

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Elektroniikan koulutusohjelma /Tietoliikennetekniikka

Antti Mäkelä

OSPF-IS-IS-migraatio

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma

MÄKELÄ, ANTTI

OSPF-IS-IS-migraatio

Opinnäytetyö

43 sivua + 9 liitesivua

Työn ohjaaja

yliopettaja Martti Kettunen

Toimeksiantaja

Kymen Puhelin Oy

Huhtikuu 2010

Avainsanat

ospf, is-is, reititysprotokolla, reititys, migraatio

Tämä opinnäytetyö on tehty Kymen Puhelin Oy:n toimeksiantona Kymenlaakson ammattikorkeakoulun SimuNet-verkkoa hyödyntäen. SimuNet on osittain EAKR-rahoitteinen hanke, jonka osapuolia ovat Kymenlaakson ammattikorkeakoulu ja alueen verkko-operaattorit.

Työn tarkoituksena oli tutkia, miten OSPF-IS-IS-migraatio eli reititysprotokollan vaihto OSPF:stä IS-IS:ään tehdään tuotantoverkkoa simuloivassa verkossa ja mitä asioita migraatiota tehtäessä tulee ottaa huomioon. Tarkoituksena oli myös vertailla OSPF- ja IS-IS-reititysprotokollien ominaisuuksia teoreettisesti erikokoisten operaattoreiden kannalta. Käytännössä protokollien vertailu toteutettiin luomalla SimuNet-verkkoon erilaisia katkostilanteita ja mittaamalla sitä, kuinka nopeasti reititysprotokollat ottavat varareitin käyttöön katkoksen sattuessa eli kuinka nopeasti reititysprotokollat konvergoituvat.

Opinnäytetyön käytännön osuus aloitettiin tekemällä OSPF:n konvergoitumistestit ja kirjaamalla niiden tulokset muistiin. Reititysprotokollien migraatio aloitettiin luomalla SimuNetin reitittimiä varten IS-IS-konfiguraatiot, jonka jälkeen ne syötettiin reitittimiin. Tämän jälkeen tarkastettiin IS-IS-reitityksen toimivuus ja sitten vasta poistettiin OSPF käytöstä eli annettiin SimuNet-verkon reititys kokonaan IS-IS:n vastuulle. Migraation suorittamisen jälkeen tehtiin konvergoitumistestit IS-IS:llä ja kirjattiin tulokset ylös. Migraation aikana kokeiltiin sen vaikutusta verkon käyttäytymiseen kytkemällä kaksi tietokonetta SimuNetin runkoverkkoon simuloimaan palveluntarjoajan asiakkaiden liikennettä. Reititysprotokollien konvergoitumistestit tehtiin samalla kytkennällä.

Opinnäytetyön aikana saatiin onnistuneesti simuloitua migraatio SimuNet-verkossa. Opinnäytetyössä suoritettujen konvergoitumistestien perusteella todettiin, että kun käytössä on IS-IS-reititysprotokolla, verkko konvergoituu nopeammin kuin käytettäessä OSPF:ää. Teoreettisen analyysin perusteella IS-IS on parempi reititysprotokolla erikokoisten operaattoreiden kannalta. Tähän dokumenttiin kirjattuja tuloksia voidaan kenties hyödyntää Kymen Puhelimen tuotantoverkon ylläpitoon liittyvissä toteutuksissa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Electronics

MÄKELÄ, ANTTI

OSPF-IS-IS migration

Bachelor's Thesis

43 pages + 9 pages of appendices

Supervisor

Martti Kettunen, Principal Lecturer

Commissioned by

Kymen Puhelin Oy

April 2010

Keywords

ospf, is-is, routing protocol, routing, migration

The purpose of this thesis was to study the implementation of OSPF-IS-IS migration in a simulated production network. Further objectives were to theoretically analyze the OSPF and IS-IS routing protocols from the viewpoint of an Internet service provider, and to study which one of the routing protocols converges faster in the case of a network failure. The study was conducted in the SimuNet environment, which is a project commenced by Kymenlaakso University of Applied Sciences in association with the local Internet service providers, with the purpose to simulate the network of an Internet service provider. The SimuNet project is funded by the European Regional Development Fund.

The practical part of the thesis was started by doing convergence tests with OSPF and documenting the results after each test. After that, the migration was initiated by creating and placing the IS-IS configurations into the SimuNet network routers. Once the IS-IS configurations were confirmed, the OSPF routing protocol configurations were removed from the routers so the IS-IS protocol could take over the routing of the SimuNet network. After the migration, the convergence tests were conducted with IS-IS, and the results were documented. During the migration, an experiment was conducted to analyze the effects of the migration on a customer. The test was accomplished by connecting two computers to the SimuNet network and creating traffic between them. The convergence tests with the routing protocols were performed with the same connection.

The result of the study was a successful simulation of migration in the SimuNet network, proving, on the basis of the convergence tests, that the IS-IS routing protocol converges faster than the OSPF routing protocol. The theoretical analysis indicates that the IS-IS is a better routing protocol for an Internet service provider. The results of this study could potentially be utilized in the implementations of the Kymen Puhelin production network.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNELUETTELO

1. JOHDANTO	8
2. SIMUNET	9
3 OSPF	10
3.1 Taustaa	10
3.2 Toimintaperiaatteet	10
3.3 OSPF-paketin rakenne	12
4 IS-IS	13
4.1 Taustaa	13
4.2 Toimintaperiaatteet	14
4.3 IS-IS-paketin rakenne	16
5. OSPF- JA IS-IS-ANALYYSI	18
5.1 Reititinten tunnistaminen	18
5.1.1 OSPF Router Identification	18
5.1.2 IS-IS System Identification	19
5.2 Alueet	20
5.2.1 OSPF-alueet	21
5.2.2 IS-IS-alueet	22
5.3 Metriikat	24
5.4 Tietoturva	25
5.5 Protokollien suhde MPLS VPN -palveluihin	26
5.6 Tulevaisuus	27
5.6.1 OSPFv3	27
5.6.2 IS-IS ja IPv6	27
6. MIGRAATIO	28
7. OSPF-IS-IS-MIGRAATIO SIMUNETIIN	29
7.1 Asetukset	29
7.2 Asetusten syöttö	31
7.3 OSPF:n alasajo	32
7.4 Migraation vaikutukset verkkoon	33

8. OSPF- JA IS-IS-KONVERGOITUMISTESTIT	34
8.1 Konvergoitumistestit	36
8.1.1 Testi A	36
8.1.2 Testi B	36
8.1.3 Testi C	37
8.1.4 Testi D	38
8.2 OSPF	38
8.2.1 Testi A:n tulokset	38
8.2.2 Testi B:n tulokset	38
8.2.3 Testi C:n tulokset	39
8.2.4 Testi D:n tulokset	39
8.3 IS-IS	39
8.3.1 Testi A:n tulokset	39
8.3.2 Testi B:n tulokset	39
8.3.3 Testi C:n tulokset	40
8.3.4 Testi D:n tulokset	40
9. YHTEENVETO	40
LÄHTEET	42
LIITTEET	
Liite 1. SimuNetin fyysinen kytkentä	
Liite 2. IS-IS-show-komentojen esimerkit	
Liite 3. OSPF- ja IS-IS-reititystaulut	
Liite 4. Konvergoitumistestien taulukot	
Liite 5. Opinnäytetyössä käytetyn PE-reitittimen OSPF-konfiguraatio	
Liite 6. Opinnäytetyössä käytetyn PE-reitittimen IS-IS-konfiguraatio	

LYHENNELUETTELO

ABR	Area Border Router; OSPF alueen reunareititin
AID	Area Identification; OSPF- ja IS-IS-protokollien alueen tunnistus
BDR	Backup Designated Router; OSPF-protokollan varareititin
BGP	Border Gateway Protocol;
DEC	Digital Equipment Corporation; tietotekniikkavalmistaja
DIS	Designated Intermediate System; IS-IS-protokollan päreititin
DNS	Domain Name System; verkon nimipalvelujärjestelmä, joka muuttaa verkkotunnuksia IP-osoitteiksi
DR	Designated Router; OSPF-protokollan päreititin
EAKR	Euroopan aluekehitysrahasto
ES	End System; päätelaite OSI-verkossa
GEC	Gigabit Ethernet Channel; gigabitin lähiverkkokanava
IETF	Internet Engineering Task Force;
IGP	Internet Gateway Protocol;
IIH	Intermediate System-to-Intermediate System Hello; IS-IS-protokollan reititinten välinen hello-paketti

IP	Internet Protocol; Internet protokolla
IPv6	Internet Protocol version 6; Internet protokollan versio 6
IS	Intermediate System; reititin IS-IS-verkossa
IS-IS	Intermediate System –to-Intermediate System; linkkitilaprotokolla
ISO	International Organization for Standardization; kansainvälinen standardisointiorganisaatio
LAN	Local Area Network; lähiverkko
LSA	Link-State Advertisement; OSPF-protokollan linkkitilainos
LSP	Link-State PDU, IS-IS-protokollan linkkitilapaketti
MAC	Media Access Control; lähiverkoissa verkon varaamisesta ja liikennöinnistä huolehtiva osajärjestelmä
Mbps	Megabits per second; Megabittiä sekunnissa
MPLS	Multi Protocol Label Switching; tiedonsiirtomenetelmä ilman IP-pakettien reititystä
NET	Network Entity Title; reitittimen ja alueen tunnukset sisältävä osoite IS-IS-reitittimessä
OSI	Open Systems Interconnection; ISO:n määrittelemä malli verkko-ohjelmistojen kerroksittaisesta rakenteesta

OSPF	Open Shortest Path First; linkkitilaprotokolla
PDU	Protocol Data Unite, IS-IS-protokollan paketti
RFC	Request For Comments; IETF:n julkaisemia Internetiä koskevia standardeja
RID	Router Identification; OSPF- ja IS-IS-protokollien reitittimen tunnistus
RIP	Routing Information Protocol; etäisyysvektorilla toimiva reititysprotokolla
SFP	Shortest Path First; algoritmi, jolla reitittimet laskevat lyhyimpiä reittejä
SNP	Sequence Number PDU; IS-IS-protokollan reitityspaketti
VPLS	Virtual Private LAN Service; layer-2 VPN tekniikka
VPN	Virtual Private Network; näennäisesti yksityinen verkko

1. JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Kymen Puhelin Oy:n toimeksiantona Kymenlaakson ammatti-korkeakoulun SimuNet-alustalle. Tämä opinnäyte oli ensimmäisten työelämälähtöisten, SimuNet-laitteistoa hyödyntävien opinnäytetöiden joukossa ja sen tavoitteena oli toteuttaa OSPF-IS-IS-migraatio koko ajan toiminnassa olevaan tuotantoverkkoon ja tutkia, miten verkko käyttäytyy migraation aikana. Todellista tietoliikenneoperaattorin tuotantoverkkoa simuloitiin käyttämällä apuna SimuNet-alustan runkoverkkoa, joka oli rakennettu valmiiksi ennen opinnäytetyön aloittamista. Kymen Puhelimella on mahdollisesti tarkoitus hyödyntää opinnäytetyössä saatua tietoa oman tuotantoverkonsa kehittämisessä.

Mahdollisia syitä migraation tekemiselle voisivat olla joko se, että OSPF ei tue IPv6:ta tai se, että IS-IS on nopeampi ja tietoturvallisempi vaihtoehto operaattoriverkon sisäiseksi reititysprotokollaksi kuin OSPF. Työn tarkoituksena ei kuitenkaan ollut migraation lisäksi tutkia käytännössä reititysprotokollien tietoturvaa eikä IPv6:n toteutuksia. Tarkoitus oli tutkia, miten kauan aikaa kuluu erilaisissa reitittimien välisten yhteyksien katkostilanteissa, jotta verkon liikenne palautuu normaaliksi, kun käytössä on OSPF-tai IS-IS -protokolla. Tässä dokumentissa palautumisnopeuden mittauksissa on käytetty termiä konvergoituminen, joka tarkoittaa reititysprotokollan palautumista verkkotopologian muutoksesta. Palautumisnopeutta tutkittiin luomalla erilaisia katkostapauksia SimuNet-alustan runkoverkkoon ja mittaamalla liikenteelle aiheutuneiden katkosten pituuksia. Työssä ei ollut tarkoitus tutkia reititysprotokollien optimointia katkostilanteiden varalle.

Työssä käytetyt reititysprotokollat OSPF ja IS-IS on valittu, koska ne ovat kaikkien laitevalmistajien tukemia standardoituja reititysprotokollia ja ne ovat yleisesti käytössä erikokoisilla palveluntarjoajilla. Reititysprotokollien valinnan syynä on myös se, että Kymen Puhelimen verkon reititysprotokollana toimii OSPF ja yrityksen aikeena on mahdollisesti vaihtaa reititysprotokollaksi IS-IS.

Opinnäytetyön dokumenttiin on myös sisällytetty teoreettista tarkastelua molemmista reititysprotokollista erikokoisten operaattorien kannalta katsottuna ja kerrottu kumman reititysprotokollan toiminnasta.

2. SIMUNET

Opinnäytetyössäni keskeisessä osassa on SimuNet, joka on Kymenlaakson ammattikorkeakoulun ja alueen puhelinoperaattorien yhteinen EAKR (Euroopan aluekehitysrahasto)-rahoitteinen hanke. Hankkeen tarkoituksena on simuloida operaattoriverkkoa ja luoda siihen operaattorin palveluita.(1, 8 – 10)

Olisin voinut tehdä myös opinnäytetyöni ilman SimuNetiä, mutta tällöin olisin joutunut tekemään kokeilut laboratorioympäristössä laitteilla, joita muutkin käyttävät. Tällöin olisin joutunut tyhjentämään laitteet joka käyttökerran jälkeen. Lisäksi kliinisessä laboratorioympäristössä virheitä saa sattua, mikä taas ei ole mahdollista oikean operaattorin verkossa, jota SimuNet simuloi. Tuotantoverkossa laitteita ei saa käynnistää uudelleen virheen sattuessa, sillä asiakkaiden toiminnot häiriintyvät.

Minun ja kahden muun opiskelijan vastuulle tuli SimuNet-hankkeessa runkoverkon kytkennän rakentaminen (Liite 1) sekä erilaisten MPLS-palveluiden kokeileminen. Runkoverkon laitteet olivat aluksi kaikki samassa laitekaapissa, mutta siirsimme ne kahteen eri laitekaappiin, jotta ne simuloisivat kahta eri maantieteellistä sijaintia. Runkoverkko sisältää kaksi Ciscon C7604-reititintä (PE5 ja PE6), yhden C6000-kytkimen (P6) ja yhden C6500-kytkimen (P5). C7604-laitteet toimivat operaattorin palveluntarjoajan reunalaitteina (Provider Edge, PE) ja C6000-sarjan laitteet runkoreitittiminä (Provider, P).

Runkoverkon kytkentä toteutettiin Liitteen 1 mukaisesti. Reunalaitteet PE5 ja PE6 kytkettiin runkolaitteisiin P5 ja P6 kahdella yhteydellä, joista paikallinen yhteys on kuparikaapelilla ja etäyhteys on kuidulla. P5- ja P6-laitteiden välillä runkoyhteytenä on kaksi kuitukaapelia gigabitin lähiverkkokanavana (Gigabit Ethernet Channel, GEC).

Kuituyhteydet on tehty redundanttisesti varmistamaan, että asiakas ei huomaisi mitään, vaikka jokin runkoyhteyksistä tai runkolaitteista vikaantuisi.

