

Timo Pyyhtiä

WAN-yhteystapojen vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietoverkot

Insinööriytyö

20.10.2016

Tekijä(t) Otsikko	Timo Pyyhtiä WAN-yhteystapojen vertailu
Sivumäärä Aika	30 sivua 16.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot
Ohjaaja(t)	Lehtori Marko Uusitalo
<p>Työ vertailee WAN-yhteystapoja, joita Vantaan kaupungilla on mahdollista hankkia operaattorin kautta. Vertailun näkökulma on tekninen, ja se huomioi kustannukset ja asiakastarpeet. WAN eli laajaverkko on verkkotyyppi, joka yhdistää yrityksen lähiverkot LANit yhdeksi kokonaisuudeksi.</p> <p>Luku 2 käsittelee WANia yleisesti ja siihen liittyviä peruskäsitteitä. Luvussa esitellään myös eri standardointijärjestöjä, joiden laatimat standardit vaikuttavat esimerkiksi yhteystapojen vaatimuksiin. Seuraavissa kahdessa luvussa (3 ja 4) käsitellään yhteystavat sekä WAN-optimointimenetelmät, joiden avulla voidaan parantaa verkon nopeutta ja toimintavarmuutta.</p> <p>Luvussa 5 tehdään varsinaisen vertailun asiakastarpeiden ja kustannusten näkökulmasta. Kustannuksissa on otettu huomioon kuitujen osalta sekä omien kuitujen käyttö että operaattorilta vuokrattujen kuitujen käyttö. Kustannuksia on huomioitu myös yhteyksien jakamisen osalta toimipisteissä. Asiakkaina toimivat Vantaan kaupungin työntekijät. Työntekijöiden yhteystarpeeseen vaikuttaa esimerkiksi se, joutuuko heidän työssään liikkumaan paljon vai ei.</p> <p>Viimeisessä luvussa (luku 6) tehdään vertailun pohjalta johtopäätöksiä ja esitetään kysymyksiä, joihin kannattaa miettiä vastaukset ennen yhteyden tilaamista toimipisteeseen. Työ tehtiin, jotta Vantaan kaupunki voisi käyttää sitä hyödykseen mahdollisia muutoksia tehdessä.</p>	
Avainsanat	WAN, MPLS, VPN, Kuitu, Mobiiliyhteydet, WAN-optimointi

Author(s) Title	Timo Pyyhtiä Comparison of WAN-connection types
Number of Pages Date	30 pages 16 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information technology
Specialisation option	Computer networks
Instructor(s)	Marko Uusitalo, Senior Lecturer
<p>This project compares the WAN-connection types which can be acquired from the operator. The comparison is done from a technical perspective while also taking costs and customer needs into account. The word WAN comes from wide area network. WANs are used to connect corporate LANs together.</p> <p>Chapter 2 discusses WAN in general and the basic concepts related to it. The chapter also introduces different standardization organizations whose standards can affect the requirements of different connection types. The following two chapters (3 and 4) discuss the WAN-connection types available and WAN-optimization methods which can be used to improve the speed and reliability of networks.</p> <p>In chapter 5 the actual comparison happens. The costs of using fiber are different depending on whether the fiber is bought by the company or leased from the operator. The costs also include if the connection has to be distributed through WLANs inside the premises. Customers are the employees of the city of Vantaa. The type of connection needed for the employees depends on how much they have to travel.</p> <p>Chapter 6 has some questions which should be thought before making a new connection order. Answering the questions should tell what type of connection would be the best in each situation. The chapter also mentions one upcoming connection type that can change the views towards mobile connections. The purpose of this thesis is to give an idea to the city of Vantaa on how to proceed with the possible changes to WAN-connections.</p>	
Keywords	WAN, MPLS, VPN, Fiber, Mobile connections, WAN-optimization

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	WAN	1
2.1	Peruskäsitteitä	1
2.1.1	Piirikytkentäisyys	1
2.1.2	Pakettikytkentäisyys	2
2.1.3	Yhteydellinen yhteys	3
2.1.4	Yhteydetön yhteys	4
2.1.5	Palvelutasosopimus	4
2.2	WAN yleisesti	5
2.3	Standardointijärjestöt	6
2.3.1	IEEE	6
2.3.2	IETF	7
2.3.3	ISO	7
2.3.4	ITU-T	8
2.3.5	IEC	8
3	Yhteyksien toteutustavat	8
3.1	MPLS	8
3.2	Mobiiliyhteydet	10
3.2.1	LTE	10
3.2.2	UMTS	11
3.2.3	HSPA+	11
3.2.4	Edge	11
3.2.5	GPRS	12
3.3	VPN	12
3.3.1	Remote Access	12
3.3.2	Site-to-Site	14
3.4	Kuituyhteydet	15
4	WAN-optimointimenetelmät	18
4.1	Deduplikointi	18
4.2	Latenssin vähentäminen	19
4.3	Pakkaaminen	20

