

Hannu Pekkanen

REITITYS SAN-VERKOISSA

Kandidaatintutkielma

Tietoliikennetekniikan linja

12.10.2011

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Tekijä: Hannu Pekkanen

Yhteystiedot: miskada@gmail.com

Työn nimi: Reititys SAN-verkoissa.

Title in English: Routing in Storage Area Networks

Työ: Tietotekniikan kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 42

Linja: Tietoliikennetekniikka.

Teettäjä: Jyväskylän yliopisto, tietotekniikan laitos

Avainsanat: SAN, storage area networks, reititys

Keywords: SAN, storage area networks, multiprotocol routing

Tiivistelmä: Tässä tutkielmassa käsitellään reititystä SAN-verkoissa ja olemassa olevien verkkojen liittämistä toisiinsa. SAN-verkkoja esitellään protokollien näkökulmasta. Protokollien esittelyn jälkeen siirrytään vertailemaan eri protokollien ominaisuuksia. Lopuksi tutkitaan miten olemassa olevat SAN-verkot voidaan yhdistää toisiinsa.

Abstract: This report discusses about routing in SAN-networks and how existing SANs can be attached. The theory of SAN is presented as development of SAN protocols and practices. After presenting the theory of protocols this report will focus on the different purposes of the protocols. Routing will be examined by going through the specific features of routing protocols.

Esipuhe

Informaatiovallankumouksen mukanaan tuoma tietomäärän kasvu on ilmiö, joka on tullut pysyäkseen. Yritykset kamppailevat jatkuvasti tiedon tallentamiseen liittyvien haasteiden kanssa. Suuri osa ongelmista liittyy tiedon tallentamiseen ja tallennetun tiedon saatavuuteen. Tallennettu tieto täytyy yleensä olla saatavilla välittömästi ilman viiveitä ja katkoksia. Pyrin esittelemään tässä tutkielmassa yhtä tiedontallennuksen osa-aluetta, tiedon tallennuksessa käytettyjä verkkoja. Aihe on minulle mielenkiintoinen niin ammatillisesti kuin henkilökohtaisestikin.

Termit ja käsitteet

Ajuri (engl. *Driver*) on liityntäkortin tai jonkin muun laitteen ohjaamiseen tarkoitettu ohjelmistorajapinta.

Alullepanija (engl. *Initiator*) on laite, joka aloittaa kommunikation. Yleensä alullepanija on palvelin, joka aloittaa kommunikoinnin kohteen eli tallennuslaitteen kanssa. Alullepanijaa voidaan kutsua myös initiaattoriksi.

ANSI (engl. *American National Standards Institute*) on standardointiorganisaatio joka vastaa muun muassa Fibre Channel -standardin ja protokollan kehittämisestä.

Asiakas/palvelin-malli (engl. *Client/Server Model*) on jaettu sovellusmalli, jossa tehtäviä jaetaan palvelua tarjoavan palvelimen ja asiakkaan, joka käyttää palvelua välillä.

Bitti (engl. *Bit*) on tietovuon pienin käsiteltävä osa. Yhdellä bitillä voi olla kaksi poissulkevaa tilaa 0 ja 1.

Bittivirta (engl. *Bit stream*) tarkoittaa sarjaa peräkkäin lähetettyjä bittejä.

CRC-virheenkorjaus (engl. *Cyclic redundancy check, CRC*) on tiivistealgoritmi, jota käytetään virheiden havainnointiin ja korjaukseen.

Datan tietoturva (engl. *Data security*) käsittää menetelmät, joilla dataa suojellaan mahdolliselta korruptiolta. Datan saatavuus ja yksilöllinen tietoturvat täytyy olla myös hoidettuna.

EOF (engl. *End-of-Frame*) on kehyksen viimeinen osa ja ilmoittaa kehyksen loppumisesta.

Epäjärjestyksessä tapahtuva liikennöinti (engl. *Out-of-Order delivery*) tarkoittaa, että lähetetyt paketit eivät välttämättä saavu vastaanottajalle oikeassa järjestyksessä.

Estoton (engl. *Non Blocking*) tarkoittaa että dataa voidaan prosessoida ennen kuin tieto on siirretty kokonaisuudessaan. Tällöin kohteelta ei tarvitse odottaa kommunikointilupaa ennen seuraavan paketin lähettämistä.

Etäpeilaus (engl. *Remote mirroring*) tarkoittaa alkuperäisen datan kopiointia ja synkronointia laitteen kanssa joka sijaitsee eri paikassa.

Fabric kuvataan tarkemmin FC-SW:n alla.

FC-AL (engl. *Fibre Channel Arbitrated Loop*) on Fibre Channel -standardi, joka määrittelee rengas-topologian (engl. Loop).

FC-SW (engl. *Fibre Channel switched fabric*) on kytkentäinen Fibre Channel -verkko, joka koostuu vähintään kahdesta Fibre Channel -kytkimestä. Voidaan kutsua myös kytketyksi kudokseksi. Muita termejä ovat fabric ja kudus.

FCIA (engl. *Fibre Channel Industry Alliance*) on voittoa tavoittelematon organisaatio, joka koostuu useista yrityksistä, jota tuottavat tai käyttävät Fibre Channel -palveluita. Organisaation tavoitteena on tuottaa ja kehittää Fibre Channel -sovellutuksia.

FCIP (engl. *Fibre Channel over Internet Protocol*) on tunneloiva verkkoprotokolla, joka luo TCP/IP-tunnelin Fibre Channel -verkkojen väliin.

FCoCEE (engl. *Fibre Channel over Convergence Enhanced Ethernet*) on kehittyneempi versio FCoE-ratkaisusta. FCoEE-ratkaisussa Fibre Channel ja TCP/IP jakavat kaikki liityntäpisteet.

FCoE (engl. *Fibre Channel over Ethernet*) on protokolla, jossa Fibre Channel -kehys kapseloidaan Ethernet-kehysten sisään. Näin FCP:n kaksi alinta tasoa korvataan Ethernet-verkolla.

FCP (engl. *Fibre Channel Protocol*) on tallennusverkoissa yleisimmin käytetty protokolla, joka määrittelee miten tietoa siirretään Fibre Channel -verkoissa.

FDDI (engl. *Fiber Distributed Data Interface*) on optinen menetelmä, joka käyttää rengas-topologiaa tiedon lähettämiseen lähiverkossa.

Fibre Channel -kytkin (engl. *Fibre Channel switch*) tarkoittaa verkkokytkintä, joka on täysin yhteensopiva Fibre Channel -protokollan kanssa.

Gbps (engl. *Gigabits per second*) on tiedonsiirtonopeus, jossa lähetetään 1 000 000 000 bittiä sekunnissa.

Hallinnointi (engl. *Controlling*) tarkoittaa kykyä pystyä muokkaamaan hallittujen komponenttien tilaa.

HBA (engl. *Host Bus Adapter*) yhdistää palvelimen tallennusverkkoon tai tallennuslaitteeseen. HBA:lla tarkoitetaan yleensä Fibre Channel -liityntäkorttia.

Hyötykuorma (engl. *Payload*) on se osa protokollan kehystä, joka sisältää siirrettävää dataa.

I/O-väylä (engl. *I/O Bus*) on tietotekniikassa käytetty alijärjestelmä, joka siirtää tietoa tietokoneen komponenttien välillä.

IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) on kansainvälinen tekniikan alan järjestö. Tallennusverkkojen osalta IEEE muun muassa hallinnoi WWN-osoitteiden käyttöä.

IETF (engl. *Internet Engineering Task Force*) on standardointiorganisaatio, joka keskittyy Internet standardeihin. Tallennusverkkoihin liittyvissä tehtävissä IETF keskittyy erityisesti verkkojenhallintaan.

iFCP (engl. *Internet Fibre Channel Protocol*) on Gateway-to-Gateway protokolla, joka mahdollistaa Fibre Channel -kehyksen kytkemisen ja reitittämisen käyttäen IP-pohjaista verkkoteknologiaa

IFL (engl. *Inter Fabric Link*) on fyysinen linkki, joka yhdistää kaksi kytkentäistä kudosta toisiinsa.

IP (engl. *Internet Protocol*) on yleisin käytössä oleva verkkokerroksen protokolla. Käytössä lähes kaikissa tietoliikenneverkoissa.

iSCSI-noodi (engl. *iSCSI Node*) hallinnoi iSCSI-alullepanijan ja iSCSI-kohteen toimintaa.

iSCSI (engl. *Internet Small Computer System Interface*) on tallennusverkoissa käytetty protokolla, jonka avulla SCSI-liikennettä voidaan lähettää IP-verkoissa.

ISL (engl. *Inter Switch Link*) on fyysinen linkki, joka yhdistää kaksi kytkintä toisiinsa.

IT (engl. *Information Technology*) käsittää kaiken käytännössä kaiken tietotekniikkaan liittyvät asiat, kuten prosessit, laitteet ja menettelytavat.

ITU-T (engl. *International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector*) on kansainvälisen televiestintäliiton televiestintäsektori, jonka päätehtävänä on vasta televiestintään liittyvästä standardoinnista ja hallinnasta.

Kapselointi (engl. *Encapsulate*) tarkoittaa menetelmää, jossa protokollan ylemmän tason tiedot liitetään osaksi alemman tason rakennetta.

Katastrofisuojaus (engl. *Disaster Recovery*) sisältää prosessit ja menetelmät infrastruktuurin jatkuvuudella jonkin onnettomuuden sattuessa.

Kehyksen otsikko (engl. *Frame Header*) sisältää kaikki oleelliset tiedot kehyksestä ja sen toiminnasta.

Keskitin (engl. *Hub*) on verkon komponentti, joka ottaa signaalin vastaan ja lähettää sen edelleen kaikille näkemilleen laitteille.

Kohde (engl. *Target*) on laite, joka vastaa alullepanijan lähettämään kommunikointipyyntöön. Kohde on yleensä tallennuslaite, kuten levyjärjestelmä tai nauhakirjasto.

Koodaus (engl. *Encode, Decode*) on prosessi jossa alkuperäinen tieto käännetään lähetettävään muotoon ja vastapäätä käytetään käänteistä prosessia.

Korkea käytettävyys (engl. *High Availability*) kuvastaa palvelua tai laitetta, joka on vikasietoinen ja takaa korkean tai jopa jatkuvan käytettävyyden.

Kudos kuvataan tarkemmin FC-SW:n alla.

Kryptaus (engl. *Encryption*) on tiedon salaamista ulkopuolisilta kuuntelijoilta. Tieto muutetaan lähetettäessä sellaiseen muotoon jota ei voi lukea muut kuin vastaanottaja.

Kytetty kudos kuvataan tarkemmin FC-SW:n all.

Kytin (engl. *Switch*) on verkkolaite, jolla voidaan yhdistää pakettikytkentäisiä laitteita toisiinsa. Kytin luo dynaamiset yhteydet sisäänpäin liikennöivien ja ulospäin liikennöivien porttien välille. Kytin mahdollistaa useiden porttien yhtäaikaisen toiminnan täydellä kapasiteetilla, ilman että resursseja hukataan pakettien ylimääräiseen lähettämiseen eri laitteiden välillä.

Laitteiden näkyvyys ainoastaan halutuille palvelimille (engl. *LUN Masking*) tarkoittaa sitä, että tallennuslaitteen päässä määritellään mitä LUNeja halutaan näyttää millekin palvelimelle.

Liityntäkortti (engl. *Interface Card*) mahdollistaa yhteyden luomisen haluttuun verkkoon tai komponenttiin. Liityntäkortti liitetään yleensä kiinteästi palvelimen I/O-väylään.

Lohko (engl. *Block*) tarkoittaa osa-aluetta jostain suuremmasta kokonaisuudesta.

Lohkokoko (engl. *Block size*) on joukko tavuja tai bittejä, joilla on jokin määrätty koko.

LUN (engl. *Logical Unit Number*) on looginen yksikkö, joka voi olla laite tai looginen yksikkö laitteen sisällä. Tallennusympäristöissä LUN tarkoittaa yleensä levyjärjestelmän loogista levyaluetta, jonka levyjärjestelmä näyttää ulospäin.

Lähiverkko (engl. *Local Area Network*) on rajoitetulla maantieteellisellä alueella toimiva TCP/IP -pohjainen tietoliikenneverkko.

MAC-osoite (engl. *Media Access Control address*) on Ethernet-verkossa käytettyjenlaitteiden yksilöivä osoite. MAC-osoite koostuu kahdestatoista heksadesimaaliluvusta, jotka on jaoteltu kahden luvun ryhmiin.

MIB (engl. *Management Information Base*) on tietokanta, jota käytetään hallittavien objektien määrittelemiseen. Yleensä MIB on käytössä SNMP:n kanssa.

Mikrokoodi (engl. *Firmware*) on elektronisten laitteiden sisäisen hallinnan mahdollistava koodi tai ohjelma.

MTU (engl. *Maximum Transmission Unit*) on suurin sallittu kehyksen koko, joka voidaan välittää eteenpäin. Koko ilmoitetaan aina tavuissa.

Multiprotokollareititys (engl. *Multiprotocol routing*) on tallennusverkkojen välillä tapahtuva reititys.

Natiivi (engl. *Native*) tarkoittaa puhdasta ja alkuperäistä. Esimerkiksi puhuttaessa natiivista protokollasta, tarkoitetaan alkuperäistä protokollaa johon ei ole tehty muutoksia.

Palvelin (engl. *Host computer*) on tietokone joka suorittaa palvelinohjelmistoa, tarjoten palvelua muille ohjelmille tai käyttäjille.

Porttiryhmä (engl. *Port group*) mahdollistaa useamman portin käyttää samaa peitenimeä. Tällä menetelmällä voidaan kuormaa jakaa tehokkaammin useampienporttien välillä.

Protokollapino (engl. *Protocol stack*) koostuu tiettyyn tarkoitukseen sopivista protokollista.

Puskuri (engl. *Buffer*) tarkoittaa datan tilapäistä tallentamista ennen käsittelyä. Yleensä puhutaan puskurimuistista, johon kerätään prosessointia odottavaa dataa.

Pyhitetty (engl. *Dedicated*) on tiettyä tarkoitusta varten varattu komponentti, laite tai ominaisuus.

QoS (engl. *Quality of Service*) mahdollistaa liikenteen jakamisen erilaisiin prioriteettiluokkiin.

RAID (engl. *Redundant Array of Independent Disks*) on tekniikka, jolla voidaan parantaa yhdistää useita kiintolevyjä yhdeksi loogiseksi kokonaisuudeksi. Käytetään yleensä parantamaan suorituskykyä ja luotettavuutta.

RAM (engl. *Random Access Memory*) on luku- ja kirjoitusmuisti, johon kohdistuvat luku- ja kirjoitusoperaatiot voivat tapahtua satunnaisessa järjestyksessä.

Reititin (engl. *Router*) on tietoverkkoja yhdistävä laite, jonka tehtävänä on välittää tietoa eri osien välillä.

SCSI (engl. *Small Computer System Interface*) on palvelimien yleisesti käyttämä tiedonsiirtoprotokolla.

SCSI-liityntäkortti (engl. *SCSI Controller*) on liityntäkortti, joka mahdollistaa SCSI-laitteiden liittämisen palvelimeen.

Silta (engl. *Bridge*) on verkon komponentti, joka yhdistää tiedonsiirtoverkon osia toisiinsa puskuroiden ja suodattaen liikennettä.

SNIA (engl. *Storage Networking Industry Association*) on standardointiorganisaatio, joka ylläpitää ja kehittää tallennusverkkoihin liittyviä standardeja.

SNMP (engl. *Simple Network Management Protocol*) on verkonhallintaprotokolla, jota käytetään laitteiden valvonnassa.

SOF (engl. *Start-of-Frame*) on kehyksen ensimmäinen osa ja ilmoittaa kehyksen alkamisesta.

Suoraan liitettävä laite (engl. *DAS, Direct Attached Storage*) on laite, joka liitetään suoraan palvelimeen liitetty tallennuslaite.

Tallennuslaite (engl. *Storage device*) kuvastaa tallennusverkkoon liitettävää laitetta, joka voi olla esimerkiksi levyjärjestelmä, nauhakirjasto tai optinen jukeboksi.

Tallennuslaitteiden hallinta (engl. *Storage management functions*) määrittelee miten tallennuslaitteita hallitaan.

Tallennusverkko (engl. *SAN, Storage Area Network*) on verkko, joka yhdistää palvelimet ja tallennuslaitteet.

Tavu (engl. *Byte*) on mittayksikkö tallennuskapasiteetille. Yleensä tavulla tarkoitetaan 8 bitin yksikköä, joskin oikea termi 8 bitin yksikölle olisi oktetti (engl. *Octet*).

Tavuvirta (engl. *Byte stream*) tarkoittaa sarjaa peräkkäin lähetettyjä tavuja, jotka lähetetään kahden liitäntäpisteen välillä.

TCP/IP (engl. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) on yhteydellinen tietoliikenneprotokolla, joka varmistaa tiedon saapumisen perille ja tarvittaessa lähettää tietoja uudelleen.

Tiedon jakaminen (engl. *Striping*) on datan jakamista pienempiin osiin, jotta data voidaan useampiin siirtokanaviin lähettää tehokkaammin käyttäen useampaa siirtokanavaa.

Toimitus oikeassa järjestyksessä (engl. *In-order delivery*) on menetelmä kehysten lähettämiseen, jossa kaikki kehykset täytyy toimittaa oikeassa järjestyksessä.

Toistin (engl. *Repeater*) on verkon komponentti, joka ottaa signaalin vastaan ja lähettää muuttamattomana eteenpäin.

Tunneloiva protokolla (engl. *Tunneling protocol*) tarkoittaa sellaista protokollaa, joka kapseloi toisen protokollan kuorman sisäänsä ja lähettää sen toisessa verkkoelementissä eteenpäin.

Useamman yhteyden malli (engl. *Multi-connection model*) sisältää useampia yhteyksiä lähettäjän ja vastaanottajan välillä.

