

Spanning Tree Protokolla ja verkon vikasietoisuus

Jarno Nauska



Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

| | |
|--|---|
| Tekijä tai tekijät Jarno Nauska | Ryhmätunnus tai aloitusvuosi 2009 |
| Raportin nimi Spanning Tree Protokolla ja verkon vikasietoisuus | Sivu- ja liitesivumäärä 32 + 12 |
| Opettajat tai ohjaajat Atte Pakkanen | |
| <p>Tämä opinnäytetyö on tutkimus, jossa tutkitaan vikasietoisien lähiverkon vaatimuksia ja protokollia, mitkä mahdollistavat vikasietoisien verkon luomisen. Tämän tutkimuksen pohjalta rakennetaan virtuaalisesti vikasietoinen lähiverkko Cisco Packet Tracer -ohjelmalla.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään lähiverkon vaatimuksia Ciscon suunnittelu-filosofian pohjalta, jonka jälkeen käydään läpi yleisiä kaapelointiratkaisuja. Tutkimme ja selvitämme mitä vikasietoisia protokollia on käytettävissä ja kerromme kuinka nämä protokollat toimivat.</p> <p>Toteutuksessa luodaan virtuaalinen lähiverkko, mikä kestää verkon jokaisessa kerroksessa vähintään yhden kaapelin tai verkkolaitteen vikatilat. Kerrotaan millä komennoilla lähiverkko luodaan, ja mitä komennot tekevät.</p> <p>Tavoitteena on luoda yksinkertainen ja selkeä vikasietoinen lähiverkko, minkä tuloksia jokainen voi valjastaa omiin tarkoituksiinsa.</p> | |
| Asiasanat Vikasietoinen, lähiverkko, spanning tree | |

Degree Programme in Business Information Technology

| | |
|---|--|
| Authors Jarno Nauska | Group or year of entry 2009 |
| The title of thesis Spanning Tree Protocol and fault-tolerant network | Number of pages and appendices 32 + 12 |
| Supervisor(s) Atte Pakkanen | |
| <p>The objective of the thesis was to explore the requirements and protocols of a fault-tolerant local area network. Based on these findings, a virtual fault-tolerant local area network was built with Cisco Packet Tracer. The limitations of Cisco Packet Tracer determined the complexity of the built network.</p> <p>The theoretical part of the thesis unveiled the requirements of local area network based on Cisco's hierarchical model and most common cabling solutions. Explored and found out what fault-tolerant protocols were available and how did they work.</p> <p>In the empirical part, a virtual fault-tolerant network was built from scratch, which could, in the event of a cabling or equipment malfunction withhold atleast one in every layer. Cisco IOS commands needed to build the network were explained.</p> <p>The purpose of this thesis was to build a clear and simple fault-tolerant network which anyone can use for their own purposes.</p> | |
| Key words Fault-tolerant, local area network, spanning tree | |

Sisällys

| | |
|---|----|
| Käsitteet | 1 |
| 1 Johdanto..... | 2 |
| 2 Lähiverkko | 3 |
| 2.1 Lähiverkon suunnittelu..... | 3 |
| 2.2 Verkkotopologiat..... | 5 |
| 2.2.1 Väylätologia..... | 5 |
| 2.2.2 Rengastologia..... | 6 |
| 2.2.3 Tähtitologia..... | 6 |
| 2.2.4 Mesh-topologia | 7 |
| 3 Kytkimet ja Spanning Tree Protokolla 802.1D (STP) | 9 |
| 3.1 STP:n termistö | 10 |
| 3.1.1 Bridge Protocol Data Unit (BPDU) | 10 |
| 3.1.2 STP:n porttien tilat, roolit ja ajastimet..... | 11 |
| 3.2 STP:n toiminta | 12 |
| 3.2.1 Juurisillan valinta..... | 12 |
| 3.2.2 Juuriportin valinta..... | 14 |
| 3.2.3 Aktiivisen portin valinta | 16 |
| 3.2.4 Topologian muutos | 17 |
| 3.3 Rapid Spanning Tree Protokolla 802.1W (RSTP)..... | 18 |
| 3.4 EtherChannel | 20 |
| 4 Case-esimerkki: Vikasietoisen verkon toteutus..... | 21 |
| 4.1 Verkon suunnittelu..... | 22 |
| 4.2 Verkon rakentaminen | 23 |
| 5 Tulokset ja johtopäätökset | 29 |
| Lähteet..... | 31 |
| Liitteet | |
| Liite 1. Juurisillan valinta | |
| Liite 2. Juuriportin valinta | |
| Liite 3. Aktiivisen portin valinta | |
| Liite 4. Runkokytkin1 running-config | |

Liite 5. Runkokytin2 running-config

Liite 6. Jakelukerros- ja liitäntäkerroskytkimien running-config

Käsitteet

| | |
|----------|--|
| BPDU | BPDU (Bridge Protocol Data Unit) on Spanning Tree Protokollan käyttämä erikoissanoma. Se sisältää informaatiota kytkimistä, porteista, porttien prioriteeteista ja osoitteista |
| LAN | LAN (Local Area Network) tarkoittaa lähiverkkoa. |
| MAC | MAC (Media Access Control) on valmistajan määräämä uniikki tunnistelaitteelle. |
| SAN | SAN (Storage Area Network) tarkoittaa levyjärjestelmien verkkoarkkitehtuuria. |
| RSTP | RSTP (Rapid Spanning Tree Protokolla) on uudistunut versio STP:sta. |
| STP | STP (Spanning Tree Protokolla) on verkkoprotokolla, joka mahdollistaa silmukavapaan topologian. |
| TCA | Topologian muutoksen hyväksyntä (Topology Change Acknowledgement). Sillat ilmoittavat TCA lipulla varustetulla BPDU-sanomalla saaneensa TCN BPDU-sanoman. |
| TC | Topologian muutos (Topology Change). Juurisilta määrää TC lipulla varustetulla BPDU-sanomalla topologian muutoksen. |
| TCN BPDU | Topologian muutosilmoitus BPDU (Topology Change Notification). Tällä sanomalla muut sillat ilmoittavat juurisillalle huomattavasta topologian muutoksesta. |
| VLAN | VLAN (Virtual Local Area Network) on tekniikka millä fyysinen lähiverkko (LAN) voidaan jakaa loogisiin osiin. |

1 Johdanto

Tämä raportti käsittelee vikasietoisen lähiverkon suunnittelemista ja toteuttamista. Raportti on toteutettu HAAGA-HELIA ammattikorkeakoulun tietojenkäsittelyn koulutusohjelman opinnäytetyönä. Opinnäytetyössä tutustutaan ensiksi lähiverkon suunnitteluun ja vikasietoiisiin protokolliin, jonka jälkeen rakennetaan virtuaalisesti vikasietoinen lähiverkko Ciscon Packet Tracer -ohjelmalla.

Teoriaosuudessa käydään läpi yleisesti lähiverkkoa ja sen suunnittelua. Tutkitaan lähiverkon topologioista väylä, rengas, tähti ja mesh. Tutkitaan protokollista Spanning Tree Protokolla (STP), Rapid Spanning Tree Protokolla (RSTP) ja EtherChannel sekä esitellään hieman Ciscon Packet Tracer -ohjelmistoa, jonka tukemien protokollien pohjalta rakennetaan lähiverkko.

Opinnäytetyössä ei oteta kantaa kytkimien valintaan, valmistajiin ja heidän valikoimiinsa. Opinnäytetyössä ei myöskään tutkita palvelimien tarjoamaa vikasietoisuutta, eikä oteta kantaa mahdollisiin fyysisiin katastrofeihin kuten tulviin, tulipaloihin tai varkauksiin.

Tutkimuksen tavoitteena on luoda vikasietoinen lähiverkko ja saada selville mitä sen rakentamiselta vaaditaan.

Toteutusosiossa lähiverkko rakennetaan Ciscon Packet Tracer -versiolla 5.3.3.

2 Lähiverkko

Verkko tarkoittaa viestintälaitteiden avulla keskenään yhdistettyjen tietokonelaitteiden luomaa kokonaisuutta. Verkon avulla tietokoneet voivat jakaa resursseja toistensa välillä. Lähiverkoilla tarkoitetaan yleensä maantieteellisesti pienehköön alueeseen rajoitettua ja yhden organisaation hallitsemaa verkkoa. (Jaakohuhta 2006, 2)

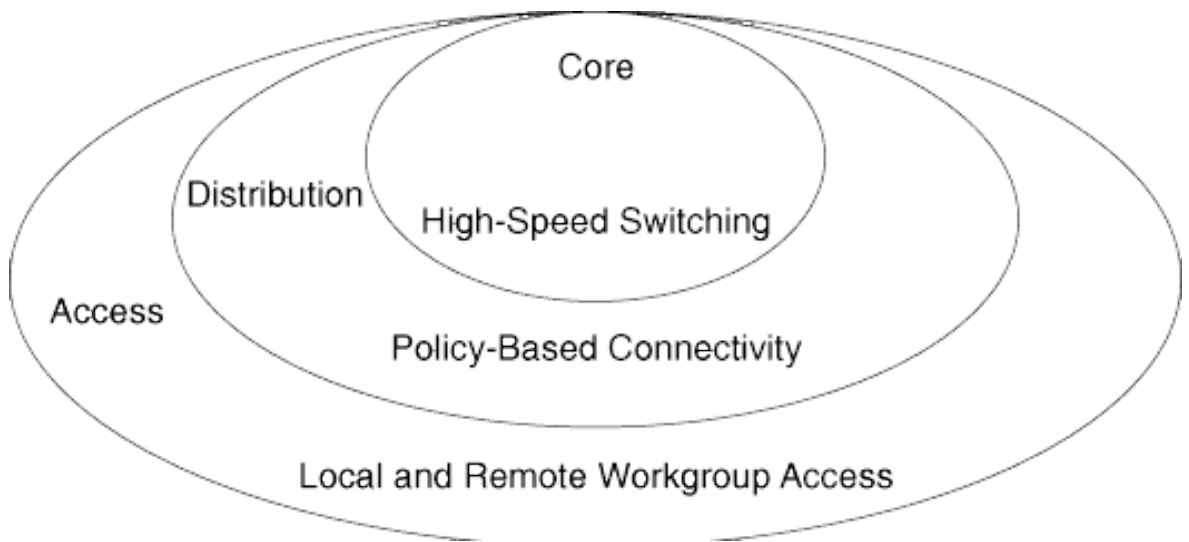
Nykyään lähiverkon ja internetin tarve on kriittisessä osassa liiketoimintaa. Lähiverkon korkea käytettävyys ja vikasietoisuus ovat edellytyksiä ”bisneskriittisille” sovelluksille, kuten IP-puheluille ja verkkokaupoille. Mahdolliset vikatilat voivat johtaa isoihin rahoitellisiin menetyksiin. Täten on olennaista, että yrityksen verkot rakennetaan niin, että verkkolaitteiden viat eivät johtaisi liiketoimintaa haittaaviin seisokkeihin.