4.4	Välimuisti	21
4.5	Sovelluskiihdytys	22
5	Yhteystapojen vertailu	23
6	Johtopäätökset	26
	Lähteet	28

Lyhenteet

2G	2nd generation wireless system. Yleisnimitys toisen sukupolven matkapuhelintekniikoille.
3G	3rd generation wireless system. Yleisnimitys kolmannen sukupolven matkapuhelintekniikoille.
4G	4th generation wireless system. Yleisnimitys neljännen sukupolven matkapuhelintekniikoille.
ATM	Asynchronous Transfer Mode. Asynkroninen tiedonsiirtotapa, joka jakaa lähetettävän datan pieniin vakiomittaisiin soluihin.
DA	Direct Access. Microsoftin kehittämä VPN-tekniikka, jolla mahdollistetaan etäyhteys käyttäjän koneelle.
DMVPN	Dynamic Multipoint Virtual Private Network. Ciscon kehittämä dynaaminen VPN-reititystekniikka.
Edge	Matkapuhelinten pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka, joka perustuu GPRS-tekniikkaan.
GPRS	GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu, jota käytetään pääasiassa langattoman Internet-yhteyden muodostamiseen matkapuhelimen tai GPRS-sovittimen avulla.
HSPA+	3G-matkapuhelinten pakettidatan siirtoprotokolla ja verkkoarkkitehtuuri.
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähköalan standardointijärjestö.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
IETF	Internet Engineering Task Force. Internet-protokollien standardoinnista vastaava organisaatio.

IPsec	IP Security architecture. Joukko TCP/IP- perheeseen kuuluvia tietoliikenneprotokollia Internet-yhteyksien suojaamiseksi.
IPv4	TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla, joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta perille pakettikytkentäisessä Internet-verkossa. Osoitteiden pituus on 32 bittiä.
IPv6	IPv4-protokollan seuraajaksi kehitetty protokolla. Suurimmat erot IPv4:ään nähden ovat osoitteen pituus ja osoiteavaruuden laajuus. Osoitteiden pituus on 128-bittiä.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardointijärjestö.
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Unit. YK:n alainen kansainvälisiä televiestintästandardeja laativa järjestö.
LAN	Local Area Network. Lähiverkko on rajoitetulla maantieteellisellä alueella toimiva tietoliikenneverkko.
LTE	Long Term Evolution. Edistynyt 3G-tekniikka, jota myös jossain yhteyksissä kutsutaan 4G-tekniikaksi.
MAN	Metropolitan Area Network. Kaupunkiverkko on yhden tai useamman kaupungin alueella toimiva tietoliikenneverkko.
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output. Tietoliikennetekniikka, jossa sekä lähetukseen että vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa antennia.
MPLS	Multiprotocol Label Switching. Menetelmä, jossa IP-paketteja kuljetetaan ennalta määriteltyjen yhteyksien yli nopean runkoverkon solmujen kautta.
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access. OFDMA-modulointitekniikka mahdollistaa tiedonsiirron useille käyttäjille samanai-

kaisesti. Taajuusalue on jaettu useisiin apukantaaltoihin, jotka jaetaan vielä erikseen ryhmiin eli käyttäjiin.

OSI	Open Systems Interconnection Reference Model. Kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa.
QoS	Quality of Service. Termillä tarkoitetaan tietoliikenteen luokittelua ja priorisointia.
SLA	Service Level Agreement. Palvelutasosopimuksissa määritetään asiakkaan ja palveluntarjoajan väliset sopimusehdot ja niiden rikkomisesta aiheutuvat seuraukset.
SSL	Secure Sockets Layer. Liikenteen salaukseen käytetty protokolla.
TCP	Transmission Control Protocol. Yhteydellinen protokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille ennen tiedonsiirron aloittamista.
UDP	User Datagram Protocol. Yhteydetön protokolla, joka ei tarvitse yhteyttä laitteiden välille mahdollistaakseen tietojen siirron.
UMTS	GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia.
VPN	Virtual Private Network. Virtuaalinen erillisverkko, jolla kaksi tai useampia yrityksen verkkoja voidaan yhdistää julkisen verkon yli muodostaen näennäisesti yksityisen verkon.
WAN	Wide Area Network. Laajaverkko on tiedonsiirtoverkko, joka peittää laajoja maantieteellisiä alueita.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on vertailla, minkälainen WAN-yhteystapa sopisi Vantaan kaupungin erilaisiin tarpeisiin. Työssä käydään läpi kaupungilla jo käytössä olevia tai operaattorilta tilattavissa olevia vaihtoehtoja. Vertailussa otetaan huomioon yhteystapojen teknisyys, asiakastarpeet ja kustannukset, jotta työtä ja johtopäätöksiä voitaisiin käyttää myöhemmin hyödyksi.