Vahvistus (engl. *Acknowledgement, ACK*) on menetelmä, jossa vastaanottaja vahvistaa kehyksen saapumisen perille.

Verkko (engl. *Interconnection network*) liittää yhteen kaksi erillään olevaa kokonaisuutta.

Verkko-entiteetti (engl. *Network Entity*) kuvataa laitetta, joka on tietoliikenneverkon välityksellä.

Verkkoportaal (engl. *Network Portal*) on iSCSI-komponentti, joka muodostaa verkkoyhteyden IP-verkkoon.

Verkkoportaaliryhmä (engl. *Portal Group*) koostuu yhdestä tai useammasta verkkoportaalista.

Vuon valvonta (engl. *Flow Control*) on prosessi, jolla hallitaan datan lähetystä ja tahdistusta lähettäjän ja vastaanottajan välillä. Tarkoituksena on esimerkiksi estää nopeampaa lähettäjä tukahduttamasta hidasta vastaanottajaa.

WWN (engl. *World Wide Name*) on 64-bittinen heksadesimaaliluku, jonka avulla kaikki Fibre Channel -laitteet pystytään tunnistamaan.

Yhden yhteyden malli (engl. *Single-connecion model*) sisältää ainoastaan yhden yhteyden lähettäjän ja vastaanottajan välillä.

Yhdyskäytävä (engl. *Gateway*) tarkoittaa tietoverkossa olevaa solmua, joka mahdollistaa liikennöinnin verkkojen välillä. Yhdyskäytävä voi toimia myös eri protokollaa tukevien verkkojen välissä vastaten tarvittavista protokollamuunnoksista.

Yhteiset palvelut (engl. *Generic Services*) on lajitelma Fibre Channel -verkon tarvitsemia palveluita, jolla mahdollistetaan verkon peruspalvelut.

Ylimääräinen kuorma (engl. *Protocol overhead*) on määritelmä siitä kuinka paljon protokollan kehys kuluttaa kehyksen kokonaispituudesta otsikoihin ja muihin tarvittaviin tietoihin verrattuna siirrettyyn kuormaan.

Sisältö

1 JOHDANTO.....	1
2 STORAGE AREA NETWORKS.....	3
2.1 LAITTEISTOKOMPONENTIT.....	3
2.1.1 Tallennusverkon komponentit.....	3
2.1.2 Loogiset liitännätpisteet.....	5
2.2 OHJELMISTOT.....	5
2.2.1 Käyttöjärjestelmät.....	6
2.2.2 Ajurit ja mikrokoodit.....	7
2.2.3 Hallintaohjelmistot.....	7
2.3 STANDARDIT.....	8
2.4 ARKKITEHTUURI.....	9
3 MULTIPROKOLLAREITITYS.....	11
3.1 FIBRE CHANNEL	11
3.1.1 Kytetty kudos.....	11
3.1.2 Fibre Channelin toiminta.....	12
3.1.3 Fibre Channel -kehys.....	13
3.1.4 Fibre Channelin porttityypit.....	14
3.2 IP JA ETHERNET.....	16
3.2.1 IP-tallennusverkkojen hyvät ja huonot puolet.....	17
3.2.2 IP-tallennusverkkojen protokollat.....	18
3.3 iSCSI.....	20
3.3.1 Toimintaperiaate.....	21
3.3.2 Toiminta ja komponentit.....	21
3.3.3 Liitettävyys.....	23
3.4 iFCP.....	24
3.4.1 Toimintaperiaate.....	25
3.4.2 Toiminta ja liitettävyys.....	25
3.5 FCIP.....	27
3.5.1 Toiminta.....	27
3.5.2 FCIP-linkki.....	29
3.5.3 FCIP-tunneli.....	29
3.6 FCoE.....	30

3.6.1 Toiminta.....	30
3.6.2 Protokollapino.....	32
3.6.3 Kehyksen kapselointi.....	33
3.6.4 Liitettävyys.....	34
3.7 MENETELMIEN VERTAILU.....	35
3.7.1 Kehysten vertailu.....	35
3.7.2 Toiminnallisuuksien vertailu.....	37
4 YHTEENVETO.....	41
5 LÄHTEET.....	43

1 Johdanto

Ensimmäiset tiedon tallennukseen liittyvät sovellukset olivat hyvin yksinkertaisia. Tietokoneeseen liitettiin muistia, jolle tietoa voitiin tallentaa myöhempää käyttöä varten. Tietoteknisten toteutusten yleistyessä alkoivat myös tietomäärät kasvaa huimaa vauhtia. Yksittäisistä muisteista, disketeistä ja kiintolevyistä siirryttiin käyttämään ulkoisia levyjärjestelmiä. Suurempien tietomäärien yhteydessä törmättiin myös uusiin ongelmiin, kuten tiedon kriittisyyteen, saatavuuteen ja käytettävyyteen eri palveluiden välillä. Tämä kehityskaari johti nykyaikaisten **tallennusverkkojen** (engl. *Storage Area Networks*) luomiseen. Tallennusverkoissa voidaan käsitellä suuria tietomääriä turvallisesti ja tehokkaasti.

Tallennusverkot tarjoavat monipuolisia ominaisuuksia tiedonkäsittelyyn ja -siirtoon. Tämä tutkielma keskittyy ensin tallennusverkkojen peruskomponenttien kuvaamiseen. Erityisen tarkastelun kohteena ovat Fibre Channel -teknologia ja siihen liittyvät sovellukset. Fibre Channel on tallennusverkoissa yleisimmin käytetty protokolla, jolla on useita sovellutuksia eri verkkoratkaisuissa. Toiminnallisen kuvauksen jälkeen siirrytään tutkimaan **multiprotokollareititystä** (engl. *Multiprotocol Routing*). Multiprotokollareitityksen tarkoitus on välittää tietoa kahden tai useamman tallennusverkon välillä.

Tämän opinnäytteen tutkimuskysymykset ovat:

1. Kuinka talletusverkot voidaan yhdistää?
2. Mitä eroja menetelmillä on?

Tutkimuskysymysten toivotaan myös vastaavan siihen, kuinka paljon hyötyä erilaisten menetelmien käyttämisellä voidaan saavuttaa.

Kandidaatintutkielma koostuu neljästä luvusta, joista ensimmäinen on johdanto. Toisessa luvussa perehdytään tallennusverkkojen komponentteihin ja standardeihin. Luvussa esitellään myös tallennusverkkoarkkitehtuuria. Kolmannessa luvussa käydään läpi tallennusverkkoprotokollia ja multiprotokollareititystä. Menetelmiä pyritään vertailemaan

suorituskyvylisesti kuin myös toiminnallisesti. Viimeinen luku on yhteenveto, jossa käydään läpi tutkielman tuloksia.

2 Storage Area Networks

Tässä luvussa esitellään tallennusverkon yleisimmät komponentit, ohjelmistot, standardit ja arkkitehtuuri. Tallennusverkko on arkkitehtuuri, jonka avulla tietokonejärjestelmiä voidaan liittää erilaisiin **tallennuslaitteisiin** (engl. *Storage device*). Yleisimpiä tallennuslaitteita ovat muun muassa massalevyjärjestelmät, nauhakirjastot ja optiset jukeboxit. Tallennusverkkoon liitettyjä tallennuslaitteita voidaan jakaa useampien palvelinjärjestelmien kesken. Tällöin olemassa oleva kapasiteetti saadaan hyödynnettyä paremmin ja laitteistojen käyttöaste saadaan paremmaksi. Verkkoon liitettäviä tallennuslaitteita käytettäessä saavutetaan suuria etuja perinteiseen **suoraan liitettäviin laitteisiin** (engl. *Direct Attached Storage, DAS*) verrattuna [15, sivu 1].

2.1 Laitteistokomponentit

Tallennusverkkojen arkkitehtuuri koostuu useista eri laitteistokomponenteista, joita tarvitaan toimivan ympäristön luomiseksi. Pääsääntöisesti laitteistokomponentit voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, tallennusverkon komponentteihin ja **loogiseksi liitäntäpisteiksi** (engl. *logical endpoint*).

2.1.1 Tallennusverkon komponentit

Tallennusverkon ydin muodostuu yleisimmin **kytkimistä** (engl. *Switch*), joilla luodaan dynaamiset yhteydet sisäänpäin liikennöivien ja ulospäin liikennöivien porttien välille. Kytkin mahdollistaa useiden porttien yhtäaikaisen toiminnan täydellä kapasiteetilla, ilman että resursseja hukataan pakettien ylimääräiseen lähettämiseen eri laitteiden välillä. Yleisenä laskukaavana kytkinkapasiteetin laskemisessa on käytetty porttinopeuden kertomista kytkimessä olevien porttien määrällä ja jakamalla tämä arvo kahdella. Laskukaava pohjautuu siihen, että jokaisella sisäänpäin liikennöivällä portilla täytyy olla myös vastaparina ulospäin liikennöivä portti. Ilman molempiin suuntiin liikennöiviä portteja ei yhteyttä laitteiden välille voida muodostaa [15, sivu 4]. Esimerkiksi 32-porttisen kytkimen, jonka portit toimivat 8Gbps nopeudella maksimikaistaksi saadaan 128Gbps.

Kytkimien lisäksi tallennusverkoissa saattaa myös olla **keskittimiä** (engl. *Hub*), jotka kaiuttavat sisään tulevan liikenteen kaikille näkemilleen laitteille. Tällöin kaikki laitteet jakavat saman siirtokaistan, joten käytännössä maksimisuorituskyvyksi saadaan yhden portin nopeus. Tämä portti jakaa vielä tulevan ja lähtevän liikenteen. Keskittimillä rakennettu ratkaisu ei ole kovin tehokas ja suorituskykyongelmia ilmeneekin huomattavasti useammin kuin kytkimillä rakennetuissa ympäristöissä. Viallinen laite keskittimillä rakennetussa ympäristössä saattaa vaarantaa muiden laitteiden toiminnallisuuden, sillä rikkinäinen keskitin kaiuttaa myös virheilmoitukset kaikille samassa ympäristössä oleville laitteille [27, sivu 29].

Vanhempien laitteiden liittäminen tallennusverkkoihin onnistuu käyttämällä erilaisia **siltoja** (engl. *Bridge*). Siltojen avulla voidaan tallennusverkkoon liittää sellaisia laitteita, joilla ei ole **natiiveja** (engl. *Native*) edellytyksiä liittyä tallennusverkkoihin. Silta erottelee SCSI-prokollaliikenteen fyysisestä liitännästä. Tämän erottelun ansiosta voidaan protokollan alimmalla tasolla oleva siirtomekanismi korvata jollakin toisella siirtomekanismilla. Fibre Channel -sillan tapauksessa SCSI-kaapeli korvataan **valokuitukaapelilla** (engl. *Fibre Optic cable*). Sillat ovat käyttökelpoisia varsinkin silloin jos halutaan säilyttää vanhat järjestelmät tai data halutaan kopioida mahdollisimman helposti vanhasta järjestelmästä uudempaan [1, sivut 173 ja 313].

Peruslaitteiden lisäksi tallennusverkon komponentteihin kuuluvat myös **yhdyskäytävät** (engl. *Gateway*) ja **reitittimet** (engl. *Router*). Monissa yhteyksissä yhdyskäytävän toiminnallisuus on sama kuin sillan. Tässä tutkielmassa määritteet on eroteltu siten, että silta tarkoittaa verkkoihin liitettävän laitteen siltausta ja yhdyskäytävä verkkojen välisessä liikenteessä käytettävää laitetta. Yhdyskäytävä on älykäs laite, joka osaa tehdä protokollakonversion fyysisellä tai loogisella tasolla. Erilaisista kaapeleista ja fyysisistä komponenteista johtuen nämä molemmat ominaisuudet on yleensä yhdistetty samaan laitteeseen. Reititin on laite, joka pystyy lähettämään dataa eri tallennusverkkojen välillä. Reitityksessä saatetaan tehdä myös protokollakonversio tai alkuperäinen protokolla voidaan myös kapseloida toisen protokollakehyksen sisään [14, sivu 17].

2.1.2 Loogiset liitäntäpisteet

Loogisiksi liitäntäpisteiksi kutsutaan erilaisia laitteita, jotka voidaan kytkeä tallennusverkkoon. Kaksi yleisintä loogista liitäntäpistettä ovat palvelimiin liitettävät **liityntäkortit** (engl. *Interface Card*) ja erilaiset tallennuslaitteet. Liityntäkortti liitetään yleensä kiinteästi palvelimen I/O-väylään ja kortilta voidaan luoda suora yhteys tallennuslaitteeseen tai yhteys voidaan muodostaa tallennusverkon kautta. Fibre Channel -verkon tapauksessa puhutaan **HBA**:sta (engl. *Host Bus Adapter*). Siinä vaiheessa kun palvelimessa oleva HBA liitetään Fibre Channel -kytkimeen tapahtuu laitteiden välillä neuvottelu ja neuvottelun lopputuloksena laite kirjautuu Fibre Channel -tallennusverkkoon. Yleisimmät Fibre Channel -tallennusverkkoon liitettävät laitteet ovat älykkäitä levyjärjestelmiä tai nauhakirjastoja [15, sivu 6]. Levyjärjestelmät sisältävät useita kiintolevyjä ja niillä on myös omat prosessorit ja käyttöjärjestelmät. Tällaiset levyjärjestelmät mahdollistavat muun muassa:

- Ulkoisen käyttömahdollisuuden useille eri palvelimille.
- Datan suojausmekanismit levyjärjestelmän sisällä. Yleisimmin käytetty mekanismi on **RAID** (engl. *Redundant Array of Independent Disks*).
- Suorituskykyparannuksia sisäänrakennetuilla nopeilla **RAM**-välimuisteilla (engl. *Random Access Memory*).
- Erilaiset lisäpalvelut, kuten loogisten **laitteiden näkyvyys ainoastaan halutuille palvelimille** (engl. *LUN Masking*).

Nykyaikaiset tallennuslaitteet tarjoavat suorituskykyistä kapasiteettia ja tehokasta palvelua. Yhdistämällä erilaisia tallennuslaitteita voidaan tarjota palvelimille erilaisia suorituskyky- ja käytettävyysspalveluita.

2.2 Ohjelmistot

Toimivaan tallennusympäristöön tarvitaan laitteistojen lisäksi myös ohjelmistoja. Useat erityyppiset ohjelmistot toimivat yhteistyössä, jotta ympäristö toimisi suunnitellulla tavalla.

Kaikille ohjelmistoille on yhteistä standardoidut kommunikointimenetelmät, joilla tietoa siirretään laitteiden välillä. Tallennusympäristöissä käytetyt ohjelmistot voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Nämä kategoriat ovat käyttöjärjestelmät, **ajurit** (engl. *Driver*) ja **mikrokoodit** (engl. *Firmware*) ja hallintaohjelmistot.

2.2.1 Käyttöjärjestelmät

Jokaisella aktiivisella tallennusverkon laitteella on oma käyttöjärjestelmänsä. Esimerkiksi jokainen Fibre Channel -kytkin sisältää käyttöjärjestelmän, joka tarjoaa käyttöliittymän kaikkien laitteisto-ominaisuuksien hallintaan. Yleensä nämä laitteistojen käyttöjärjestelmät sisältävät myös ominaisuuksia laitteiston tapahtumatietojen hallintaan ja valvontaan. Näitä ominaisuuksia käytetään käyttöjärjestelmän sisäisesti ja monet käyttöjärjestelmät tarjoavat myös rajapinnan ulkoisille hallinta- ja valvonta-ohjelmistoille [15, sivu 9].

Palvelimella on myös luonnollisesti oma käyttöjärjestelmänsä, jolla hallitaan palvelimen laitteistoja ja tarjotaan rajapinta erilaisille sovelluksille. Palvelimen käyttöjärjestelmä toimii alustana myös tiedostojärjestelmille ja tietokannoille. Palvelimilla toimivia käyttöjärjestelmiä on useanlaisia. Yleisimmät käytössä olevat käyttöjärjestelmät ovat Windows ja erilaiset Unix-variantit. Käyttöjärjestelmä ei välttämättä sisällä kaikkia tarvittavia protokollia ja laitteiden kanssa tarvittavia toimintaohjeita. Yhteensopivuus erilaisen laitteistojen kanssa toteutetaan yleensä ajurien välityksellä [14, sivu 20].

Älykkäillä tallennuslaitteilla on myös omat käyttöjärjestelmänsä ja omat tehokkaat prosessorinsa. Nämä käyttöjärjestelmät hallitsevat kaikkea toiminnallisuutta, jota tarvitaan levyjärjestelmän ylläpidossa ja hallinnoinnissa. Yleisimmät tunnetut toiminnot näillä käyttöjärjestelmillä on LUNien (engl. *Logical Unit Number*) luonti ja allokointi. Datan suojausmekanismien hallinta käyttämällä esimerkiksi haluttua RAID-tasoa ja valvontaliittymän luominen ulkoisille sovelluksille [26, sivu 57]. Korkean käytettävyyden laitteet ilmoittavat yleensä ylläpitäjille tai suoraan laitetoimittajalle mahdollisesta vikaantumisesta. Tällaiset proaktiiviset valvonta- ja hallintapalvelut auttavat ehkäisemään järjestelmien vikaantumista ja mahdollistavat korkeampien käytettävyydsuokkien tarjoamisen järjestelmää käyttäville asiakkaille.