Rungon reititysprotokollaksi valittiin OSPF, koska se on käytössä useimmilla operaattoreilla ja SimuNetiin tulevaa erillistä palveluntarjoajaa varten käynnistettiin myös BGP kaikkiin runkoverkon laitteisiin. SimuNetin alkuperäiset OSPF-konfiguraatiot ovat liitteessä 5. Migraation jälkeen OSPF:ää ei palautettu järjestelmään, vaan reititysprotokollaksi jäi IS-IS. Erillisen palveluntarjoajan EISPin tarkoitus SimuNetissä on simuloida Internetiä.

3 OSPF

3.1 Taustaa

Open Shortest Path First (OSPF) kehitettiin Internet Protokollaa (IP) varten Internet Engineering Task Forcen (IETF) Internet Gateway Protocol (IGP) työryhmässä. Työryhmä perustettiin vuonna 1988 kehittämään IGP:hen perustuvaa Shortest Path First (SPF) algoritmia Internetin käyttöön. OSPF luotiin, koska 80-luvun puolivälissä huomattiin, että Routing Information Protocol (RIP) alkoi olla riittämätön reitittämään alati kasvavia verkkoja. (2)

OSPF:llä on kaksi tärkeää piirrettä. Ensimmäinen piirre OSPF:llä on sen avoimuus, joka tarkoittaa sitä, että sen määrittelyt ovat julkisia. OSPF:n määrittelyt on julkaistu Request For Comments (RFC) 1247:nä. Toinen tärkeä piirre on, että OSPF perustuu SPF algoritmiin, johon joskus viitataan Dijkstra-algoritminä. (2)

3.2 Toimintaperiaatteet

OSPF toimii OSI-mallin kolmannella eli verkkokerroksella ja käyttää toiminnassaan IP:n protokollanumeroa 89. OSPF on linkkitilaprotokolla (Link-State Protocol), joka pyytää linkkitilailmoituksia (Link-State Advertisement, LSA) kaikilta samalla alueella olevilta reitittimiltä. Tieto käytössä olevista liityntäporteista, metriikoista, reititystaulusta ja muista muuttujista sijaitsevat OSPF:n LSA:ssa. Kerättyään tiedot kaikkien

alueen reitittimien linkkiloista, OSPF-reititin muodostaa linkkilataulukon (Link-State Database), joka on identtinen kaikkien alueen reitittimien kanssa. Linkkilataulukon avulla OSPF-reitittimet käyttävät SPF-algoritmiä lyhyimmän reitin löytämiseksi saman OSPF-alueen eri verkkoihin. Linkkilailmoitusten (LSA) virta OSPF-alueessa käynnistyy aina, kun verkossa tapahtuu jokin muutos, esimerkiksi verkkoon lisätään uusi reititin tai jokin reitittimien välinen yhteys katkeaa. (2; 3, 89 – 91; 4, 134, 179 – 180)

Liitettäessä reititin OSPF-verkkoon reititin suorittaa naapureidensa kanssa kolmivaiheisen kättelyn (three-way handshake). Tämän jälkeen reitittimistä tulee läheisiä (adjacent). Reitittimistä täytyy tulla täysin läheisiä (fully adjacent) OSPF-verkossa, jotta ne pystyvät lähettämään reititystietoja alueen reitittimien kanssa. Reitittimestä tulee täysin läheinen silloin, kun sen linkkilataulukossa on kaikki OSPF-alueen reitit. Läheisyyden muodostumisen jälkeen reitittimet lähettävät toisilleen Hello-viestejä, joiden tarkoitus on pitää yllä reititinten läheisyys. (2, 3, 89 – 91; 4, 101 – 103)

Linkkilaviestien määrän pienentämiseksi Ethernet-verkoissa OSPF:ään on kehitetty Designated Router (DR) ja Backup Designated Router (BDR). DR:n tehtävänä on pitää yllä koko verkon kattavaa linkkilataulukkoa ja lähettää linkkilapäivitys kaikille verkon reitittimille aina muutoksen tapahtuessa ja muut verkon reitittimet lähettävät itseään koskevat tiedot vain DR:lle. BDR:n tarkoitus on ottaa vastuulleen DR:n tehtävät, jos se katoaa verkosta. (5, 53 – 57)

OSPF-verkot ovat hierarkisia. Se ilmenee niin, että tietyllä alueella toimivista reitittimistä muodostetaan autonomisia reititysalueita. OSPF-reitittimessä voi olla useampia OSPF-prosesseja, jotka huolehtivat eri autonomisista reititysalueista. OSPF:n aluehierarkia muodostuu runkoalueesta (area 0) ja reuna-alueista, jotka numeroidaan yhdestä ylöspäin. Jokainen OSPF-alue muodostaa oman linkkilataulukonsa ja jotta reitittimet pystyvät kommunikoimaan toisella alueella olevien reitittimien kanssa, on alueiden välissä oltava rajareititin (Area Border Router, ABR). Kaikkien reuna-alueiden tulee olla yhteydessä runkoalueeseen, jotta eri reuna-alueiden reitittimet pystyvät kommunikoimaan toistensa kanssa. OSPF-alueiden tarkoitus on pienentää reitittimien

linkkitilataulukoiden kokoa ja vähentää reititinten linkkitilapäivitysten määrää. (2; 3, 125 – 127; 4, 149 – 151)

OSPF:ssä käytetään omaa tunnusta sekä reitittimille (Router Identification, RID) että alueille (Area Identification, AID). RID on 32-bittinen reitittimen tunnus. RID:nä käytetään ensisijaisesti reitittimen virtuaalisen loopback-liityntäportin IP-osoitetta. Jos loopbackia ei ole määritetty, RID:ksi valikoituu jokin reitittimen liityntäporttien osoitteista. AID on alueen tunnus, joka Ciscon reitittimissä numeroidaan nolasta ylöspäin. (3, 73 ja 4, 81 – 82)

3.3 OSPF-paketin rakenne

OSPF-paketilla (kuva 1.) on aina 24 tavua pitkä otsikko-osa. Otsikko koostuu kahdeksasta eri muuttumattomasta osasta ja vaihtelevasta dataosiosta. (2)

Field length, in bytes	1	1	2	4	4	2	2	8	Variable
	Version number	Type	Packet length	Router ID	Area ID	Check-sum	Authent-ication type	Authentication	Data

Kuva 1. OSPF-paketin rakenne. (2)

OSPF-paketin otsikko-osien kentät:

Version number: Määrittää OSPF:n version (1, 2 tai 3)

Type: Tunnistaa käytetyn OSPF-paketin, joita ovat:

Hello: Muodostaa naapuruussuhteet ja ylläpitää niitä

Database description: Kertoo reitittimen topologiatietokannan sisällön. Näitä viestejä lähetetään vain OSPF-reitittimien läheisyyden muodostamisen jälkeen.

Link-state request: Tällä tyyppillä OSPF-reititin pyytää naapurireitittimiltä osia topologiatietokannasta. OSPF-reititin lähettää tämän tyyppisiä

paketteja silloin kun se huomaa, että osia sen topologiatietokannasta on vanhentunut.

Link-state update: Vastaa link-state requestiin. Näitä viestejä käytetään myös säännöllisten LSA-viestien lähettämiseen. Useampi LSA voidaan sisällyttää yhteen pakettiin.

Link-state acknowledgment: Hyväksyy link-state update-paketit.

Packet length: Kertoo paketin koon tavuina, OSPF-otsikko-osan mukaan lukien.

Router ID: Ilmoittaa paketin lähettäjän.

Area ID: Ilmoittaa mihin OSPF-alueeseen paketti kuuluu. Kaikki OSPF-paketit kuuluvat johonkin yksittäiseen OSPF-alueeseen.

Checksum: Tarkistaa Koko paketin mahdollisista, lähetyksen aikana tapahtuneista virheistä.

Authentication type ja Authentication: Sisältävät tiedon käytössä olevasta tunnistusmenetelmästä ja tunnistetiedot. Kaikki OSPF:n protokollamuunnokset reitittimissä tunnistetaan. Tunnistetietojen avulla saadaan myös selville, että paketti saapuu juuri siitä reitittimestä, mistä se väittää saapuvansa.

Data: Sisältää ylempien kerrosten pakatun tiedon.

4 IS-IS

4.1 Taustaa

International Organization for Standardization (ISO) standardisoi reititysprotokollan nimeltä Intermediate System to Intermediate Systemin (IS-IS) standardissaan 10589 vuonna 1992. IS-IS:n kehitys alkoi kuitenkin jo vuonna 1987 Digital Equipment Corporationin (DEC) DECnet Phase V:ssä. IS-IS suunniteltiin toimimaan ISO:n Open

Systems Incorrection (OSI) Connectionless Network Servicessä (CLNS). IP-reititys IS-IS:lle määriteltiin vuonna 1990. IP:n liittämisen jälkeen IS-IS sai nimen Integrated IS-IS viitaten siihen, että se toimii OSI-reitityksen lisäksi IP-reitityksessä. Varsinainen läpimurto IS-IS:n runkoreitityskäytössä tapahtui vuosien 1994 – 1996 välisenä aikana Ciscon yhdistäessä toisen, IS-IS:n kanssa lähes samankaltaisen reititysprotokollan käyttöjärjestelmäänsä. (4, 22 – 23; 6)

IS-IS:n tärkeitä piirteitä ovat sen toimiminen OSI-mallin toisella eli siirtoyhteyskerroksella ja OSPF:ää nopeampi ja valmius uusien toimintatapojen käyttöönottoon (kuten IPv6 ja MPLS). IS-IS-reititys toimii OSPF:n tapaan SPF-algoritmillä. (4, 69, 368)

IS-IS:ssä kutsutaan ISO-terminologian mukaan reitittämiä nimellä Intermediate System (IS) ja päätelaitteita, kuten esimerkiksi tietokone nimellä End System (ES). (6)

4.2 Toimintaperiaatteet

IS-IS on OSPF:n tapaan linkkilaprotokolla, jossa reitittimet lähettävät toisilleen erilaisia paketteja (Protocol Data Unit, PDU) muodostaakseen linkkilataulukot. Näitä paketteja on kahta eri tyyppiä:

Link State PDU (LSP), joita käytetään hieman samaan tapaan kuin OSPF:n LSA:ta eli luomaan ja ylläpitämään linkkilataulukkoja.

Sequence Number PDU (SNP), joka sisältää koosteen yhdestä tai useammasta LSP:stä. SNP:tä on kahta eri tyyppiä, Complete (CSNP) ja Partial (PSNP). Näitä paketteja käytetään lähettämään kokonainen reitittimen linkkilataulukko tai vain osia siitä. (4, 66; 7, 236, 240; 8)

Reitittimet lähettävät myös IS-IS Hello-paketteja (IIH) toisilleen ja nämä Hello-paketit toimivat samaan tapaan kuin OSPF:n Hello-paketit eli niiden tarkoitus on löytää naapurireititin ja muodostaa ja ylläpitää läheisyyttä naapurin kanssa. (4, 93 ja 8)

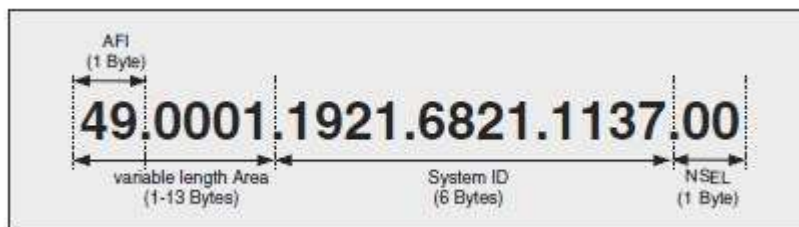
Liitettäessä IS-IS reititin verkkoon reititin suorittaa kaksivaiheisen (two-way handshake) tai kolmivaiheisen kättelyn naapurinsa kanssa, minkä jälkeen reitittimet ovat läheisiä toisilleen. Toisin kuin OSPF:ssä, IS-IS:ssä reititinten ei tarvitse olla täysin läheisiä toisilleen välittääkseen reititystietoja. Kaksivaiheisia kättelyitä esiintyy vain suorakytkentäisten (point-to-point) reitittimien välillä, kolmivaiheisia kättelyitä esiintyy sekä suorakytkentäisissä yhteyksissä että LAN-yhteyksissä. (4, 103 – 109; 7, 119 – 131)

IS-IS:ssä linkkitilaviestien rajoittamisen Ethernet-verkoissa hallitsee Designated Intermediate System (DIS). DIS:n toimintaperiaate on samanlainen kuin OSPF:n DR:n eli se pitää yllä koko verkon kattavaa linkkitilataulukkoa ja lähettää tiedot verkon muutoksista levitysviestinä alueen muille reitittimille. OSPF:stä poiketen IS-IS:ssä ei ole varareititintä DIS:lle. (4, 115 – 117)

IS-IS-reitittimet muodostavat OSPF:n tapaan alueita, mutta aluehierarkia on täysin erilainen. IS-IS:ssä reitittimet voivat olla kolmen tyyppisiä; Level-1 (L1), Level-2 (L2) tai Level 1-2 (L1/L2). L1-reitittimet toimivat yhden autonomisen alueen sisäpuolella ja vaihtavat LSP:itä vain toisten L1-reitittimien ja L1/L2-reitittimien kanssa. L1/L2-reitittimet toimivat hiukan samalla tavalla kuin OSPF:n ABR:t. Ne vaihtavat reititystietoja autonomisen alueen sisäpuolella olevien L1-reitittimien kanssa sekä toisen alueen L2-reitittimien kanssa. L2-reitittimet toimivat autonomisten alueiden välillä ja vaihtavat LSP-viestejä vain toisten L2-reitittimien kanssa. Reitittimet voivat kuulua sekä samaan että eri autonomiseen alueeseen. Toisin kuin OSPF:ssä IS-IS:ssä alueet voivat olla miten tahansa yhteydessä toisiinsa, eikä IS-IS:ssä ole varsinaista runkoaluetta. IS-IS-verkon rungon muodostavat L2-reitittimet. IS-IS-alueiden tarkoitus on sama kuin OSPF:ssä, eli pienentää reititystauluja ja vähentää reititinten linkkitilapäivitysten määrää. (4, 151 – 153; 6; 7, 83 – 85; 8)

IS-IS:n alueiden ja reitittimien tunnistaminen on täysin erilainen kuin OSPF:ssä. Molempien tunnistamiseen käytetään Network Entity Title (NET) osoitetta (Kuva 2.). NET-osoitteessa on 4 eri osiota (Kuva 2.). Ensimmäinen osio AFI (Authority and Format Identifier) kertoo nimensä mukaisesti millä oikeutuksella reititin toimii, yleensä arvo on 49, koska se tarkoittaa yksityistä osoitteistoa. Toinen osio on alueen tun-

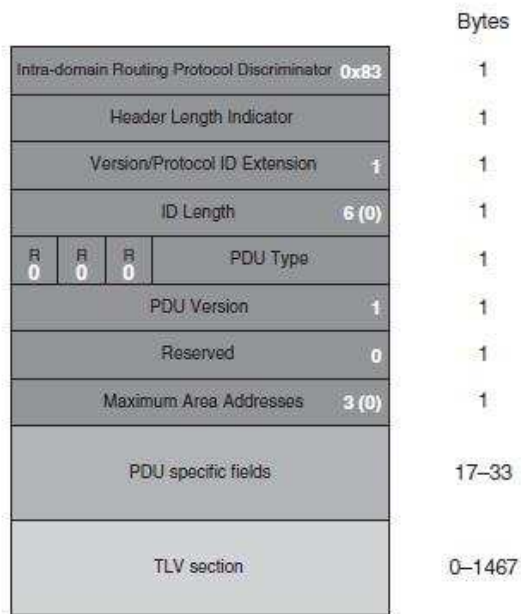
nus, joka voi olla 1-13 tavua pitkä. Kolmas on järjestelmän tunnus (System ID, SID), johon määritellään reitittimen tunnus heksa-arvoina, tunnuksen määrittämiseksi on useita eri tapoja, joista kerron luvussa 5.1. Neljäs arvo on NSEL (Network Service Access Point Selector) ja tämän kentän arvo on aina nolla. NET-osoitteet toimivat heksadesimaalijärjestelmällä eikä kymmenjärjestelmällä, kuten kuvasta 2 voi olettaa. Reititinten tunnistamiseen IS-IS:ssä on myös termi Subnetwork Point of Attachment (SNPA), joka on ominaisuus, jolla aliverkon palvelut aliverkkoon tarjoaa laite. SNPA on looginen liityntäportti, joka on yhdistetty siirtoyhteyteen ja sitä edustaa reitittimen siirtoyhteyserroksen osoite eli MAC(Media Access Control)-osoite. (4, 88; 7, 100 – 104; 8)



Kuva 2. NET-osoitteen rakenne. (7, 101)

4.3 IS-IS-paketin rakenne

IS-IS-paketeilla on kahdeksantavuinen yhteinen otsikko-osa, 17–33-tavuinen PDU-osa ja vaihteleva TLV (Type/Length/Value)-osa (Kuva 3.). (6; 7, 90 – 91)



Kuva 3. IS-IS-paketin otsikko-osan rakenne. (7, 91)

IS-IS-paketin otsikko-osan kentät:

Intra-domain Routing Protocol Discriminator: IS-IS:lle määritelty verkkokerroksen tunnistin ISO 9577:ssä, arvo aina 0x83.