Yksittäisen verkkolaitteen vikasietoisuus on tärkeää. Yleisesti parempaan turvallisuuteen pyrittäessä on otettava huomioon koko lähiverkko ja kuinka rakennetaan käytettävyydeltään korkea ja vikasietoinen ympäristö. Vikasietoisuutta voidaan saavuttaa monella eri tasolla. Fyysisellä tasolla vikasietoisuutta saadaan rakentamalla riittävästi toissijaisia linkkejä ja käyttämällä hyvänlaatuisia kaapeleita. Loogisella tasolla vikasietoisuutta voidaan lisätä verkkolaitteiden tukemilla ominaisuuksilla. (Jaakohuhta 2006, 132)

2.1 Lähiverkon suunnittelu

Lähiverkon suunnittelussa on otettava huomioon lähiverkon käyttötarpeet, jotta suunnitteluvaatimukset voidaan määrittää. Jokaisella laitevalmistajalla on omat suunnittelufilosofiansa. Jos mahdollista tulisi verkon arkkitehtuuri luoda yhden laitevalmistajan laitteilla. Tässä opinnäytetyössä luodaan vikasietoinen lähiverkko Ciscon laitteiston pohjalta, joten suunnittelussa sovelletaan Ciscon suunnittelufilosofioita. (Jaakohuhta 2006, 222)

Ciscon hierarkkisessa mallissa verkon suunnittelu jaetaan kolmeen funktionaaliseen tasoon. Jokaiselle tasolle asetetaan tietyt lähiverkon vaatimukset. Myös hallinnointi helpottuu jakamalla lähiverkko tasoihin, koska hallinnointi voidaan myös määrittää tasoittain. (Bruno & Kim 2001)



Kuva 1 Ciscon hierarkkinen suunnittelufilosofia (Bruno & Kim 2001)

Ydinkerroksen tarkoituksena on toimia nopeana runkoverkon kytkentänä. Ydinkerroksen kytkimien tulisi olla nopeita, laajasti hallinnoitavia ja vikasietoisia. Ydinkerros kytketään usein kiinni palvelinlohkoon ja ydinkerroksen runkokytkimiä käytetään myös usein ulkoisien linkkien yhdistämiseen. Esimerkiksi SAN-verkoissa (Storage Area Network) on hyvä käytäntö käyttää runkokytkimenä kuitukytkeä, joka yhdistetään maantieteellisesti eri paikassa sijaitsevaan kuitukytkeeseen levyjärjestelmän kahdentamista varten. Ydinkerroksen kytkimien päätehtävänä on siirtää paketteja mahdollisimman nopeasti. Tämän takia ydinkerroksen kytkimiä ei tulisi häiritä mahdollisesti nopeutta haittaavilla prosesseilla. (Bruno & Kim 2001)

Jakelukerros on ydinkerroksen ja liitäntäkerroksen välittäjä. Sen päätehtävänä on jakaa liikennettä ydinkerrokselta liitäntäkerrokselle ja ennen kaikkea rajata ydinkerrokseen pääsevää liikennettä. Tämä kerros parantaa turvallisuutta ja rajaa liikennettä muun muassa suodattamalla liikennettä pääsyylojen avulla ja reitittämällä verkkoliikennettä virtuaalisien lähiverkkojen (VLAN) välillä. (Bruno & Kim 2001)

Liitäntäkerros tarjoaa loppukäyttäjille pääsyn verkon paikallisiin osioihin. Liitäntäkerroksessa käytetään pääsyyloja lisäturvallisuuden parantamiseksi. (Bruno & Kim 2001)

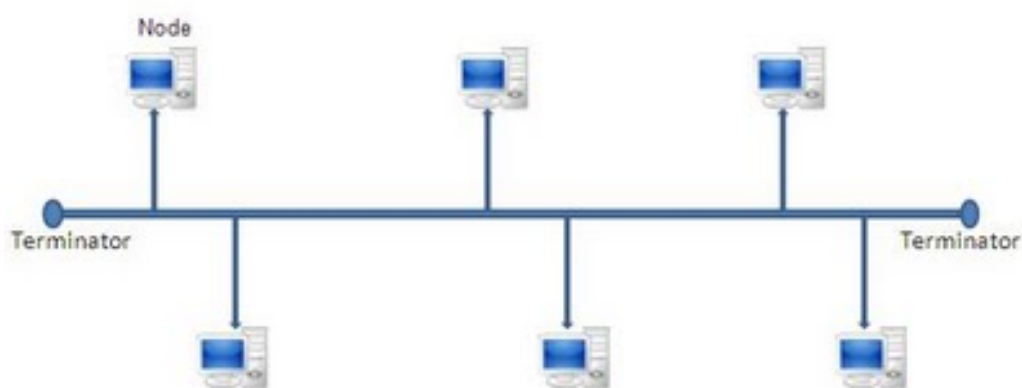
2.2 Verkkotopologiat

Ciscon hierarkkinen malli tarjoaa vain vaatimustason käytettävälle laitteistolle, nämä laitteet pitää kuitenkin yhdistää toisiinsa. Verkkotopologia määrittelee, miten laitteet tulisi yhdistää toisiinsa. Fyysinen topologia kertoo, miten laitteet on yhdistetty toisiinsa, ja looginen topologia kertoo miten paketit liikkuvat verkossa. Yleisiä verkkotopologioita on neljä; väylä, rengas, tähti ja mesh. Väylä- ja rengastopologiat eivät ole enää yleisessä käytössä. Tähti- ja mesh-topologiat ovat yleisessä käytössä. (Keogh 2011, 115)

2.2.1 Väylätopologia

Väylätopologia on yksinkertaisin yleisistä topologioista. Tässä topologiassa kaikki solmut (node) ovat liitettyinä yhteen kaapeliin liittimien avulla. (Sparrow 2011a)

Väylätopologian etuna on sen helppo laajennettavuus ja tarvittavien kaapelien sekä laitteiden edullisuus. Sen huonoja puolia on rikkiinäisen kaapelin aiheuttamat seuraukset ja verkon hitaus. Vian löytämiseksi on mahdollisesti tarkistettava verkon jokainen yhteys ja kaapelin katketessa verkko lakkaa toimimasta. Myös verkkoliikenteen kasvu hidastaa verkon suorituskykyä. Väylätopologiaa hyödyntävät verkot käyttävät kilpavarausmenetelyä; vain yksi laite pystyy kerrallaan käyttämään verkkoa. Useamman laitteen käyttäessä verkkoa samanaikaisesti tapahtuu törmäyksiä, jotka ruuhkauttavat verkkoa. (Sparrow 2011a)

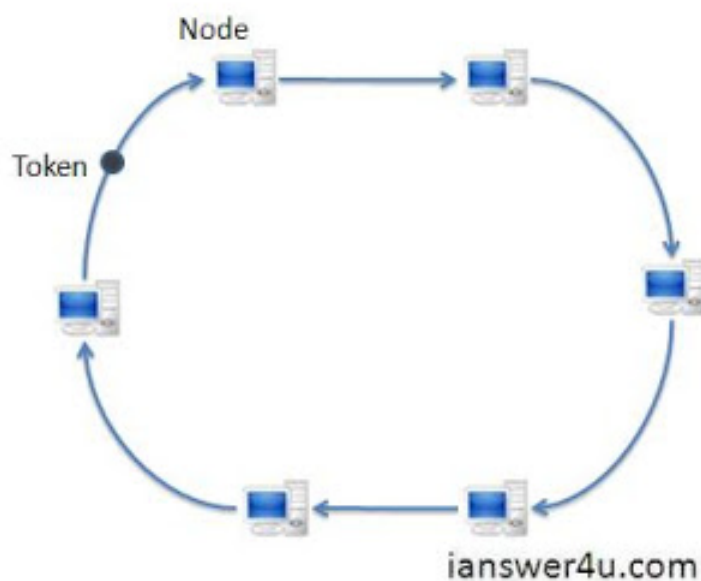


Kuva 2 Väylätopologia (Sparrow 2011a)

2.2.2 Rengastopologia

Rengastopologiassa solmut ovat kytkettyinä toisiinsa niin, että ne muodostavat suljetun silmukan. Kullakin laitteella on kaksi naapuria, joiden kanssa ne keskustelevat. Sanomat saadaan toiselta ja lähetetään toiselle. Yksi tunnetuimmista rengastopologiaa hyödyntävistä verkoista on IBM:n token ring –teknologia. Siinä sanomat kulkevat ainoastaan yhteen suuntaan ja ainoastaan solmu, jolla on ”token” on valtuutettu lähettämään sanomia. Token on pala informaatiota, joka kulkee sanomien mukana. (Sparrow 2011b)

Rengastopologian etuna on sen korkea suorituskkyky väylätopologiaan verrattuna. Koska rengastopologia ei käytä kilpavarausmenettelyä, niin suuremmissa verkoissa se toimii nopeammin. Token -teknologian myötä työasemien liitettävyyteen tarkoitettujen palvelimien, keskittimien tai kytkimien vähäisempi tarve. Sen huonona puolena on verkon riippuvaisuus laitteistosta, yhdenkin portin tai laitteiston vikatila johtaa verkon toimimattomuuteen. Sanomat joutuvat käydä läpi kaikki laitteet lähettäjältä kohteeseen, mikä johtaa sen suorituskyyvyn heikkenemiseen. (Sparrow 2011b)



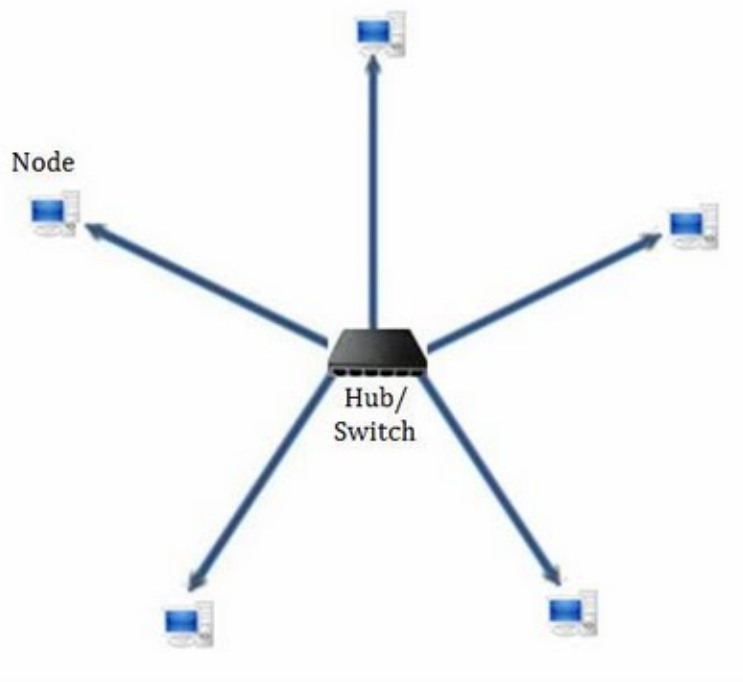
Kuva 3 Rengastopologia (Sparrow 2011b)

2.2.3 Tähtitopologia

Tähtitopologiassa verkon kaikki solmut ovat yhdistettyinä keskuslaitteeseen, mikä voi olla keskitin, kytkin tai reititin. Kaikki sanomat kulkevat keskuslaitteen läpi, joten kytke-

tyt solmut ovat epäsuorasti yhteydessä toisiinsa. Keskuslaite valvoo ja ohjaa verkon liikennettä. (Sparrow 2011c)

Tähtitopologian etuna on sen suorituskyky väylä- ja rengastopologioihin verrattuna. Sanomilla on useimmiten lyhyempi matka kohteeseen keskuslaitteen ansiosta. Tähtitopologiaan on myös helppo lisätä solmuja ja sen hallinta on keskitettyä. Tähtitopologian huonona puolena on sen riippuvaisuus keskuslaitteesta. Verkon nopeus ja koko ovat suoraan verrannollisia keskuslaitteen kapasiteettiin ja sen rikkoutuminen johtaa verkon toimimattomuuteen. (Sparrow 2011c)