WAN-verkkoja on ollut jo useita vuosikymmeniä. Ensimmäiset WANit ilmaantuivat jo 1960-luvun lopulla. Tekniikat eivät kuitenkaan ole kehittyneet paljoa osittain sen takia, että monet uudemmat tekniikat on kehitelty vanhojen pohjalta. Aiemmat tekniikat kuten Frame Relay ja ATM ovat korvautuneet uudemmalla MPLS-tekniikalla, joka on kehitetty ATM:n pohjalta. MPLS:n vahvuutena on ollut protokollasta riippumattomuus ja skaalautuvuus, joten se sopii erilaisten ja erikokoisten yritysten tarpeisiin.

Työn tavoitteena on luoda hyvä kokonaiskuva yhteystapojen soveltuvuudesta kaupungin monialaisiin toimintoihin. Työssä käsitellään yhteystapojen lisäksi myös WAN-verkkojen peruskäsitteitä kuten paketti- ja piirikytkentäisyys, yhteydellinen ja yhteydetön yhteys sekä palvelutasosopimuksia. Näitä ei kuitenkaan tarkastella syvällisesti, sillä työn pääpaino on yhteystapojen vertailussa. WAN-optimointimenetelmät on esitelty, jotta olemassa olevien yhteyksien toimintaa voitaisiin haluttaessa parantaa.

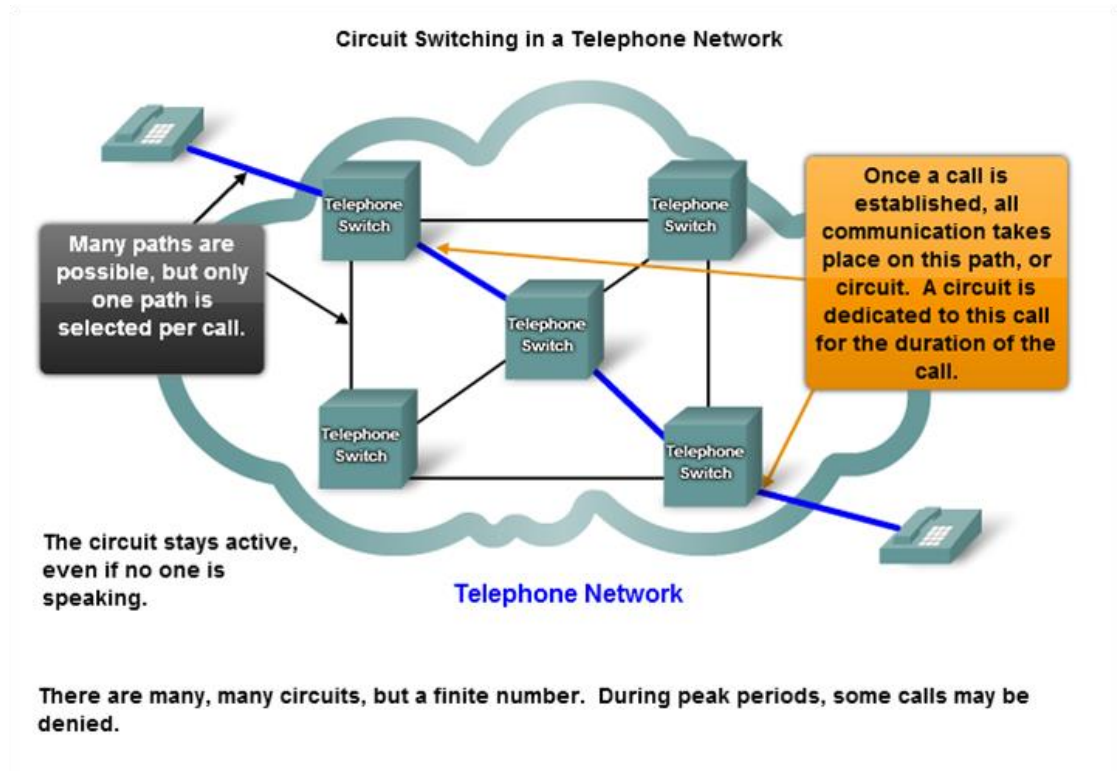
2 WAN

2.1 Peruskäsitteitä

2.1.1 Piirikytkentäisyys

Piirikytkentä on tiedonsiirtomenetelmä, jossa yhteys osapuolten välille muodostetaan ja pidetään auki koko tapahtuman ajan. Piiri takaa kanavan täyden kaistanleveyden yhteydelle. Hyvä esimerkki piirikytkentäisestä verkosta on analoginen puhelinverkko. Piirikytkennässä viive on vakio koko yhteyden ajan toisin kuin pakettikytkennässä, jossa pakettijonot voivat aiheuttaa vaihtelevia ja mahdollisesti loputtoman pitkiä paketsiirto-

viiveitä. Yhdenkään piirin kaistaa ei voida jakaa muiden käyttäjien käytettäväksi, koska piirit ovat suojattuja siihen asti, kunnes puhelu lopetetaan ja uusi yhteys muodostetaan. Kanava pysyy varattuna ja suojattuna, vaikka varsinaista puhetta ei tapahtuisikaan. [1.]