2.2.2 Ajurit ja mikrooodit

Erilaiset ajurit ja mikrooodit muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jonka avulla voidaan tarjota ominaisuuksia ja palveluita käyttöjärjestelmille. Ilman ajureita ja mikrokoodeja ei laitteisto pysty toimimaan. Esimerkiksi HBA sisältää yleensä yhden tai useamman fyysisen liitynnän Fibre Channel -verkkoon ja siinä myös tietynlainen I/O-väylä jolla kortti voidaan yhdistää palvelimeen. HBA voidaan asentaa palvelimeen ja kaapeli yhdistää Fibre Channel -kytkimeen. Mitään ei tapahdu, sillä HBA:lla ei ole älyä minkä avulla voisi kommunikoida käyttöjärjestelmän tai Fibre Channel -kytkimen kanssa. HBA:n mikrooodi tekee mahdolliseksi kirjautumisen Fibre Channel -tallennusverkkoon ja yhteyden muodostamisen. Mikrooodi sisältää myös ohjeistuksen siitä miten I/O-väylän kanssa tulee menetellä. Kirjautuminen Fibre Channel -tallennusverkkoon koostuu kahdesta osasta:

1. HBA tunnistaa neuvottelumenetelmät, joilla Fibre Channel -kytkimen kanssa voi keskustella.
2. HBA vaihtaa tietoja kytkimen kanssa, jossa sovitaan yhteysmenetelmä.

HBA:n ajuri asennetaan palvelimen käyttöjärjestelmään. Tämä ajuri sisältää tarvittavat tiedot ja menetelmät, joilla voidaan muodostaa yhteys käyttöjärjestelmän ja HBA:lla olevan mikrooodin välille. Yhteyden muodostamisen jälkeen käyttöjärjestelmä osaa käyttää mikrooodin mukanaan tuomia ominaisuuksia. Tärkein näistä ominaisuuksista on yhteyden muodostaminen käyttöjärjestelmän ja Fibre Channel -laitteiden välille. Lähes kaikkien tallennuslaitteiden ohjelmistot käyttävät SNIA:n kehittämiä standardeja ja rajapintoja [5, sivu 108]. Standardit mahdollistavat yhteensopivat kommunikaatiomenetelmät eri laitevalmistajien laitteille. Rajapintojen avulla laitteita voidaan ohjata, valvoa ja konfiguroida.

2.2.3 Hallintaohjelmistot

Hallintaohjelmistolla tarkoitetaan yleensä ohjelmistoa, jolla voidaan hallita useita erityyppisiä laitteita. Jokaisella laitteella on tyypillisesti oma käyttöliittymänsä ja omat hallintamenetelmänsä. Hallintaohjelmistojen tarkoituksena on koota monimutkaiset hallintatoimenpiteet yhden ohjelmiston alle, jolloin hallinta helpottuu ja saavutetaan myös

kustannustehokkuutta. Hallinnan keskittämiseen tarvitaan muun muassa seuraavat ominaisuudet, jotka pitäisi löytyä lähes jokaisesta hallintaohjelmistosta:

- Rajapinta erilaisten tallennusverkkolaitteiden hallintaan.
- Rajapinta liityntäkorttien hallintaan ja näihin liittyvät SNIA:n standardit.
- Rajapinta tallennuslaitteiden hallintaan.
- Rajapinta palvelimiin, jolla mahdollistetaan esimerkiksi loogisten levyalueiden luominen ja käyttöönotto.
- Käytettävyystietojen ja suorituskyvyn valvonta ja raportointi.

Näiden menetelmien ja ominaisuuksien yhdistelmät vaihtelevat eri ohjelmistojen välillä, mutta pääsääntöisesti tallennusverkkojen hallintaohjelmistojen tulisi pystyä hallitsemaan kaikki nämä osa-alueet [15, sivu 11]. Markkinoilla on useita eri laitevalmistajia ja laitteita. Useimmat hallintaohjelmistot on suunniteltu ainoastaan tietyn laitetoimittajan tuotteille. Yhteiset standardit ja laitetoimittajien yhteistyö edesauttavat hallintaohjelmistojen kehitystyötä.

2.3 Standardit

Tallennusverkkoihin sisältyy useita erilaisia standardeja, joilla muodostetaan yhteiset toimintamallit eri laitteistojen välille. Ensimmäinen tärkeä standardi on ANSI:n (engl. *American National Standards Institute*) ratifioima ANSI X.3230-1994 (engl. *Fibre Channel Physical and Signaling Standard, FC-PH*). Tämä standardi sisältää tiedot laitteiden liittämistä, sovitusta kaistanleveyksistä ja I/O-menetelmistä. ANSI X.3230-1994 esitteli mahdollisia polkuja tulevaisuuden kehitykselle, joista yksi oli FC-SW. Josta on sittemmin tullut perusta nykyiselle Fibre Channel tallennusverkko -arkkitehtuurille.

FC-PH:n jälkeen standardit ja toimintamallit ovat kehittyneet huomattavasti FCIA:n (engl. *Fibre Channel Industry Alliance*) ja SNIA:n toimesta. FCIA koostuu useista eri työryhmistä, jotka keskittyvät erityisesti tallennusverkkojen teknisiin menetelmiin, kun

taas SNIA keskittyy enemmän tallennusverkkojen hallinta- ja turvatkaisuun. Siinä vaiheessa kun nämä kaksi organisaatiota saavat tuotettua ehdotelman käytettäväksi standardiksi, lähetetään ehdotelma standardointiorganisaatioille ratifioitavaksi. Tallennusverkkojen standardien kannalta kaksi tärkeintä standardointiorganisaatiota ovat ANSI:n tekninen komitea T11 ja **IETF** (engl. *Internet Engineering Task Force*). ANSI:n tehtävänä on keskittyä pääsääntöisesti tallennusverkkojen standardeihin ja protokoliin, kun taas IETF keskittyy enemmän tallennusverkkojen hallintakysymyksiin [27, sivu 75].

Tällä hetkellä on käytössä kaksi johtavaa standardia, joilla määritellään Fibre Channel -tallennusverkkojen toimintaa. Fibre Channel standardi FC-SW5 (engl. *FC-SW versio 5*), joka sisältää yhteensopivuusmäärittelyt eri Fibre Channel -kytkimille. **MIB** (engl. *Management Information Base*) standardointi, joka pyrkii kehittämään Fibre Channel -laitteiden hallintaa. MIB-standardin tarkoituksena on helpottaa eri laitteistojen hallintaa yhtenäisillä työkaluilla [21] [22]. Standardit kehittyvät jatkuvasti ja ne ovat elintärkeitä laitteiden yhteensopivuuden kannalta. Tallennusverkkoihin liittyy myös useita muita protokollia ja näiden standardeja. Standardien noudattaminen on pakollista, jotta voidaan saavuttaa toiminnallisuus eri laitteiden välillä.

2.4 Arkkitehtuuri

Tallennusverkkojen arkkitehtuuri voidaan jakaa kolmeen pääkategoriaan. Nämä kategoriat ovat Point-to-Point, FC-AL (engl. *Arbitrated Loop*) ja **kytketty kudosis** (engl. *Switched Fabric*). Point-to-Point tarkoittaa suoraa liitosta kahden eri laitteen välillä. Välissä ei yleensä ole aktiivisia laitteita ja yleisin toteutus onkin tallennuslaitteen kytkeminen kaapeleilla suoraan palvelimeen. FC-AL ja kytketty kudosis -arkkitehtuurit koostuvat kahdesta erillisestä ja yleensä identtisestä verkosta. Jokainen laite, joka kytketään tallennusverkkoon kytketään kahdella eri polulla näihin identtisiin verkkoihin. Verkkojen kahdentaminen mahdollistaa käytettävyyden vaikka toinen polku verkkoon ei jostain syystä olisikaan käytössä. FC-AL toimii periaatteessa samalla tavalla kuin Token Ring tai **FDDI** (engl. *Fiber Distributed Data Interface*) lähiverkoissa. Laitteet on kytketty ringiin ja kaikki liikenne lähetetään jokaiselle ringissä olevalle laitteelle. FC-AL pohjautuu keskittimien käyttöön, joilla luodaan ringi laitteiden välille. Nykyään yleisin arkkitehtuuri

on kytketty kudos, johon viitataan jatkossa termillä kudos. Englanninkielisen nimensä mukaisesti perustuu tämä tekniikka kytkimien käyttöön. Kytkimien liittämiseen on olemassa useita erilaisia kytkentämenetelmiä, jotka vaikuttavat verkon käyttäytymiseen eri tilanteissa [27, sivu 165].

3 Multiprotokollareititys

3.1 Fibre Channel

Fibre Channel on tällä hetkellä yleisin sovellutus tallennusverkoissa. Yhteen ympäristöön voidaan liittää tuhansia laitteita. Laitteiden suuresta määrästä johtuen tarvitaan myös palvelu, jonka avulla uusia laitteita voidaan hallita. Tämä palvelu voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen:

- Laitteiden välinen kommunikointi
- laitteiden ja ominaisuuksien listaus
- **datan tietoturva** (engl. *Data security*).

Fibre Channel -protokolla hallitsee kaikki nämä kolme tehtävää käyttämällä tietokantaa, joka jaetaan kaikkien kudoksessa olevien kytkinten kesken. Fibre Channel -tallennusverkoissa on käytännössä kaksi eri siirtomekanismia FC-AL ja kytketty kudus. Nykyään kytketty kudus on huomattavasti yleisempi ja siihen keskitytäänkin tarkemmin tässä tutkielmassa.

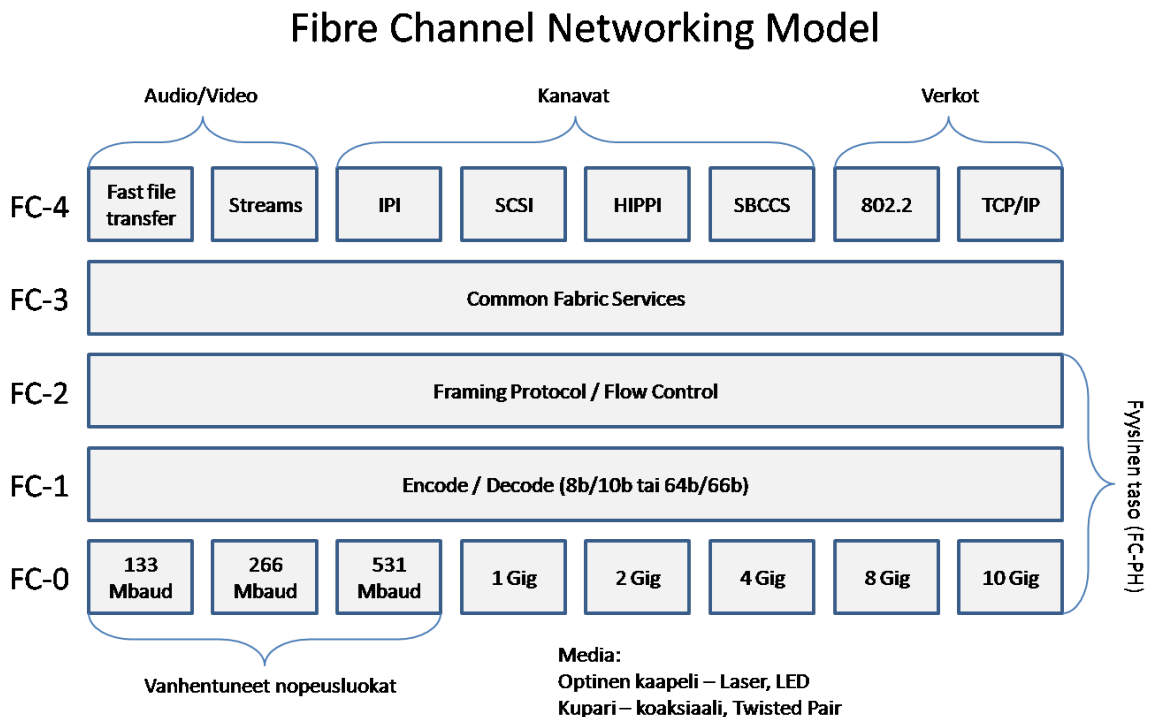
3.1.1 Kytketty kudus

Liitettäessä tallennuslaite ja palvelin toisiinsa Fibre Channel -kytkimien välityksellä luodaan kytkentä, jota kutsutaan nimellä kytketty kudus. Yleisesti kytkennästä käytetään myös lyhennelmää kudus. Käytettäessä termiä Fibre Channel -tallennusverkko viitataan kaikkiin tallennusverkossa oleviin yksittäisiin kudoksiin. Kudus muodostuu vähintään kahdesta kytkimestä, mutta se saattaa sisältää jopa satoja kytkimiä. Käytännön rajoitukset tulevat vastaan ylläpidossa ja käytettävyydessä [14, sivu 70]. Kytkimeen liitetty laite pystyy kommunikoimaan minkä tahansa samassa kytkimessä olevan laitteen kanssa. Kytkentä eri porttien välillä on **estoton** (engl. *Non Blocking*), joten laitteiden ei tarvitse odottaa kommunikointilupaa kytkimeltä. Kytkimen rakenne on suunniteltu siten, että yksi portti saattaa sisältää useita samanaikaisia yhteyksiä eri laitteiden välillä. Esimerkiksi useat

palvelimet voivat käyttää samaa levyjärjestelmää, joka on kytkettynä jonkin tiettyyn kytkinporttiin.

3.1.2 Fibre Channelin toiminta

Fibre Channel -protokollan toiminta voidaan kuvata melko yksinkertaisesti Fibre Channel Networking Model -mallinnuksen avulla. Tämä mallinnus esitellään kuvassa 1. Fibre Channel -protokollan toiminnalliset tasot voidaan jakaa viiteen luokkaan, jossa jokaisella tasolla on oma tehtävänsä protokollan toiminnassa. Alimmat FC-0, FC-1 ja FC-3 tasot toimivat fyysisellä tasolla. Tasot FC-3 ja FC-4 toimivat nooditasolla, kommunikoiden ylemmän tason protokollien, sovellusten, käyttöjärjestelmien ja laiteajureiden kanssa [25, sivu 55].



Kuva 1, Fibre Channel Networking Model

Tasot FC-0 ja FC-1 määrittelevät fyysisen datalinkin ominaisuudet, joita tarvitaan datan siirtämiseen portilta toiselle. FC-0 toimii **bittivirtojen** (engl. *Bit stream*) lähetyksen ja vastaanoton kanssa. FC-0 tasoa kutsutaan myös fyysiseksi tasoksi, sillä se määrittelee muun muassa käytettävät kaapelit ja liittimet. Tämän tason vastuulla on myös huolehtia

käytettävistä nopeuksista ja syötteistä. FC-1 määrittelee kuinka data **koodataan** (engl. *Encode*). Esimerkiksi 1,2,4 ja 8Gbps yhteydet käyttävät 8b/10b koodausta ja 10Gbps käyttää 64b/66b koodausta [3, luku 4-3] [25, sivu 59].

FC-2 on kattavin taso Fibre Channel **-protokollapinossa** (engl. *Protocol stack*). Se määrittelee sisällön, tiedon rakenteen ja kuinka tiedonsiirtoa kontrolloidaan ja hallitaan. Tämän tason perussääntöjä tarvitaan datan lähettämiseen alemman tason tarjoamilla palveluilla. FC-2 tason määrittelyyn kuuluvat muun muassa:

- Datan pilkkominen Fibre Channel-kehyksiin
- **vuon valvonta** (engl. *Flow Control*)
- vastaanottajan määrittely
- **palveluluokat** (engl. *Classes of Service*) [26, sivu 75].

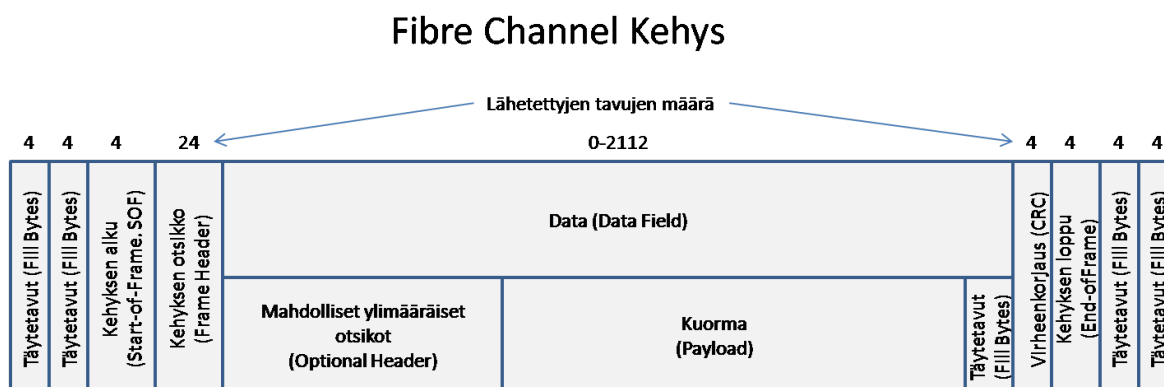
FC-3 sisältää kehittyneempiä toimintoja, kuten **datan jakaminen useampiin siirtokanaviin** (engl. *Striping*). Saman tiedon lähettäminen useisiin eri kohteisiin ja **porttiryhmiin** käyttö (engl. *Hunt group*). FC-2-tason käsitellessä yhden portin ominaisuuksia, keskittyy FC-3 laajempiin kokonaisuuksiin [10, sivu 219].

FC-4 mahdollistaa Fibre Channel palveluiden jakamisen muiden protokollien ja palveluiden kanssa. Applikaatioiden rajapinnat saavat tältä tasolta yhteyden Fibre Channel -protokollaan. Juuri FC-4 taso mahdollistaa Fibre Channel -protokollan ja SCSI-rajapinnan välisen kommunikoinnin [25, sivu 55].

3.1.3 Fibre Channel -kehys

Fibre Channel -kehys sisältää kaiken tarvittavan tiedon datan lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Fibre Channel kehys esitellään kuvassa 2. Kehyksellä on otsikko ja se saattaa sisältää kuormaa. Otsikko sisältää kontrollointi- ja osoitetiedot, joita tarvitaan kehyksen siirtämisessä. Kuorma sisältää dataa, jota kehys kuljettaa jonkin ylemmän tason sovelluksen tai FC-4-tason pyynnöstä. Fibre Channel -standardi mahdollistaa myös tavujen

lainaamisen kuormasta, jos otsikossa tarvitaan ylimääräistä tietoa. Kuorman käsittelyyn on olemassa monenlaisia menetelmiä, jotka kaikki pohjautuvat kuitenkin samaan protokollaan [26, sivu 77].