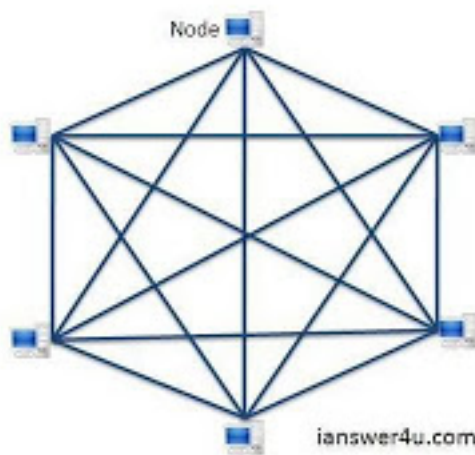
Kuva 4 Tähtitopologia (Sparrow 2011c)

2.2.4 Mesh-topologia

Mesh-topologiassa kaikki verkon solmut ovat kytkettyinä toisiinsa. Tämän ansiosta verkon vikasietoisuus on korkea, mutta esimerkiksi uuden solmun lisääminen vaatii mahdollisesti valtavaa kaapelointiurakkaa. Mesh-topologioita on kahdenlaisia, täysi mesh ja osittainen mesh. Täydessä meshissä kaikki solmut ovat kytkettyinä toisiinsa, joten vikasietoisuus on korkea. Koska täyden meshin kaapelointi on yleensä todella iso urakka, tätä käytetään yleensä vain kriittisissä paikoissa, kuten runkoverkoissa. Esimer-

kiksi kuuden solmun verkko vaatii 15 kaapelia, mutta verkon kasvattaminen 12 solmuun vaatii jo 66 kaapelia. Osittainen mesh on käytännöllisempi kuin täysi mesh. Osittaisessa meshissä tietyt solmut ovat kytkettyinä täyden meshin mukaisesti, kun taas toiset vain yhteen tai kahteen laitteeseen. (Sparrow 2011d)

Mesh-topologian etuja on sen korkea suorituskyky ja korkea vikasietoisuus. Kaikki solmut voivat lähettää sanomia samanaikaisesti. Solmujen tai kaapelien vikatiloissa sanomilla on aina vaihtoehtoinen kulkureitti. Mesh-topologian huonona puolena on verkon perustamiseen ja hallintaan liittyvien toimenpiteiden vaikeusaste. (Sparrow 2011d)



Kuva 5 Mesh-topologia (Sparrow 2011d)

3 Kytkimet ja Spanning Tree Protokolla 802.1D (STP)

Yksinkertaisesti selitettynä kytkin on tietokone, joka on suunniteltu mahdollisimman nopeaan kehyksien siirtoon. Kytkimien käyttö on hyvä tapa nopeuttaa lähiverkkoa ja kytkimistä on tullut keskeinen osa lähiverkkoja. Useimmat yritykset käyttävät lähiverkoissaan kytkimiä viestintälaitteina yhdistääkseen tietokoneita ja palvelimia. Kytkimiä on kahden tyyppisiä, hallitsemattomia ja hallittavia kytkimiä. Hallitsemattomat kytkimet toimivat heti ilman konfiguraatioita, eikä hallitsemattomia kytkimiä ole suunniteltu konfiguroitaviksi. Näillä kytkimillä on vähemmän verkon kapasiteettia kuin hallittavilla kytkimillä ja näitä kytkimiä käytetään yleensä kotiympäristöissä. Hallittavat kytkimet ovat konfiguroitavissa ja tarjoavat enemmän joustavuutta sekä verkon kapasiteettia kuin hallitsemattomat. (Jaakohuhta 2006, 97; Cisco)

Korkeaa vikasietoisuutta haettaessa tulisi kytkimet kytkeä jonkinasteisen mesh-topologian mukaisesti. Ristikytkenät kuitenkin aiheuttavat verkkosilmukan (network loop), jossa tapahtuu lähetyksmyrsky (broadcast storm). Lähetyksmyrskyssä lähetyksviestit uudelleen lähetetään loputtomasti, lopulta ylikuormittaen verkon kapasiteetin ja aiheuttaen verkon toimimattomuuden. Kuitenkin mesh-topologian ylimääräiset reitit ovat tarpeellisia vikasietoisessa verkossa. Lähetyksmyrskyn ehkäisemiseksi on yleisesti käytetty STP:n eri variaatioita.

Ylimääräiset linkit verkkolaitteiden välillä ovat yhtä tärkeitä kuin varmuuskopiot. STP:lla voidaan sallia fyysiset silmukat verkossa, koska se rakentaa silmukkavapaan loogisen topologian.. Ensisijaisen linkin pettäminen aktivoi varalinkin ja verkon toiminta voi jatkua normaalina. STP on dynaaminen protokolla, verkon rakenteen muuttuessa STP uudelleenrakentaa verkon silmukkavapaaksi. Tästä syystä STP:a käytetään yleisesti vikasietoisuutta tavoittelevissa lähiverkoissa. (Cisco 2006, Jaakohuhta 2006, 140-141)

STP:sta puhuttaessa käytetään kytkimistä ja silloista yhteisnimitystä silta.

3.1 STP:n termistö

3.1.1 Bridge Protocol Data Unit (BPDU)

BPDU on STP:n käyttämä erikoissanoma. Se sisältää informaatiota kytkimistä, porteista, porttien prioriteeteista ja osoitteista. STP:n toimintaan osallistuvat sillat käyttävät BPDU-sanomia vaihtaakseen informaatiota STP:n tarvitsemista tiedoista.

Perinteisessä 802.1D STP:ssä BPDU-sanomia on kahdenlaisia. Konfiguraatio BPDU määrittää silmukavapaan topologian ja topologian muutosilmoitus BPDU informoi huomattusta topologian muutoksesta. (BPDU)

| | Octets |
|-----------------------------|--------|
| Protocol identifier | 1-2 |
| Protocol version identifier | 3 |
| BPDU type | 4 |
| Flags | 5 |
| Root identifier | 6-13 |
| Root path cost | 14-17 |
| Bridge identifier | 18-25 |
| Port identifier | 26-27 |
| Message age | 28-29 |
| Max age | 30-31 |
| Hello time | 32-33 |
| Forward delay | 34-35 |

Configuration BPDU structure

Kuva 6 Konfiguraatio BPDU:n rakenne (BPDU)

- **Protocol identifier:** Käytetyn protokollan tunniste.
- **Protocol version identifier:** Käytetyn protokollan versio.
- **BPDU type:** Käytetyt BPDU-sanomat ovat konfiguraatio BPDU ja topologian muutosilmoitus BPDU.
- **Flags:** Käytetyt liput ovat topologian muutos (TC) ja topologian muutoksen hyväksyminen (TCA).
- **Root identifier:** Juurisillan tunnistus prioriteettinumeron ja MAC-osoitteen avulla.
- **Root path cost:** Lyhimmän matkan arvo juurisillalle.
- **Bridge identifier:** Lähettävän sillan tunnistus prioriteettinumeron ja MAC-osoitteen avulla.

- **Port identifier:** Lähettävän portin tunnistus.
- **Message age:** Kuinka kauan aikaa on kulunut, kun juurisilta on viimeksi tuottanut informaatiota.
- **Max age:** Konfiguraatio BPDU-sanomien elinikä.
- **Hello time:** Juurisillan lähettämien BPDU-sanomien välinen aika.
- **Forward delay:** Siltojen odottama aika ennen porttien tilan vaihtamista.

3.1.2 STP:n porttien tilat, roolit ja ajastimet

Tilat:

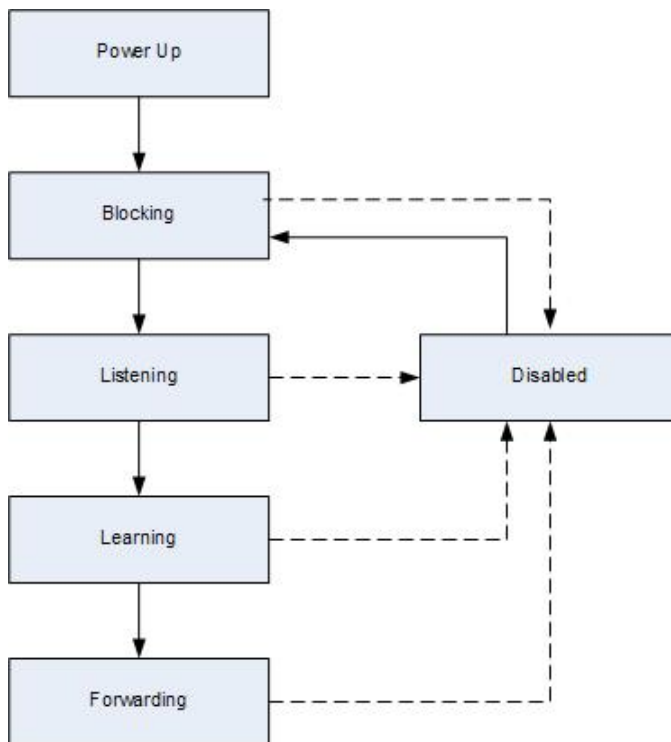
- **Disabled:** Ei osallistu STP:n toimintaan.
- **Blocking:** Käsittelee ainoastaan BPDU-sanomia.
- **Listening:** Silmukkavapaan topologian laskeminen tapahtuu tässä tilassa.
- **Learning:** Täyttää MAC-osoitetaulukkoa.
- **Forwarding:** Tässä tilassa oleva portti vastaanottaa ja lähettää Ethernet-sanomia sekä aktiivisesti täyttää MAC-osoitetaulukkoa.

Roolit:

- **Juuriportti (Root Port):** Portti, jolla on lyhin matka juurisiltaan.
- **Aktiivinen portti (Designated Port):** Portti, joka on forwarding tilassa.
- **Ei aktiivinen portti (Non-Designated Port):** Portti, joka on blocking tilassa.

BPDU-sanoman ajastimet:

- **Hello time:** Kuinka usein BPDU-sanomia lähetetään tai välitetään (oletuksena 2 sekuntia)
- **Forward delay:** Kuinka kauan portin tulisi olla listening tai learning tilassa (oletuksena 15 sekuntia)
- **Max age:** BPDU-sanoman elinaika (oletuksena 20 sekuntia)



Kuva 7 STP:n porttien tilat (Wilkins 2011)

STP:n toiminnassa mukana olevien siltojen portit saavat eri rooleja ja käyvät läpi eri tiloja. Siltojen käynnistyessä portit siirtyvät blocking tilaan. Blocking tilassa ne kuuntelevat ainoastaan BPDU-sanomia. Blocking tilasta portit siirtyvät listening tilaan, jossa varsinainen topologian laskeminen tapahtuu. Listening tilan jälkeen portit siirtyvät learning tilaan keräämään MAC-osoitteita, jonka jälkeen portit siirtyvät forwarding tilaan, missä varsinainen Ethernet-sanomien välittäminen alkaa. (Rek 2010a)

3.2 STP:n toiminta

Silmukkavapaan topologian määrittäminen tapahtuu kolmessa vaiheessa. Tätä prosessia kutsutaan Spanning Tree Algoritmiksi (STA).