Header Length Indicator: Kertoo otsikon pituuden okteetteina.

Version/Protocol ID Extension: Toistaiseksi saa aina arvon 1.

ID Length: Kertoo järjestelmän tunnuksen pituuden, oltava sama jokaisessa toimialueen laitteessa. Jätettäessä tämä arvo nolaksi viittaa siihen, että käytössä on 6 tavuinen tunnus.

PDU Type: Kertoo paketin tyyppin, onko kyseessä Hello, LSP vai SNP.

PDU Version: Tämäkin kenttä saa aina arvon 1.

Reserved: Kentän kuusi ensimmäistä bittiä on varattu, kaksi viimeistä määrittää minkä tason paketti on kyseessä; 0 tarkoittaa L1, 1 tarkoittaa L2 ja 3 tarkoittaa L1/L2.

Maximum area address: Kertoo tietylle IS-alueelle määritettyjen osoitteiden maksimimäärän. Arvot ovat välillä 1 – 254, oletusarvo 0 tarkoittaa maksimissaan kolmea osoitetta.

PDU specific fields: Jokaisella PDU-tyypillä on omat arvot tähän kenttään, PDU-tyyppinä olivat Hello, LSP ja SNP.

TLV section: Sisältää TLV-tiedot.

5. OSPF- JA IS-IS-ANALYYSI

Tarkastelen tässä luvussa hieman tarkemmin OSPF:n ja IS-IS:n ominaisuuksia ja niiden eroja. Pyrin myös tutkimaan molempia protokollia erikokoisten verkkojen kannalta.

5.1 Reititinten tunnistaminen

Molemmat reititysprotokollat käyttävät reititinten tunnistamiseen järjestelmän tunnusta (RID tai SID). Tunnus kuitenkin esiintyy protokollissa hyvin eri tavalla.

5.1.1 OSPF Router Identification

RID voidaan määrittää OSPF:ään manuaalisesti, mutta jos sitä ei ole määritetty, RID määräytyy reitittimen loopback-portin osoitteen mukaan. Jos osoitetta loopbackille ei ole määritetty, RID määräytyy jonkin reitittimen porttiin asetetun IP-osoitteen mukaisesti. Mikäli missään portissa ei ole osoitetta, OSPF ei voi käynnistyä. Yleisimmin OSPF-reitittimen RID:nä käytetään loopback-osoitetta. (4, 81 – 82.)

Joissain OSPF:n toteutuksissa on ominaisuus *Domain Name Lookup*, jolla reitittimet voidaan tunnistaa nimen perusteella. Näissä toteutuksissa reititin hakee nimeä IP-osoitteen perusteella verkon nimipalvelusta eli DNS:stä. Tällöin kaikkien OSPF-

verkon reitittimien loopback-osoitteiden on oltava lisättyinä DNS-palvelimeen. Menetelmä voi kuitenkin olla haitallinen, sillä reitittimet hidastuvat, kun ne odottavat vastausta DNS-palvelimelta, joka voi olla ruuhkautunut. (4, 100)

Reitittimien tunnistaminen OSPF-verkoissa on melko selkeää, jos verkon koko pysyy melko pienenä ja topologia selkeänä. Suurissa verkoissa tunnistus alkaa olla ongelma, sillä IP-osoitteet ovat hankalasti etsittävisiä, kun verkkoa huolletaan tai yritetään ratkaista siihen liittyvää ongelmaa. Suurissa verkoissa ongelman voi ratkaista pilkkomalla verkon pienempiin OSPF-alueisiin. Tunnistaminen olisi selkeämpää, jos reitittimet nimetään esimerkiksi maantieteellisen sijainnin mukaan ja OSPF tukisi naapurien tunnistusta nimen perusteella.

5.1.2 IS-IS System Identification

IS-IS:ssä SID määritetään NET-osoitteen yhteydessä. SID on 6-tavuinen numerosarja, joka määritellään heksadesimaaleilla ja se esiintyy kolmena neljän numeron sarjana NET-osoitteessa (Kuva 2.).

SID:n määrittäminen voi kuulostaa vaikealta, mutta sen tekemiseen on monia eri keinoja:

- SID voidaan määrittää suoraan heksadesimaaleilla reitittimiin, esimerkiksi AAAA.BBBB.CCCC. Tämä tapa voi kuitenkin olla hieman hankala, varsinkin jos verkossa on useita reitittimiä.
- Reitittimet voidaan numeroida suoraan alkaen yhdestä, esimerkiksi 0000.0000.0001. Tämä tapa voi olla hyödyllinen pienissä verkoissa tai laboratorioverkoissa, mutta suurissa verkoissa luvut voivat mennä sekaisin heksadesimaalien takia. (4, 88 – 90)
- Reitittimen SID:ksi voi määrittää verkon käytössä olevan liityntäportin MAC-osoitteen, koska se on 6-tavun pituinen niin kun SID:kin. MAC-osoite on taatusti ainutlaatuinen ja sitä ei voi olla millään toisella verkon laitteella, mutta se on kuitenkin melko epäselvä. (4, 88 – 90)
- Yleisin tapa luoda SID:t reitittimiin on käyttää reitittimen loopbackin IP-osoitetta, kuten OSPF:ssäkin. Määrittämiseen on useita tapoja, mutta esittelen vain yhden niistä. Loopback-osoite on esimerkiksi 192.168.115.200, osoittees-

ta otetaan kolmen numeron väliset pisteet pois, jolloin saadaan 192168115200, tämän jälkeen laitetaan pisteet SID:n vaatimiin paikkoihin ja saadaan valmis SID 1921.6811.5200. (4, 88 – 90; 7, 100 – 104)

IS-IS:ään on määritetty dynaamisen nimeämisen mahdollistava laajennus, jonka nimi on Dynamic Hostname Exchange. Se mahdollistaa reitittimen nimen lähettämisen LSP:ssä olevassa Dynamic Hostname TLV:ssä. Tämän ominaisuuden ansiosta reitittimien SID:t eivät näy IS-IS-komennoissa vaikeana numerosarjana vaan suoraan reitittimille annettuina niminä. Dynaamisen nimeämisen voi todeta esimerkiksi syöttämällä Ciscon reitittimeen komento *show isis hostname*, joka kertoo reitittimen tunnistamat reitittimet, niiden SID:n ja dynaamisen nimen, komennon lähettänyt reititin on merkitty tähdellä (kuva 4.). (4, 99 – 100; 7, 105 – 107)

```
Turku#show isis hostname
Level System ID      Dynamic Hostname
  *   1921.6800.1013  Kotka
     1921.6800.1014  Turku
     1921.6800.1018  Stockholm
[...]
```

Kuva 4. *Show isis hostname*-komento dynaamisen nimeämisen todentamiseksi.

IS-IS:illä on huomattava etu OSPF:ään nähden reititinten tunnistamisessa sen dynaamisen nimeämiskäytännön ansiosta. Suurien, keskikokoisten ja pienten verkkojen työoperaatiot, huollot ja ongelmien ratkomiset onnistuvat huomattavasti helpommin, kun laitteissa on heksadesimaalilukusarjan sijasta selkeä teksti.

5.2 Alueet

Molemmat reititysprotokollat perustuvat kaksitasoiseen hierarkiaan. Alueiden tarkoitus on jakaa linkkitilatoimialueet pienempiin osiin, jotta reitittimien prosessoreiden ei tarvitsisi laskea liian monimutkaisia SPF(Shortest Path First)-laskuja ja että reitittimien linkkitilataulukot eivät kasva liian suuriksi. Aluejako pienentää myös verkossa kulkevien linkkitilaviestien määrää. (4, 61 – 62)

Alueilla ei ole suurta merkitystä pienten operaattoreiden verkoissa, joissa ei ole montaa reititintä. Tällöin ne voivat tyytyä yhteen alueeseen. Suurien ja keskikokoisten operaattorien verkoissa alueiden käytöllä kuitenkin on merkitystä. Verkkoon kohdistuvat työtehtävät helpottuvat jaettaessa reititustoimialue pienempiin alueisiin, koska tällöin reititystaulut pysyvät pienempinä ja vikojen paikallistaminen on helpompaa.

Molemmissa protokollissa lievänä hättana on se, että alueiden rajareitittimet eivät mainosta metriikoita alueiden välillä vaan mainostavat reitit alueesta toiselle "hyppyinä" kuten RIP-protokollassa. Tästä seuraa, että alueiden välinen reititys ei ole linkkien tiloihin perustuvaa vaan ainoastaan etäisyysvektoreilla toimivaa reititystä. (4, 219 – 220)

5.2.1 OSPF-alueet

OSPF:n kaksitasoinen hierarkia koostuu ylemmän tason runkoalueesta, joka Ciscon laitteissa on aina nimeltään area 0 ja alemman tason alueista, joiden täytyy olla yhteydessä runkoalueeseen. Alemman tason alueilla voi olla mikä tahansa 32-bittinen tunnisteen alkaen numero yhdestä. (3, 122; 4, 149)

Alemman tason reitittimet yhdistetään runkoalueeseen jo luvussa 3.2 mainitulla ABR:lla (Area Border Router). ABR voi yhdistää yhden tai useamman alueen runkoalueeseen. OSPF-verkossa reitittimestä tulee ABR, kun jokin sen liityntäportin IP-verkoista määritetään eri alueeksi kuin runkoalue. ABR:n tarkoitus on mainostaa tiivistettyjä reittejä alueelta toiselle. Alueet voivat olla yhdistettynä runkoalueeseen myös virtuaalisten linkkien avulla. (3, 122, 127; 4, 149, 241 – 242)

Yleensä reititysalueilla on tarve kommunikoida ulkopuolisten verkkojen kanssa ja OSPF:ssä kommunikoinnista huolehtii autonomous system boundary router (ASBR). ASBR:n tarkoitus on mainostaa ulkopuoliset reitit OSPF-toimialueelle. ASBR voi sijaita millä tahansa alueella ja se voi myös olla samalla ABR. (3, 127 – 128; 4, 150 – 151)

Tavanomaisesti ABR:t mainostavat kaikki ulkopuoliset reittinsä alueen sisäpuolisille reitittimille, jolloin kaikki toimialueen reitittimet löytyvät jokaisen alueen reitittimien reititystauluista. Toimialueessa voi kuitenkin olla heikompitehoisia reitittämiä ja hitaampia linkkejä, joiden ei tarvitse tietää kaikkia reittejä. Tässä tilanteessa OSPF:ssä apuun tulee reititystietoja rajoittavat stub-alueet. (3, 132; 4, 234)

OSPF:n stub-alueita on kolme. **Stub**-alue on sellainen, että se ei saa reittejä autonomisen alueen ulkopuolelta ja kaikki liikenne alueen ulkopuolelle siirtyy oletusreitintä kautta. **Totally stubby** alue on lähes samanlainen kuin stub-alue, mutta lisäksi se ei salli tiivistettyjä osoitealueita alueen ulkopuolelta. **Not-so-stubby**-alue saa reittejä alueen ulkopuolelta, mutta ei mainosta niitä eteenpäin. (3, 132 – 134; 4, 234 – 240)

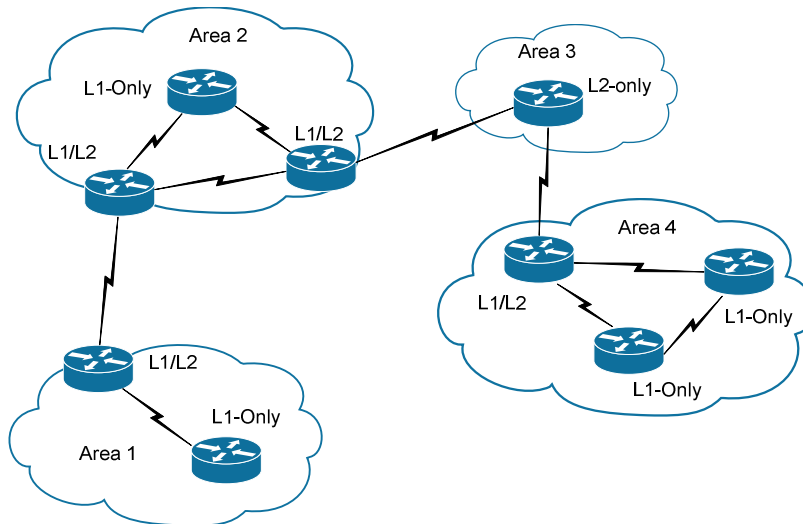
OSPF-tukee maksimissaan 350:tä reitintä alueella, mutta tämä on vain joidenkin palveluntarjoajien antama maksimimäärä. Jotkut kauppiat antavat suositukseksi 50 reitintä alueella ja 3 aluetta per ABR. Nämä arvot ovat kuitenkin suuntaa antavia ja määrä mukautuu yhtäläillä verkon vakauden ja nopeuden mukaan. (9, 211)

OSPF-aluehierarkia sopii hyvin pieniin ja keskikokoisiin verkkoihin, koska niissä reitintien ja alueiden määrä pysyy järkevissä rajoissa. Suurissa verkoissa jo alueiden konfigurointi saattaa tuoda ongelmia, koska reititystaulujen pitämiseksi siedettävissä rajoissa on luotava paljon alueita ja niiden kaikkien on oltava yhteydessä runkoalueeseen. Lisäksi, jos osa näistä alueista on stub-alueita, reititys toimialueen sisäpuolelta ulko verkkoon hidastuu jonkin verran oletusreitintien takia.