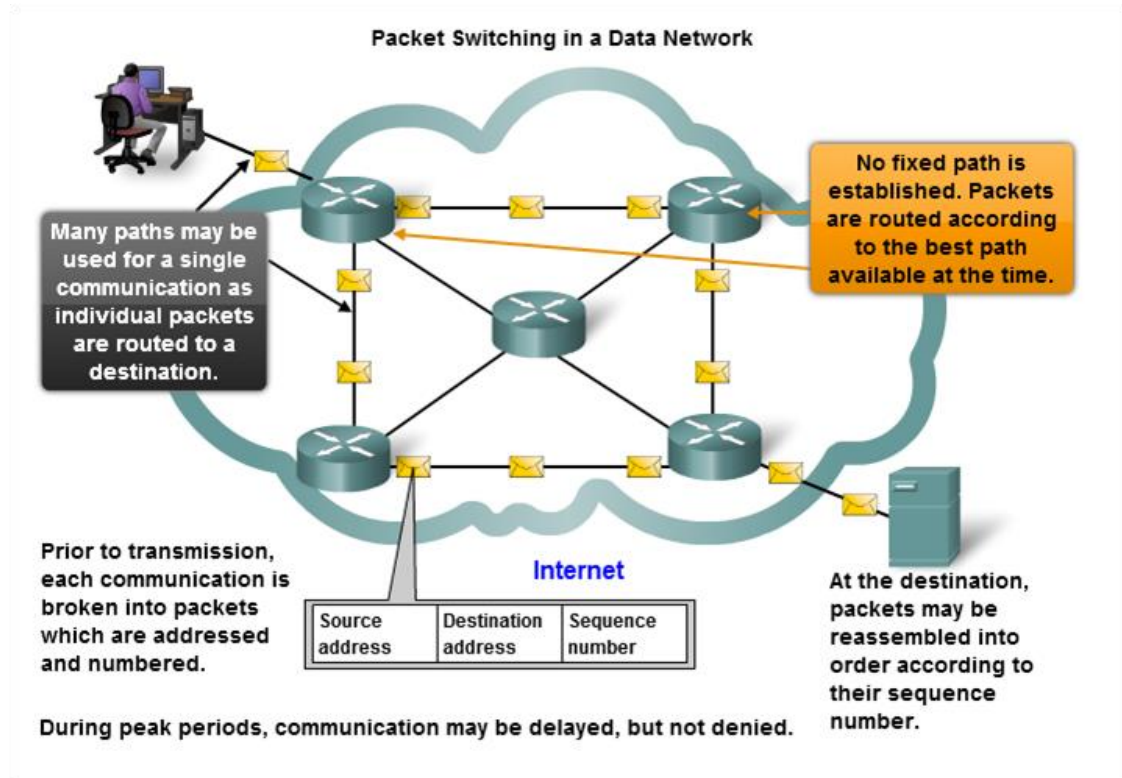
Kuva 1. Piirikytkentäisten verkkojen toiminnan esittely [2.]

Vaikka piirikytkentää käytetään tavallisesti äänipiirien yhdistämiseen, voidaan samaa tekniikkaa käyttää myös muuhun kuin äänen siirtoon. Piirikytkennän vahvuutena on se, että se tarjoaa jatkuvan tiedonsiirron ja maksimaalisen kaistanleveyden käytön kullekin yhteydelle. Heikkoutena puolestaan on, että käyttämätöntä kapasiteettia ei voida jakaa muille yhteyksille samassa verkossa. Piirikytkentäisiä toteutustapoja ovat mm. ISDN, DTM ja SDH. [1.]

2.1.2 Pakettikytkentäisyys

Pakettikytkentäinen tiedonsiirto on yhteydetöntä, eikä verkosta varata päästä-päähän-reittiä tai siirtokapasiteettia tiedon siirtoa varten. Viestiä ei lähetetä kokonaisuina vaan se jaetaan pieniin osiin, paketteihin. Jokaisella paketilla on otsikkokenttä, jonka perusteella reititys tehdään. Erona piirikytkentään on, että verkon laitteet välittävät paketit otsikkokentässä olevan osoitteen perusteella. Tämän takia peräkkäiset paketit saatta-

vat kulkea eri reittejä ja saapua vastaanottajalle eri järjestyksessä kuin missä ne lähtivät. Pakettikytkentäisissä verkoissa paketit voivat monistua tai kadota vika- ja ruuhkantilanteissa. [3.]