3.2.1 Juurisillan valinta

Ensimmäisessä vaiheessa valitaan silta, joka toimii juurisiltana. Se toimii tarkistuspisteinä, josta silmukkavapaa topologia lasketaan. Juurisilta kertoo olemassaolostaan lähettämällä BPDU-sanomia, joita muut sillat välittävät eteenpäin niiden aktiivisista portteista. Juurisillan valinta tapahtuu BPDU-sanoman parametrissa bridge identifier. Silta,

jolla on pienin bridge identifier arvo valitaan juurisillaksi ja merkitään root identifier parametriin. Bridge identifier rakentuu kahdesta eri vertailtavasta arvosta. (Rek 2010a)

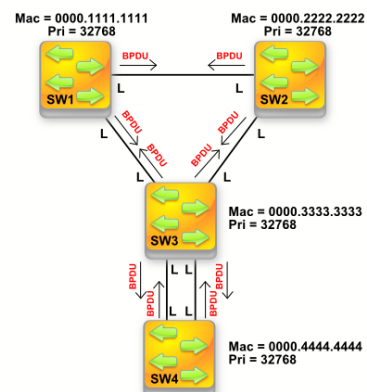
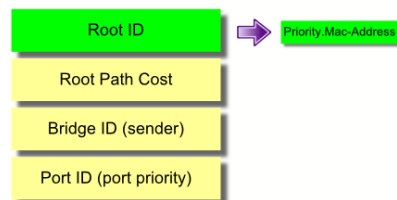
- **Priority:** Konfiguroitava parametri, jonka oletusarvo on 32768.
- **Base Mac Address:** Valmistajan määräämä uniikki MAC-osoite. Käytetään vertailussa priority arvojen ollessa samoja.

Käynnistyessään kaikki topologian sillat luulevat olevansa juurisilloja. Listening tilassa sillat aloittavat BPDU-sanomien lähettämisen. Ensimmäisessä BPDU-sanomassa root identifier ja bridge identifier ovat samoja, joten jokainen silta luulee olevansa juurisilta. Vertailtuaan bridge identifier arvoja, sillat merkitsevät sillan, jolla on pienin bridge identifier arvo, BPDU-sanoman root identifier parametriin. Tämä silta tunnistetaan juurisillaksi. (Rek 2010a)

Cisco Is Easy

STP Root Bridge Election

BRIDGE PROTOCOL DATA UNIT



Copyright (C) 2010 JR Computer Labs
<http://ciscoiseasy.blogspot.com>

Kuva 8 Juurisillan valinta (Rek 2010a)

Kuvassa (Suurennettu kuva liite 1) huomataan kaikilla silloilla olevan sama priority arvo, joten vertailu tulee tapahtumaan MAC-osoitteen perusteella. Kaikki sillat siis lähettävät viestiä, jossa bridge identifier ja root identifier viittaavat itseensä. Esimerkiksi SW4 lähettää viestiä:

Bridge identifier: 32768.0000.4444.4444

Root identifier: 32768.0000.4444.4444

Käsiteltyään naapurisiltojen viestejä se huomaa, että SW1:llä on pienempi MAC-osoite ja alkaa välittämään viestiä:

Bridge identifier: 32768.0000.4444.4444

Root identifier: 32768.0000.1111.1111

Myös kaikki muut sillat huomaavat tämän ja näin on SW1 valittu juurisillaksi.

3.2.2 Juuriportin valinta

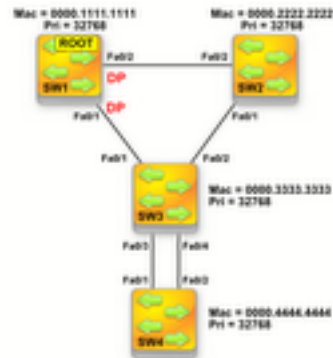
Toisessa vaiheessa kaikki sillat, lukuun ottamatta juurisiltaa, valitsevat portin, jolla on lyhin reitti kohti juurisiltaa. Tätä porttia kutsutaan juuriportiksi. Juuriportin laskemisessa käytetään BPDU-parametriä root path cost, jonka arvon määrittää porttien nopeudet. Juurisillan lähettäessä BPDU-sanoman root path cost arvo on 0. Sillan vastaanotettua BPDU-sanoman lisätään root path cost parametriin vastaanottavan portin nopeuden määrittämä arvo.

| Parameter | Link Speed | Recommended value | Recommended range | Range |
|-----------|------------|-------------------|-------------------|---------|
| Path Cost | 4 Mb/s | 250 | 100-1000 | 1-65535 |
| Path Cost | 10 Mb/s | 100 | 50-600 | 1-65535 |
| Path Cost | 16 Mb/s | 62 | 40-400 | 1-65535 |
| Path Cost | 100 Mb/s | 19 | 10-60 | 1-65535 |
| Path Cost | 1 Gb/s | 4 | 3-10 | 1-65535 |
| Path Cost | 10 Gb/s | 2 | 1-5 | 1-65535 |

Juuriportin valinta tehdään ensisijaisesti root path cost parametrin avulla, mutta jos tämä on sama, vertaillaan kummalla on pienempi bridge identifier parametri. Jos tämäkin on sama, vertaillaan kummalla on pienempi port identifier parametri. Jos arvot vieläkin samoja vertaillaan viimeisenä porttien tunnisteita (Port ID). (Rek 2010a)

STP Root Port Selection

BRIDGE PROTOCOL DATA UNIT



Copyright (C) 2010 JR Computer Labs
<http://jrcsolutions.blogspot.com>

Kuva 9 Juuriportin valinta (Rek 2010a)

Kuvassa (Suurennettu kuva liite 2) juurisilta SW1 lähettää BPDU-sanoman molemmista porteistaan. Kuvan porttien nopeudet ovat 100 mb/s, joten root path cost parametriin lisättävät arvot ovat 19.

SW1 Fa0/2 portista lähtevä sanoma SW2 Fa0/2 porttiin saa root path cost arvon $0 + 19 = 19$.

SW1 Fa0/1 portista lähtevä sanoma SW3 Fa0/1 porttiin saa myös root path cost arvon $0 + 19 = 19$.

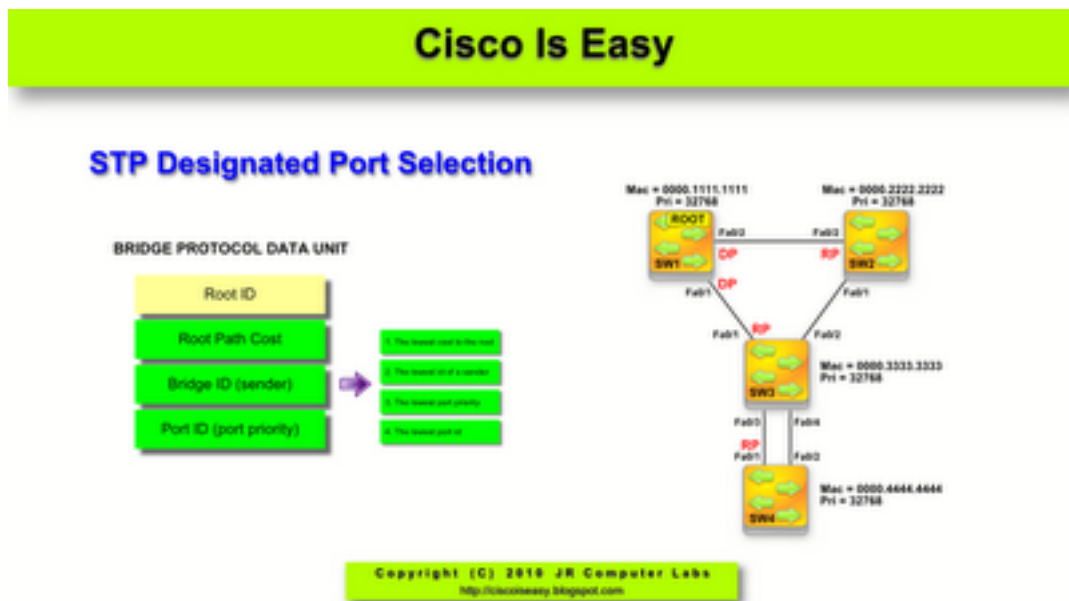
SW1 Fa0/2 portista SW2 sillan kautta SW3 Fa0/2 porttiin lähtevä sanoma saa root path cost arvon $0 + 19 + 19 = 38$.

Näin STP laskee, että SW2 Fa0/2 ja SW3 Fa0/1 porteilla on lyhin reitti juurisiltaa kohden ja valitsee nämä juuriporteiksi.

SW4 porttien Fa0/1 ja Fa0/2 root path cost, bridge identifier sekä port identifier ovat samoja, joten vertailu tapahtuu porttien tunnisteiden perusteella. Koska SW4 Fa0/1 portin tunniste on pienempi kuin SW4 Fa0/2, valitsee STP Fa0/1 portin SW4 sillan juuriportiksi. Näin kuvan juuriportit on valittu.

3.2.3 Aktiivisen portin valinta

Kolmannessa vaiheessa kaikki sillat, juurisiltaa lukuun ottamatta, valitsevat yhden lähetyssportin verkon segmenttiä kohden. Tätä porttia kutsutaan aktiiviseksi portiksi. Aktiivisen portin valinta tapahtuu samalla tavalla kuin juuriportin valinta. Koska juuriportit ovat jo valittu, tapahtuu aktiivisen ja ei-aktiivisen portin valinta jäljelle jääneiden reittien kohdalla. (Rek 2010a)



Kuva 10 Aktiivisen portin valinta (Rek 2010a)

Kuvassa (Suurennettu kuva liite 3) valitaan SW2 Fa0/1 ja SW3 Fa0/2 sekä SW3 Fa0/4 ja SW4 Fa0/2 välisiltä reiteiltä mitkä portit ovat aktiivisia portteja (forwarding tila) ja mitkä ovat ei-aktiivisia portteja (blocking tila).

SW2 Fa0/1 ja SW3 Fa0/2 portit mainostavat root path cost arvoa 19, joten vertailu tapahtuu bridge identifier perusteella.

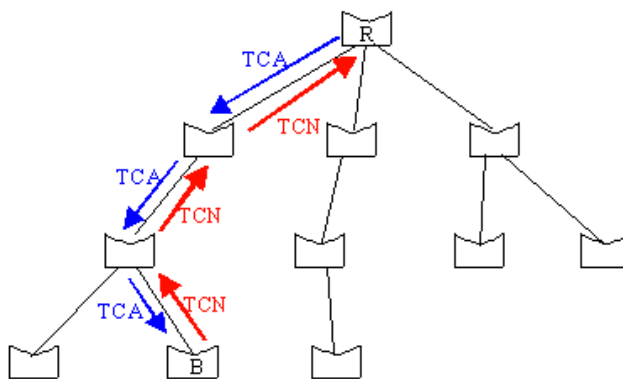
SW2 32768.0000.2222.2222 on pienempi kuin SW3 32768.0000.3333.3333, joten SW2 Fa0/1 valitaan aktiiviseksi portiksi ja SW3 Fa0/2 ei-aktiiviseksi portiksi.

SW3 Fa0/4 ja SW4 Fa0/2 kohdalla valinta tehdään root path costin perusteella. SW3 Fa0/4 mainostaa arvoa 19 ja SW4 Fa0/2 arvoa 38, joten SW3 Fa0/4 valitaan aktiiviseksi portiksi ja SW4 Fa0/2 valitaan ei-aktiiviseksi portiksi.