5.2.2 IS-IS-alueet

IS-IS:ssä kaksitasoinen hierarkia perustuu L2(Level-2)-reitittimien muodostamasta runkoalueesta, L1(Level-1)-reitittimien muodostamista alemman tason alueista ja OSPF:n ABR-reitittimien kaltaisesta toimivista L1/L2-tason reunareitittimistä. Hierarkia voi vaikuttaa hyvin samankaltaiselta kuin OSPF:ssä, mutta sitä se ei kuitenkaan ole. IS-IS:ssä ei ole ollenkaan 0-aluetta vaan runkoalue muodostuu L2-reitittimistä, jotka kommunikoivat vain eri tai samalla alueella olevien toisten L2-reitittimien kanssa (Kuva 5.). L1-reitittimet kommunikoivat vain alueen sisäpuolella olevien L1-

reitittimien kanssa (Kuva 5.) ja L1/L2-reitittimet muodostavat yhteyden eri alueiden välille kommunikoimalla sekä samalla sen kanssa olevien L1-reitittimien että eri alueella olevien L2-reitittimien kanssa (Kuva 5.). (4, 151 – 153, 248 – 251; 6, 7, 83 – 87; 8)



Kuva 5. Esimerkki IS-IS aluehierarkiasta

IS-IS:ssä kaksi täysin eri aluetta voi olla vierekkäin ja niiden välillä voi kulkea liikennettä, toisin kuin OSPF:ssä. Alueiden välillä tulee olla vain L2-yhteys. (7, 83 – 84)

Toisin kuin OSPF:ssä, alueiden välinen reititys IS-IS:ssä on suoraan oletuksena "totally stubby" eli reittejä L2-alueelta L1-alueelle ei mainosteta ollenkaan vaan L1/L2-reitittimet lähettävät L1-reitittimille LSP:ssään attachment bitin osoittaakseen yhteytensä L2-alueeseen, jolloin L1-reitittimet muodostavat oletusreitit LSP:n lähettäneeseen L1/L2-reitittimen suuntaan. L1/L2-reitittimet mainostavat kuitenkin L1-reitit L2-alueille. L1-reitittimiin on mahdollista saada L2-reittejä staattisten reittien tai reittien "vuodon" (route leaking) avulla. Reittien vuodossa L1/L2-reitittimiin määritellään komento, jolla L2-reitit "vuodetaan" tahallaan L1-alueelle. (4, 256 – 259; 7, 87 – 90)

IS-IS tukee kolmea NET-tunnusta reitittimessä, joka mahdollistaa reitittimen kuulumisen maksimissaan kolmeen eri alueeseen kerrallaan. Tämä on hyödyllistä silloin, kun suuresta alueesta tehdään pienempiä alueita, yhdistetään pienempiä alueita tai vaihdetaan yhden reitittimen alue. (4, 269 ja 7, 90 – 94)

IS-IS tukee OSPF:ää huomattavasti suurempaa määrää reitittimiä alueella, sillä jotkut suuret palveluntarjoajat ilmoittavat jopa 500:aa reititintä yhdellä alueella. Alueen suuruuteen vaikuttaa kuitenkin monta tekijää, muun muassa reitittimien prosessoriteho, muistin määrä, yhteysväleillä käytettävissä olevat kaistanleveydet ja vapaat verkko-resurssit. Reitittimien määrää enemmän vaikuttaa kuitenkin verkon vakaus ja vapaana olevat resurssit. IS-IS:n tukema reitittimien määrä on kuitenkin suurempi kuin OSPF:llä, koska IS-IS:ssä reitit ovat "SPF-puun lehtiä", eikä koko "puu" kaadu, jos yksi "lehdistä" katoaa. Toisin kuin OSPF:ssä, jossa yhden linkkiyhteyden katketessa, verkon SPF-taulu joudutaan laskemaan kokonaan uudelleen. Tämä kuormittaa verkon resursseja huomattavasti enemmän kuin IS-IS:ssä ja sen takia suuri OSPF-verkko vaatii enemmän resursseja kuin vastaavan kokoinen IS-IS-verkko. (9, 211)

IS-IS tukee hyvin kaiken kokoisia verkkoja alueiden osalta ja on erittäin joustava luottaessa uusia tai yhdistettäessä olemassa olevia alueita.

5.3 Metriikat

Molemmat protokollat käyttävät metriikoita lyhyimmän reitin laskemiseksi reitittimestä toiseen alueen sisäpuolella SPF-algoritmin avulla. Metriikoista käytetään yleisemmin termiä *cost*. Jokaisella reitittimen liityntäportilla on oma *cost*-arvonsa. *Cost*-arvolla 0 tarkoitetaan yleisesti staattista reittiä, joka on määritetty manuaalisesti reititimeen, reititysprotokollan SPF-algoritmi laskee lyhyimmät reitit tästä ylöspäin olevilla arvoilla.

OSPF:ssä *cost*-arvot voidaan määrittää manuaalisesti, mutta Ciscon reitittimissä on ominaisuus, jolla *cost*-arvo määräytyy automaattisesti liityntäportin nopeuden mukaisesti. Ciscon ominaisuudessa 100 Mbps jaetaan liityntäportin liikennöintinopeudella ja näin saadaan liityntäportille oma *cost*-arvo. Esimerkiksi 10 Mbps:n nopeudella toimivan liityntäportin *cost* arvo on $100 \text{ Mbps} / 10 \text{ Mbps} = 10$. (10)

Ciscon menetelmällä tosin ei tänä päivänä ole enää paljoa merkitystä, koska nopeudet ovat yli 100 Mbps:n luokkaa ja kyseisillä nopeuksilla cost-arvoksi tulee aina 1. (4, 154 – 155)

IS-IS:ssä liityntäporttien cost-arvot Ciscon reitittimissä ovat aina oletusarvoltaan 10 ja jos halutaan määrittää verkko suosimaan tiettyjä reittejä, on cost-arvot määritettävä manuaalisesti. Jätettäessä liityntäportit oletusarvoille, IS-IS toimii RIP-reititysprotokollan tavalla ja valitsee reitit pienimmän hyppymäärän mukaan. (4, 156 – 157)

Luotaessa IS-IS-verkkoa on hyvä laatia erittäin tarkka suunnitelma verkon metriikoille, jotta verkon reititys kuvastaa mahdollisimman hyvin linkkien tyyppiä ja verkon fyysisiä ominaisuuksia. Metriikat voidaan numeroida esimerkiksi linkkien etäisyytenä metreissä. (4, 156 – 157)

Palveluntarjoajan kannalta OSPF on helpompi ottaa käyttöön, koska siinä ei tarvitse erikseen määrittää eri nopeudella toimivien liityntäporttien cost-arvoja. IS-IS:ssä etuna on taas se, että hyvin suunnitteleamalla voidaan verkon liikenne ohjata optimaalisesti.

5.4 Tietoturva

Reititysprotokollille tyypillisiä tietoturvaohkia ovat hyökkäykset, joilla pyritään aiheuttamaan erilaisia vikatilanteita protokollien levitysviestien avulla. Kyseiset hyökkäykset voidaan tehdä liittymällä verkkoon fyysisesti eli kytkemällä tietokone reititysprotokollan toimialueeseen tai loogisesti ottamalla yhteys toimialueessa olevaan reititimeen esimerkiksi Telnetillä. Fyysiset hyökkäykset voidaan tehdä vain protokollan toimialueen sisäpuolelta tunkeutumalla esimerkiksi laitetilaan, jossa verkon reitittimet sijaitsevat. Loogiset hyökkäykset voidaan tehdä protokollan toimialueen sisä- tai ulkopuolelta. (4, 316 – 318)

Muita tietoturvaongelmia voi olla esimerkiksi väärän konfiguraation syöttäminen reititimeen tai palveluntarjoajan ja asiakkaan verkkojen yhdistyminen reititysprotokol-

lan takia. Tämän tyyppisiä ongelmia voidaan ennaltaehkäistä käyttämällä todennuksia reititinten välillä tai alueen sisäpuolella. (4, 316 – 318)

Lähtökohtaisesti OSPF:llä on IS-IS:ää huonompi tietoturva, koska se käyttää protokollaviesteissään IP-paketteja ja on siten altis reititustoimialueen ulkopuolelta tuleville hyökkäyksille. OSPF:ssä tietoturvaa voidaan parantaa ottamalla käyttöön todennukset, joita ovat selkokielineen salasana ja MD5 (Message Digest version 5)-salaustekniikalla varmennettu salasana. Selkokielineen salasana näkyy OSPF paketeissa nimensä mukaisesti selkokielellä, jolloin siitä ei ole hyötyä protokollaan kohdistuvia hyökkäyksiä vastaan vaan hyöty kohdistuu lähinnä reititinten välisiin todennuksiin, jolloin väärin konfiguroitu reititin ei pääse aiheuttamaan haittaa verkon reititykseen. MD5-salaustekniikalla varmenneet salasanat suojaavat protokollaan kohdistuvia hyökkäyksiä vastaan, sillä hyökkääjä ei tällöin näe käytössä olevaa salasanaa, vaan salaustekniikan laskeman matemaattisen algoritmin. Silloin hyökkääjä ei pääse lähettämään muokattuja levitysviestejä toimialueelle. (3, 236 – 237; 4, 319 – 322, 323 – 326; 10)

IS-IS:ssä tietoturva toimii samalla tavalla kuin OSPF:ssä eli selkokielisillä ja salaustekniikalla varmenneilla salasanoilla. IS-IS:n etu on, että se ei toimi IP-protokollalla eli verkkokerroksella ja tällöin se ei ole altis reititustoimialueen ulkopuolelta tuleville hyökkäyksille. Ainoa uhka on, että tunkeutuja pääsee fyysisesti tunkeutumaan verkon sisäpuolelle esimerkiksi murtautumalla laitekaappiin, jossa reitittimet sijaitsevat. Tämän tyyppinen tunkeutuminen ei kuitenkaan ole niin yleistä ja laitekaapit ovat yleensä hyvin turvattuja. (4, 318)

Operaattorien kannalta IS-IS on parempi tietoturvaa ajatellen, koska sitä käyttäessä operaattorin ei tarvitse ottaa niin suurta huolta verkon ulkopuolelta tulevista hyökkäyksistä.

5.5 Protokollien suhde MPLS VPN -palveluihin

MPLS-palveluissa reititysprotokollien tarkoitus on kuljettaa MPLS paketit verkon lävitse eli tarkoitus on lähes sama kuin reititysprotokollien toimiessa verkon sisäisessä reitityksessä. MPLS VPN -palvelut toimivat molemmissa reititysprotokollissa lähes

samalla tavalla. OSPF:ssä on oma Traffic Engineering LSA (TE LSA) ja IS-IS:ssä oma TE TLV MPLS-palveluita varten. Molempien pakettien sisältö on käytännössä sama ja näin ollen ei ole merkitystä kumpaa protokollaa MPLS-palveluissa käyttää. (4, 385 – 389)

5.6 Tulevaisuus

IPv6:n käyttöönotto tulee olemaan ajankohtaista kaikille verkoille lähitulevaisuudessa ja sen takia reititysprotokolliin on tehty IPv6-ratkaisut. OSPF:stä on tehty kokonaan uusi versio OSPFv3 ja IS-IS:ssä on luotu kaksi uutta TLV kenttää IPv6:tta varten.

5.6.1 OSPFv3

OSPFv3 määritellään RFC 2740:ssä. Protokollan perusmekanismit, tietokannat, tietorakenteet ja algoritmit ovat pysyneet samana kuin OSPF:n versio 2:ssa. OSPFv3 ei kuitenkaan ole taaksepäin yhteensopiva OSPFv2:n kanssa ja se tukee vain IPv6:ta. Tästä syystä verkossa joudutaan käynnistämään sekä OSPFv2 että OSPFv3, jos halutaan käyttää rinnakkain IPv4:ää ja IPv6:ta. (4, 404 – 405; 11, 4)

Operaattorin kannalta OSPFv3 ei ole suotuisin vaihtoehto, sillä verkossa joudutaan tekemään kaksi suurta muutosta. Ensin lisätään OSPFv3-protokolla ja sen jälkeen otetaan käyttöön tarvittavat IPv6-osoitteet. Tämän jälkeen poistetaan käytöstä vielä OSPFv2, mikäli verkossa ei enää tarvita IPv4-osoitteita. Jos molemmat IP-osoiteversiot jäävät käyttöön verkossa, joudutaan myös molemmat OSPF-versiot pitämään päällä ja tämä saattaa syödä paljon resursseja vanhemmissa reitittimissä. Palveluiden kannalta OSPFv3 on myös huonompi ratkaisu, sillä IPv6-palvelut tulevat käyttöön todennäköisesti vähitellen eivätkä kertarysäyksellä, jolloin molempia OSPF:n versioita joudutaan ajamaan pitkän aikaa operaattorin reitittimissä.

5.6.2 IS-IS ja IPv6

Tuki IPv6-reititykseen IS-IS:ssä on määritelty RFC 5308:ssa. IPv6-reitityksen aikaansaamiseksi on IS-IS:n linkkitilapakettiin lisätty kaksi uutta TLV kenttää; *IPv6*

Reachability ja *IPv6 Interface Address*. *Reachability*-kentällä on tarkoitus ilmoittaa lähettävän reitittimen tavoitettavuus verkossa ja *Interface Address*-kentällä on tarkoitus ilmoittaa paketin lähettäneen liityntäportin IPv6-osoite. IS-IS:ssä IPv6-reititys toimii samankaltaisesti IPv4-reitityksen kanssa. (4, 420 – 422; 12, 1 – 3.)

Operaattorikäytössä IS-IS on tulevaisuuden kannalta parempi vaihtoehto sen tukiessa valmiiksi IPv4- ja IPv6-protokollia. Tästä syystä operaattorin on helpompi muokata palvelunsa siirryttäessä IPv4:stä IPv6:een. Pelkästään uusien IPv6-reittienkin käyttöönotto on helpompaa, sillä vanhoja IPv4-osoitteilla toimivia reittejä ei tarvitse poistaa.

6. MIGRAATIO

Migraation tarkoituksena on vaihtaa Internetin palveluntarjoajan runkoverkon reititysprotokolla niin, että asiakkaille ei koidu toimenpiteestä pitkiä katkoksia. Migraatioita tehtäessä on myös otettava huomioon ajankäyttö, sillä kun toimenpide on aloitettu, se on vietävä loppuun asti ilman suurempia taukoja. Mikäli migraatioon käyttää liian pitkän ajan, saattaa jokin asia unohtua ja se voi vaikuttaa koko verkon toimintaa. (13)

Migraation alussa suunnitellaan verkon topologia uuden reititysprotokollan mukaiseksi luomalla esimerkiksi verkon aluetopologia uutta reititysprotokollaa vastaavaksi. Suunnitelman hiouduttua valmiiksi luodaan reititysprotokollan asetukset laitteita varten. (13)

Reitittimien asetuksia tehtäessä on myös otettava huomioon jo olemassa olevan verkon tietoturva. Migraation aikana on mahdollista, että verkkoon voi tulla hyökkäys, jonka avulla voidaan kaapata uuden reititysprotokollan konvergoitumisviesti, jolla voidaan aiheuttaa erilaisia hyökkäyksiä palveluntarjoajan verkkoon. On myös mahdollista, että reitittimet konvergoituvat väärällä tavalla ja aiheuttavat vikoja reititykseen. Nämä ongelmat voidaan estää ottamalla asetuksissa käyttöön varmennetut salasanat liityntäportteihin tai reititysprotokollan alueille. (4, 316 – 318; 7, 351 – 355.)