Kuva 2. Pakettikytkentäisten verkkojen toiminnan esittely [2.]

Pakettikytkentäisen verkon laitteet hylkäävät "toimettomat" kaavat pakettien välillä ja käsittelevät koko paketin yhtenä tiedonpalasena. Laitteet tutkivat paketin otsikon, minkä jälkeen ne joko poistavat sen, jos paketti on saapunut määränpäähänsä, tai ohjaavat paketin eteenpäin. Jos eteenpäin menevä linkki ei ole käytössä, sijoitetaan paketti jonoon, kunnes linkki taas vapautuu. Pakettikytkentäinen verkko muodostuu linkeistä, jotka yhdistävät pakettiverkon laitteet toisiinsa. Pakettikytkentäisiä yhteystapoja ovat mm. Internet, MPLS, LTE ja ethernet. [4.]

2.1.3 Yhteydellinen yhteys

Yhteydellisessä yhteydessä muodostetaan aina yhteys kahden osapuolen välille ennen kuin dataa voidaan siirtää. Näin voidaan varmistua siitä, että vastaanottaja on valmiina. Kun reitti on muodostettu, se pysyy samana niin kauan kunnes yhteys lopetetaan. Yh-

teydellisen yhteyden protokollat voivat pyytää dataa lähetettäväksi uudelleen, jos paketteja katoaa tai niissä on bittivirheitä. Myös varmennusviestien lähetys on mahdollista. Yleisimmin käytetty protokolla on TCP. Yhteydellisessä yhteydessä paketteja lähetetään niin kauan kunnes vastaanottaja on saanut ne. Data voi saapua perille väärässä järjestyksessä, mutta se järjestetään aina oikeaan järjestykseen. TCP-protokolla on hitaampi kuin UDP kolmivaiheisen kättelyn takia. TCP myös kuormittaa verkkoa enemmän kuin UDP, koska pakettien pääsy perille varmistetaan. Yhteydellinen yhteys voi olla piiri- tai pakettikytkentäistä. Sitä käytetään, kun tiedon halutaan säilyttävän tarkkuutensa. [5.]

2.1.4 Yhteydetön yhteys

Yhteydettömässä yhteydessä ei tarvitse erikseen muodostaa yhteyttä osapuolten välille datan lähetystä varten. Lähetettävä data jaetaan paketteihin, joille annetaan kohteen osoite. Paketit eivät välttämättä kulje samaa reittiä pitkin, mutta ne päätyvät kuitenkin vastaanottajalle. Yhteydetön yhteys ei sisällä pakettien numerointia, joten järjestyksen säilymistä ei voida luvata. UDP-tarkistussumman käyttö onkin ainoa tapa yrittää korjata mahdollisia virheitä, mutta se ei ole kovin tehokas. Virheiden tapahtuessa se ei myöskään yritä toipua niistä. Yhteydetöntä yhteyttä käytettäessä ei ole varmuutta siitä, pääseekö data perille asti, ja ruuhkatilanteissa osa paketeista saattaa kadota matkalla. Yhteydettömän yhteyden hyötyjä verrattuna yhteydelliseen yhteyteen ovat esimerkiksi alhaisemmat yleiskustannukset ja nopeus. Nopeuden ansiosta se sopii paremmin videoiden ja äänen suoratoistoon. Yhteydetön yhteys on aina pakettikytkentäistä. Yleisin protokollista on UDP. [5.]