Kuva 2, Fibre Channel kehys

Fibre Channel -kehys on aina 2148 tavua pitkä, sisältäen kuorman ja muut kehyksen tarvitsemat tiedot. Jokainen kehys alkaa aina **SOF**-kentällä (engl. *Start-of-Frame*) ja loppuu **EOF**-kenttään (engl. *End-of-Frame*). **Kehyksen otsikko** (engl. *Frame Header*) sisältää kaikki oleelliset tiedot kehyksestä ja sen toiminnasta. Kuormakentän jälkeen ja ennen kehyksen lopettamista tarkistetaan vielä, että data on eheää käyttämällä **CRC-virheenkorjausta** (engl. *Cyclic Redundancy Check, CRC*). Fibre Channel -protokollan ymmärtämisen kannalta on olennaista, että ymmärretään mistä Fibre Channel -kehys koostuu [3, luku 4-5] [7, sivu 68].

3.1.4 Fibre Channelin porttityypit

Fibre Channel -kytkimen porteilla voi olla useita eri tiloja, riippuen siitä mihin porttia käytetään. Yleensä kytkinportti yrittää tunnistaa mikä laite porttiin on liitetty ja miten sen kanssa tulisi kommunikoida. Suunnittelun ja ylläpidon kannalta on hyvin olennaista ymmärtää mitä porttityyppejä on olemassa ja mihin niitä käytetään [2, sivu 303]. Tässä luvussa käydään läpi yleisimmät porttityypit ja niiden käyttötarkoitukset. Esiteltyjen porttityyppien lisäksi on olemassa myös monia erilaisia erikoistarkoituksiin käytettäviä porttityyppejä [9, sivu 18]. Esiteltävät porttityypit voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen:

laitteiden porttityypit, kytkimien porttityypit ja konfiguroitavat porttityypit. Porttityypit havainnollistetaan kuvassa 3.

Liitettäessä tallennuslaite tai palvelin Fibre Channel -kytkimeen täytyy laitteen osata kommunikoida kytkimen kanssa oikealla protokollalla ja porttityypillä. Periaatteessa liitettävän laitteen tarvitsee tietää vain kaksi asiaa, kommunikoidaanko FC-AL vai FC-SW -laitteen kanssa. Laitteen mahdolliset porttityypit ovat:

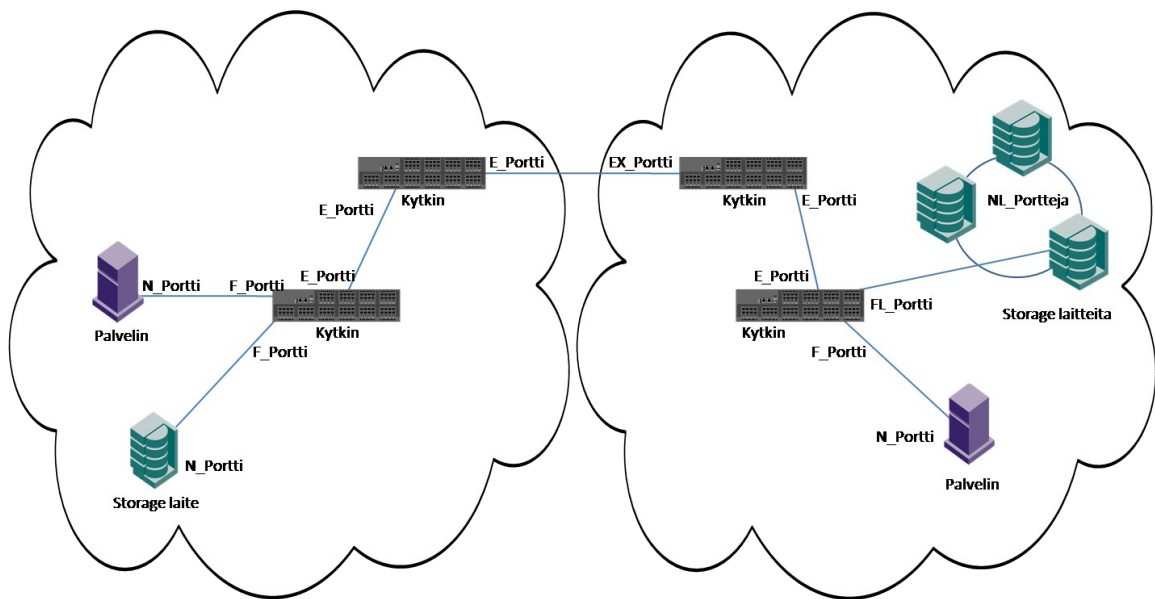
- N_Port (*Node Port*), jolloin kyseessä on laite joka pystyy kommunikoimaan kudoksen kanssa käyttäen Point-to-Point menetelmää.
- NL_Port (*Node Loop Port*), jolloin kyseessä on laite, joka kommunikoi FC-AL -menetelmää käyttäen [6, sivu 96].

Fibre Channel -kytkimen porteilla voi olla useita eri tiloja riippuen siitä mikä laite porttiin on kytkettynä.

- U_Port (*Universal port*) on portti joka odottaa muuttumista toiseen tilaan, eli jos kytkinporttiin ei ole kytketty mitään laitetta on kytkinportti U_Port -tilassa.
- FL_Port (*Fabric Loop Port*) toimii Loop-laitteiden kanssa, eli NL_Port-laite kommunikoi tämän portin kanssa.
- G_Port (*Generic Port*) pystyy toimimaan E_Port, FL_Port tai F_Port tilassa, riippuen siitä mikä laite porttiin on kytketty.
- F_Port (*Fabric Port*) kommunikoi N_Port-laitteiden kanssa.
- E_Port (*Expansion Port*) on kytkinten väliseen kommunikointiin tarkoitettu portti. E_Port muodostaa toisen E_Portin kanssa ISL-yhteyden [16, sivu 24].

Konfiguroitavat portit poikkeavat laite- ja kytkinporteista siten, että ne eivät tunnista automaattisesti vastakkaisella puolella olevaa laitetta. Nämä kytkinportit vaativat suunnittelua ja konfigurointia.

- EX_Port on Fibre Channel -reitittimen portti, johon Fibre Channel -kytkimen E_Portti muodostaa yhteyden.
- VE_Port (*Virtual E_Port*) on virtuaalinen E_Port, jota käytetään FCIP-kudoksissa. Käytettäessä tätä porttia FCIP-linkin päissä olevat kytkimet muodostavat kudoksen.
- VEX_Port toimii samalla tavalla kuin EX_portti, mutta siirtomekanismina on IP eikä FCP. Käytettäessä VE_Portin kanssa reititetään tietoa kudosten välillä [4].



Kuva 3, Fibre Channel -tallennusverkoissa käytettävät porttityypit

3.2 IP ja Ethernet

Tallennuspalveluiden tarjoaminen IP-verkossa on houkutteleva vaihtoehto erityisesti sellaisissa ympäristöissä joissa ei ole I/O-sensitiivisiä palveluita. IP-verkossa on huomattavasti enemmän **ylimääräistä kuormaa** (engl. *Protocol overhead*) vastaaviin Fibre Channel -verkkoihin verrattuna. Tämä ylimääräinen kuorma (engl. *Protocol overhead*) johtuu suurelta osin siitä, että FCP luottaa alla olevan verkon virheettömyyteen. IP-verkkojen luonteesta johtuen TCP sisältää suojausmekanismeja epäluotettavalle verkolle, kuten kadotettujen pakettien tunnistamiselle ja uudelleen lähetykselle. Etäisyyksien kasvaessa tulevat Fibre Channel -verkon rajoitukset vastaan, eikä sen käyttö

ole enää järkevää. Tällöin ainoaksi todelliseksi ratkaisuksi jää käyttää TCP/IP-verkkoa Fibre Channel tallennusverkon jatkeena tai IP-tallennusverkkona [26, sivu 106].

Fibre Channel -tallennusverkon jatkeena IP-verkkoa käytetään yleensä MAN- tai WAN-verkon ylitse. Jatkettu Fibre Channel tallennusverkko toimii hyvin datan **etäpeilauksessa** (engl. *Remote mirroring*), varmistuksissa ja mahdollisissa katastrofisuojauksissa. Käytettävyyden takaamiseksi etäisyydet eri Fibre Channel -tallennusverkkojen välillä saattavat olla satoja tai jopa tuhansia kilometrejä.

Käytettäessä IP-tallennusverkkoa pohjautuvat paikalliset ratkaisut yleensä Gigabit Ethernet kytkimillä toteutettuun lähiverkkoon. Gigabit Ethernet tarjoaa riittävän nopeuden ja muita hyödyllisiä ominaisuuksia liikenteen optimoimiseksi. IP-tallennusverkkoa voidaan jatkaa pidemmille etäisyyksille käyttämällä MAN- ja WAN-verkkoja. IP -tallennusverkoissa huolellinen suunnittelu on erittäin tärkeää, sillä samassa verkossa saattaa liikkua kaikki muukin tietoliikenne. Huono suunnittelu ja toteutus saattavat johtaa suorituskykyongelmiin tai jopa hallitsemattomiin tuotantokatkoihin [13, luku 8.3].

3.2.1 IP-tallennusverkkojen hyvät ja huonot puolet

IP-tallennusratkaisua ei voi sivuuttaa uutta ympäristöä suunniteltaessa, sillä olemassa olevien ja tuttujen teknologioiden käytössä on paljon etuja. Kuten kaikissa teknologioissa on myös IP-tallennusratkaisuissa myös haittapuolensa. Tässä luvussa käydään pääpiirteissään läpi IP-tallennusverkkojen hyviä ja huonoja puolia verrattuna Fibre Channel -tallennusverkkoihin.

Hyvät puolet:

- Mahdollistaa yhteisen verkon käytön kaikelle liikenteelle, LAN, MAN, WAN ja SAN,
- Standardoitu ja kehittynyt teknologia, TCP/IP ja Ethernet ovat olleet käytössä jo vuosikymmeniä.
- Koulutettuja ihmisiä on paljon.

- TCP/IP:llä ei ole rajoituksia etäisyyden suhteen.
- Laitteet ovat halpoja, sillä alueella on monta kilpailijaa.
- Saatavilla laaja kirjo erilaisia hallintaohjelmistoja.

Huonot puolet:

- IP-tallennuslaitteiden kanssa vielä jonkin verran yhteensopivuusongelmia.
- TCP/IP-liikenne kuormittaa palvelimen resursseja enemmän kuin muut tallennusteknologiat.
- TCP/IP-kehystä ei ole suunniteltu tallennusdatan lähettämiseen.
- TCP/IP-kytkimien välillä saattaa suuriakin latenssieroja.
- Täyttä kaistanleveyttä saadaan harvoin hyödynnettyä, johtuen törmäyksistä ja muista Ethernet-verkon rajoitteista.

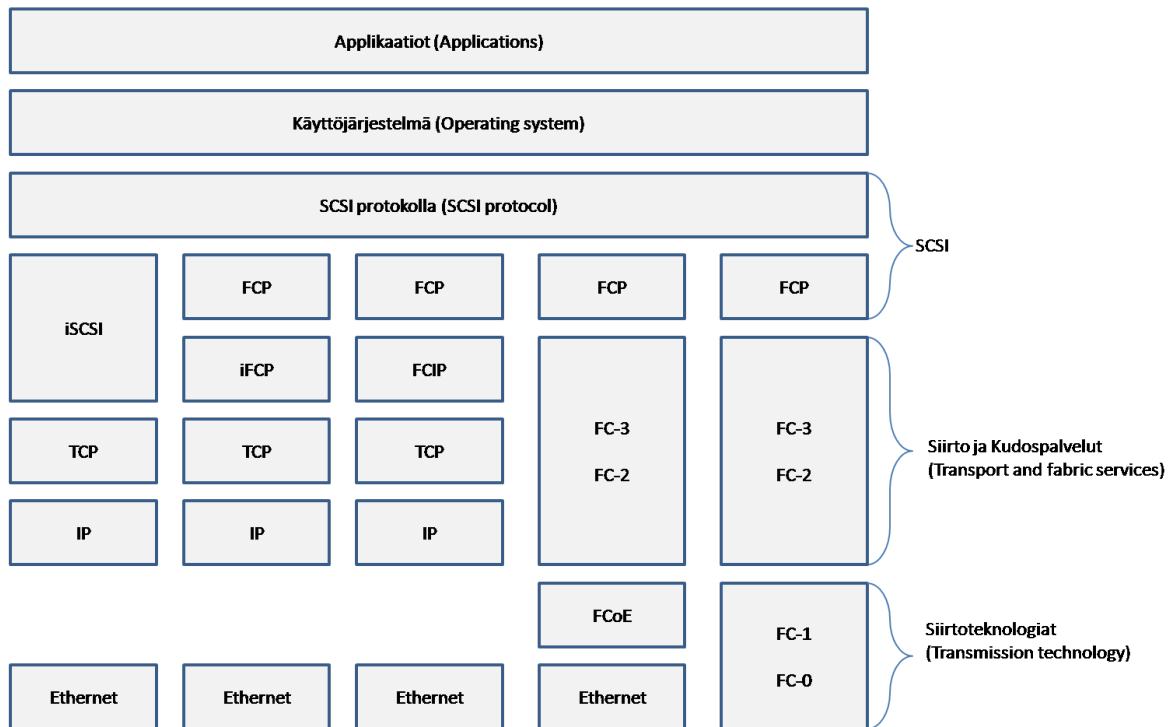
Tutkittaessa tarkemmin IP-tallennusverkkojen hyviä ja huonoja puolia tullaan nopeasti siihen johtopäätökseen, että IP-verkon käytössä on paljon ylläpidollisia hyötyjä. Teknologia on hyvin kehittynyttä ja ylläpito edullista. Huonot puolet keskittyvät pääsääntöisesti suorituskykyyn ja liitettävien laitteiden yhteensopivuusongelmiin [26, sivu 111]. Johtopäätöksenä voitaisiin todeta, että tulevaisuudessa tullaan varmasti näkemään enemmän IP-tallennusverkkopohjaisia ratkaisuja, sillä haittapuolet ovat varmastikin teknisesti korjattavissa.

3.2.2 IP-tallennusverkkojen protokollat

2000-luvun alussa alkoivat useat IP-tekniikan parissa työskentelevät yritykset ja yhteisöt työstää uusia protokollia, joilla tallennusliikennettä voitaisiin siirtää IP-verkkoon. IP-tallennuslaitteiden standardoinnissa mukana ovat SNIA, joka on mukana tallennukseen liittyvässä standardoinnissa ja IETF, joka on mukana IP- ja Internet-protokolliin liittyvissä standardeissa. Neljä tämän hetken suosituinta protokollaa ovat: iSCSI, iFCP, FCIP ja

FCoE (engl. *Fibre Channel over Ethernet*). Näistä protokollista iSCSI ja iFCP ovat natiiveja IP-tallennusprotokollia, jotka mahdollistavat tallennuslaitteiden suoran liittämisen IP-verkkoon. FCIP ja FCoE toimivat hieman eri tavalla. FCIP:n funktiona on yhdistää kaksi Fibre Channel -verkkoa toisiinsa tunneloimalla FCP siten, että se voidaan siirtää TCP/IP-verkossa. FCoE toimii kuten FCP, mutta FC-0 ja FC-1 tasot eivät noudata Fibre Channel standardia, vaan siirtomekanismi on korvattu Ethernetillä [13, luku 2.7]. Eri protokollia ja näiden protokollapinoja kuvataan tarkemmin kuvassa 4.

Protokollat

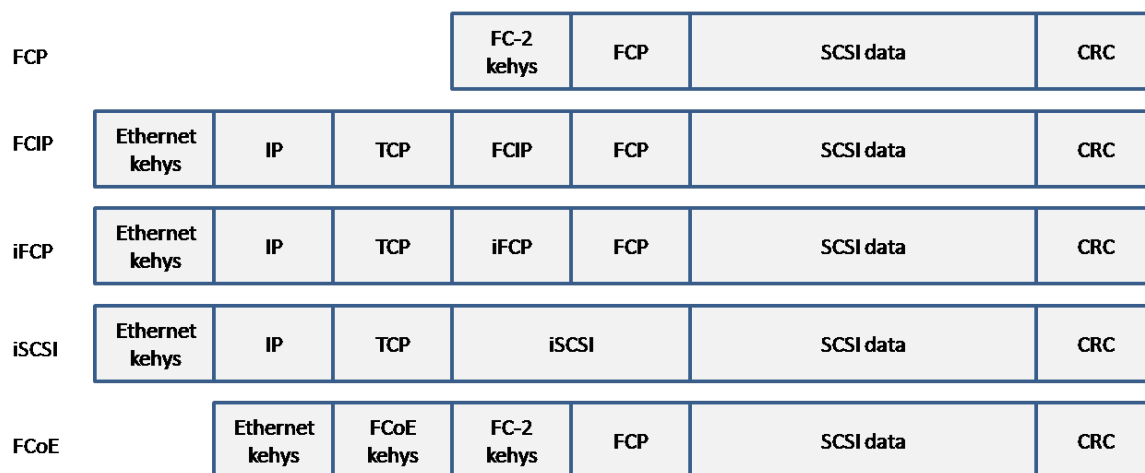


Kuva 4, tallennusverkkojen protokollat ja niiden siirtomekanismit

FCIP, iFCP ja iSCSI protokollille on yhteistä, että ne kaikki lähettävät SCSI dataa IP-verkon yli jollakin mekanismilla. Nämä kolme protokollaa ovat samantyyppisiä protokollia, jotka saattaa sekoittaa toisiinsa. FCoE ja FCP toimivat eri tavalla, joskin

vertailu kaikkien protokollakehysten välillä on tarpeen tämän tutkielman kannalta. Kuvassa 5 hahmotetaan eri protokolla-kehysten sisältöä.