Asetuksien luomisen jälkeen kokeillaan laboratorioympäristössä, että ne toimivat halutulla tavalla. Uuden reititysprotokollan käynnistäminen voidaan aloittaa käytössä olevan reititysprotokollan rinnalle, kun kaikki asetukset toimivat oikein. (13)

Kun uusi asetukset laitetaan reitittimeen, on aina tarkistettava, että laitteiden väliset reitit löytyvät sekä vanhan että uuden reititysprotokollan reititystaulusta. Tässä vaiheessa reititinten kuuluu käyttää vielä vanhempaa reititysprotokollaa. (13)

Jotta uusi reititysprotokolla saadaan verkkoon hallinnoivaksi protokollaksi, on aiemman reititysprotokollan tärkeysarvoa muutettava niin, että reitittimet alkavat suosia korvaavaa reititysprotokollaa. Reititysprotokollien tärkeysarvot määräytyvät niin, että 0 arvolla oleva reitti on kaikkein tärkein ja arvolla 255 kuvataan huonointa mahdollista reittiä. Uuden reititysprotokollan otettua kaikki reitit vastuulleen on tarkistettava vielä kaikki reititystaulut ja yhteyksien toimivuus. Lopuksi ajetaan vanha reititysprotokolla alas. (13)

7. OSPF-IS-IS-MIGRAATIO SIMUNETIIN

Suoritin migraation luvussa 6 kuvaamallani tavalla eli mietin aluksi, minkälaisen topologian toteutan SimuNetin laitteilla. Topologian selvittyä loin IS-IS-asetukset valmiiksi reitittimiä varten ja testasin niiden toimivuuden laboratorion laitteissa. Ennen testattujen muutosten toteuttamista otin jokaisesta reitittimestä vanhat toimivat asetukset talteen, jotta toimivaan kokoonpanoon on helppo palata, jos migraation yhteydessä ilmenee ongelmia.

7.1 Asetukset

Reitittimien perustason IS-IS-asetukset eivät ole kovinkaan monimutkaiset. Ensin käynnistetään protokolla Ciscon reitittimissä `configure terminal` -tilassa komennolla `router isis`. Tämän jälkeen luodaan NET-osoite reitittimelle komennolla `net 49.0001.1720.3100.0001.00`. Mikäli reitittimen tasoa halutaan sijoittaa joko tasoon 1 (Level-1, L1) tai tasoon 2 (Level-2, L2) käytetään komentoa `is-type level-1` tai `is-type`

level-2-only. Ciscon reitittimet ovat oletuksena tasolla 1-2. Lopuksi käynnistetään IS-IS-reititys vielä halutuissa liityntäporteissa komennolla *ip router isis*. Designated Intermediate Systemin (DIS) valitsemiseksi käytetään komentoa *isis priority 100*, suurin prioriteettiarvo verkossa määrittää DIS:n. Tämä komento ei kuitenkaan ole välttämätön, sillä jos prioriteettiarvoa ei aseta, valikoituu DIS korkeimman SNPA (Subnetwork point-of-attachment address)-osoitteen eli liityntäportin MAC-osoitteen arvon mukaisesti.

SimuNetin P- ja PE- reitittimien asetukset loin kuvan 6 mukaisesti. Loin reitittimiin vain yhden alueen, koska pienellä operaattorilla, jota SimuNet simuloi, ei ole tarvetta luoda muutaman reitittimen verkkoon useampaa aluetta. NET-osoitteiden järjestelmän tunnusosan loin reitittimien loopback-osoitteiden avulla. Määritin kaikkien reitittimien tasoksi L1, koska niillä ei ole tarvetta kommunikoida toisten alueiden kanssa. Vain yhden tason käyttäminen pienentää lisäksi verkon kuormitusta levitysviestien osalta ja reitittimien IS-IS-taulukot pysyvät selkeämpinä. Yhden alueen käyttö sai myös ponnityöelämästä, sillä Kymen Puhelimellakaan ei ole käytössä omassa verkossaan kuin yksi alue. (14)

```

P                                     PE
conf t                               conf t
!                                     !
router isis                          router isis
net 49.0001.1720.3000.0001.00        net 49.0001.1720.3000.0002.00
is-type level-1                     is-type level-1
exit                                  exit
!                                     !
int g2/1                              int g3/0/0
ip router isis                       ip router isis
!                                     !
int g2/2                              int g3/0/1
ip router isis                       ip router isis
isis priority 100                    !
!                                     !
int g2/3                              int lo0
ip router isis                       ip router isis
!                                     !
int lo0                               int vlan 10
ip router isis                       ip router isis
end                                    !
!                                     !
int vlan 20
ip router isis
end

```

Kuva 6. IS-IS-komennot

7.2 Asetusten syöttö

Syötin asetukset jokaiseen reitittimeen telnet-yhteydellä. Tarkemmat asetukset löytyvät liitteestä 6. Asetukset menivät reitittimiin ilman ongelmia, eikä asiakkaita kuvaavien Linux tietokoneiden väliseen yhteystestiin tullut yhtään katkosta.

Asetusten määrittämisen jälkeen tarkistin, että IS-IS on aktiivisena reitittimissä ja että reitittimet löytävät toisensa seuraavilla komennoilla:

sh clns neighbors. On komento, jolla näkee IS-IS:n muodostamat naapuruussuhteet. (Liite 2, kuva 1.)

sh ip protocols. Komennolla näkee, mitä reititysprotokollia reitittimessä on kyseisenä ajankohtana käytössä. Tässä tilanteessa reitittimissä oli vielä kaikki kolme reititysprotokollaa, OSPF, IS-IS ja BGP. (Liite 2, kuva 2.)

sh isis topology. Kertoo mihin reitittimiin ja millä tasolla reitittimellä on yhteys. (Liite 2, kuva 3.)

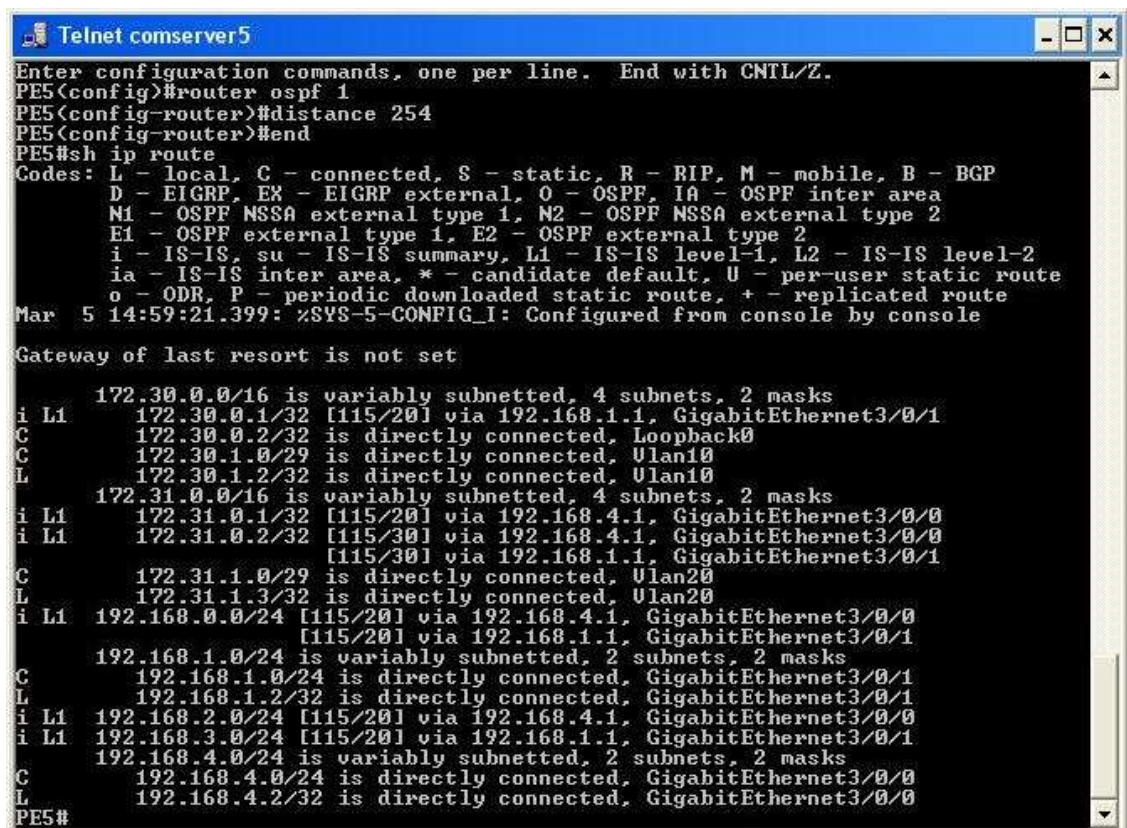
Valitsin kyseiset komennot lukuisten IS-IS-komentojen joukosta, koska niistä saa kaikkein selkeimmin selville millä tasolla (Level-1, Level-2 tai Level-1-2, L1, L2, L1/L2) IS-IS on päällä reitittimissä, mitä IS-IS naapuruussuhteita reititin on muodostanut ja mihin IS-IS-reitittimiin reitittimellä on yhteys.

Tarkistin vielä reititystauluista millä protokollalla reitittimet keskustelevat keskenään. OSPF oli päällä niin kuin kuuluikin, koska OSPF:n hallinnollinen etäisyys (Administrative distance) on pienempi kuin IS-IS:llä. OSPF:n reititystaulu löytyy liitteestä 3 kuvasta 4.

7.3 OSPF:n alasajo

IS-IS:n saaminen hallinnoivaksi reititysprotokollaksi SimuNetissä onnistui suurentamalla OSPF:n hallinnollista etäisyyttä (kuva 7.). Suoritin etäisyyden noston komennoilla *router ospf 1* ja tämän jälkeen *distance 254*.

Hallinnollisen etäisyyden noston jälkeen tarkistin jokaisen reitittimen reititystaulusta, että aiemmin OSPF:llä näkyneet reitit olivat vaihtuneet IS-IS-reiteiksi (kuva 7.). Otin tässä vaiheessa vielä asetukset talteen kaikista reitittimistä, jotta voisin palata niihin ongelman sattuessa.



```

Telnet comserver5
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
PE5(config)#router ospf 1
PE5(config-router)#distance 254
PE5(config-router)#end
PE5#sh ip route
Codes: L - local, 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, + - replicated route
Mar  5 14:59:21.399: %SYS-5-CONFIG_1: Configured from console by console

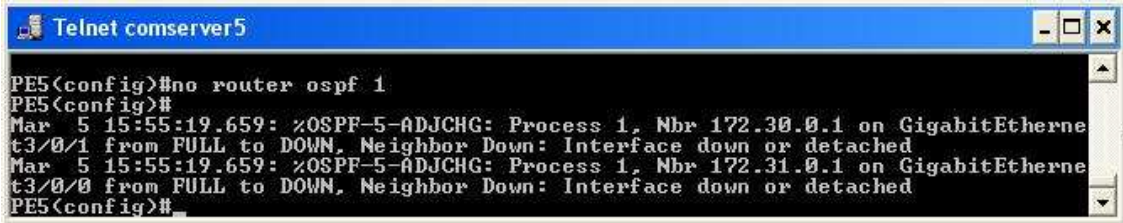
Gateway of last resort is not set

172.30.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
i L1 172.30.0.1/32 [115/20] via 192.168.1.1, GigabitEthernet3/0/1
C    172.30.0.2/32 is directly connected, Loopback0
C    172.30.1.0/29 is directly connected, Ulan10
L    172.30.1.2/32 is directly connected, Ulan10
172.31.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
i L1 172.31.0.1/32 [115/20] via 192.168.4.1, GigabitEthernet3/0/0
i L1 172.31.0.2/32 [115/30] via 192.168.4.1, GigabitEthernet3/0/0
C    [115/30] via 192.168.1.1, GigabitEthernet3/0/1
C    172.31.1.0/29 is directly connected, Ulan20
L    172.31.1.3/32 is directly connected, Ulan20
i L1 192.168.0.0/24 [115/20] via 192.168.4.1, GigabitEthernet3/0/0
C    [115/20] via 192.168.1.1, GigabitEthernet3/0/1
192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    192.168.1.0/24 is directly connected, GigabitEthernet3/0/1
L    192.168.1.2/32 is directly connected, GigabitEthernet3/0/1
i L1 192.168.2.0/24 [115/20] via 192.168.4.1, GigabitEthernet3/0/0
i L1 192.168.3.0/24 [115/20] via 192.168.1.1, GigabitEthernet3/0/1
192.168.4.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    192.168.4.0/24 is directly connected, GigabitEthernet3/0/0
L    192.168.4.2/32 is directly connected, GigabitEthernet3/0/0
PE5#

```

Kuva 7. Hallinnollisen etäisyyden nosto ja IS-IS reititystauluissa.

Aloitin OSPF:n poistamisen todettuani, että kaikkien reitittimien reititystauluissa reitit olivat vaihtuneet IS-IS:ään perustuviksi. Poisto onnistui yksinkertaisesti reitittimen global config-tilassa kirjoittamalla *no router ospf 1*. Komennon kirjoittamisen jälkeen Ciscon käyttäjärjestelmä antoi ilmoituksen (kuva 8.), että OSPF on sammunut liityntä-porteista.



```

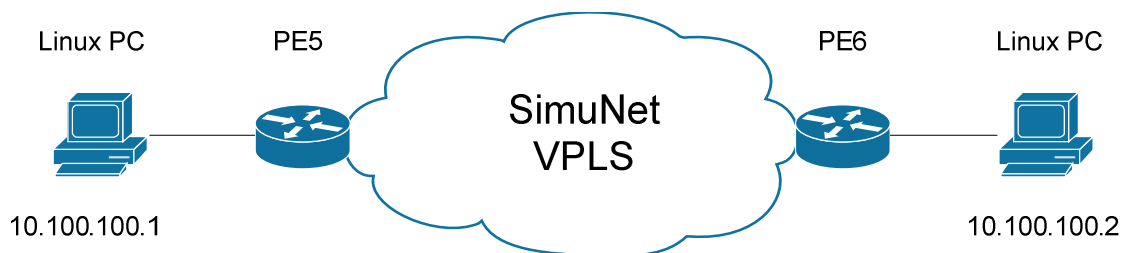
Telnet comserver5
PE5(config)#no router ospf 1
PE5(config)#
Mar 5 15:55:19.659: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 172.30.0.1 on GigabitEthernet3/0/1 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
Mar 5 15:55:19.659: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 172.31.0.1 on GigabitEthernet3/0/0 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
PE5(config)#

```

Kuva 8. OSPF:n poisto.

7.4 Migraation vaikutukset verkkoon

Mahdollisten migraatiosta asiakkaille koituvien katkosten testaamiseksi loin SimuNetin palveluntarjoajan reunareitittimiin (PE-reitittimet) VLANin ja VPLS-tunnelin kahta Linux-PC:tä varten. Linux-PC:t kuvastavat asiakkaita, jotka liikennöivät keskenään palveluntarjoajan VPLS-pilven läpi migraation aikana. Kommunikointityökaluna toimi Linuxin laajennettu ping-komento: *ping 10.100.100.2 -f -s 1500 -i 0.01*, jossa *-s* tarkoittaa pakettikokoa 1500 tavua ja *-i* intervallia 0,01 sekuntia, joka on lähetettävien pakettien aikaväli. Migraation katkостestiä varten loin kytkennän (kuva 9.), jossa kytkin kaksi Linux-tietokonetta SimuNetin PE-reitittimiin. Laitoin liikenteen kulkemaan tietokoneiden välille ennen kuin aloin syöttää uusia asetuksia SimuNetin reitittimiin.



Kuva 9. Migraation katkостestin looginen kytkentä.