2.1.5 Palvelutasosopimus

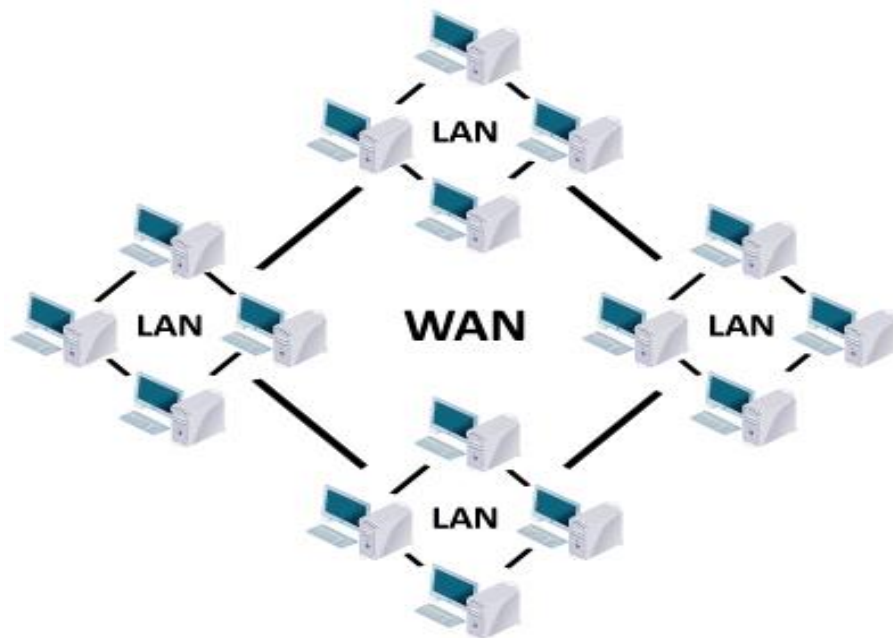
Palvelutasosopimus eli SLA (Service Level Agreement) on asiakkaan ja palveluntarjoajan välinen sopimus, jossa määritellään palvelun taso ja sen rikkomisesta seuraavat sanktiot. Sopimuksessa määriteltäviä asioita ovat mm. palvelun saatavuus, palveluaika, palvelujärjestys ja QoS (Quality of Service). Sovittuja asioita mitataan erilaisten mittareiden avulla ja koko palvelua verkonvalvontajärjestelmän avulla. Esimerkiksi palvelu voidaan sopia olevan saatavilla 99,9 % ajasta. Jos tämä alittuu, seuraa alituksesta sanktio palveluntarjoajalle. Lukema pitää sisällään mm. viankorjauksen aloitusajan ja

vianratkaisuun kuluneen ajan. Myös service deskin toiminta voidaan sisällyttää palvelutasosopimukseen. [6.]

Palvelutasosopimukset ovat yleensä sopimusliitteitä eli varsinaiseen sopimukseen kuuluvia ja näin ollen laillisesti sitovia. Useimpiin sopimukseen voidaan jättää tilaa myöhemmille muutoksille. Palvelutasosopimuksen pääasiallinen tarkoitus on taata asiakkaalle sopimuksen mukainen palvelun taso ja seurata sen toteutumista. [6.]

2.2 WAN yleisesti

WAN (Wide Area Network) on tietoliikenneverkko, joka kattaa suuren maantieteellisen alueen. Alue voi olla esimerkiksi suurkaupunki, valtio tai vaikka koko maailma. WAN yhdistää tavallisesti muita verkkotyyppjä esimerkiksi LAN (Local Area Network) ja MAN (Metropolitan Area Network) yhdeksi kokonaisuudeksi, jotta käyttäjät ja laitteet yhdessä toimipisteessä voivat keskustella muiden toimipisteiden käyttäjien kanssa. Yhdistäminen tapahtuu verkkolaitteiden kuten kytkinten ja reitittimien avulla. Tunnetuin esimerkki WAN-verkosta on Internet. [7.]



Kuva 3. WAN-verkon havainnollistaminen [8.]

WAN-verkot ovat tavallisesti joko Internet-palveluntarjoajan rakentamia ja ylläpitämiä tai yrityksen itsensä rakentamia. WAN-verkot ovat nopeuksiltaan hitaampia kuin LAN

tai MAN jo pelkästään sen takia, että datan täytyy kulkea pidempiä matkoja WAN-verkoissa kuin LAN-verkossa. WAN on yleensä rakennettu käyttäen pakettikytkentäisiä tiedonsiirtomenetelmiä. WAN-tekniikat toimivat tavallisesti OSI-mallin kolmessa alimmassa kerroksessa, jotka ovat fyysinen kerros, siirtokerros ja verkkokerros. [7.]



Kuva 4. OSI-malli ja sen kerrokset [9.]

2.3 Standardointijärjestöt

2.3.1 IEEE

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) on kansainvälinen standardointijärjestö, joka perustettiin vuonna 1963, kun American Institute of Electrical Engineers ja Institute of Radio Engineers yhdistyivät. [10.]

IEEE on yksi johtavista standardointi järjestöistä maailmassa. IEEE:n sisällä toimiva IEEE-SA (IEEE Standards Association) huolehtii kaikista standardointiin liittyvistä asioista. IEEE:n standardit vaikuttavat monilla eri teollisuudenaloilla kuten esimerkiksi energia, biolääketiede ja terveydenhoito, IT, tietoliikenne, kuljetus ja nanoteknologia. Yksi merkittävimmistä IEEE:n standardeista tietoliikenteen osalta on IEEE 802 LAN/MAN-standardit, joihin kuuluvat IEEE 802.3 ethernet ja IEEE 802.11 langattoman verkon standardit. [10.]

2.3.2 IETF

IETF (Internet Engineering Task Force) on Internet-protokollien kehityksestä vastaava standardointijärjestö. Nykyinen Internetin perusta ja käytännössä kaikkien sovellusten pohjana toimivat protokollat ovat IETF:n aikaansaannoksia. IETF on avoin standardointiorganisaatio, jolla ei ole virallista jäsenyyttä tai jäsenyysvaatimuksia. Kaikki järjestössä mukana olevat ovat vapaaehtoisia, ja kehitystyö tapahtuu avoimilla sähköpostilistoilla. [11.]