3.2.4 Topologian muutos

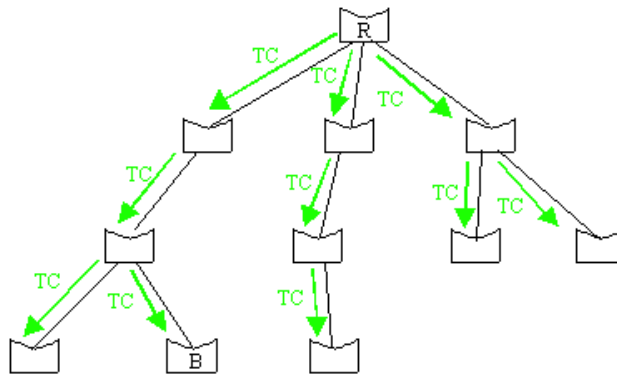
Sillat luovat saaduista sanomistaan MAC-osoitetaulukon, joka kertoo mistä portista pääsee mihinkin kohteeseen. STP:n topologian muutoksen tarkoituksena on tyhjentää saavuttamattomissa olevat kohteet pois MAC-osoitetaulukoista. Taulukoiden oletus ikääntymisaika on 300 sekuntia. Jos kohteeseen ei saada yhteyttä viiteen minuuttiin, niin kohde pyyhitään pois MAC-osoitetaulukosta. Viisi minuuttia on kuitenkin todella pitkä aika useimmissa tapauksissa.

Normaalissa STP:n toiminnassa sillat vastaanottavat juurisillalta lähetettyjä BPDU-sanomia, mutta eivät lähetä BPDU-sanomia kohti juurisiltaa. Sillan huomatessa, että BPDU-sanoma ei saavuta kohdettaan, se lähettää topologian muutosilmoitus BPDU-sanoman (TCN) juuriportistaan kohti juurisiltaa. Tämä sanoma kertoo, että aktiivisessa topologiassa on tapahtunut muutos. Silta lähettää topologian muutosilmoitus BPDU-sanomaa niin kauan kunnes viestiin vastataan normaalilla BPDU-sanomalla, jossa on TCA lippu. Lopulta topologian muutosilmoitus BPDU-sanoma saavuttaa juurisillan.



Kuva 11 Topologian muutoksen ilmoitus juurisillalle. (Cisco 2005)

Kun juurisilta saa lopulta tietää, että topologiassa on tapahtunut muutos, se alkaa lähettämään konfiguraatio BPDU-sanomaa, missä on topologian muutos lippu (TC).



Kuva 12 Juurisilta levittää konfiguraatio BPDU-sanoman. (Cisco 2005)

Tämän seurauksena kaikki sillat saavat tietää, että topologiassa on tapahtunut muutos ja voivat lyhentää MAC-osoitetaulukoiden ikääntymisajan forward delayksi, joka on oletuksena 15 sekuntia. Näin sillat uudelleen täyttävät MAC –osoitetaulukonsa. (Cisco 2005)

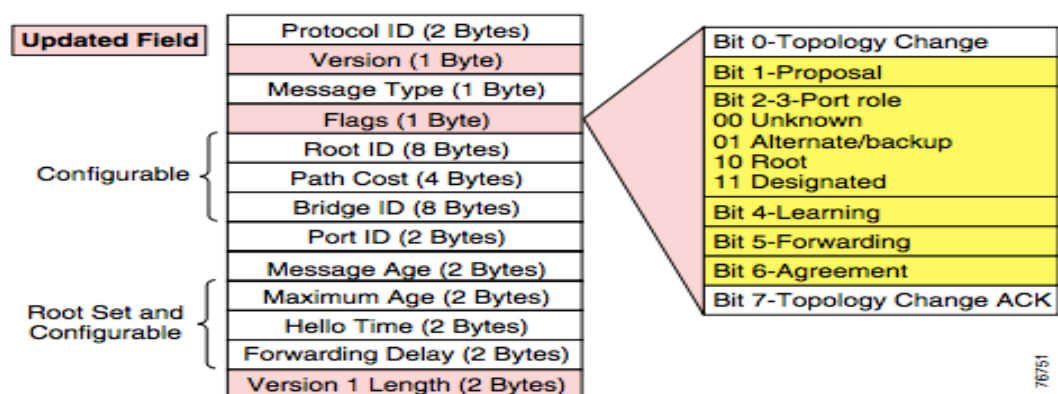
3.3 Rapid Spanning Tree Protokolla 802.1W (RSTP)

802.1D STP suunniteltaessa toipuminen verkon vikatilasta minuutin sisällä oli todettu riittäväksi, mutta verkkolaitteiden ja sovellusten jatkuvan lähiverkon tarpeen myötä tämä ei ole enää riittävä. RSTP on evoluutio STP:sta ja toimii pitkälti hyvin samalla tavalla, mutta paljon nopeammin. Kun STP pystyy toipumaan verkon vikatilasta noin 30-50 sekunnissa ($\text{max_age} + \text{forward_delay} + \text{forward_delay}$), pystyy RSTP samaan maksimissaan kuudessa sekunnissa ($3 \times \text{hello time}$). Tämä johtuu siitä, että RSTP ei käytä enää BPDU-ajastimia vikatilán huomaamiseen. Jos silta ei saa vastaan kolmeen peräkkäiseen BPDU-sanomaan, se tulkitsee että yhteys on katkennut ja aloittaa prosessin yhteyden palauttamiseksi. Vakaassa topologiassa kaikki sillat lähettävät BPDU-sanomia ”keepalive” mekanismina. Ajastimia ei ole kuitenkaan poistettu RSTP:sta vaan niitä käytetään jos halutaan yhteensopivuutta STP:n kanssa. (Cisco 2003)

Kun STP:ssa on viisi eri portin tilaa niin RSTP kutistaa nämä tilat kolmeen. Disabled tilassa oleva portti ei osallistu RSTP:n toimintaan ja blocking sekä listening tilat toimi-

vat käytännössä samalla tavalla eli ne eivät käsittele Ethernet-sanomia ja opi MAC-osoitteita. Disabled, blocking ja listening tilat yhdistyvät yhteen tilaan ”discarding”. Porttien rooleissa juuriportti ja aktiivinen portti pysyvät samoina, mutta ei-aktiivinen portti jakautuu kahteen eri rooliin, vaihtoehtoiseen porttiin (alternate port) ja varaporttiin (backup port). Vaihtoehtoinen portti tarjoaa vaihtoehtoisen reitin juurisiltaa kohden ja varaportti tarjoaa ylimääräisen yhteyden samaan verkon segmenttiin, mutta ei pysty tarjoamaan vaihtoehtoista reittiä juurisiltaa kohden. Toisin sanottuna vaihtoehtoinen portti on toiseksi paras juuriportti ja varaportti on toiseksi paras aktiivinen portti. (Cisco 2003)

RSTP tuo myös BPDUsanomaan muutoksia. STP käyttää ainoastaan kahta lippua TC ja TCA. RSTP käyttää näiden lisäksi kuutta jäljelle jäävää. Näiden lippujen avulla se tulkitsee BPDUsanoman lähettäjän portin roolin ja tilan, sekä käsittelee ehdotus hyväksyntä prosessin. (Cisco 2003)



Kuva 13 RSTP BPDUsanoma (Cisco 2003)

Topologian muutoksen huomattessaan silta asettaa TC While ajastimen kaikille porteille paitsi reunaporteilleen ja puhdistaa näiden MAC-osoitetaulukon. Kun TC While ajastin on päällä niin kaikilla näistä porteista lähteviltä viesteillä on TC lippu. Kun naapurisilta saa BPDUsanoman, jossa on TC lippu, se puhdistaa kaikkien porttien MAC-osoitetaulukon, paitsi sen, jolta topologian muutosilmoitus tuli ja asettaa TC While ajastimen kaikille porteille paitsi reunaporteilleen. Näin verkon MAC-osoitetaulukko puhdistuu todella nopeasti. Toisin kuin STP:ssa, jossa ilmoitetaan juurisillalle topologian

muutoksesta ennen varsinaista muutosta, RSTP:ssa kaikki sillat pystyvät aloittamaan topologian muutoksen. (Cisco 2003)

3.4 EtherChannel

EtherChannel on Ciscon termi linkkien niputtamiselle. EtherChannel –teknologiaa käytetään verkon vikasietoisuuden parantamiseksi sekä nopeuden kasvattamiseksi. Toisin kuin STP:ssa, missä toinen fyysinen linkki aina estetään lähetysmyrskyjen ehkäisemiseksi, EtherChannel –teknologiassa nämä kaksi fyysistä linkkiä niputetaan yhdeksi loogiseksi linkiksi. Näin saadaan kahden kytkimen välinen nopeus kaksinkertaistettua ja verkon vikasietoisuutta parannettua. Jos kytkimet eivät pysty neuvottelemaan niputettua yhteyttä niin ne käsittelevät linkit yksittäisiksi linkeiksi. Yksi EtherChannel voi niputtaa kahdeksan linkkiä yhdeksi. Niputettujen linkkien tulee olla nopeudeltaan samoja ja niillä tulee olla sama duplex asetus eli ovatko portit kaksi- vai yksisuuntaisia. (Mur 2009)

EtherChannel on mahdollista neuvotella kolmella eri protokollalla, Ciscon patentoimalla PAgP:lla (Port Aggregation Protocol), IEEE 802.3ad LACP:lla (Link Aggregation Control Protocol) sekä ilman protokollaa pakottamalla linkkien niputus. PAgP ja LACP toimivat hyvin samalla tavalla. Molemmilla on kaksi eri tilaa; aktiivinen ja passiivinen. Aktiivinen tila yrittää aktiivisesti muodostaa niputettua yhteyttä lähettämällä paketteja vastapuolen kytkimelle. Passiivinen tila odottaa vastapuolen paketteja, joiden pohjalta se lopulta muodostaa yhteyden. Kolmas tapa on pakottaa niputettu yhteys ilman mitään protokollaa. Tämän tulisi olla viimeinen vaihtoehto ja käytettävä ainoastaan, jos kytkimet eivät tue PAgP tai LACP protokollia. (Mur 2009)

4 Case-esimerkki: Vikasietoisen verkon toteutus

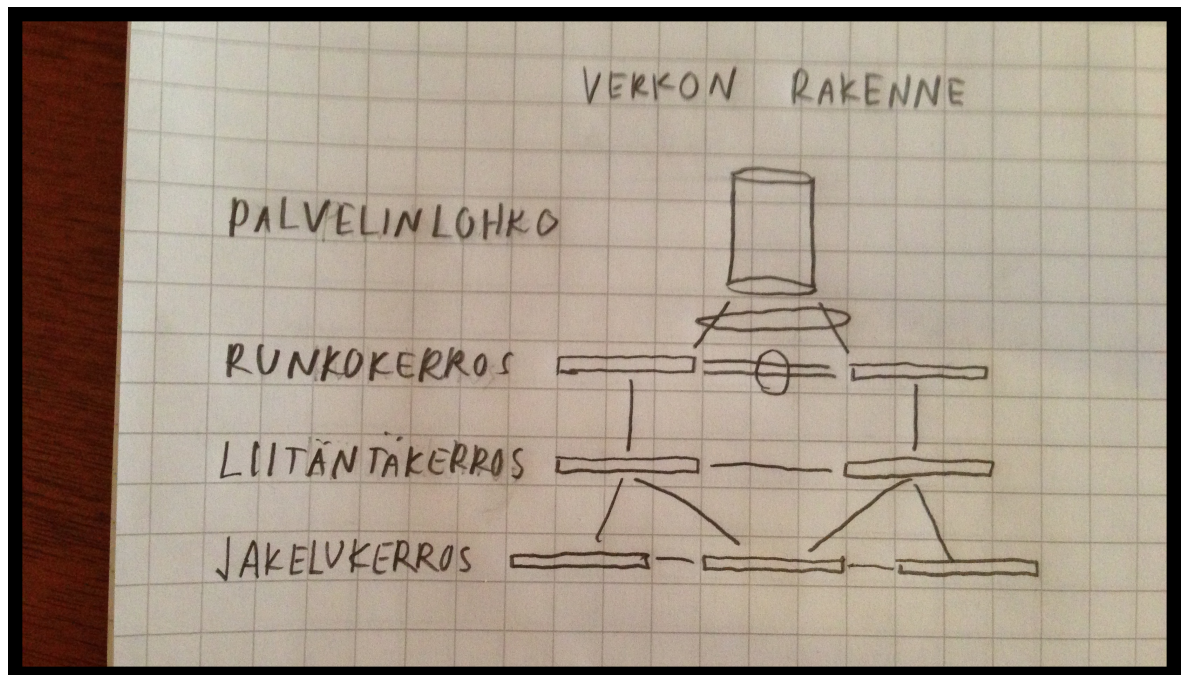
Vikasietoinen verkko toteutetaan Ciscon Packet Tracer –ohjelman 5.3.3 versiolla.