Koko migraation aikana tietokoneiden välillä katosi ainoastaan kaksi pakettia (kuva 10.). Nämä kaksi pakettia katosivat, kun PE5- ja PE6-reitittimien hallinnollinen etäisyys vaihdettiin. Kahden paketin häviämisestä voidaan päätellä, että koko migraation aikaisen katkoksen pituudeksi tuli vain 20 millisekuntia. Se voidaan laskea suoraan pakettien lähetyksen intervallista, joka oli 0,01 sekuntia eli 10 millisekuntia.

```

PING 10.100.100.2 (10.100.100.2) 1500(1528) bytes of data.
^C
--- 10.100.100.2 ping statistics ---
150321 packets transmitted, 150321 received, 0% packet loss, time 1401463ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.186/0.576/259.407/1.432 ms, pipe 2, ipg/ewma 9.323/0.485 ms
[root@localhost toppi0]# ping 10.100.100.2 -f -s 1500 -i0.01
PING 10.100.100.2 (10.100.100.2) 1500(1528) bytes of data.
..^C
--- 10.100.100.2 ping statistics ---
77218 packets transmitted, 77216 received, 0% packet loss, time 706035ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.186/0.522/103.402/0.781 ms, pipe 2, ipg/ewma 9.143/0.322 ms

```

Kuva 10. Migraation aikainen katkosteesti.

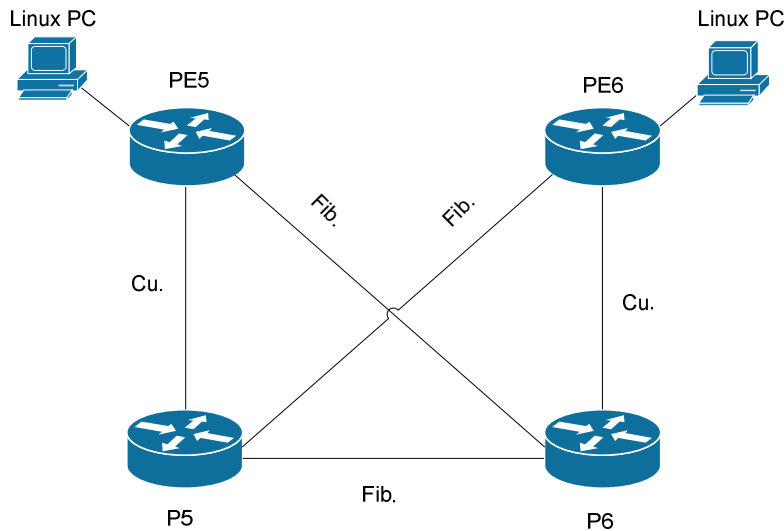
Pienessä verkossa migraation tekeminen ei kestänyt kauaa, kun asetukset olivat valmiina ja ulkoisia häiriöitä ei ollut. Koko toimenpiteeseen kului noin kaksi tuntia aikaa.

Tuloksesta voidaan päätellä, että migraatio ei aiheuta suurempia katkoksia pienissä verkoissa, jossa on vähän liikennettä.

8. OSPF- JA IS-IS-KONVERGOITUMISTESTIT

Konvergoitumistestien tarkoituksena on saada selville, kumpi reititysprotokolla, OSPF vai IS-IS, on nopeampi konvergoitumaan ja näin aiheuttamaan lyhyempiä katkoksia asiakkaiden verkkoliikenteeseen.

Tein yhteensä neljä erilaista konvergoitumistestiä SimuNetin runkoverkossa. Testit suoritin tekemällä liikennekatkoksia sekä kytkennän kuitu- (Fib.) että kupariyhteyksiin (Cu.) irrottamalla johdot suoraan laitteista (kuva 11.). Jos olisin katkaissut yhteyksiä manuaalisesti reitittimistä, olisi konvergoitumisviive lisääntynyt eikä tilanne olisi ollut realistinen.



Kuva 11. Konvergoitumistestin fyysinen kytkentä.

Konvergoitumistestit suoritin kahdella Linux-tietokoneella samalla tavalla kuin luvun 7.4 migraation aikaisen katkостestin (kuva 9). Tietokoneille loin oman VPLS-tunnelin PE-reitittimien välille, jotta pingien aiheuttama liikenne käyttäisi SimuNet-verkon MPLS-palvelua. VPLS-tunneli toimii tietokoneille samalla tavalla kuin lähiverkkokyt-kin. Testinä toimi yksinkertaisesti Linuxin ping-komento lisäparametreillä, jotka olivat pakettikoon muutos `-s [pakettikoko]` ja pakettien intervallien muutos `-i[sekunti]`. Paket-tikokona käytin 1500 tavua ja intervallina 10 millisekuntia. Näin komentosarjaksi tuli `ping 10.100.100.2 -f -s 1500 -i 0.01`.

Konvergoitumisaajan mittaamiseksi käytin yksinkertaista kaavaa Linuxin pingin loppu-tuloksesta, jossa lukee lähetettyjen pakettien kokonaismäärä, palanneet paketit, hävikki ja pingin kokonaiskesto. Vähensin palanneiden pakettien määrän pakettien kokonais-määrästä ja tämän jälkeen kerroin tuloksen intervalliajalla, jolloin sain tarkan pakettien hävikkiajan, joka tarkoittaa samalla reititysprotokollan konvergoitumisaikaa.

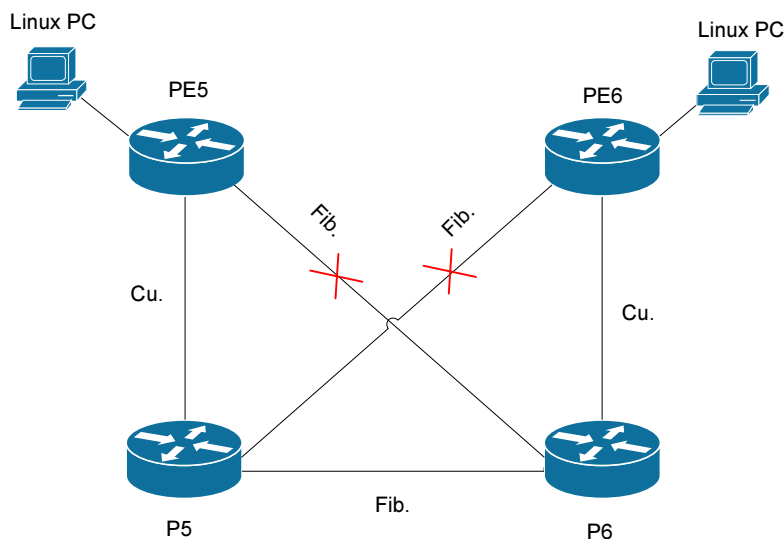
Tein molemmilla reititysprotokollilla yhteensä kymmenen konvergoitumista per testi. Merkitsin kaikki tulokset ylös taulukkoon ja laskin konvergoitumisaikojen pituuden keskiarvon, jotta konvergoitumisaikojen erot näkyisivät selkeämmin.

Jokaisen yhteyden katkaisun ja uudelleenkytkennän jälkeen odotin jonkin aikaa, että yhteydet palaavat normaaleiksi.

8.1 Konvergoitumistestit

8.1.1 Testi A

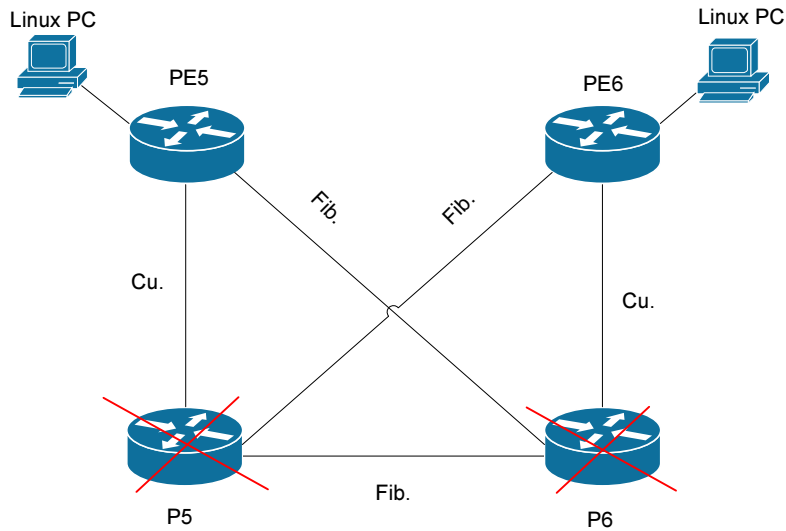
Testissä katkaisin molemmat SimuNetin kuituyhteydet (kuva 12.). Tämän kaltainen katkos ei periaatteessa ole käytännössä mahdollinen, sillä on hyvin epätodennäköistä että kaksi kaapelia katkeaa lähes samanaikaisesti maantieteellisesti kahdessa eri paikassa. Reititysprotokollien konvergoitumisajan selvittämisen kannalta kuvattu testi on kuitenkin hyvä, sillä reititysprotokollilta katkeaa tässä tapauksessa lyhyin reitti testikoneiden väliltä.



Kuva 12. Konvergoitumistesti A.

8.1.2 Testi B

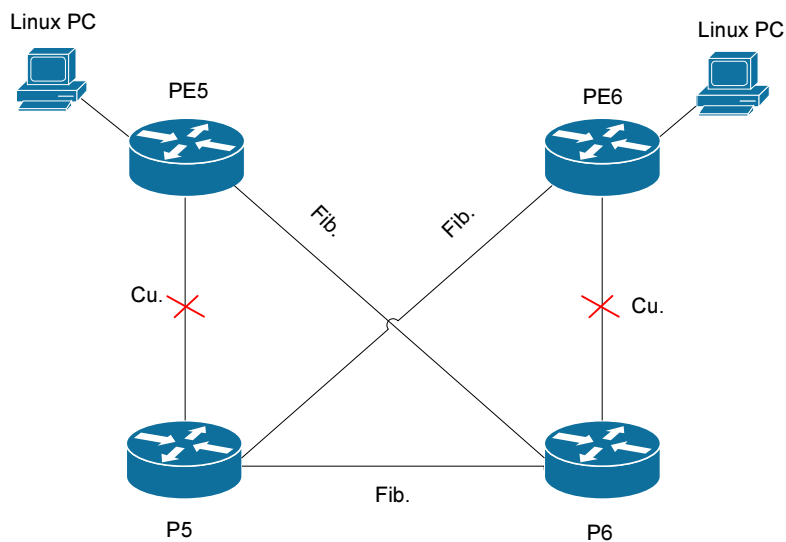
Testissä katkaisin vuorotellen toisen P-reitittimistä pois verkosta (kuva 13.). Katkos on käytännössäkin mahdollinen, koska se kuvastaa laitteen hajoamista. Se testaa hyvin konvergoitumista, koska PE-reitittimiltä katoaa kokonaan yksi runkoyhteys ja näin ne joutuvat tyytymään vain yhden runkoreitittimen (P) kautta kulkevaan liikenteeseen.



Kuva 13. Konvergoitumistesti B.

8.1.3 Testi C

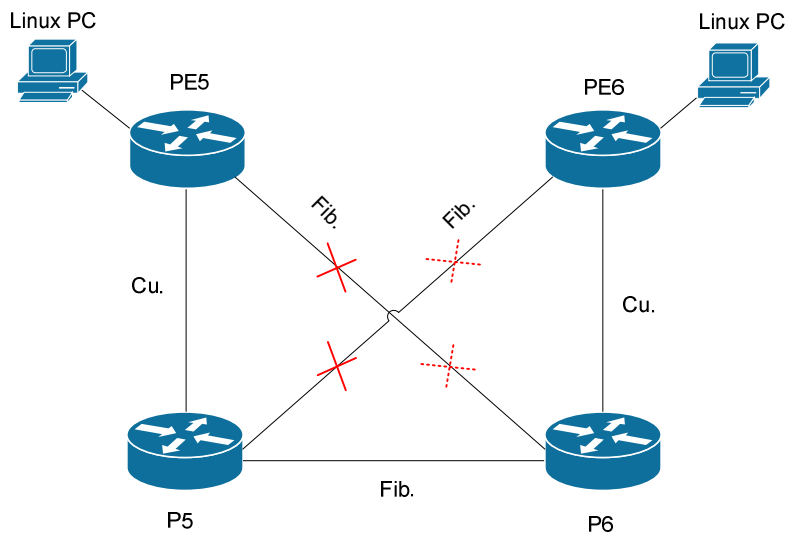
Tässä testissä katkaisin molempien P- ja PE-reititinten välisen kupariyhteyden (kuva 14.). Testi on käytännössä erittäin epätodennäköinen, sillä yleensä laitekaappien sisäiset kytkennät eivät katkeile ilman inhimillisiä erheitä. Katkos kuitenkin testaa erittäin hyvin konvergoitumista, sillä se pidentää liikenteen kulkemaa reittiä yhdellä laitteella ja vaatii reititysprotokollalta enemmän laskutoimituksia.



Kuva 14. Konvergoitumistesti C.

8.1.4 Testi D

Testissä katkaisin vuorotellen P- ja PE-reitittimien välisiä kuituyhteyksiä (kuva 15.) Testi kuvastaa hyvin käytännön tilannetta, jossa yksittäinen, kahden eri maantieteellisen sijainnin välissä oleva kaapeli katkeaa ja aiheuttaa konvergoitumisviiveitä.



Kuva 15. Konvergoitumistesti D.

8.2 OSPF

8.2.1 Testi A:n tulokset

Testin konvergoitumisaikojen keskiarvoksi sain 4,451 sekuntia, lyhyimmän konvergoitumisen pituudeksi 3,63 sekuntia ja pisimmän 5,31 sekuntia. Kuten liitteen 4/1 taulukosta 1 näkee, konvergoitumisten vaihtelut eivät olleet kovinkaan suuria ja keskihajonnaksi tuli vain 0,468 sekuntia. Testin tarkat mittaustulokset ovat liitteessä 4/1 taulukossa 1.

8.2.2 Testi B:n tulokset

Konvergoitumisajan keskipituudeksi tässä testissä tuli 2,652 sekuntia, lyhyimmän konvergoitumisen kestäessä 1,41 sekuntia ja pisimmän 4,72 sekuntia. Tässä testissä

hajonta oli huomattavasti suurempi, 1,322 sekuntia. Testin tarkat mittaustulokset ovat liitteessä 4/1 taulukossa 2.

8.2.3 Testi C:n tulokset

Tämän testin konvergoitumisajan keskipituudeksi tuli 3,743 sekuntia, lyhyimmän katkoksen ollessa 3,11 sekuntia ja pisimmän 4,12 sekuntia. Kyseisen testin hajonta oli huomattavasti pienempi kuin muissa testeissä, 0,325 sekuntia. Tarkat mittaustulokset ovat liitteessä 4/1 taulukossa 3.

8.2.4 Testi D:n tulokset

Tässä testissä konvergoitumisajan keskipituudeksi tuli 2,118 sekuntia, lyhyin katkos kesti 0,52 sekuntia ja pisin 3,73 sekuntia. Keskihajonta testin ajoissa oli 0,972 sekuntia, joka on melko suuri. Testin tarkat tulokset ovat liitteessä 4/1 taulukossa 4.

8.3 IS-IS

8.3.1 Testi A:n tulokset

Testien konvergoitumisajan pituudeksi sain keskiarvolta 1,715 sekuntia. Pisin katkos oli 4,45 sekuntia ja lyhyin 0,85 sekuntia. Keskihajonnaksi tuli 1,03 sekuntia, tarkat tulokset testistä ovat liitteessä 4/2 taulukossa 5.