IETF:n päätoiminta tapahtuu työryhmissä. Työryhmät on järjestetty aihealueen mukaan. Nykyiset alueet ovat sovellukset, yleiset, Internet, operaatiot ja hallinta, reaaliaikaiset sovellukset ja infrastruktuuri, reititys, turvallisuus ja liikenne. Kutakin aluetta valvoo aluejohtaja. Aluejohtajat yhdessä IETF:n puheenjohtajan kanssa muodostavat Internet Engineering Steering Groupin (IESG), joka on vastuussa IETF:n toiminnasta. [11.]

2.3.3 ISO

ISO (International Organization for Standardization) on kansainvälinen standardointijärjestö, joka koostuu kansallisten standardointijärjestöjen edustajista. ISO on itsenäinen järjestö, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Genevessä. ISO:n standardeja pidetään suosituksina, mutta tästä huolimatta se on maailman suurin kansainvälisten standardien kehittäjä. Noin 20 000 standardia on kehitetty, ja ne kattavat kaiken valmistetuista tuotteista ja teknologiasta aina elintarvikkeiden turvallisuuteen, maatalouteen ja terveydenhuoltoon. [12.]

ISO aloitti toimintansa vuonna 1926 nimellä ISA (International Federation of the National Standardizing Associations). ISA:n toiminta lakkautettiin toisen maailmansodan aikana vuonna 1942. Sodan jälkeen UNSCC:n (United Nations Standards Coordinating Committee) teki ehdotuksen ISA:lle perustaa uusi maailmanlaajuinen standardointijärjestö. Lokakuussa 1946 järjestöt pääsivät sopuun uuden standardointijärjestön yksityiskohdista ja vuoden 1947 helmikuussa uusi järjestö nimeltään ISO aloitti toimintansa. [12.]

2.3.4 ITU-T

ITU-T (Telecommunication Standardization Sector) on yksi kolmesta ITU:n (International Telecommunication Union) sektorista, ja se koordinoi televiestintäverkkoja ja -palveluja kansainvälisesti. ITU aloitti standardoinnin perustamisvuonna 1865. ITU:sta tuli yhdistyneiden kansakuntien erityisjärjestö 1947. ITU-T tunnettiin vuoteen 1993 asti nimellä International Telegraph and Telephone Consultative Committee. Nimi tulee ranskan kielestä, *Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique* (CCITT). CCITT perustettiin vuonna 1956 ja nimi muutettiin ITU-T:ksi vuonna 1993. [13.]

ITU:n päätökset valmistellaan ja tehdään lukuisissa työ- ja tutkimusryhmissä sekä alueellisissa että maailmanlaajuisissa kokouksissa. ITU-T:n tehtävä on varmistaa maailmanlaajuisten tietoliikennestandardien tuotanto, joka kattaa kaikki tietoliikenteen osa-alueet. Koska ITU on yhdistyneiden kansakuntien erityisjärjestö, on sen kehittämällä standardeilla enemmän painoarvoa kansainvälisesti kuin muilla standardointijärjestöillä. [13.]

2.3.5 IEC

IEC (International Electrotechnical Commission) on maailman johtava kansainvälisen sähköteknologiastandardien suunnittelija ja julkaisija. Yksi tunnetuimmista IEC:n standardeista on PC:n virtajohdon määrittely. Järjestö on perustettu Lontoossa vuonna 1906. IEC tekee standardoinnin osalta yhteistyötä ISO:n ja ITU:n kanssa. Järjestön kehittämät standardit toimivat pohjana kansallisen tason standardeille. Standardointiprosessissa jokaisella maalla on yksi edustaja ja ääni. Standardin hyväksyminen vaatii vähintään 75 %:n kannatusta. IEC:n tietotekniikka-alan standardit tehdään yhteistyössä ISO:n kanssa työryhmässä nimeltä JTC1 (Joint Technical Committee). [14.]