Kehysten vertailu



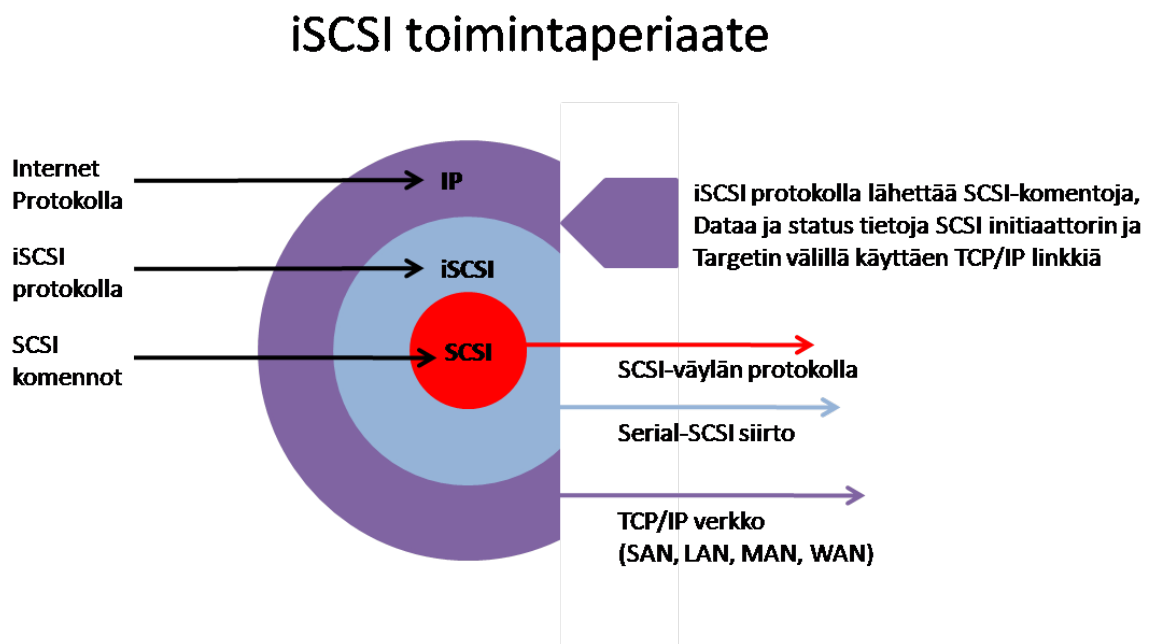
Kuva 5, Kehysten vertailu

3.3 iSCSI

iSCSI protokolla kehitettiin alunperin vähentämään **TCO**-kustannuksia (engl. *Total Cost of Ownership*). Kehityksen takana oli idea koota kaikki tietoverkkoliikenne yhden kokonaisuuden alle, pienentäen tarvetta erillisille Fibre Channel -verkoille. iSCSI toimii puhtaasti Ethernet-pohjaisessa TCP/IP-verkossa, kuten kuvat 4 ja 5 osoittavat. iSCSI:n käyttöä suunniteltaessa täytyy muistaa jo olemassa olevan TCP/IP -verkon nopeus ja sen aiheuttamat rajoitukset. Nopeassa lähiverkossa saadaan helposti siedettävä suorituskky, varsinkin jo kyseessä ei ole korkeata I/O:ta vaativa palvelin. iSCSI toimii myös MAN- tai WAN-verkon yli, mutta tällöin täytyy muistaa se tosiasia että etäisyyden kasvaessa myös latenssi ja suorituskky tippuvat nopeasti [8, sivu 10]. iSCSI:n kehitystä hallinnoi IETF, joka vastaa myös protokollaan liittyvästä standardoinnista.

3.3.1 Toimintaperiaate

iSCSI on yksinkertaisimmillaan yksi helpoimmista tavoista luoda suora lohkotason yhteys palvelimen ja tallennuslaitteen välille. Käytettäessä suoraa lohkotason yhteyttä voidaan tarvittaessa asentaa esimerkiksi palvelimen käyttöjärjestelmä loogiselle kiintolevyille, joka näkyy iSCSIn välityksellä. Kuvassa 6 selvennetään, kuinka iSCSI toimii. iSCSI-protokolla välittää SCSI-komentoja ja dataa **alullepanijan** (engl. *Initiator*) välityksellä lähetettäväksi TCP/IP-verkon kautta eteenpäin. Kohteen päässä TCP/IP:n välityksellä tuotu data käännetään iSCSI-protokollan avulla SCSI-väylän komennoiksi, joita kohde ymmärtää. Vastaavasti lähetettäessä dataa takaisin alullepanijalle menetellään päinvastaisessa järjestyksessä [13, luku 2.6.2]



Kuva 6, iSCSI toimintaperiaate

3.3.2 Toiminta ja komponentit

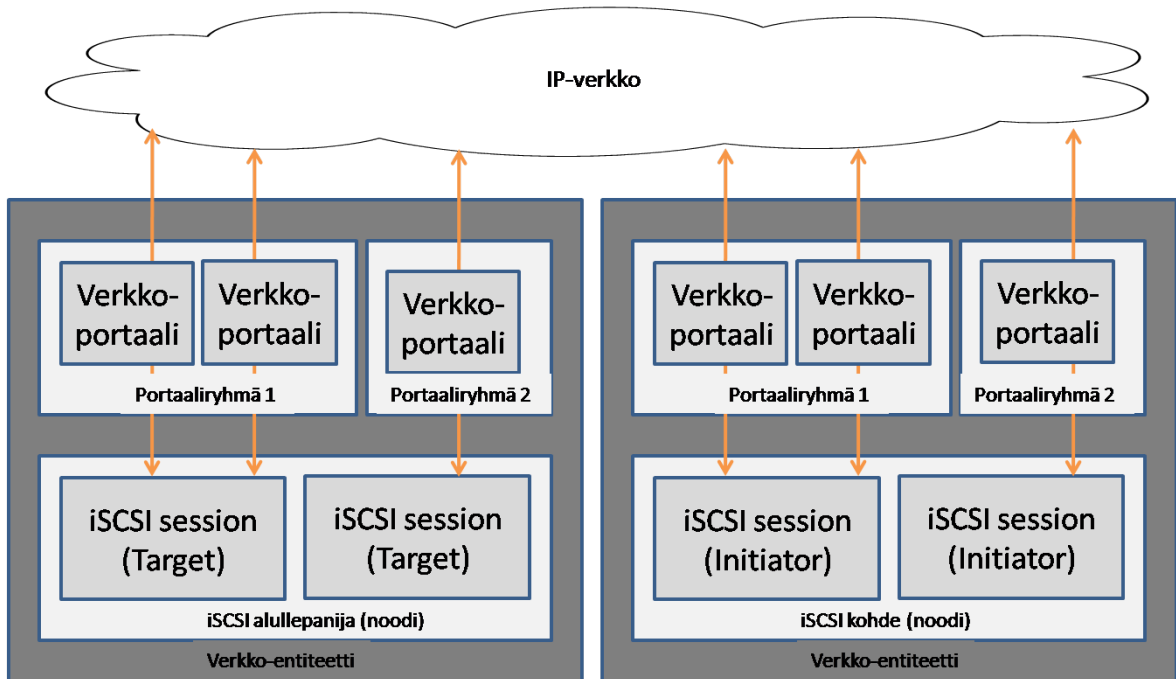
SCSI pohjautuu arkkitehtuuriltaan **asiakas/palvelin-malliin** (engl. *Client/Server Model*). iSCSIn tapauksessa toimitaan samalla tavoin, pääpainon ollessa datan kapseloinnissa ja

lähetyksen luotettavuudessa. Erityisesti käytettäessä TCP/IP-verkkoa. Kuvassa 7 esitetään tarkemmin iSCSI:n komponentit ja toimintamalli.

Verkko-entiteetti (engl. *Network Entity*) kuvastaa laitetta joka on saatavilla IP-verkon välityksellä. Verkko-entiteetin sisältyy yksi tai useampi **verkkoportaali** (engl. *Network Portal*) tai **verkkoportaaliyryhmä** (engl. *Portal Group*). Verkkoportaali tai verkkoportaaliyryhmä sisältää IP-osoiteen, jonka avulla saadaan aikaiseksi verkkoyhteys. Verkkoportaali kommunikoi IP-verkon lisäksi myös **iSCSI noodin** (engl. *iSCSI Node*) kanssa. Jokaisessa verkko-entiteetissä on oltava vähintään yksi iSCSI-noodi, joka hallinnoi yhteyskohtaisten iSCSI-alullepanijan ja iSCSI-kohteen toimintaa.

Jokaisella iSCSI-noodilla on uniikki iSCSI-nimi samalla tavoin kuin jokaisella Fibre Channel -laitteella on **WWN**-osoite (engl. *World Wide Name*). Nimeämiskäytäntö poikkeaa siinä mielessä, että iSCSI-noodilla on myös iSCSI-osoite, jonka se voi jakaa muiden noodien kanssa. Käytettäessä useampaa noodia voidaan tavoitella parempaa käytettävyyttä ja suorituskykyä. iSCSI-nimet ovat monimutkaisia ja käyttöä voidaankin helpottaa luomalla iSCSI-nimille vapaamuotoiset peitenimet [18].

iSCSI:n toiminta ja komponentit



Kuva 7, iSCSI:n toiminta ja komponentit

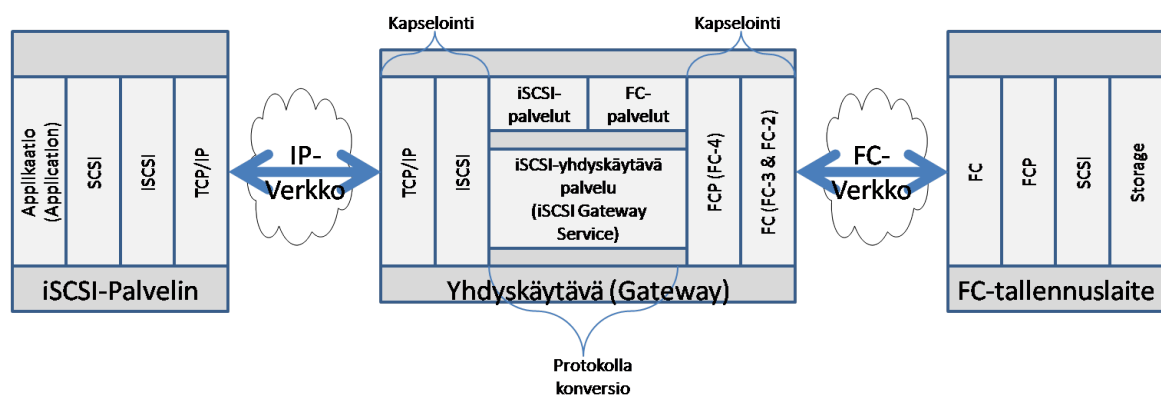
3.3.3 Liitettävyyys

Homogeeninen iSCSI-ympäristö olisi luonnollisesti ylläpidon kannalta paras ratkaisu. Useilla organisaatiolla saattaa kuitenkin olla käytössään jo olemassa olevia tallennusratkaisuja, joten ympäristöjen yhteen liittäminen on tärkeä elementti ympäristön valinnassa ja toteuttamisessa. Suorituskyvyllisesti Fibre Channel on tehokkaampi, sillä se sisältää omat tarkoitukseen pyhitetyt laitteensa, joita ei jaeta muiden toimintojen kesken. Eri tarpeet huomioonottaen heterogeeninen ympäristö on luonnollisin vaihtoehto useimmille olemassa oleville organisaatioille.

Kuvassa 8 kuvataan protokollatasolla kuinka iSCSI-palvelimen liittäminen Fibre Channel -verkkoon onnistuu. iSCSI-palvelin liitetään TCP/IP-verkon välityksellä yhdyskäytävän iSCSI-porttiin. Toisessa päässä Fibre Channel -tallennuslaite on kytkettynä Fibre Channel -verkon kautta yhdyskäytävän Fibre Channel -porttiin. Lähettäessään komennon palvelin käyttää natiivia iSCSI-protokollaa, joka saapuu IP-verkkoa pitkin yhdyskäytävälle. Tämän

jälkeen suoritetaan TCP/IP- ja iSCSI-kapseloinnin purku ja purettu kuorma siirretään iSCSI-yhdyskäytäväpalvelun hoidettavaksi. Tämä palvelu suorittaa protokollakonversion iSCSI-protokollasta FCP:hen ja muuttaa kaikki yleiset palvelut FCP:n kanssa yhteensopiviksi. Yhdyskäytäväpalvelun jälkeen kuorma annetaan uudelleen kapseloitavaksi Fibre Channel -verkkoa varten. Kapseloinnin jälkeen Fibre Channel -kehys lähetetään Fibre Channel -verkkoa pitkin Fibre Channel -tallennuslaitteelle. Vastatessaan kyselyyn laite lähettää vastauksen päinvastaisessa järjestyksessä iSCSI-palvelimelle [11, sivu 45].

iSCSI-palvelimen yhdistäminen FC-tallennuslaitteeseen



Kuva 8, iSCSI-yhdyskäytävän toiminta

3.4 iFCP

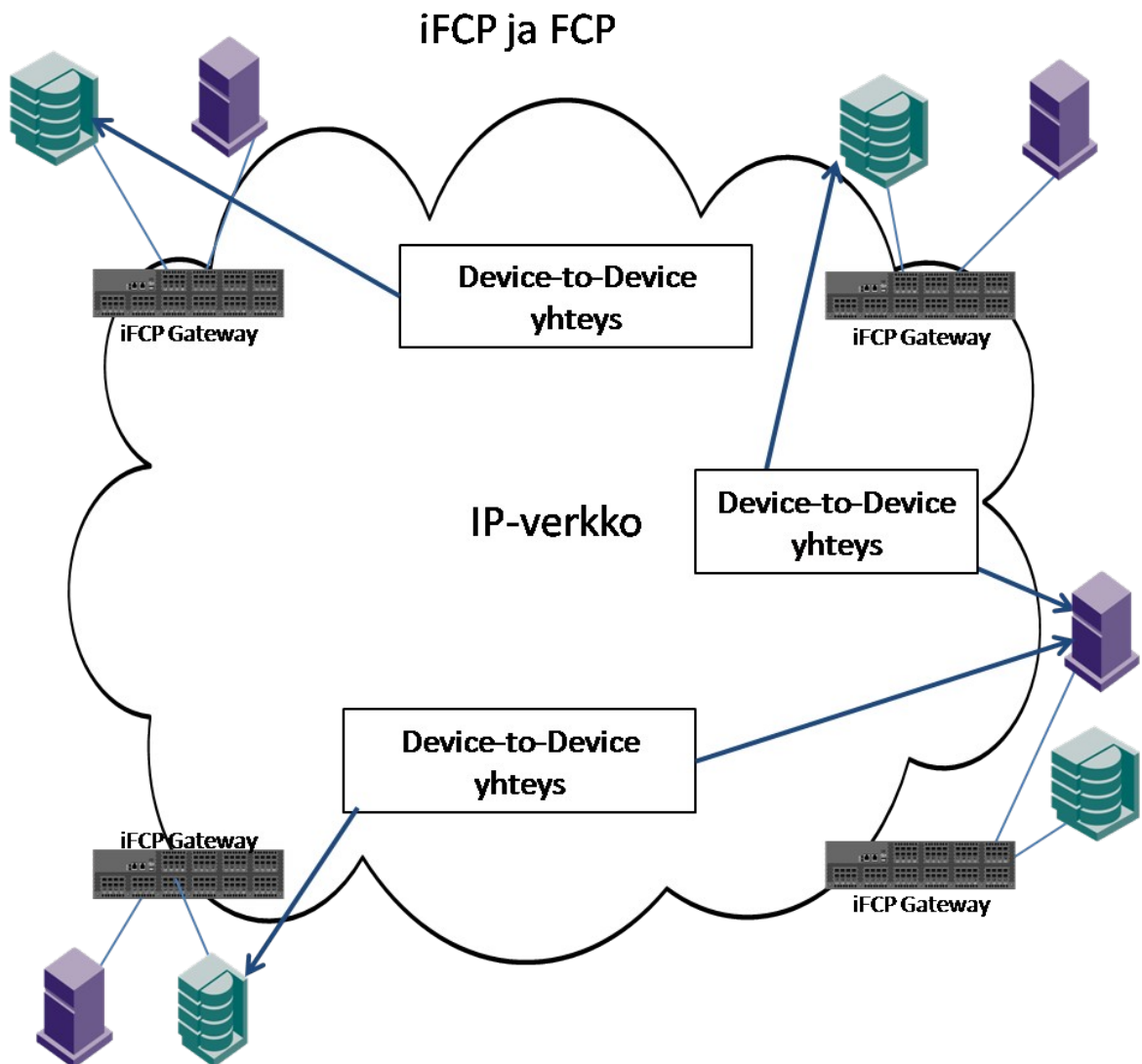
iFCP on niin sanottu Gateway-to-Gateway protokolla, joka mahdollistaa Fibre Channel -kehysten kytkemisen ja reitittämisen käyttäen IP-pohjaista verkkoteknologiaa. iFCP-yhdyskäytävää tai reunakytkintä täytyy käyttää, jotta Fibre Channel -pohjaiset laitteet osaavat kommunikoida IP-pohjaisessa verkossa. Nämä yhdyskäytävät ovat läpinäkyviä molempiin suuntiin, joten paikalliset Fibre Channel -verkot eivät tiedä iFCP-yhteyden olemassaolosta. Toimiakseen kunnolla iFCP-yhdyskäytävän täytyy osata kommunikoida niin Fibre Channel -verkon palveluiden kanssa kuten myös IP-palveluiden kanssa [7, sivu 253]

3.4.1 Toimintaperiaate

Kuten aikaisemmin todettiin, tarjoaa FCP SCSI-liittymän käyttöjärjestelmälle, jonka avulla liitetyt laitteet voivat käyttää standardia SCSI-osoitteistoa. Tämän menetelmän etuna on se, ettei käyttöjärjestelmään tarvitse asentaa ylimääräisiä ajureita [19]. Kuvassa 5, esitetään kuinka iFCP käyttää FCP- ja TCP/IP-protokollia tiedonsiirrossa. iFCP implementaatio hyötyy jo olemassa olevista ympäristöistä, siinä mielessä että Fibre Channel siirtomekanismi korvataan TCP/IP:llä ja Gigabit Ethernetillä. Ylempiä tasoja kuten FC-4 tai natiivia FCP:tä ei korvata [20, sivu 1].