8.3.2 Testi B:n tulokset

Konvergoitumisen keskipituudeksi tässä testissä tuli 2,163 sekuntia, suurin katkos oli 2,98 sekuntia ja lyhyin 1,2 sekuntia. Keskihajonta testistä oli vain 0,63 sekuntia. Tarkat mittaustulokset ovat liitteen 4/2 taulukossa 6.

8.3.3 Testi C:n tulokset

Testin konvergoitumisajan keskipituudeksi tuli 1,782 sekuntia, pisin katkos oli 2,09 sekuntia ja lyhyin 0,82 sekuntia. Testin keskihajonta oli vain 0,37 sekuntia. Tarkat tulokset ovat liitteen 4/2 taulukossa 7.

8.3.4 Testi D:n tulokset

Konvergoitumisen pituuden keskiarvoksi tuli erittäin lyhyt, vain 0,415 sekuntia korkeimman katkoksen ollessa 0,63 sekuntia ja lyhyimmän 0,29 sekuntia. Keskihajontakin oli vain 0,1 sekuntia. Liitteen 4/2 taulukossa 8 ovat tarkemmat tulokset.

9. YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa OSPF-IS-IS-migraatio SimuNet-ympäristössä ja tämä tavoite saavutettiin hyvillä tuloksilla. Testien perusteella migraation aikana liikenne ei pysähtynyt kuin kaksi kertaa mitättömäksi ajaksi ja SimuNet-verkon MPLS-palvelut pysyivät päällä koko migraation ajan. Migraatiosta jäi puuttumaan OSPF:n ja IS-IS:n toimivuus BGP-käytössä, koska SimuNetiin tarkoitettua ulkoista palveluntarjoajaa simuloiva EISP-kytkentä ei ollut vielä valmis. Reititysprotokollien toimivuus BGP-käytössä voisi olla yksi lisätutkimuksen kohde, jolla voidaan jatkaa eteenpäin tästä opinnäytetyöstä.

Migraation aikana verkossa olisi saanut olla enemmänkin kuormittavaa liikennettä, kuten esimerkiksi liikkuvaa kuvaa, mutta jouduin tyytymään pelkkien tietokoneiden käyttöön. Syy oli se, että SimuNet ei ollut vielä täysin valmis testiympäristö, kun toteutin opinnäytetyöni käytännön testejä. Siitä puuttui muun muassa asiakkaille tarkoitettut palvelimet ja iSCSI, joiden avulla olisi pystynyt muodostamaan enemmän liikennettä SimuNetin verkkoon.

Teoreettisen tarkastelun osalta IS-IS vaikuttaa käytännöllisemmältä reititysprotokollalta kaiken kokoisten Internetin operaattorien kannalta. Hyötynä on IS-IS:n joustavuus,

muokattavuus ja IPv6-tuki. Haittapuolena on, että IS-IS-osaajia on huomattavasti vähemmän kuin OSPF-osaajia, jolloin OSPF on suositumpi vaihtoehto pienemmille operaattoreille. Operaattori joutuisi myös kouluttamaan henkilökuntaa IS-IS:n käyttöön.

Konvergoitumistestien osalta IS-IS selviytyy katkoksista huomattavasti OSPF:ää nopeammin jo perusasetuksilla. IS-IS on konvergenssitestienkin perusteella parempi vaihtoehto erikokoisten operaattorien reititysprotokollaksi, sillä se pienentää asiakkaille koituvia katkoksia operaattorin runkoverkon osalta. Työssä ei käsitelty kummankaan reititysprotokollan optimointia. Optimoinnilla olisi todennäköisesti ollut vaikutusta konvergoitumisnopeuksiin, mutta asia jäi käsittelemättä, koska tällöin opinnäytetyöstä olisi tullut liian laaja. Optimointi voisi olla myös mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe SimuNetissä.

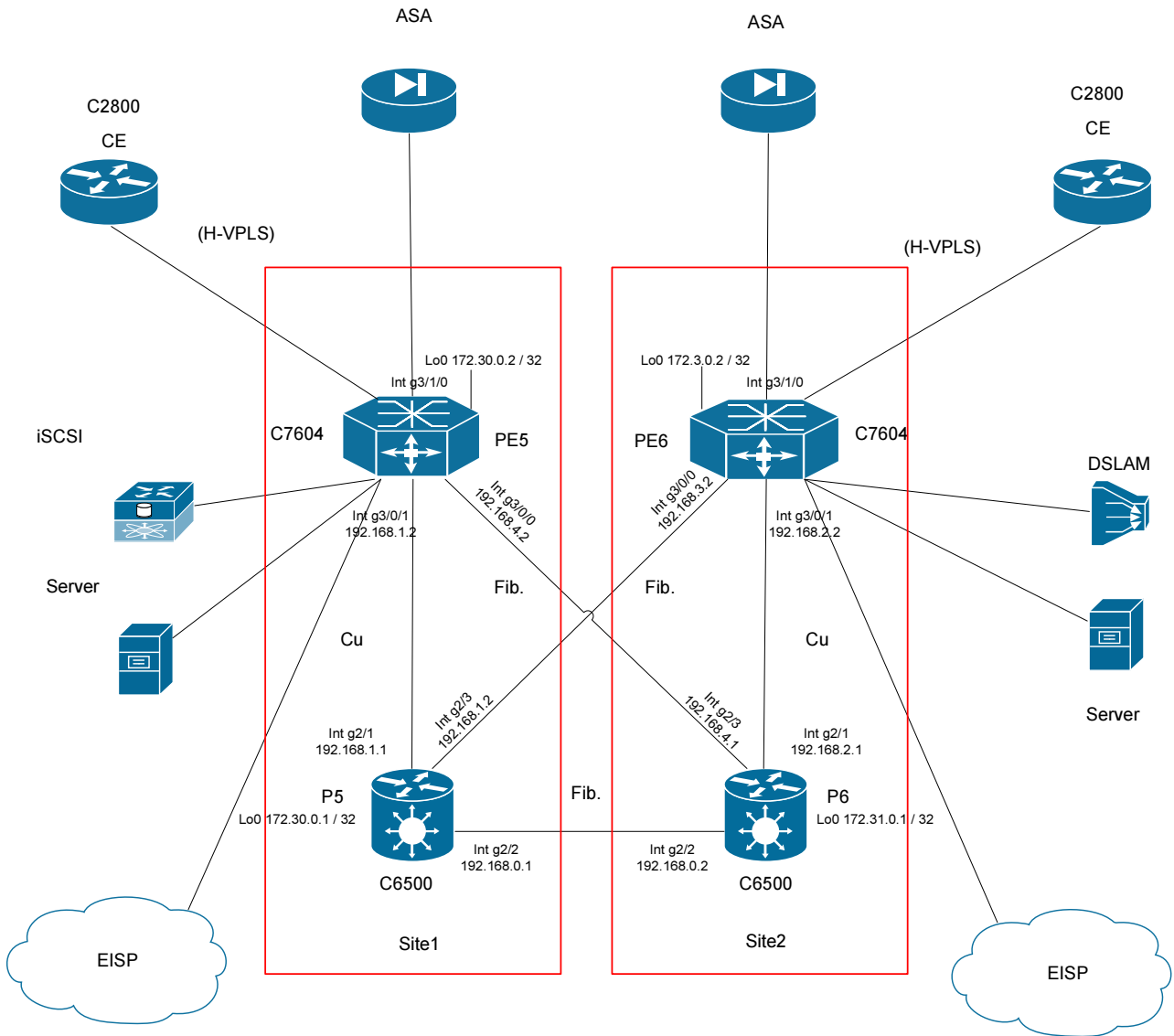
Yhtenä opinnäytetyön tutkimuskohteena oli myös runkoverkon liityntäporttien IP-osoitteiden näkyminen reitittimien reititystaulussa ja lisäksi se, pystyisikö IS-IS-toteutuksen tekemään niin, että reititystauluissa näkyisivät pelkät loopback-osoitteet. Sain selville, että IP-reitityksellä IS-IS:n liityntäporttien osoitteet näkyivät reititystauluissa samalla tavalla kuin OSPF:ssäkin (Liite 3). Koska se ei ollut toivottava tilanne, aloin tutkia muita mahdollisuuksia IS-IS:n reitityksen toteuttamiseen. Löysin ratkaisun ongelmaan IS-IS:n tukemasta CLNS-reititysprotokollasta, mutta sen aiheen tutkiminen piti lopettaa, koska siihen olisi kulunut liikaa aikaa ja ratkaisun etsiminen olisi laajentanut opinnäytetyötäni liiaksi. CLNS-protokollan hyödyntäminen operaattorin runkoverkossa voisi kuitenkin olla tutkimisen arvoinen aihe vaikkapa jotakin tulevaa opinnäytetyötä ajatellen.

LÄHTEET

1. Kettunen, M. 2009. Tietotekniikan Koulutusohjelma Tietoverkkotekniikka. Saatavissa: <http://papaya.tlt.kyamk.fi/~amake/SimuNet/Tietoverkkotekniikka.pdf> [viitattu 18.2. 2010].
2. Cisco Systems. Internet Technology Handbook, Open Shortest Path First. Saatavissa: <http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/OSPF.html> [viitattu 16.3. 2010].
3. Moy John T. 1998. OSPF: anatomy of an Internet routing protocol. Saatavissa: http://books.google.com/books?id=YXUWsqVhx60C&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false [viitattu 16.3.2010].
4. Doyle Jeff. 2005. OSPF and IS-IS: choosing an IGP for large-scale networks. Addison-Wesley.
5. Moy, J. 1998. OSPF Version 2. RFC 2328. Saatavissa:<http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt> [viitattu 25.3.2010].
6. Cisco Systems. Intermediate System-to-Intermediate System protocol. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_white_paper09186a00800a3e6f.shtml#wp38435 [viitattu 19.3. 2010].
7. Gredler Hannes. Goralski Walter. 2005. The complete IS-IS routing protocol. Springer.
8. Cisco Systems. Integrated IS-IS Routing Protocol Overview [Cisco IOS and NX OS software]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/ios_xe/iproute_isis/configuration/guide/irs_ovrww_xe.html#wp1054994 [viitattu 20.3. 2010].

9. Martey Abe. 2002. IS-IS Network Design Solutions. Cisco Press. Saatavissa:
http://books.google.fi/books?id=u_XOQy4cBkgC&lp=PA214&ots=XoFnEO0s_P&dq=is-is%20maximum%20number%20of%20routers%20in%20area&pg=PA215#v=onepage&q=is-is%20maximum%20number%20of%20routers%20in%20area&f=false [viitattu 30.3.2010].
10. Cisco Systems. OSPF Design Guide. Saatavissa:
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_white_paper09186a0080094e9e.shtml#t6 [viitattu 30.3. 2010].
11. Coltun, R. Ferguson, D. Moy, J. 1999. OSPF for IPv6. RFC 2740. Saatavissa:
<http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-ospf-ospfv6-07.txt> [viitattu 30.3. 2010].
12. Hopps, C. 2007. Routing IPv6 with IS-IS. RFC 5308. Saatavissa:
<http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-isis-ipv6-07.txt> [viitattu 30.3. 2010].
13. Vijay Gill, Mitchell, Jon. 20.10.2003. OSPF to ISIS. ATDN America Online Transit Data Network. Saatavissa: <http://www.nanog.org/meetings/nanog29/presentations/gill.pdf> [viitattu 2.3. 2010].
14. Kankare, V. Puhelinkeskustelu. 5.3.2010. Kymen Puhelin. Kymen Puhelimen runkoverkon OSPF:n alue. [viitattu 11.3. 2010].

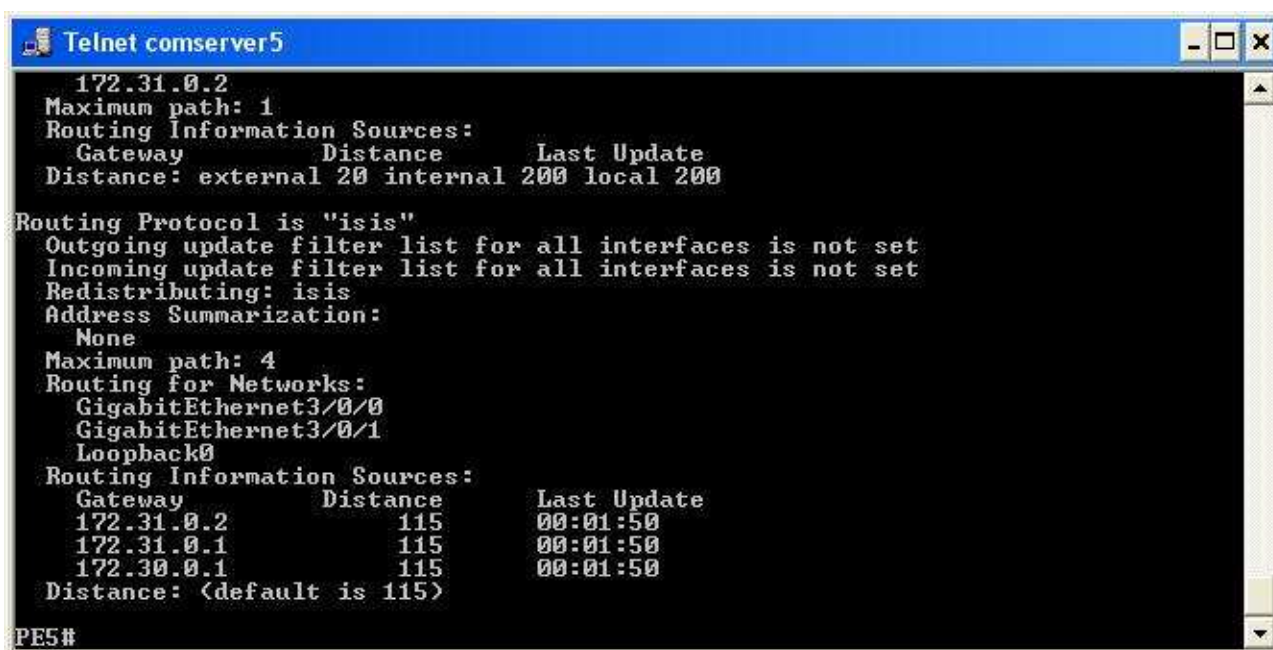
SimuNetin fyysinen kytkentä



IS-IS-show -komentojen esimerkit

```
P6#sh clns neighbors
System Id      Interface  SNPA          State  Holdtime  Type  Protocol
P5             Gi2/2     00d0.016e.780a Up      8         L1   IS-IS
PE5            Gi2/3     0025.4500.6040 Up      8         L1   IS-IS
PE6            Gi2/1     0024.144b.e880 Up      8         L1   IS-IS
P6#
```

Kuva 1. Esimerkki show clns neighbors komennosta.



```
Telnet comserver5
172.31.0.2
Maximum path: 1
Routing Information Sources:
  Gateway      Distance      Last Update
Distance: external 200 internal 200 local 200

Routing Protocol is "isis"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Redistributing: isis
  Address Summarization:
    None
  Maximum path: 4
  Routing for Networks:
    GigabitEthernet3/0/0
    GigabitEthernet3/0/1
    Loopback0
  Routing Information Sources:
    Gateway      Distance      Last Update
    172.31.0.2    115           00:01:50
    172.31.0.1    115           00:01:50
    172.30.0.1    115           00:01:50
  Distance: <default is 115>
PE5#
```

Kuva 2. Esimerkki show ip protocols komennosta, kuvassa vain IS-IS protokollan tiedot.

```
PE6#sh isis topology
Tag null:
IS-IS TID 0 paths to level-1 routers
System Id      Metric      Next-Hop      Interface  SNPA
P5              10         P5            Gi3/0/0    00d0.016e.780a
PE5             20         P5            Gi3/0/0    00d0.016e.780a
P6              10         P6            Gi3/0/1    0002.1775.900a
PE6             --
PE6#
```

Kuva 3. Esimerkki show isis topology komennosta.