3 Yhteyksien toteutustavat

3.1 MPLS

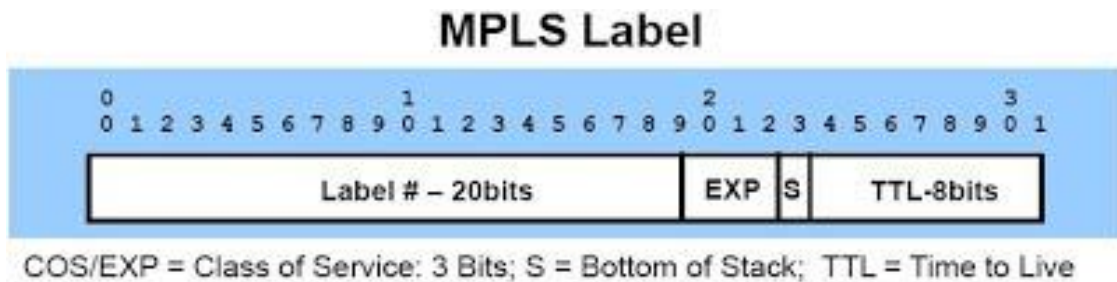
MPLS (Multiprotocol Label Switching) on protokollasta riippumaton tekniikka, jolla kuljetetaan IP-paketteja ennalta määriteltujen yhteyksien ylitse nopean runkoverkon solmujen kautta ilman, että solmujen tarvitsee tehdä reititystä. MPLS-verkossa datapaketeille

annetaan leima, jonka sisällön perusteella reitittimet osaavat ohjata paketit perille ilman, että itse pakettia tarvitsisi tutkia. Tämä mahdollistaa end-to-end-piirien luonnin mitä tahansa protokollaa käyttäen. Etuna on se, että tällä menetelmällä saadaan poistettua riippuvuus OSI-mallin siirtokerroksen muista teknologioista kuten ethernetistä. [15.]

MPLS toimii OSI-mallin siirtokerroksen ja verkkokerroksen välissä niin sanotussa 2.5-kerroksessa. MPLS on suunniteltu tarjoamaan yhtenäinen tiedonsiirtopalvelu sekä piirikytkentäisille että pakettikytkentäisille teknologioille. Sitä voidaan käyttää kuljettamaan esimerkiksi IP-paketteja ja Ethernet-kehysiksi. MPLS on kehitetty ATM:n pohjalta huomioiden sen vahvuudet ja heikkoudet. [15.]

MPLS-tekniikassa paketteihin liitetään MPLS-tunniste, joka sisältää yhden tai useamman leiman. Tätä kutsutaan leimapinoksi (label stack). Jokainen leimapino sisältää seuraavat neljä kenttää, jotka ovat yhteensä kooltaan 32 bittiä: [15.]

- 20-bittinen leiman arvo
- 3-bittinen Traffic Class kenttä QoS:lle (Quality of Service) ja ECN:lle (Explicit Congestion Notification)
- yhden bitin kokoinen lippu, joka sijaitsee pakan pohjalla.
- kahdeksan bitin TTL (time to live) kenttä.



Kuva 5. MPLS-leima [16.]

LSR (Label Switch Router) on MPLS-verkossa käytetty reititin, joka reitittää paketteja ainoastaan leiman perusteella. LSR-reititin sijaitsee MPLS-verkon keskellä ja se selvittää paketin otsikkokentän indeksistä seuraavan osoitteen MPLS-verkossa ja ohjaa paketin eteenpäin. Ennen paketin ohjausta eteenpäin vanha leima poistetaan otsikkokentästä ja korvataan uudella. [15.]

LER (Label Edge Router) on reititin, joka toimii MPLS-verkon reunalla. Se huolehtii kaikesta tiedosta, joka lähtee verkkoon tai saapuu verkosta. LER antaa paketille leiman sen sisällön perusteella ja lähettää sen verkkoon. Paketin poistuessa MPLS-verkosta LER poistaa leiman paketista ja reitittää sen eteenpäin käyttäen normaalia IP-reititystaulua. [15.]

3.2 Mobiiliyhteydet

3.2.1 LTE

4G (Fourth Generation of Wireless Mobile Telecommunications Technology) on neljäs sukupolven matkapuhelintekniikka ja 3G:n seuraaja. 4G-järjestelmille on laadittu tietyt vaatimukset, jotka tekniikoiden tulisi täyttää, jotta niitä voidaan kutsua 4G:ksi. ITU-R (International Telecommunications Union-Radio communications sector) laati vaatimukset maaliskuussa 2008. Niitä kutsutaan yhteisnimityksellä ITU IMT Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced). Huippunopeuksiksi määrättiin 100 mbit/s liikkuville yhteyksille ja 1 Gbit/s staattisille yhteyksille. [17.]

LTE ei kuitenkaan yllä vaadittuun 1 Gbit/s maksiminopeuteen, joten se ei ole täysin IMT-Advanced-yhteensopiva. Siitä huolimatta se luokitellaan usein 4G:ksi. ITU-R tuli asiassa vastaan ja sanoi, että LTE ja muut parannellut 3G-teknologiat, jotka eivät täysin täytä IMT-Advanced vaatimuksia, voitaisiin kutsua 4G:ksi. Ehtona oli kuitenkin, että ne olisivat merkittävästi aikaisempia 3G-tekniikoita parempia. LTE:stä on kehitelty paranneltu versio LTE-A (LTE Advanced), joka on yhteensopiva aikaisempien versioiden kanssa. