```
!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

## Liite 32. ESRP, MetroSW4-konfiguraatiot

```
# Module devmgr configuration.
#
configure snmp sysName "MetroSW4"
configure sys-recovery-level switch reset

#
# Module vlan configuration.
#
configure vlan default delete ports all
configure vr VR-Default delete ports 1-26
configure vr VR-Default add ports 1-26
configure vlan default delete ports 1-26
create vlan "route-to-metrocore2"
create vlan "route-to-metroSW3"
disable port 1
disable port 2
disable port 3
disable port 4
disable port 5
disable port 6
disable port 7
disable port 8
disable port 9
disable port 10
disable port 11
disable port 12
disable port 13
disable port 14
disable port 15
disable port 16
disable port 17
disable port 18
disable port 19
disable port 20
disable port 21
disable port 22
disable port 23
disable port 24
configure vlan route-to-metrocore2 add ports 26 untagged
configure vlan route-to-metroSW3 add ports 25 untagged
configure vlan route-to-metrocore2 ipaddress 120.100.100.2 255.255.255.252
enable ipforwarding vlan route-to-metrocore2
configure vlan route-to-metroSW3 ipaddress 192.168.100.1 255.255.255.0
enable ipforwarding vlan route-to-metroSW3

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!
```

```
#
# Module esrp configuration.
#
create esrp ulkoverkkoESRP
configure esrp ulkoverkkoESRP domain-id 6000
configure esrp ulkoverkkoESRP priority 5
configure esrp ulkoverkkoESRP add master route-to-metroSW3
configure esrp ulkoverkkoESRP election-policy priority > mac
enable esrp ulkoverkkoESRP
configure esrp ulkoverkkoESRP add track-vlan route-to-metrocore2

!
!oletuskonfiguraatiotuloksia poistettu näkymästä!
!

#
# Module ospf configuration.
#
configure ospf routerid 10.0.0.4
enable ospf
enable ospf export direct cost 1 type ase-type-1
configure ospf add vlan route-to-metrocore2 area 0.0.0.0
configure ospf vlan route-to-metrocore2 priority 0
configure ospf vlan route-to-metroSW3 priority 0
```