OSPF- ja IS-IS-reititystaulut

```

Telnet comserver6
PE6>en
PE6#sh ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        M1 - OSPF NSSA external type 1, M2 - 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, + - replicated route

Gateway of last resort is not set

172.30.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
O   172.30.0.1/32 [110/2] via 192.168.3.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/0
O   172.30.0.2/32 [110/3] via 192.168.3.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/0
    [110/3] via 192.168.2.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/1
C   172.30.1.0/29 is directly connected, Ulan10
L   172.30.1.3/32 is directly connected, Ulan10
O   172.31.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
C   172.31.0.1/32 [110/2] via 192.168.2.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/1
C   172.31.0.2/32 is directly connected, Loopback0
C   172.31.1.0/29 is directly connected, Ulan20
L   172.31.1.2/32 is directly connected, Ulan20
O   192.168.0.0/24 [110/2] via 192.168.3.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/0
    [110/2] via 192.168.2.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/1
O   192.168.1.0/24 [110/2] via 192.168.3.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/0
    [110/2] via 192.168.2.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/1
O   192.168.2.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C   192.168.2.0/24 is directly connected, GigabitEthernet3/0/1
L   192.168.2.2/32 is directly connected, GigabitEthernet3/0/1
O   192.168.3.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C   192.168.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet3/0/0
L   192.168.3.2/32 is directly connected, GigabitEthernet3/0/0
O   192.168.4.0/24 [110/2] via 192.168.2.1, 2d02h, GigabitEthernet3/0/1
PE6#conf t

```

Kuva 4. PE6-reitittimen OSPF-reititystaulu ennen migraatiota.

```

Telnet comserver6
PE6>en
PE6#sh ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        M1 - OSPF NSSA external type 1, M2 - 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, + - replicated route

Gateway of last resort is not set

172.30.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
i L1 172.30.0.1/32 [115/20] via 192.168.3.1, GigabitEthernet3/0/0
i L1 172.30.0.2/32 [115/30] via 192.168.3.1, GigabitEthernet3/0/0
    [115/30] via 192.168.2.1, GigabitEthernet3/0/1
C   172.30.1.0/29 is directly connected, Ulan10
L   172.30.1.3/32 is directly connected, Ulan10
O   172.31.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
i L1 172.31.0.1/32 [115/20] via 192.168.2.1, GigabitEthernet3/0/1
C   172.31.0.2/32 is directly connected, Loopback0
C   172.31.1.0/29 is directly connected, Ulan20
L   172.31.1.2/32 is directly connected, Ulan20
i L1 192.168.0.0/24 [115/20] via 192.168.3.1, GigabitEthernet3/0/0
    [115/20] via 192.168.2.1, GigabitEthernet3/0/1
i L1 192.168.1.0/24 [115/20] via 192.168.3.1, GigabitEthernet3/0/0
    [115/20] via 192.168.2.1, GigabitEthernet3/0/1
O   192.168.2.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C   192.168.2.0/24 is directly connected, GigabitEthernet3/0/1
L   192.168.2.2/32 is directly connected, GigabitEthernet3/0/1
O   192.168.3.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C   192.168.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet3/0/0
L   192.168.3.2/32 is directly connected, GigabitEthernet3/0/0
i L1 192.168.4.0/24 [115/20] via 192.168.2.1, GigabitEthernet3/0/1
PE6#

```

Kuva 5. PE6-reitittimen IS-IS-reititystaulu migraation jälkeen.

Konvergoitumistestien taulukot

Taulukko 1. OSPF-konvergoitumistesti A:n tulokset.

Testi A	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	7546	6099	5998	6011	6694	6746	6154	7144	6593	6038	6502	
palanneet	7072	5625	5524	5480	6242	6383	5712	6736	6178	5620	6057	
kadonneet	474	474	474	531	452	363	442	408	415	418	445	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	4,74	4,74	4,74	5,31	4,52	3,63	4,42	4,08	4,15	4,18	4,45	

Taulukko 2. OSPF-konvergoitumistesti B:n tulokset.

Testi B	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	7756	6778	6316	6141	6169	6715	5976	6476	6288	6566	6518	
palanneet	7582	6602	6120	5669	6012	6495	5744	6052	5828	6425	6253	
kadonneet	174	176	196	472	157	220	232	424	460	141	265	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	1,74	1,76	1,96	4,72	1,57	2,2	2,32	4,24	4,6	1,41	2,65	

Taulukko 3. OSPF-konvergoitumistesti C:n tulokset.

Testi C	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	5879	6589	5943	5712	5744	6212	6436	6234	5869	5717	6034	
palanneet	5514	6210	5576	5303	5336	5901	6086	5885	5457	5324	5659	
kadonneet	365	379	367	409	408	311	350	349	412	393	374	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	3,65	3,79	3,67	4,09	4,08	3,11	3,5	3,49	4,12	3,93	3,74	

Taulukko 4. OSPF-konvergoitumistesti D:n tulokset.

Testi D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	5695	5229	7083	7979	8785	8157	8998	7638	8532	7880	7598	
palanneet	5358	5035	6710	7845	8733	8046	8763	7408	8305	7655	7386	
kadonneet	337	194	373	134	52	111	235	230	227	225	212	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	3,37	1,94	3,73	1,34	0,52	1,11	2,35	2,3	2,27	2,25	2,12	

Taulukko 5. IS-IS-konvergoitumistesti A:n tulokset.

Testi A	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	6792	6848	5424	5509	5426	5218	5200	6866	5351	5724	5836	
palanneet	6347	6756	5202	5363	5287	5064	5044	6735	5206	5639	5664	
kadonneet	445	92	222	146	139	154	156	131	145	85	172	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	4,45	0,92	2,22	1,46	1,39	1,54	1,56	1,31	1,45	0,85	1,72	1,03

Taulukko 6. IS-IS-konvergoitumistesti B:n tulokset.

Testi B	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	7175	7002	6618	6593	6921	6132	6609	6766	5446	7000	6626	
palanneet	6914	6801	6454	6473	6629	5834	6348	6588	5213	6844	6410	
kadonneet	261	201	164	120	292	298	261	178	233	156	216	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	2,61	2,01	1,64	1,2	2,92	2,98	2,61	1,78	2,33	1,56	2,16	0,61

Taulukko 7. IS-IS-konvergoitumistesti C:n tulokset.

Testi C	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	7411	4837	5136	4937	4859	4770	5104	4809	4558	4757	5118	
palanneet	7329	4653	4949	4741	4700	4604	4906	4602	4364	4548	4940	
kadonneet	82	184	187	196	159	166	198	207	194	209	178	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	0,82	1,84	1,87	1,96	1,59	1,66	1,98	2,07	1,94	2,09	1,78	0,37

Taulukko 8. IS-IS-konvergoitumistesti D:n tulokset.

Testi D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	ka.	Keskihajonta
määrä	7373	7132	6906	7233	7035	7695	7329	7358	7221	7425	7271	
palanneet	7318	7069	6861	7196	6994	7661	7294	7329	7186	7384	7229	
kadonneet	55	63	45	37	41	34	35	29	35	41	41,5	
intervalli (s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
konv. Aika (s)	0,55	0,63	0,45	0,37	0,41	0,34	0,35	0,29	0,35	0,41	0,42	0,10

Opinnäytetyössä käytetyn PE-reitittimen OSPF-konfiguraatio:

```

hostname PE5
!
! ..poistettu rivejä
!
vlan 10
 name Area1FWout
!
vlan 20
 name Area2FWout
!
vlan 100
 name Asiakas1
!
vlan 300
 name Failover
!
vlan 400
 name iSCSI&ClusterVLAN
!
vlan 1100
 name Konvergenssitesti
!
!
!2 vfi Ktesti manual
 vpn id 1100
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi Palomuu1 manual
 vpn id 10
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi Palomuu2 manual
 vpn id 20
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi Palomuurinfailover manual
 vpn id 300
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi iSCSI manual
 vpn id 400
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
interface Loopback0
 ip address 172.30.0.2 255.255.255.255
!
interface GigabitEthernet1/1
 switchport
 switchport access vlan 400
 switchport mode access
 mtu 9216
!
interface GigabitEthernet1/2
 switchport
 switchport access vlan 400
 switchport mode access
 mtu 9216
!
interface GigabitEthernet1/3
 switchport
 switchport access vlan 400
 switchport trunk encapsulation dot1q
 switchport mode access
 no keepalive
!
! .. poistettu käyttämättömät liityntäportit
!
interface GigabitEthernet1/8
 switchport
 switchport access vlan 300
 switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/9
 switchport
!
interface GigabitEthernet3/0/0
 description PE5-P6 kuitu
 mtu 1600
 ip address 192.168.4.2 255.255.255.0
 negotiation auto
 mpls ip
!
interface GigabitEthernet3/0/1
 description PE5-P5 kupari
 mtu 1600
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.0
 no negotiation auto
 mpls ip
!
! .. poistettu käyttämättömät liityntäportit
!
interface GigabitEthernet3/1/0
 description Palomuurin trunk
 mtu 1600
 no ip address
 no negotiation auto
 service instance 1 ethernet
 encapsulation dot1q 10
 rewrite ingress tag pop 1 symmetric
 bridge-domain 10
!
service instance 2 ethernet
 encapsulation dot1q 20
 rewrite ingress tag pop 1 symmetric
 bridge-domain 20
!
service instance 4 ethernet
 encapsulation dot1q 400
 rewrite ingress tag pop 1 symmetric
 bridge-domain 400
!
! .. poistettu käyttämättömät liityntäportit
!
interface Vlan10
 mtu 1600
 ip address 172.30.1.2 255.255.255.248
 no ip redirects
 standby 10 ip 172.30.1.4
 standby 10 priority 150
 standby 10 preempt
 xconnect vfi Palomuu1
!
interface Vlan20
 mtu 1600
 ip address 172.31.1.3 255.255.255.248
 no ip redirects
 standby 20 ip 172.31.1.4
 standby 20 preempt
 xconnect vfi Palomuu2
!
interface Vlan300
 description Palomuurien Failover
 mtu 1600
 no ip address
 no ip redirects
 xconnect vfi Palomuurinfailover

```

```
!  
interface Vlan400  
description iSCSI&ClusterVLAN  
mtu 1600  
no ip address  
no ip redirects  
xconnect vfi iSCSI  
!  
interface Vlan1100  
description Konvergenssitesti  
mtu 1600  
no ip address  
no ip redirects  
xconnect vfi Ktesti  
!  
router ospf 1  
log-adjacency-changes  
network 172.30.0.0 0.0.255.255 area 0  
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0  
!  
router bgp 1  
no synchronization  
bgp log-neighbor-changes  
network 172.30.0.0 mask 255.254.0.0  
neighbor SISAVERRKKO peer-group  
neighbor SISAVERRKKO remote-as 1  
neighbor SISAVERRKKO update-source Loopback0  
neighbor SISAVERRKKO version 4  
neighbor 172.30.0.1 peer-group SISAVERRKKO  
neighbor 172.31.0.1 peer-group SISAVERRKKO  
neighbor 172.31.0.2 peer-group SISAVERRKKO  
no auto-summary  
!  
! .. poistettu rivejä  
!  
end
```

Opinnäytetyössä käytetyn PE-reitittimen IS-IS-konfiguraatio:

```

hostname PE5
!
! ..poistettu rivejä
!
vlan 10
 name Area1FWout
!
vlan 20
 name Area2FWout
!
vlan 100
 name Asiakas1
!
vlan 300
 name Failover
!
vlan 400
 name iSCSI&ClusterVLAN
!
vlan 1100
 name Konvergenssitesti
!
!
!2 vfi Ktesti manual
 vpn id 1100
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi Palomuuri1 manual
 vpn id 10
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi Palomuuri2 manual
 vpn id 20
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi Palomuurinfailover manual
 vpn id 300
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!2 vfi iSCSI manual
 vpn id 400
 neighbor 172.31.0.2 encapsulation mpls
!
!
interface Loopback0
 ip address 172.30.0.2 255.255.255.255
 ip router isis
!
interface GigabitEthernet1/1
 switchport
 switchport access vlan 400
 switchport mode access
 mtu 9216
!
interface GigabitEthernet1/2
 switchport
 switchport access vlan 400
 switchport mode access
 mtu 9216
!
interface GigabitEthernet1/3
 switchport
 switchport access vlan 400
 switchport trunk encapsulation dot1q
 switchport mode access
 no keepalive
!
! poistettu käyttämättömät liityntäportit
!
interface GigabitEthernet1/8
 switchport
 switchport access vlan 300
 switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/9
 switchport
 switchport access vlan 1100
 switchport mode access
!
interface GigabitEthernet3/0/0
 description PE5-P6 kuitu
 mtu 1600
 ip address 192.168.4.2 255.255.255.0
 ip router isis
 negotiation auto
 mpls ip
!
interface GigabitEthernet3/0/1
 description PE5-P5 kupari
 mtu 1600
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.0
 ip router isis
 no negotiation auto
 mpls ip
!
! poistettu käyttämättömät liityntäportit
!
interface GigabitEthernet3/1/0
 description Palomuurin trunk
 mtu 1600
 no ip address
 no negotiation auto
 service instance 1 ethernet
 encapsulation dot1q 10
 rewrite ingress tag pop 1 symmetric
 bridge-domain 10
!
service instance 2 ethernet
 encapsulation dot1q 20
 rewrite ingress tag pop 1 symmetric
 bridge-domain 20
!
service instance 4 ethernet
 encapsulation dot1q 400
 rewrite ingress tag pop 1 symmetric
 bridge-domain 400
!
! poistettu käyttämättömät liityntäportit
!
interface Vlan10
 mtu 1600
 ip address 172.30.1.2 255.255.255.248
 no ip redirects
 ip router isis
 standby 10 ip 172.30.1.4
 standby 10 priority 150
 standby 10 preempt
 xconnect vfi Palomuuri1
!
interface Vlan20
 mtu 1600
 ip address 172.31.1.3 255.255.255.248
 no ip redirects
 ip router isis
 standby 20 ip 172.31.1.4
 standby 20 preempt

```

```
xconnect vfi Palomuu2
!  
interface Vlan300  
description Palomuurien Failover  
mtu 1600  
no ip address  
no ip redirects  
xconnect vfi Palomuurinfailover  
!  
interface Vlan400  
description iSCSI&ClusterVLAN  
mtu 1600  
no ip address  
no ip redirects  
xconnect vfi iSCSI  
!  
interface Vlan1100  
description Konvergenssitesti  
mtu 1600  
no ip address  
no ip redirects  
xconnect vfi Ktesti  
!  
router isis  
net 49.0001.1720.3000.0002.00  
is-type level-1  
!  
router bgp 1  
no synchronization  
bgp log-neighbor-changes  
network 172.30.0.0 mask 255.254.0.0  
neighbor SISAVERKKO peer-group  
neighbor SISAVERKKO remote-as 1  
neighbor SISAVERKKO update-source Loopback0  
neighbor SISAVERKKO version 4  
neighbor 172.30.0.1 peer-group SISAVERKKO  
neighbor 172.31.0.1 peer-group SISAVERKKO  
neighbor 172.31.0.2 peer-group SISAVERKKO  
no auto-summary  
!  
! ... poistettu rivejä  
!  
end
```