Packet Tracer on Ciscon julkaisema tehokas verkkosimulaattori, joka mahdollistaa verkon kokeilun ilman oikean lähiverkon konfiguroinnin tuomia riskejä. Packet Tracer ei kuitenkaan korvaa oikeita laitteita vaan antaa käyttäjälle hyvän lähtökohdan miten laitteet ja verkko toimivat. (Cisco 2010)

| Layer | Cisco Packet Tracer Supported Protocols |
|--------------------------|---|
| Application | • FTP , SMTP, POP3, HTTP, TFTP, Telnet, SSH, DNS, DHCP, NTP, SNMP, AAA, ISR VOIP, SCCP config and calls ISR command support, Call Manager Express |
| Transport | • TCP and UDP, TCP Nagle Algorithm & IP Fragmentation, RTP |
| Network | • BGP, IPv4, ICMP, ARP, IPv6, ICMPv6, IPsec, RIPv1/v2/ng, Multi-Area OSPF, EIGRP, Static Routing, Route Redistribution, Multilayer Switching, L3 QoS, NAT, CBAL , Zone-based policy firewall and Intrusion Protection System on the ISR, GRE VPN, IPsec VPN |
| Network Access/Interface | • Ethernet (802.3), 802.11, HDLC, Frame Relay, PPP, PPPoE, STP, RSTP, VTP, DTP, CDP, 802.1q, PAgP, L2 QoS, SLARP, Simple WEP, WPA, EAP |

Kuva 14 Cisco Packet Tracer –ohjelman tukemat protokollat (Cisco 2010)

4.1 Verkon suunnittelu



Kuva 15 Alustava verkon rakenne

Palvelinlohkossa sijaitsevat palvelimet. Useimmat palvelimet tarjoavat itsessään viikasioisuutta kahden verkkokortin avulla. Hahmottamassani kuvassa palvelimet ovat kiinnitettyinä runkokerroksen kytkimiin EtherChannel –teknologialla. EtherChannel on linkki, joka niputtaa kaksi fyysistä linkkiä yhdeksi loogiseksi linkiksi. Näin verkon viikasioisuus ja nopeus paranee. EtherChannel osaa hyödyntää molempien linkkien nopeuden. Jos toinen fyysinen linkki katkeaa osaa EtherChannel –teknologia käyttää automaattisesti jäljelle jääneitä linkkejä.

Runkokerroksen kytkiminä halutaan käyttää mahdollisimman nopeita ja laajasti hallinnoitavia kytkimiä. Viikasioisuutta ja nopeutta haettaessa runkoverkon kytkimet ovat yhdistetty EtherChannel –teknologialla kiinni toisiinsa.

Jakelukerroksessa ei tarvitse käyttää yhtä järeitä kytkimiä kuin runkokerroksessa, niiden suurin tarkoitus on tarjota ylimääräisiä linkkejä ympäri verkkoa ja huolehtia että jokaiseen kytkimeen on vaihtoehtoinen reitti. Suuremmissa verkoissa niiden tehtävänä on myös reitittää virtuaalisia lähiverkkoja (VLAN) ja suodattaa yhteyksiä pääsyylojen avulla.

Liitântäkerroksen päätarkoitus on yhdistää loppukäyttäjät lähiverkkoon.

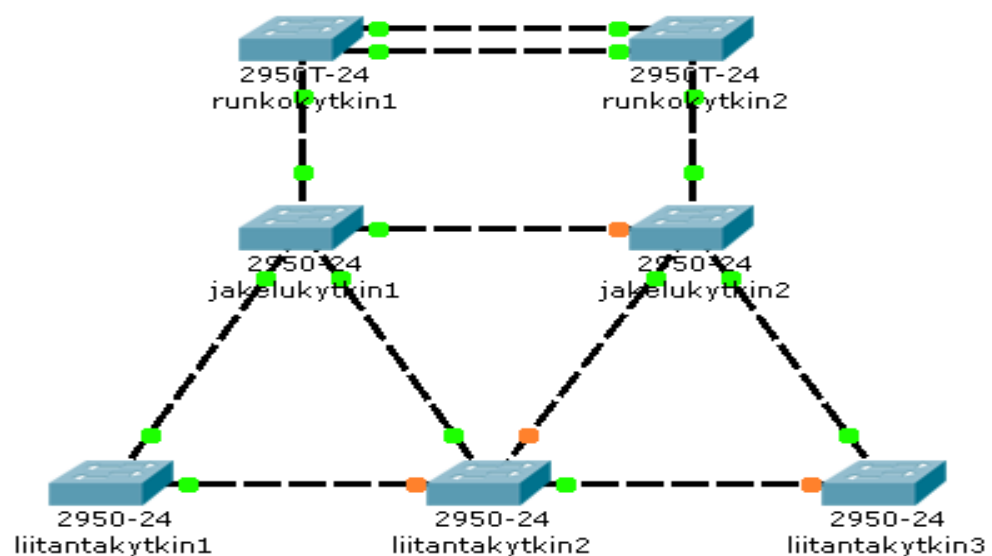
Verkossa käytetään RSTP protokollaa lähetyksmyrskyjen ehkäisemiseksi. Verkossa käytetään verkossa ainoastaan yhtä virtuaalista lähiverkkoa, koska Packet Tracer ei tue protokollia, jotka pystyisivät kuljettamaan useita virtuaalisia lähiverkkoja yhdessä instanssissa. Runkoverkon kytkimet ovat verkon kaksi juurisiltaa. Toinen on ensisijainen ja toinen on varajuurisilta.

Jokaisella verkon kytkimellä on vähintään kaksi reittiä juurisiltoihin ja tätä kautta palvelinlohkoon, joten yhden linkin tai kytkimen hajoaminen ei vaikuta verkon toimintaan. Ainoastaan loppukäyttäjät voivat menettää väliaikaisesti yhteyden liitântäkerroksen kytkimen hajoamisen seurauksena.

4.2 Verkon rakentaminen

Runkokerroksen kytkiminä käytetään kahdella GigabitEthernet portilla ja 24 x FastEthernet portilla varustettua Ciscon 2950 kytkintä. Loput kytkimet ovat 24 x FastEthernet porteilla varustettuja Ciscon 2950 kytkimiä.

Kaikille kytkimille määritetään IP-osoitteet, jotta kytkimien hallinta helpottuu.



Kuva 16 Verkon rakenne

Runkokerros:

Kytkimen nimen määrittäminen:

```
Switch>enable  
Switch#configure terminal  
Switch(config)#hostname runkokytkin1
```

```
Switch>enable  
Switch#configure terminal  
Switch(config)#hostname runkokytkin2
```

IP-osoitteen määrittäminen:

```
runkokytkin1(config)#interface vlan 1  
runkokytkin1(config-if)#ip address 192.168.0.200 255.255.255.0  
runkokytkin1(config-if)#no shutdown  
runkokytkin1(config-if)#exit
```

```
runkokytkin2(config)#interface vlan 1  
runkokytkin2(config-if)#ip address 192.168.0.201 255.255.255.0  
runkokytkin2(config-if)#no shutdown  
runkokytkin2(config-if)#exit
```

STP:n ja juurisillan määrittäminen:

Rapid-PVST on Ciscon patentoima versio RSTP protokollasta. Runkokytkin1 luodaan juurisillaksi ja sille annetaan alhaisin priority. Runkokytkin2 luodaan varajuurisillaksi ja sille annetaan toiseksi alhaisin priority.

```
runkokytkin1(config)#spanning-tree mode rapid-pvst  
runkokytkin1(config)#spanning-tree vlan 1 root primary  
runkokytkin1(config)#spanning-tree vlan 1 priority 4096
```

```
runkokytkin2(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
runkokytkin2(config)#spanning-tree vlan 1 root secondary
runkokytkin2(config)#spanning-tree vlan 1 priority 8192
```

EtherChannel määrittäminen:

Kytkimistä valitaan portit, jotka halutaan niputtaa. Niputetuille porteille annetaan lupa kuljettaa virtuaalista lähiverkkoa 1 (VLAN 1). Jos haluttaisiin kuljettaa kaikkia virtuaalisia lähiverkkoja, tulisi switchportin tila olla trunk.

```
runkokytkin1(config)#interface range gigabitEthernet 1/1 -2
runkokytkin1(config-if-range)#switchport mode access
runkokytkin1(config-if-range)#switchport access vlan 1

runkokytkin2(config)#interface range gigabitEthernet 1/1 -2
runkokytkin2(config-if-range)#switchport mode access
runkokytkin2(config-if-range)#switchport access vlan 1
```

Niputetut portit liitetään channel-group 1 ja valitaan käytetty protokolla. Runkokytkin1 käytetty protokolla on PAgP ja tila on desirable, joka vastaa LACP aktiivista tilaa. Tällöin runkokytkin1 yrittää aktiivisesti muodostaa niputettua yhteyttä. Runkokytkin2 käytetty protokolla on myös PAgP, mutta tila on auto, joka vastaa LACP passiivista tilaa. Tällöin runkokytkin2 odottaa toisten kytkimien lähettämiä niputusyrityksiä.

```
runkokytkin1(config-if-range)#channel-group 1 mode desirable
runkokytkin1(config-if-range)#end

runkokytkin2(config-if-range)#channel-group 1 mode auto
runkokytkin2(config-if-range)#end
```

Jakelukerros ja liitäntäkerros:

Koska reititettäviä virtuaalisia lähiverkkoja ei ole, jakelu- ja liitäntäkerroksen kytkimien konfiguraatiot ovat samanlaiset. Jokaiselle kytkimelle määritellään uniikki nimi, IP-osoite ja käytettävä protokolla.

```
Switch>enable
Switch#configure terminal
Switch(config)#hostname jakelukytkin1
jakelukytkin1(config)#interface vlan 1
jakelukytkin1(config-if)#ip address 192.168.0.202 255.255.255.0
jakelukytkin1(config-if)#no shutdown
jakelukytkin1(config-if)#exit
jakelukytkin1(config)#spanning-tree mode rapid-pvst
jakelukytkin1(config)#end
```

Verkon toiminta:

```
liitantakytkin2#ping 192.168.0.200
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.0.200, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/33/50 ms
```

Kuva 17 Yhteyden testaaminen

Ping on apuohjelma, jota käytetään yleisesti verkon testaamiseen IP-verkoissa. Ping lähettää ICMP (Internet Control Message Protocol) paketteja kohteeseen, joka paketin saadessaan vastaa kyseiseen sanomaan. Kuvassa liitäntäkerroksen kytkin lähettää ICMP-paketteja runkokerroksen kytkimeen, joka vastaa viestiin. Näin voidaan todeta, että verkko toimii.

```

liitanta1#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    4097
            Address    0050.0FEA.42D4
            Cost        38
            Port        1(FastEthernet0/1)
            Hello Time  2 sec   Max Age 20 sec   Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769   (priority 32768 sys-id-ext 1)
            Address    0030.A336.C5EE
            Hello Time  2 sec   Max Age 20 sec   Forward Delay 15 sec
            Aging Time  20

Interface                Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/3                    Altn BLK 19        128.3   P2p
Fa0/4                    Desg FWD 19        128.4   P2p
Fa0/1                    Root FWD 19        128.1   P2p
Fa0/2                    Altn BLK 19        128.2   P2p