3.4.2 Toiminta ja liitettävyys

iFCP on suunniteltu sellaisille yrityksille, joilla on laaja valikoima erilaisia Fibre Channel -laitteita ja he haluavat joustavuutta laitteiden ja paikkakuntien liittämiseen. Vaikka iFCP:n toteutus onkin toimia ainoastaan Gateway-to-Gateway protokollana, pystyvät nämä asiakkaat hyötymään paikallisten Fibre Channel -tallennusverkkojen nopeudesta kuten myös IP-verkkojen mukanaan tuomasta joustavuudesta. iFCP pystyy luomaan yhteyden yksittäisten N-Porttien välille ja tällaisella yhteydellä voidaan luonnollisesti käyttää TCP/IP-verkkojen mahdollistamaa QoS-palvelua. Puhtaiden Fibre Channel -verkkojen välityksellä tapahtuva liikenteen priorisointi on nykypäivänä myös mahdollista, joskin se ei ole vielä aivan yhtä kehittyntä kuin TCP/IP-verkoissa. TCP:n mahdollistama **useamman yhteyden malli** (engl. *Multi-connection model*) on hyvin tärkeä iFCP:n kannalta, sillä se mahdollistaa suuremman nopeuden verrattuna yksittäisiin yhteyksiin. Jos käytössä olisi vain **yhden yhteyden malli** (engl. *Single-connection model*) saattaisi yksittäinen TCP-yhteys joutua kytkemään useita tallennusverkko-saarekkeitä toisiinsa. Tällöin N-Porttien välinen liikenne toimisi vain yhden yhteyden varassa. Pienikin häiriö liikenteessä saattaisi aiheuttaa suuria ongelmia koko infrastruktuurille. Useamman yhteyden mallissa mahdolliset ongelmat vaikuttavat vain kyseessä olevaan N-Portti liikenteeseen, eivät koko ympäristöön [12, sivu 104]. iFCP:n toimintaa ja liitettävyttä Fibre Channel -verkon kanssa kuvataan tarkemmin kuvassa 9.



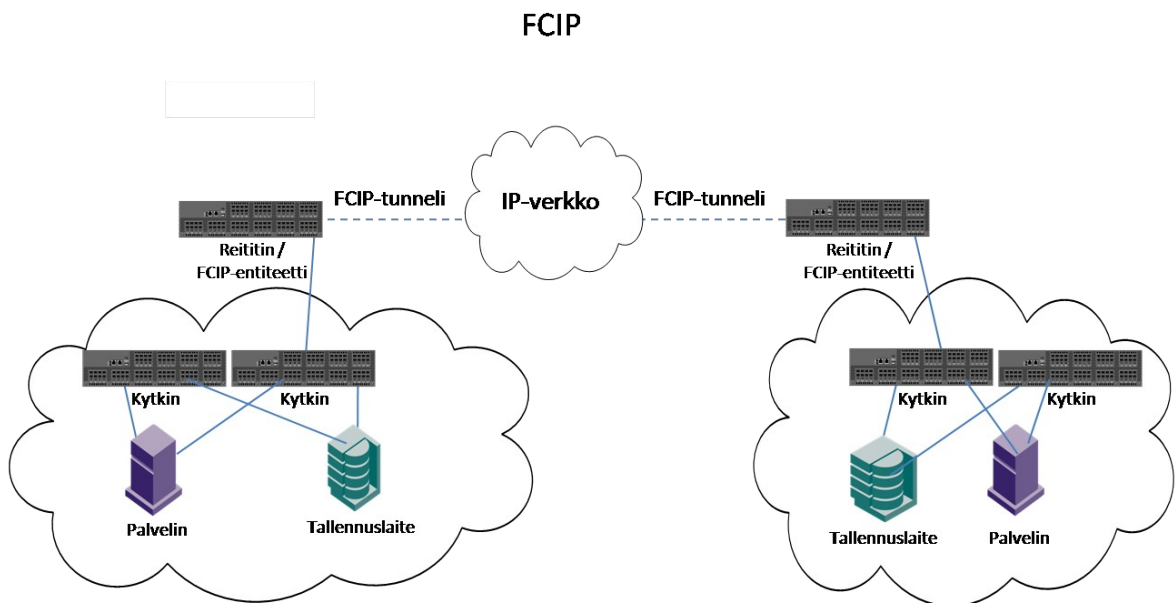
Kuva 9, iFCP:n käyttö laiteyhteyksien välillä

Yhtenä suurimmista hyödyistä iFCP:n käytössä on, että dataa voidaan reitittää suuriakin matkoja ilman erikoislaitteita. Reitityksen joustavuus ja helppous onkin yksi iFCP:n suurimmista eduista. Suurin ero muihin toteutuksiin on se, että paketteja ei välttämättä toimiteta perinteisesti järjestyksessä, mihin on totuttu normaalissa Fibre Channel -verkossa. Paketit saattavat saapua eri aikaan kohteeseen, jossa ne täytyy järjestellä uudelleen [12, sivu 102]. Toisaalta juuri tämä **epäjärjestyksessä tapahtuva liikennöinti** (engl. *Out-of-Order* delivery) ja siihen liittyvät ongelmat on myös osaltaan saattaneet

vaikuttaneet siihen, ettei iFCP ole menestynyt samalla tavalla kuin muut kilpailevat menetelmät.

3.5 FCIP

FCIP on niin sanottu **tunneloiva protokolla** (engl. *Tunneling protocol*), joka luo TCP/IP-tunnelin Fibre Channel -verkkojen väliin. Tunnelointiin tarvitaan Fibre Channel -reititin, joka luo loogisen FCIP-tunnelin. Tunnelin välityksellä eri paikoissa olevat tallennusverkot voivat kommunikoida käyttäen FCP:tä. Reitittimien välissä oleva tunneli välittää kaiken Fibre Channel -liikenteen tallennusverkkojen välillä koskematta sen sisältöön [14, sivu 212]. Kuvassa 10 esitellään kuinka Fibre Channel -verkot voidaan liittää toisiinsa FCIP-protokollaa käyttäen. Kyseisessä kuvassa Reititin toimii loogisena yksikkönä, jota kutsutaan FCIP-entiteetiksi (engl. *FCIP Entity*).



Kuva 10, SAN-verkkojen yhdistäminen FCIP:n avulla

3.5.1 Toiminta

FCIP:n pääasiallinen tehtävä on siis jatkolähettää Fibre Channel -kehyskiä. Jos tilannetta tarkastellaan IP-verkon näkökulmasta FCIP-laitteet toimivat vastapareina (engl. *Peers*) ja

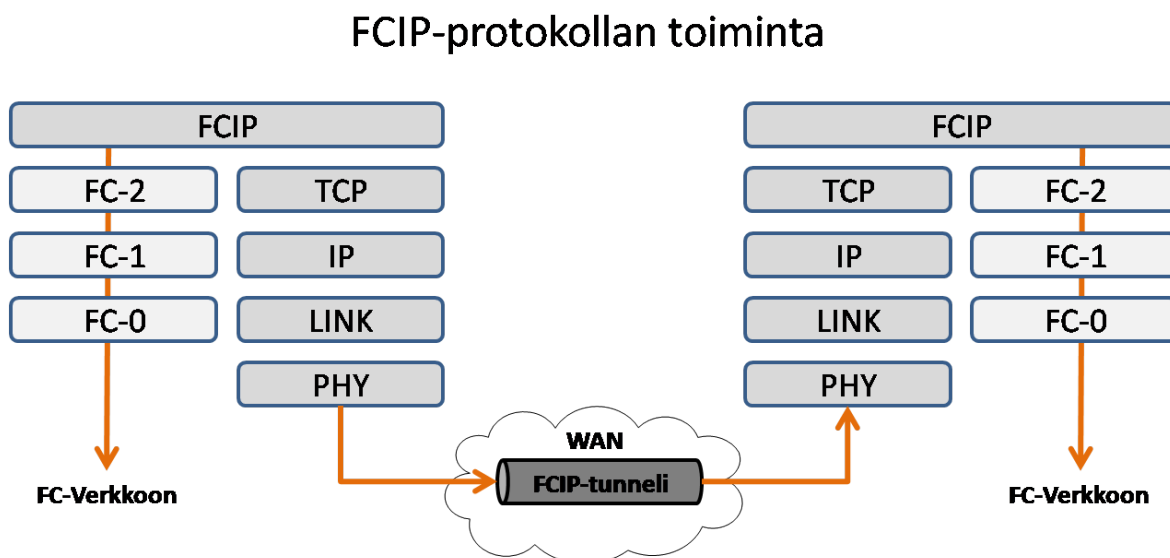
kommunikoiivat käyttäen TCP/IP-protokollaa. Jokainen FCIP-entiteetti sisältää yhden tai useamman **TCP-liitäntäpisteen** (engl. *Endpoint*) IP-verkossa. Tarkasteltaessa tilannetta taas Fibre Channel -verkon näkökulmasta jokainen FCIP-entiteettipari ja siihen liittyvät FC-entiteetit siirtävät ainoastaan Fibre Channel -verkon kehyksiä. Fibre Channel -verkon laitteet eivät tiedä kommunikoivansa FCIP-tunnelin välityksellä, sillä kaikki tunnelin läpi menevä liikenne on läpinäkyvää. Fibre Channel -primitiivisignaaleja ja luokan 1 Fibre Channel -kehyksiä ei lähetetä FCIP-tunnelin yli, sillä niitä ei pystytä koodaamaan käyttäen Fibre Channel -kehysten kapselointia [10, sivu 229]. Ennen kuin Fibre Channel -kehys lähetetään FCIP tunnelin läpi, kapseloidaan Fibre Channel -kehys FCIP, TCP, IP ja Ethernet-kehysten kuorman sisään. Kapselointi havainnollistetaan kuvassa 5. Vastaanotettuaan kehysten vastaanottaja purkaa kapseloinnin käänteisessä järjestyksessä. Tässä yhteydessä Fibre Channel -kehys muodostetaan uudestaan alkuperäiseksi ja lähetetään vastaanottavaan Fibre Channel -verkkoon. FCIP-yhteydessä voidaan käyttää myös TCP/IP-verkon tarjoamaan QoS-palvelua.

FCIP-tunnelin toiminta vaatii, että kaikille FCIP-entiteeteille konfiguroidaan yksilölliset IP-osoitteet ja TCP:n porttimääritykset. Tämä määrittely voidaan tehdä dynaamisesti tai staattisesti, käyttötarkoituksesta riippuen. Ennen toimivan TCP-yhteyden muodostumista FCIP-entiteettien välille, tarkistetaan olemassa olevan verkkoyhteyden toiminnallisuus. Tämä tarkoittaa, että IP-osoite, TCP-portit, FC-entiteetin WWN, TCP-paramerit ja mahdollinen QoS-palvelu on konfiguroitu molempiin FCIP-entiteetteihin. FCIP-entiteetit eivät osallistu aktiivisesti Fibre Channel -tallennuslaitteiden tunnistukseen. Nämä laitteet Fibre Channel -laitteet konfiguroidaan ja hallitaan normaalien Fibre Channel -palveluiden mukaisesti.

IP-verkon turvallisuusominaisuuksia on mahdollista käyttää, jos FCIP-entiteeteillä on tuki halutuille menetelmille. Yksittäisten TCP-yhteyksien tapauksessa FCIP-luottaa siihen, että TCP/IP-verkko toimittaa **tavuvirran** (engl. *Byte stream*) perille samassa järjestyksessä kuin se on lähetetty [17]. FCIP-tunneli luottaa liikennöinnissä suurelta osin TCP:n kykyyn toimittaa liikenne perille ehjänä ja oikeassa järjestyksessä. TCP:n virheentunnistus ja korjausmekanismit ovatkin hyvin tärkeitä FCIP-tunnelin toiminnan kannalta.

3.5.2 FCIP-linkki

FCIP-protokollan täytyy pystyä luomaan ja ylläpitämään yhtä tai useampaa **FCIP-linkkiä** (engl. *FCIP Link*), joiden avulla data siirretään lähettäjältä vastaanottajalle. FCIP-linkki on niin sanotusti peruspalveluyksikkö, jota FCIP-protokolla tarjoaa Fibre Channel -verkolle. Kuvassa 11, esitellään FCIP-protokollan toiminnallisuutta. Kuvassa esitetään yksi FCIP-protokollan luoma FCIP-linkki. FCIP-linkki alkaa Fibre Channel -verkosta ja loppuu toisessa päässä olevaan Fibre Channel -verkkoon [4, sivu 4-6]. Toimiakseen FCIP-linkin täytyy sisältää vähintään yksi TCP-yhteys, mutta se voi sisältää myös useampia.



Kuva 11, FCIP-protokollan toiminta

3.5.3 FCIP-tunneli

Laite joka luo IP-tunnelin Fibre Channel -verkkojen välille, täytyy yhdistää myös Fibre Channel -entiteetti FCIP-entiteettiin. Ainoastaan tällä tavoin voidaan luoda liittymä IP-verkon ja FC-verkon välille. Kuvassa 10, esitetty reititin toimii niin Fibre Channel -kytkimenä kuin myös FCIP-entiteettinä, joten se vastaa kommunikoinnista FCIP-linkkiin ja Fibre Channel -verkkoon. Yksi reititin voi sisältää useita kuvassa 11 esiteltyjä FCIP-linkkejä. Jokainen linkki vaatii aina yhden fyysisen portin sekä lähettävästä, että

vastaanottavasta päästä. Jo yhden kuvaillun linkin käyttäminen muodostaa FCIP-tunnelin. FCIP-tunneli voi kuitenkin sisältää myös useampia FCIP-linkkejä, jolloin yhteyden toiminnallisuus ole riippuvainen ainoastaan yhdestä laiteparista. [17]. Yleistettynä voitaisiin sanoa, että tämä yllä kuvailtu kokonaisuus luo mahdollisuuden siirtää dataa Fibre Channel -tallennuslaitteiden välillä ilman Fibre Channel -runkoverkon tarjoamaa perustoiminnallisuutta. Esimerkiksi tällä tavalla voidaan luoda pysyvä yhteys kahden Fibre Channel -kytkimen välille, ilman Fibre Channel -runkoverkossa tarvittavia komponentteja. Liittymän toteutus Fibre Channel - ja FCIP-entiteettien välillä riippuu täysin toteutuksesta.

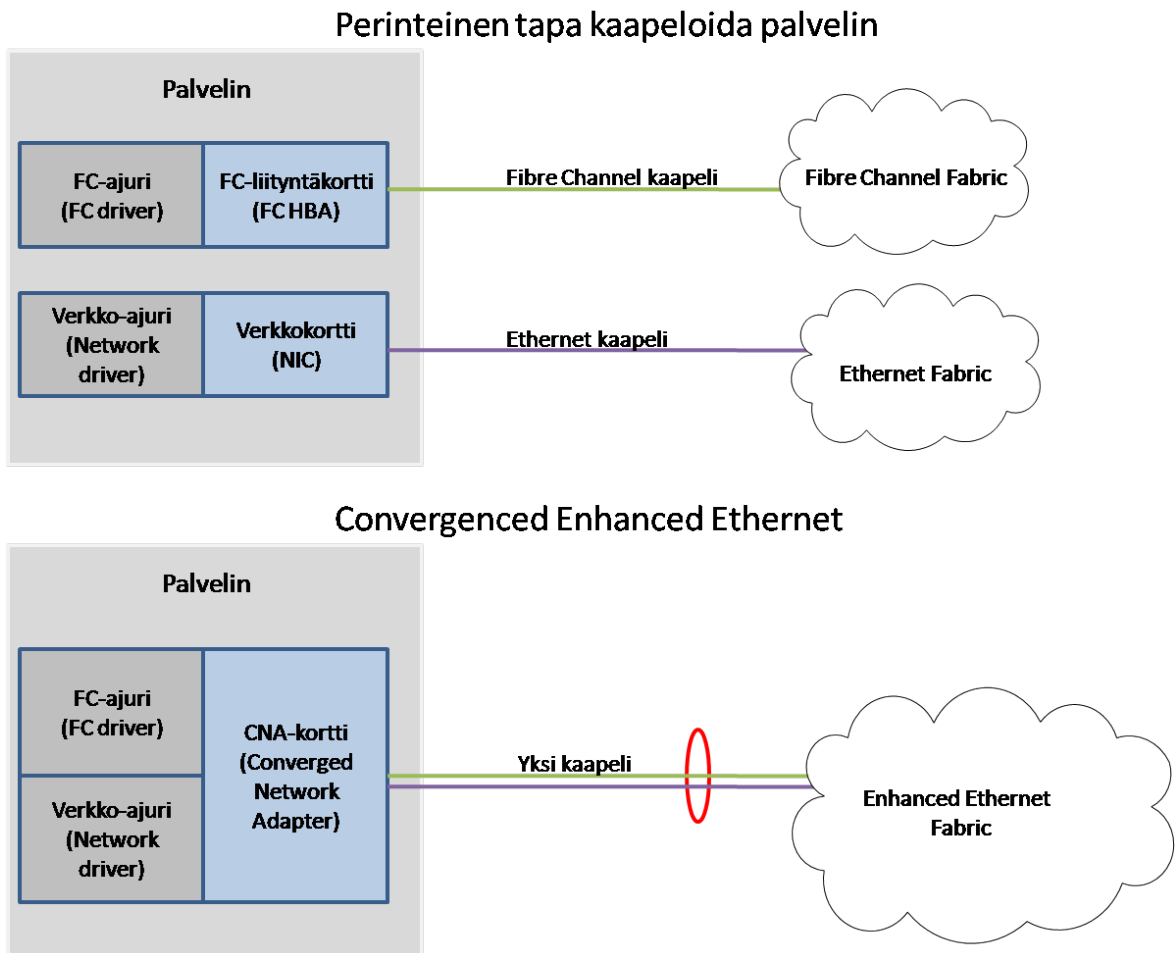
3.6 FCoE

FCoE on tätä tutkielmaa kirjoitettaessa vielä melko uusi mutta erittäin lupaava protokolla. Protokollan kehitystä ja standardointia valvoo INCITSin tekninen komitea T11. FCoE:n lisäksi T11 on tuottanut ja valvonut teolliseen käyttöön tarkoitettujen tallennuslaitteiden kehitystä jo 1970-luvulta alkaen [23].