```

Kuva 18 STP toiminta

Kuvassa nähdään liitänäkierroksen kytkimen STP:n toiminta. Kytkin tunnistaa runko-kerroksen kytkimen runkokytkin1 juurisillaksi root path cost arvolla 38, jolloin juurisilta on kahden 100 Mb/s nopeudella toimivan portin takana. Kytkimellä on kaksi vaihtoehtoista porttia, yksi juuriportti ja yksi aktiivinen portti. Kaikki portit saavat root path cost arvon 19, mikä tarkoittaa että portit toimivat nopeudella 100 Mb/s.

```

runkokytkin2#show etherchannel
Channel-group listing:
-----

Group: 1
-----
Group state = L2
Ports: 2 Maxports = 8
Port-channels: 1 Max Portchannels = 1
Protocol:   PAGP
runkokytkin2#show etherchannel summar
runkokytkin2#show etherchannel summary
Flags:  D - down          P - in port-channel
        I - stand-alone  S - suspended
        H - Hot-standby (LACP only)
        R - Layer3       S - Layer2
        U - in use       f - failed to allocate aggregator
        u - unsuitable for bundling
        w - waiting to be aggregated
        d - default port

Number of channel-groups in use: 1
Number of aggregators:          1

Group  Port-channel  Protocol    Ports
-----+-----+-----+-----
1      Pol(SU)        PAGP       Gig1/1(P) Gig1/2(P)

```

Kuva 19 EtherChannel toiminta

Kuvassa on runkokerroksen kytkimien Etherchannelin toiminta. Runkokytkin2:n molemmat GigabitEthernet portit ovat niputettuna channel-group 1 ja toimivat PAGP protokollalla.

| Interface | Role | Sts | Cost | Prio. | Mbr | Type |
|-----------|------|-----|------|--------|-----|------|
| Fa0/1 | Desg | FWD | 19 | 128.1 | | P2p |
| Po1 | Root | FWD | 3 | 128.27 | | Shr |

Kuva 20 EtherChannel nopeuden varmistaminen

Kuvassa on runkokytkin2 porttien nopeudet. Fa0/1 saa root path cost arvon 19. Po1 eli niputettu yhteys saa root path cost arvon 3. Koska root path cost asetuksia ei ole muuteltu voidaan todeta, että EtherChannel on kaksinkertaistanut nopeuden 2 Gbit/s.

5 Tulokset ja johtopäätökset

Opinnäytetyön tuloksena syntyi tutkimus verkon vikasietoisuudesta ja sen toteuttamisesta. Tutkimuksessa käytiin yleisesti läpi lähiverkkoa, lähiverkon suunnittelufilosofiaa Ciscon hierarkkisen mallin pohjalta, lähiverkon kaapelointi ratkaisuja ja kytkimien vikasietoisia protokollia.

Näiden tutkimusten pohjalta toteutettiin RSTP ja EtherChannel –teknologiaa hyödyntävä yksinkertainen vikasietoinen lähiverkko, joka kestää jokaisessa kerroksessa vähintään yhden verkkolaitteen tai kaapelin vikatilat. Lähiverkko kaapeloitiin osittaisen meshin mukaisesti. Runkokerroksen kytkimet kytkettiin toisiinsa EtherChannel –teknologialla kytkimien vikasietoisuuden ja nopeuden parantamiseksi. Molemmat runkokerroksen kytkimet ovat kytkettyinä jakelukerroksen kytkimiin yhdellä kaapelilla. Tämä on riittävä, koska jos toinen jakelukerroksen kytkimistä menee rikki, kierrätetään liikenne toisen runkokerroksen kytkimen kautta. Jakelukerroksen kytkimet ovat kytkettyinä toisiinsa ja tarjoavat kaksi eri reittiä liitântäkerroksen kytkimiin. Liitântäkerroksen kytkimet tarjoavat loppukäyttäjille pääsyn lähiverkkoon ja ovat helposti korvattavissa.

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda vikasietoinen lähiverkko ja saada selville mitä sen rakentamiseen vaaditaan. Tutkimuksen edetessä huomasin, että verkon vikasietoisuuden aste määritellään hyvin pitkälti käytettävissä olevien kytkimien pohjalta. Ciscon Packet Tracer –ohjelman rajoittuneisuuden vuoksi loin yksinkertaisen lähiverkon, käyttäen ainoastaan yhtä virtuaalista lähiverkkoa ja geneerisiä kytkimiä. Jos olisin käyttänyt useampaa virtuaalista lähiverkkoa, lähiverkon hallittavuus ja selkeys olisi kärsinyt. Lisäsin runkokerroksen kytkimiin kaksi GigabitEthernet porttia simuloidakseni runkokerroksen kytkimien nopeuden tärkeyttä.

Edistyneemmillä kytkimillä olisi käytettävissä useita protokollia, jotka parantaisivat verkon vikasietoisuutta ja nopeutta. Näitä protokollia ovat muun muassa MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol), Cross Stack EtherChannel ja FabricPath. MSTP on samantapainen RSTP:n kanssa, mutta sen suurin eroavaisuus RSTP:n kanssa on, että se pystyy kuljettamaan useampia virtuaalisia lähiverkkoja samassa instanssissa. Cross Stack EtherChannel pystyy tulkitsemaan kaksi eri kytkintä yhdeksi loogiseksi kokonaisuudeksi.

Tämän ansiosta runkoverkon kytkimien nopeutta saataisiin kasvatettua, vikasietoisuutta parannettua ja hallintaa helpotettua. FabricPath on tulevaisuuden protokolla, joka on tällä hetkellä käytössä ainoastaan Ciscon parhaimmissa kytkimissä. Toisin kuin STP, joka toimii aktiivinen / passiivinen mallilla, toimii FabricPath aktiivinen / aktiivinen mallilla. Tämän ansiosta verkon nopeus ja toipuminen verkon vikatiloista paranevat huomattavasti.

Näin saatiin kuitenkin rakennettua helposti vikasietoinen lähiverkko, jota mikä tahansa pienempi yritys voi käyttää hyödyksi. Puhtaalta pöydältä vikasietoinen lähiverkko on todella yksinkertainen tehdä, mutta jos käytössä olevasta lähiverkosta haluaa tehdä vikasietoisen kannattaa ensiksi selvittää verkon topologia ja suunnitella huolella kuinka se tulisi rakentaa.

Lähteet

Bruno, A, Kim, J. 2001. Cisco Network Topologies and LAN Design. Luettavissa:
<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=24101>. Luettu: 14.4.2013

BPDU. Bridge/Router Internetworking Protocols. Luettavissa:
<http://www.protocols.com/pbook/bridge.htm#BPDU>. Luettu: 19.04.2013

Cisco. What is a Network Switch vs. a Router?. Luettavissa:
http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small_business/resource_center/articles/connect_employees_and_offices/what_is_a_network_switch/index.html. Luettu 18.04.2013

Cisco. 2003. Cisco AVVID Network Infrastructure: Implementing 802.1w and 802.1s in Campus Networks. Luettavissa:
http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/tech/tk621/c1501/ccmigration_09186a0080174993.pdf. Luettu 28.04.2013

Cisco. 2005. Understanding Spanning-Tree Protocol Topology Changes. Luettavissa:
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk389/tk621/technologies_tech_note09186a0080094797.shtml. Luettu: 26.04.2013

Cisco. 2006. Understanding and Configuring Spanning Tree Protocol (STP) on Catalyst Switches. Luettavissa: <http://www.cisco.com/image/gif/paws/5234/5.pdf>. Luettu: 18.04.2013

Cisco. 2010. Cisco Packet Tracer. Luettavissa:
http://www.cisco.com/web/learning/netacad/course_catalog/docs/Cisco_PacketTracer_DS.pdf. Luettu 05.05.2013

Jaakohuhta, H. 2006. Local Area Networks: Ethernet. Edita Publishing Inc. Finland.

Keogh, J. 2001. Verkkotekniikat – Tehokas hallinta. Edita Oyj. Helsinki.

Mur, R. 2009. Explaining Etherchannel. Luettavissa:

<http://blog.ipexpert.com/2009/12/23/explaining-etherchannel/>. Luettu 03.05.2013

Rek, J. 2010a. Lesson 20 - Spanning-Tree Protocol Operation. Luettavissa:

<http://ciscoeasy.blogspot.fi/2010/10/lesson-20-spanning-tree-protocol.html>. Luettu: 23.04.2013

Rek, J. 2010b. Lesson 19 - Spanning-Tree Protocol Overview Luettavissa:

<http://ciscoeasy.blogspot.fi/2010/10/lesson-19-spanning-tree-protocol.html>. Luettu: 24.04.2013

Sparrow, P. 2011a. Bus Topology: Advantages and Disadvantages. Luettavissa:

<http://www.ianswer4u.com/2011/05/bus-topology-advantages-and.html#axzz2fM3Hphdy>. Luettu 15.4.2013

Sparrow, P. 2011b. Ring Topology: Advantages and Disadvantages. Luettavissa:

<http://www.ianswer4u.com/2011/05/ring-topology-advantages-and.html> - axzz2OeHbhJv0. Luettu: 15.4.2013

Sparrow, P. 2011c. Star Topology: Advantages and Disadvantages. Luettavissa:

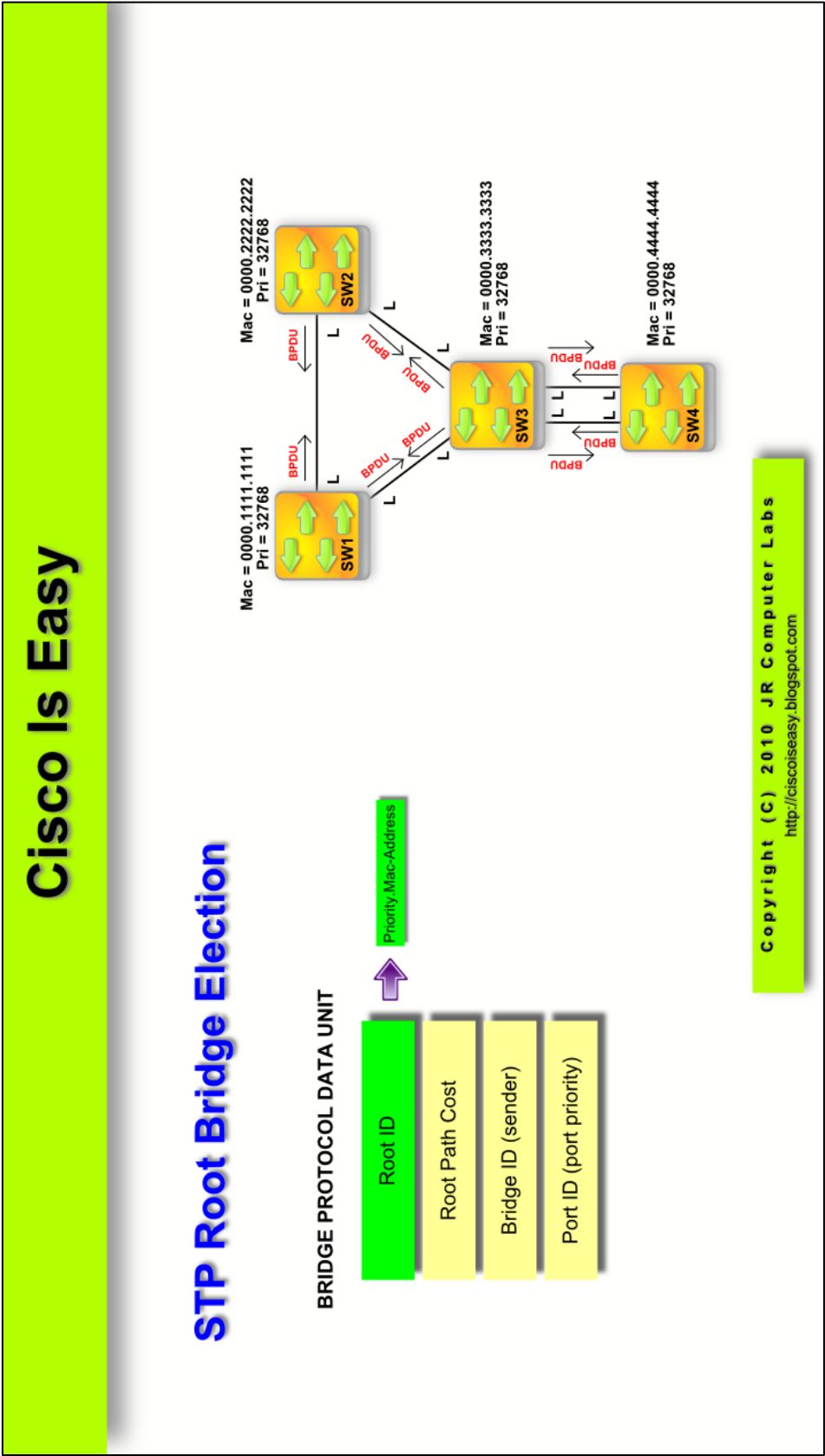
<http://www.ianswer4u.com/2011/05/star-topology-advantages-and.html> - axzz2OeHbhJv0. Luettu: 15.4.2013

Sparrow, P. 2011d. Mesh Topology: Advantages and Disadvantages. Luettavissa:

<http://www.ianswer4u.com/2011/05/mesh-topology-advantages-and.html> - axzz2RMwcrPmV. Luettu: 15.04.2013

Wilkins, S. 2011. Spanning Tree Protocol Concepts and Configuration. Kuva:

http://www.ciscopress.com/content/images/art_wilkins_spantreeconcepts/elementLinks/thfig1_wilkins_spanning-tree-concepts.jpg. Viitattu: 19.04.2013



Cisco Is Easy

STP Root Port Selection

BRIDGE PROTOCOL DATA UNIT

| | | | |
|---------|----------------|--------------------|-------------------------|
| Root ID | Root Path Cost | Bridge ID (sender) | Port ID (port priority) |
|---------|----------------|--------------------|-------------------------|

↑

| | | | |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1. The lowest cost to the root | 2. The lowest id of a sender | 3. The lowest port priority | 4. The lowest port id |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|

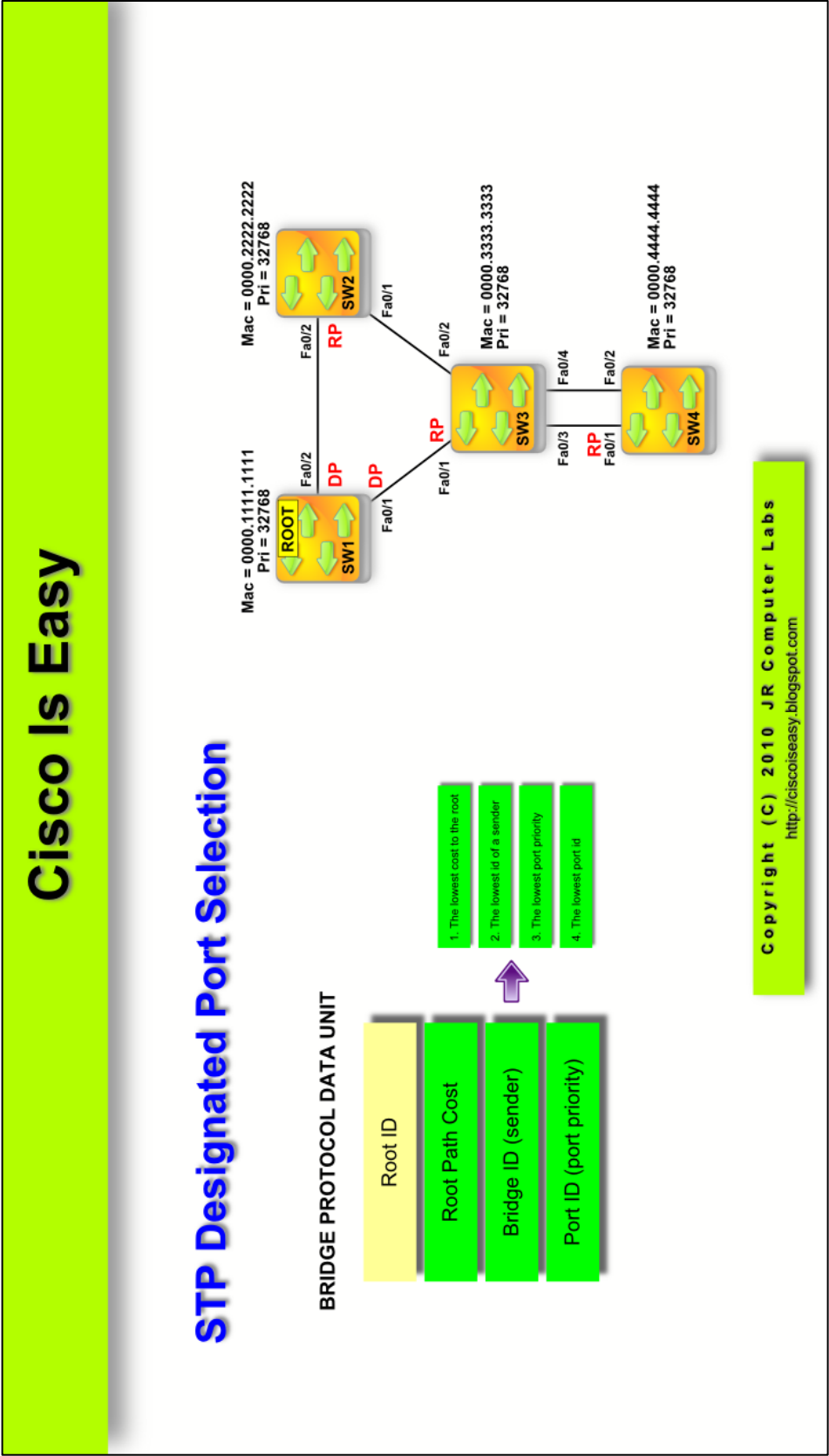
Mac = 0000.1111.1111
Pri = 32768

Mac = 0000.2222.2222
Pri = 32768

Mac = 0000.3333.3333
Pri = 32768

Mac = 0000.4444.4444
Pri = 32768

Copyright (C) 2010 JR Computer Labs
<http://ciscoiseasy.blogspot.com>



Liite 4. Runkokytkin1 running-config

```
runkokytkin1#show running-config
```

Building configuration...

Current configuration : 1234 bytes

!

version 12.1

no service timestamps log datetime msec

no service timestamps debug datetime msec

no service password-encryption

!

hostname runkokytkin1

!

!

spanning-tree mode rapid-pvst

spanning-tree vlan 1 priority 4096

!

interface FastEthernet0/1

!

interface FastEthernet0/2

!

interface FastEthernet0/3

!

interface FastEthernet0/4

!

interface FastEthernet0/5

!

interface FastEthernet0/6

!

interface FastEthernet0/7

!

interface FastEthernet0/8

!

```
interface FastEthernet0/9
!
interface FastEthernet0/10
!
interface FastEthernet0/11
!
interface FastEthernet0/12
!
interface FastEthernet0/13
!
interface FastEthernet0/14
!
interface FastEthernet0/15
!
interface FastEthernet0/16
!
interface FastEthernet0/17
!
interface FastEthernet0/18
!
interface FastEthernet0/19
!
interface FastEthernet0/20
!
interface FastEthernet0/21
!
interface FastEthernet0/22
!
interface FastEthernet0/23
!
interface FastEthernet0/24
!
interface GigabitEthernet1/1
channel-group 1 mode desirable
```

```
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/2
channel-group 1 mode desirable
switchport mode access
!
interface Port-channel 1
!
interface Vlan1
ip address 192.168.0.200 255.255.255.0
!
!
line con 0
!
line vty 0 4
login
line vty 5 15
login
!
!
end
```

Liite 5. Runkokytkin2 running-config

runkokytkin2#show running-config

Building configuration...

Current configuration : 1224 bytes

!

version 12.1

no service timestamps log datetime msec

no service timestamps debug datetime msec

no service password-encryption

!

hostname runkokytkin2

!

!

spanning-tree mode rapid-pvst

spanning-tree vlan 1 priority 8192

!

interface FastEthernet0/1

!

interface FastEthernet0/2

!

interface FastEthernet0/3

!

interface FastEthernet0/4

!

interface FastEthernet0/5

!

interface FastEthernet0/6

!

interface FastEthernet0/7

!

interface FastEthernet0/8

!


```
interface FastEthernet0/9
!
interface FastEthernet0/10
!
interface FastEthernet0/11
!
interface FastEthernet0/12
!
interface FastEthernet0/13
!
interface FastEthernet0/14
!
interface FastEthernet0/15
!
interface FastEthernet0/16
!
interface FastEthernet0/17
!
interface FastEthernet0/18
!
interface FastEthernet0/19
!
interface FastEthernet0/20
!
interface FastEthernet0/21
!
interface FastEthernet0/22
!
interface FastEthernet0/23
!
interface FastEthernet0/24
!
interface GigabitEthernet1/1
channel-group 1 mode auto
```

```
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/2
channel-group 1 mode auto
switchport mode access
!
interface Port-channel 1
!
interface Vlan1
ip address 192.168.0.201 255.255.255.0
!
!
line con 0
!
line vty 0 4
login
line vty 5 15
login
!
!
end
```

Liite 6. Jakelukerros- ja liitäntäkerroskytkimien running-config

```
jakelukytkin1#show running-config
```

Building configuration...

Current configuration : 999 bytes

!

version 12.1

no service timestamps log datetime msec

no service timestamps debug datetime msec

no service password-encryption

!

hostname jakelukytkin1

!

!

spanning-tree mode rapid-pvst

!

interface FastEthernet0/1

!

interface FastEthernet0/2

!

interface FastEthernet0/3

!

interface FastEthernet0/4

!

interface FastEthernet0/5

!

interface FastEthernet0/6

!

interface FastEthernet0/7

!

interface FastEthernet0/8

!

interface FastEthernet0/9

```
!  
interface FastEthernet0/10  
!  
interface FastEthernet0/11  
!  
interface FastEthernet0/12  
!  
interface FastEthernet0/13  
!  
interface FastEthernet0/14  
!  
interface FastEthernet0/15  
!  
interface FastEthernet0/16  
!  
interface FastEthernet0/17  
!  
interface FastEthernet0/18  
!  
interface FastEthernet0/19  
!  
interface FastEthernet0/20  
!  
interface FastEthernet0/21  
!  
interface FastEthernet0/22  
!  
interface FastEthernet0/23  
!  
interface FastEthernet0/24  
!  
interface Vlan1  
ip address 192.168.0.202 255.255.255.0  
!
```

```
!  
line con 0  
!  
line vty 0 4  
  login  
line vty 5 15  
  login  
!  
!  
end
```