3.6.1 Toiminta

Fibre Channel -protokollan ja Ethernetin yhteenliittäminen ratkaisee monia ongelmia ja sillä voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä **konesaliratkaisuissa** (engl. *Data Center*). Suuremmassa mittakaavassa pelkkä FCoE ei pysty ratkaisemaan isojen ympäristöjen ongelmia, vaan tällöin puhutaan **FCoCEE**-ratkaisusta (engl. *Fibre Channel over Convergence Enhanced Ethernet*). FCoCEE-ratkaisussa FC ja TCP/IP liikenne jakavat kaikki liityntäpisteet. Tämä menetelmä kuvataan kuvassa 12. Yhdistämällä tallennus- ja lähiverkko-liikenteen samaan korttiin ja kaapeliin saavutetaan etuja monessa suhteessa, kuten virransäästöissä, ylläpidossa ja kustannuksissa. CEE-ympäristössä perinteinen verkkokortti (engl. *Network Interface Card, NIC*) ja Fibre Channel -liityntäkorttia yhdistetään, jolloin siirrytään käyttämään termiä CNA (engl. *Converged network Adapter*). Käyttämällä Fibre Channel -ajuria CNA toimii käyttöjärjestelmän suuntaan kuten perinteinen Fibre Channel -liityntäkortti. Vastaavasti verkkoajuri kääntää CNA:n toiminnallisuuden vastaamaan perinteistä verkkokorttia. Fibre Channel -liikenne kapseloidaan FCoE-kehykseen ja sen jälkeen FCoE-kehykset yhdistetään

verkkoliikenteeseen [24, sivu 4]. Tällä hetkellä Ethernet-verkkojen nopeuksien ollessa 10GbE luokkaa pystytään jo suunnittelemaan ja toteuttamaan ratkaisuja, jotka palvelevat kaikkia osapuolia. Vielä kun tiedetään että 40GbE ja 100GbE tekniikat ovat kehitteillä antaa tämä FCoE-pohjaisille ratkaisuille vahvan jalansijan tulevaisuudessa.



Kuva 12, FCoE ja FCoCEE

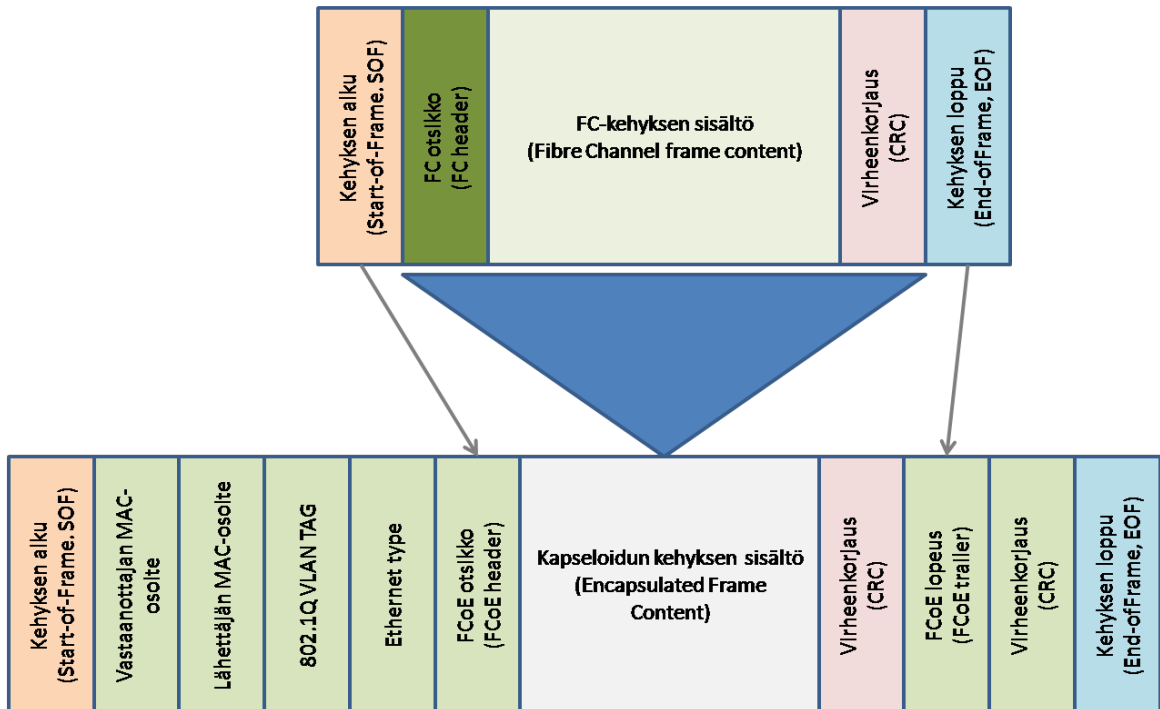
FcoE on siis käytännössä Fibre Channel -kehiksen kapselointia ja siirtämistä Ethernet-verkossa. Yksinkertaistettuna Ethernet tarjoaa fyysisen siirtomekanismin ja Fibre Channel tarjoaa siirtoprotokollan mahdollistaen näin Fibre Channel -kehiksen siirron Ethernet-kehiksen sisällä. Kuvassa 5 havainnollistetaan kuinka tämä kehiksen kapselointi onnistuu ja samalla voidaan todeta FCoE-protokollan erot muihin menetelmiin verrattuna. Ethernet-kehiksen sisällä käytetään MAC-osoitteita sekä lähettäjältä, että vastaanottajasta [24, sivu

5]. On huomioitavaa, että kapseloitu Fibre Channel -kehys sisältää kokonaisuudessaan alkuperäisen 24-tavun otsikon ja kuorman, joka on esitelty kuvassa 2. Syy alkuperäisen kehyksen säilyttämiseen on yksinkertainen. Se mahdollistaa Fibre Channel -kehysten saumattoman prosessoinnin, ilman tarvetta erilliselle yhdyskäytävälle.

3.6.2 Protokollapino

Lähetetään paketteja Ethernet-verkon välityksellä, täytyy myös protokollapinoon tehdä muutoksia. Kuvassa 13 selvitetään, kuinka muutettu protokollapino toimii Enhanced Ethernetin kanssa.

Ethernet-kehys kapseloidulla FC-kehyksellä



Kuva 13, Ethernet-kehys, joka sisältää kapseloidun Fibre Channel -kehysten

FCP:n kaksi alinta tasoa on korvattu Ethernet-protokollapinoon vastaavilla komponenteilla, kuten kuvassa 5 esitetään. FCoE-protokollaa standardoitaessa pidettiin huolta ettei jo standardoituun FCP:hen tehty muutoksia. FCP sisällytettiin sellaisenaan Ethernet-kehysten sisään. Peruseriaatteiltaan Ethernet-verkko voi hukata paketteja, jotka sitten lähetetään

tarvittaessa uudelleen ja laitetaan vastaanottajan toimesta oikeaan järjestykseen. Fibre Channel -verkko taas on häviötön. Kaikkien pakettien täytyy saapua oikeassa järjestyksessä, eikä häviötä sallita. Juurikin näiden erojen takia tarvittiin myös alkuperäiseen Ethernet-määritelmään lisäyksiä [26, sivu 128]. Tallennusverkkojen vaatimukset häviöttömyydelle ovat hyvin tiukat. Ottaen tämän huomioon tulee myös kaikkien uusien siirtomekanismien olla häviöttömiä. FCoE:n tapauksessa haluttiin käyttää Ethernetiä ja tästä syystä kehitettiin myös uudempi Enhanced Ethernet. Ethernet-verkoissa tapahtuvaa ruuhkaa tulee välttää viimeiseen asti, sillä käytettävyyden kustannuksella ei voida tallennusverkossa tehdä kompromisseja. Aivan kuten Fibre Channel -verkoissa, täytyy myös FCoE-verkkojen taata kehysten toimitus. Oli kyseessä sitten ruuhka tai lähetysvirheet, täytyy fyysisen linkin pystyä hoitamaan nämä ongelmat ilman että kehyksiä hukataan.

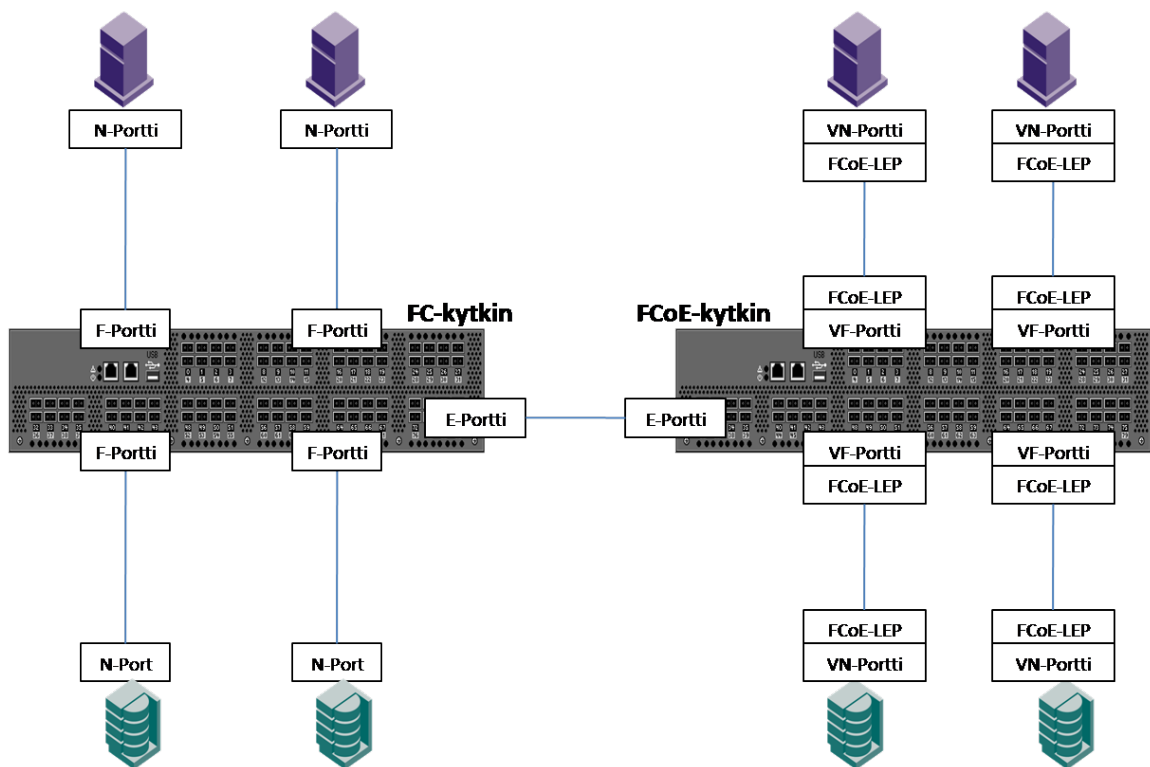
3.6.3 Kehyksen kapselointi

Normaalin Ethernet-kehysten maksimi koko on 1518 tavua, mutta kuten kuva 2 osoittaa, on Fibre Channel -kehysten maksimikoko 2148 tavua. Tästä syystä, jos Fibre Channel -kehys yksinkertaisesti paketoitetaan Ethernet-kehykseen, seuraa väistämättä pirstoutuminen (engl. *Fragmentation*) tai segmentoituminen (engl. *Segmentation*). Segmentoituminen on mahdollista, mutta se ei ole toivottavaa koska se lisää prosessointiin käytettävää aikaa ja loppujen lopuksi koko FCoE:n ideana on keskittää ja kehittää, eikä lisätä suorituskykyä alentavia tekijöitä. Vastaus tähän ongelmaan on yksinkertaisesti kasvattaa Ethernet-kehysten kokoa. Tällaisista kehyksistä, joiden koko on suurempi kuin normaalin Ethernet-kehysten maksimikoko käytetään termiä jumbo frame. Jumbo framella tarkoitetaan sellaista Ethernet-kehystä, jolla on kyky siirtää enemmän kuin 1500 tavua kuormaa. Jumbo frame voi kuljettaa jopa 9000 tavua kuormaa, mutta itse termin kanssa kannattaa olla tarkkana, sillä variaatioita ilmenee. Yksi suositeltavista tavoista kehyksen kapseloinnissa on käyttää baby jumbo framea, jonka koko on 2500 tavua [24, sivu 7]. Suurin osa nykyisistä Gigabit Ethernet kytkimistä ja verkkokorteista tukevat suurempia kehyksiä. Vanhemmat Fast Ethernet kytkimet ja verkkokortit tukevat ainoastaan standardikokoisia kehyksiä. Jumbo frame ei sinällään ole alan standardimenetelmä, on se silti nopein ja helpoin tapa tukea kaikkia laitteita FCoE/FCoCEE-verkossa.

3.6.4 Liitettävyys

Arkkitehtuuriltaan homogeeninen FCoE-verkko on samanlainen kuin Fibre Channel -verkko. Tallennuslaitteet ja palvelimet liitetään kytkimen kautta toisiinsa käyttäen SCSI- ja Fibre Channel -protokollia. Käytännössä ainoastaan komponentit kuten liityntäkortit, kytkimet ja kaapelit ovat erilaisia, mutta topologiat ja arkkitehtuuri identtisiä. Näin ollen FCoE-verkko voidaan liittää helposti yhteen Fibre Channel -verkon kanssa. Kuvassa 14, esitellään miltä näyttäisi yhdistetty FCoE- ja Fibre Channel -verkko. Kaikki uudet FCoE-laitteet ovat kytkettynä FCoE-kytkimeen, josta on yhteys Fibre Channel -kytkimeen ja siten myös Fibre Channel -laitteisiin. Tämä mahdollistaa yhdistetyn tallennusverkon luomiseen, jossa FCoE- ja Fibre Channel -laitteet voivat kommunikoida keskenään [TRO, sivu 131]. Teknologioiden samankaltaisuus mahdollistaa pehmeän migraation ilman tarvetta erillisille yhdyskäytävälle, jotka saattaisivat aiheuttaa ongelmia yhteensopivuuden kanssa.

FCoE-verkon liittäminen FC-verkkoon



Kuva 14, FCoE-verkko ja Fibre Channel -verkko voidaan liittää yhteen käyttämällä E-portteja.

3.7 Menetelmien vertailu

Kaikilla tässä tutkielmassa esiteltyillä protokollilla on oma käyttötarkoituksensa. Tässä kappaleessa vertaillaan esiteltyjä protokollia ja näiden ominaisuuksia toisiinsa nähden. Jokaisella menetelmällä on omat erityisominaisuutensa, joka hankaloittaa suoraa vertailua. Natiivin Fibre Channel -tallennusverkon ominaisuudet poikkeavat huomattavasti esimerkiksi iFCP:n ominaisuuksista. FCIP:n ja iFCP:n pohjimmaisena funktiona on liittää jo olemassa olevat Fibre Channel -tallennusverkot toisiinsa. FCP, iSCSI ja FCoE -protokollat toimivat eri tavalla, sillä jokaisella näistä protokollista on omat loogiset liitäntäpisteensä. Lisäksi nämä protokollat pohjautuvat palvelimen ja tallennuslaitteen väliseen kommunikointiin lohkotasolla.

3.7.1 Kehysten vertailu

Kehysten vertailussa pyritään havainnollistamaan teoriassa kuinka tehokkaita eri protokollien kehykset ovat toisiinsa verrattuna. Tarkoitus ei ole tuottaa tarkkaa laskennallista arvoa vaan antaa yleiskuva protokollien tehokkuudesta. Tästä syystä kaikkia mahdollisia muuttujia ei ole välttämättä otettu huomioon.

FCP

Aiemmin käsiteltiin tarkemmin FCP-kehystä ja todettiin, että kehyksen koko on aina 2148 tavua. Kehyksen tehokkuutta laskettaessa huomioon ei oteta mahdollisia ylimääräisiä otsikoita tai kehyksiä välillä olevia täytetäviä. Jokaisesta kehyksestä käytetään 36 tavua otsikkoon ja muihin tarvittaviin tietoihin ja 2112 tavua jätetään kuormalle. Tästä voidaan laskea, että FCP-kehysten tehokkuus on 98,3%.

iSCSI

iSCSI:n kehys koostuu useammasta eri kapseloinnista, kuten kuvassa 5 esitetään. Kehyksen tehokkuutta laskettaessa huomioon ei oteta mahdollisia ylimääräisiä otsikoita tai

kehyksien välillä olevia täytetäviä. Yhden Ethernet-kehysten koko on 1518 tavua ja jokaisesta iSCSI-kehyksestä käytetään 106 tavua otsikkoihin ja muihin tarvittaviin tietoihin [7, sivu 222] [12, sivu 76]. Tällöin iSCSI-kehysten tehokkuudeksi voidaan laskea 93,0%.

FCoE

FCoE:n kehys koostuu iSCSI:n tapaan useammasta eri kapselista, kuten kuvassa 5 esitetään. Kehysten tehokkuutta laskettaessa laskiessa huomioon ei oteta mahdollisia ylimääräisiä otsikoita tai kehysten välillä olevia täytetäviä. Yhden Ethernet-kehysten tehokkuuden laskennassa käytetään baby jumbo framen kokoa eli jo aikaisemmin tässä tutkielmassa käytettyä 2500 tavua. Kuvassa 13 esitetään miten FCP-kehys kapseloidaan Ethernet-kehysten sisään. FCoE-kehyksestä käytetään siis 46 tavua otsikkoon. Tämän lisäksi täytyy ottaa huomioon, että kehysten **MTU** (engl. *Maximum Transmission Unit*) on 2500 tavua ja siitä tarvitaan Fibre Channel -kehykselle 2140 tavua. Näin lähetettävän kehysten kooksi saadaan 2186 tavua [7, sivu 222] [12, sivu 76]. Näillä edellytyksillä voidaan laskea, että FCoE:n kehysten tehokkuus on noin 96,6%.

FCIP ja iFCP

Kehysten tehokkuutta ei voida vertailla FCIP:n ja iFCP:n välillä. Molemmat kehysten käyttävät identtistä rakennetta kehysten kapseloinnissa, kuten kuvassa 5 esitetään. Tämän lisäksi molemmat käyttävät FC-FE-kapselointia (engl. *Fibre Channel Frame Encapsulation*), joka tarvitsee 28 tavua FCP:n kapseloimiseen. Verrattaessa tätä esimerkiksi iSCSI-protokollan vaatimaan 48 tavun kapselointiin voidaan sanoa, että FCIP ja iFCP ovat kehysten rakenteelta hieman tehokkaampia kuin iSCSI-kehys [12, sivu 76]. FCIP- ja iFCP-kehysten tehokkuudeksi voidaan laskea yllä esiteltyillä menetelmillä 94,3%.

Yhteenveto

Lähetettäessä suuria määriä dataa korostuu samalla myös kehysten tehokkuus ja kuinka paljon kaistaa menetetään ylimääräisen kuorman liikuttamiseen. FCP:n tehokkuus vakiomittaisilla kehyksillä on huomattavasti parempi kuin iSCSI:n. FCoE:ta ei tässä

esimerkissä edes pyritty laskemaan vakiomittaiseen Ethernet-kehukseen kapseloituna, sillä segmentoituneita paketteja ei edes teoriassa kannata lähettää. FCoE:n tapauksessa pyrittiin käyttämään pienintä mahdollista Ethernet-kehysten kokoa, jonka sisällä FCP voidaan lähettää kokonaisuutena. Tilanne muuttuu huomattavasti siinä vaiheessa jos IP-verkossa lähetetään suurempia Ethernet-kehymiä. Esimerkiksi jos iSCSI-protokolla kapseloitaisiin 9000 tavun jumbo frame -kehukseen saataisiin samalla laskentakaavalla iSCSI-kehysten tehokkuudeksi 98,8%. Tämä arvo on jo parempi kuin natiivilla FCP:llä.

Laskettaessa protokollien todellisia tehokkuuksia monimutkaistuisi laskenta tavat huomattavasti pelkkien kehysten tehokkuudesta. Tällöin täytyisi ottaa huomioon myös monia muita tekijöitä.

Näitä tekijöitä ovat muun muassa:

- siirtomekanismien luotettavuus
- fyysisen tason koodausmenetelmät
- kytkinteknologia
- häiriötekijät.

Esimerkiksi aiemmin kuvatut koodausmenetelmät vaikuttavat suurilta osin todelliseen suorituskykyyn.

3.7.2 Toiminnallisuuksien vertailu

Toiminnallisuuden vertailulla pyritään havainnollistamaan esiteltyjen menetelmien eroavaisuuksia.

Fibre Channel

Fibre Channel -kytkimet pohjautuvat kokonaisuudessaan natiivin FCP:n ympärille. Tällaisessa ympäristössä ei tarvita kapselointia tai protokollamuunnoksia eri laitteiden välillä. Kytkimien suorituskyky on voitu optimoida ainoastaan FCP:n luomalle liikenteelle.

Palvelimen liittäminen Fibre Channel -verkkoon vaatii palvelimelle liityntäkortin, joka mahdollistaa yhteyden Fibre Channel -tallennusverkkoon. Itse FCP on myös optimoitu pelkästään tallennusliikenteen siirtämiseen. Fibre Channel oli myös ensimmäinen todellinen sovellutus, joka pystyi yhdistämään tallennuslaitteet ja palvelimet samaan kytkentäiseen verkkoon. Osaksi myös tästä historiallisesta tekijästä johtuen käytetään Fibre Channelia vertailukohtana muille protokollille. Etäisyyksien ollessa lyhyet on Fibre Channel -teknologia todella tehokasta jokaisella osa-alueella. Etäisyyksien kasvaessa ei Fibre Channel -teknologia kuitenkaan riitä, sillä reititysominaisuudet ovat rajalliset. Fibre Channel -tallennusverkkojen käyttöönotto on myös kallista ja vaatii oman erityisosaamista.

iSCSI

iSCSI pohjautuu TCP/IP-verkkoon. iSCSI:n ja TCP/IP-verkkojen yhteiskäytössä tarvitaan aina kapselointia, jotta tallennusliikennettä voidaan ajaa samassa verkossa muun verkkoliikenteen kanssa. Kytkimen suorituskyky ei ole suoranaisesti optimoitu tallennusliikenteelle, vaan yleiselle verkkoliikenteelle. Tallennusliikenne voi käyttää kuitenkin samoja komponentteja palvelimella kuin lähiverkon liikenne. Gigabit Ethernet -verkko mahdollistaa nopeat yhteydet ja tarvittavan vikasietoisuuden, joka tarjoaa hyvän suorituskyvyn myös tallennusliikenteelle. Suunnittelu on erittäin tärkeää yhdistettäessä kaikki liikenne saman verkko-teknologian alle. iSCSI:n hyvänä puolena on joustavuus etäisyyksien suhteen. TCP/IP:n tarjoamat reititysominaisuudet tarjoavat periaatteessa rajattoman etäisyyden laitteiden välillä. Käytännössä kuitenkin latenssi ja muut tekniset rajoitteet sanelevat reunaehdot etäisyyksille. iSCSI -tallennusverkkojen käyttöönotto on kustannuksiltaan edullista ja se ei vaadi paljon uutta osaamista olemassa olevien verkkoteknologioiden lisäksi.

FCoE

FCoE käyttää toiminnallisuutensa pohjana FCP:tä, jonka on fyysiset tasot on korvattu yleisemmällä Ethernet-verkolla. FCoE ei tarvitse toimiakseen protokollamuunnoksia. Täysi hyöty FCoE:sta saadaan kuitenkin vasta siinä vaiheessa kun Ethernet-verkko päivitetään CEE-määritysten mukaiseksi. Ethernetin päivitykset mahdollistavat muun muassa CNA:n käytön palvelimella, jolloin kaikki verkkoliikenne keskitetään yhden kortin

kautta. Gigabit Ethernet -verkko mahdollistaa nopeat yhteydet ja vikasietoisuuden. FCoE:n kanssa suositellaan käytettäväksi 10GbE yhteyksiä. Verkkosuunnittelu on hyvin tärkeää liitettäessä FCoE-liikenne osaksi muuta verkkoliikennettä. FCoE ei toimi IP-verkon päällä, joten se ei itsessään sisällä reititysominaisuuksia. Reititys voidaan kuitenkin hoitaa esimerkiksi FCIP:n välityksellä. FCoE-verkkojen käyttöönotto on kustannuksiltaan edullista ja se ei vaadi paljon uutta osaamista olemassa olevien verkkoteknologioiden lisäksi.

FCIP

FCIP on tunneloiva protokolla, jonka avulla voidaan Fibre Channel -verkot liittää toisiinsa. FCIP-laitteiden ominaisuuksiin kuuluu kapselointi, jolla Fibre Channel -kehys kapseloidaan lähetettäväksi TCP/IP-verkon välityksellä eteenpäin. FCIP-reitittimien suorituskyky riippuu pitkälti sen sisältämistä laitekomponenteista. Liityntä Fibre Channel -verkkoon toteutetaan yhteensopivalla menetelmällä, kuten 8Gbps Fibre Channel tai 10GbE-liitynnällä. Liitynnän tyyppi riippuu luonnollisesti siitä onko kyseessä Fibre Channel -tallennusverkko vai FCoE-tallennusverkko. IP-verkon liityntä tapahtuu vastaavasti liitettävään verkkoon yhteensopivalla menetelmällä, kuten 1GbE tai 10GbE yhteydellä. FCIP-tunneli voidaan luoda TCP/IP-yhteyksien mahdollistamalle etäisyydelle. Käytännössä latenssi ja mahdolliset tekniset rajoitteet määrittelevät maksimietäisyyden. Kustannuksiltaan kokonaisratkaisu on kallis, sillä FCIP liittää yhteen jo olemassa olevat Fibre Channel -verkot. Tämän lisäksi FCIP-tunneli vaatii lisäosaamista IP-verkkojen puolella kuten myös Fibre Channel -verkkojen käytössä.

iFCP

iFCP on Gateway-to-Gateway protokolla, jonka avulla voidaan Fibre Channel -verkot liittää toisiinsa käyttäen TCP/IP-reititystä. iFCP-laitteiden ominaisuuksiin kuuluu pakettien lähettäminen TCP/IP-verkkojen reititettäväksi. iFCP kapseloi Fibre Channel -kehysen samalla tavalla kuin FCIP-protokollakin. iFCP ei kuitenkaan luo verkkojen välille tunnelia, vaan se luottaa puhtaasti TCP/IP-verkkojen kykyyn reitittää tieto parhaalla mahdollisella tavalla. iFCP-yhdyskäytävien suorituskyky riippuu laitekomponenteista samalla tavalla kuin FCIP:n tapauksessakin. Yhdyslaitteiden välinen etäisyyden sanelee käytännössä

TCP/IP:n rajoitteet ja ympäristön käyttötarkoitus. Kustannuksiltaan kokonaisratkaisu on kallis, sillä iFCP liittää yhteen jo olemassa olevat Fibre Channel -verkot.

Yhteenveto

Kokonaiskustannuksiltaan iSCSI on edullisin menetelmä, sillä se toimii lähes millä nopeudella tahansa, eikä vaadi palvelimelle erikoiskomponentteja. iSCSI:n hyviin puoliin kuuluu myös reitityksen helppous, sillä reititykseen ei tarvita erillistä laitteistoa. Protokollan sisäinen TCP/IP-tuki mahdollistaa reitityksen. Suorituskyvyltään Fibre Channel -tallennusverkko lienee vieläkin turvallisin valinta. Toisin kuin kaikissa muissa menetelmissä, Fibre Channel -verkossa ei yleensä ole muuta kuin tallennusliikennettä. FCIP, FCoE, iFCP ja iSCSI kaikki jakavat Ethernet-verkon palvelua muun verkkoliikenteen kanssa. FCoE:n hyvät puolet ovat kiistämättömät, sillä se takaa FCoE:n tehokkaan protokollan tutussa Ethernet-verkossa. FCoE vaatii kuitenkin nopeat yhteydet ja kehittyneemmän Ethernet-verkon toimiakseen kunnolla. Fibre Channel -verkkojen yhdistämisessä iFCP ei ole yleistynyt samalla tavalla kuin FCIP. Tähän varmasti vaikuttaa osaltaan tekniset ominaisuudet ja FCIP-tunnelin luotettavuus tallennusliikenteessä verrattuna TCP/IP:n reitittämään iFCP:hen. Jokaisella menetelmällä on hyvät ja huonot puolensa. Käytännössä ratkaisun päättää luotettavuus, hinta ja käytettävyys.

4 Yhteenveto

Talletuskapasiteetin jakaminen palvelimien kesken on nykypäivänä olennaisen tärkeää tiedonhallinnan kannalta. Tallennusverkkojen suurin ongelma on aina ollut korkea hinta. Suorituskykyisen ja vikasietoisen ympäristön kustannukset nousevat yleensä niin korkeiksi, että nämä ympäristöt ovat olleet pääsääntöisesti suurien yritysten ja julkisten laitosten saatavilla. Fibre Channel -tallennusverkot ovat hallinneet markkinoita jo pitkään. Viime vuosina markkinoille on kuitenkin saapunut vaihtoehtoisia teknologioita, jotka tuovat mukanaan tervettä kilpailua markkinaosuuksista. Nämä vaihtoehtoiset tekniikat pohjautuvat lähinnä Ethernet- ja IP-protokollaan, jolloin liikenne pystytään yhdistämään samaan infrastruktuuriin muun tietoverkkoliikenteen kanssa. Tämä konsolidointi alentaa nopeasti tallennusverkkojen kustannuksia ja mahdollistaa vikasietoisten ja suorituskykyisten ympäristöjen saatavuuden myös pienemmille yrityksille ja organisaatioille. FCoE tulee viemään Fibre Channelin markkinaosuuksia suurissa palvelinkeskuksissa. Vastaavasti iSCSI luo varmasti uusia markkinoita pienemmissä yrityksissä ja organisaatioissa.

Maantieteellisten rajojen katoaminen ja tiedon saatavuus on eri paikoissa on suuri haaste kaiken kokoisille organisaatioille. Tästä syystä tallennusverkkojen yhdistäminen ja tiedon liikkuminen eri paikkojen välillä täytyy pystyä toteuttamaan turvallisesti ja mahdollisimman tehokkaasti. Tässä tutkielmassa esiteltiin eri menetelmiä verkkojen yhdistämiseksi. Yhteinen piirre kaikille esitellyille menetelmille oli niiden toiminta TCP/IP-verkon kanssa. TCP/IP-verkkojen käyttö on tällä hetkellä ainoa kustannustehokas menetelmä tallennusverkkojen yhdistämisessä. Menetelmän valinta riippuu aika pitkälti ympäristön yksityiskohtaisista vaatimuksista. Selvää kuitenkin on, että FCIP tulee säilyttämään oman käyttötarkoituksensa olemassa olevien kuin uusienkin Fibre Channel -tallennusverkkojen yhdistämisessä. iSCSI:n natiivit reititysominaisuudet ovat kiistattomat. iSCSI:lla on selvästi oma markkinansa, vaikka se ei vielä tällä hetkellä suoraan kilpailekaan Fibre Channel -pohjaisten ratkaisujen kanssa.

Tässä tutkielmassa luotiin pintapuolinen katsaus tallennusverkkoratkaisujen ominaisuuksiin ja eroihin. Avoimeksi jäi kuitenkin käytännöntoteutus ja miten eri

protokollat ja verkot todellisuudessa toimivat. Tutkimuksen aihepiirin parissa olisi mielenkiintoista jatkaa tekemällä empiirinen tutkimus tämän aihepiirin tienoilta.

5 Lähteet

- [1] Barker, Storage Area Network Essentials, Wiley, 2002
- [2] Benner, FIBRE CHANNEL for SANs, McGraw-Hill, 2001
- [3] Brocade, Introduction to L2 Fibre Channel Administrator and Theory
, Brocade Communications Systems Inc, 2010
- [4] Brocade, Advanced Fibre Channel Administration and Theory, Brocade, 2010
- [5] Clark, designing storage area networks second edition, Addison Wesley, 2003
- [6] Colon, SANs DEMYSTIFIED, McGraw-Hill, 2003
- [7] Gupta, Storage Area Network Fundamentals, Cisco Press, 2002
- [8] Hufferd, iSCSI: The universal storage connection, Pearson Education, 2003
- [9] INCITS, FIBRE CHANNEL SWITCH FABRIC - 5, INCITS, 2009
- [10] Javvin, Network Protocols Handbook, Javvin Technologies, 2005
- [11] Judd, Multiprotocol Routing for SANs, Infinity publishing, 2004
- [12] Long, Storage Networking Protocol Fundamentals,
, Cisco Press, 2006
- [13] Orenstein, IP Storage Networking: Straight to the Core, Addison Wesley, 2003
- [14] Poelker, Storage Area Networks for Dummies 2nd edition, Wiley, 2009
- [15] Pollack, Practical Storage Area Networking, Addison-Wesley, 2003
- [16] Preston, Using SANs and NAS, O'Reilly, 2002
- [17] Rajagopal, Fibre Channel Over TCP/IP (FCIP), Network Working Group, 2004

- [18] Internet Small Computer Systems Interface, Network Working Group, 2004
- [19] SNIA, The Benefits of Internet Fibre Channel Protocol (iFCP) for Enterprise Storage Networks, saatavissa HTML-muodossa osoitteessa http://cs.haifa.ac.il/courses/network_mem/iFCP_user_overview.pdf, viitattu 11.10.2011
- [20] SNIA, Internet Fibre Channel Protocol (iFCP) - A Technical Overview, saatavissa HTML-muodossa osoitteessa http://storusint.com/pdf/storage_protocols/fibrechannel/iFCP_tech_overview.pdf, viitattu 11.10.2011
- [21] ZOHO Corp, MIB Overview, saatavissa HTML-muodossa osoitteessa http://www.webnms.com/snmputilities/help/quick_tour/snmp_and_mib/snmpmib_miboverview.html, 20.9.2011
- [22] T11, FC-SW-5, saatavissa PDF-muodossa osoitteessa <http://www.t11.org/ftp/t11/pub/fc/sw-5/09-290v1.pdf>, viitattu 15.9.2011
- [23] T11, T11 Home Page, saatavissa HTML-muodossa osoitteessa <http://www.t11.org/index.html>, 2.8.2011
- [24] Tate, An Introduction to Fibre Channel over Ethernet, and fibre Channel over Convergence Enhanced Ethernet, IBM, 2009
- [25] Thornburgh, Storage Area Networks, Prentice Hall PTR, 2001
- [26] Troppens, Storage Networks Explained, Wiley, 2009
- [27] Vacca, The Essential Guide to Storage Area Networks, Prentice Hall, 2002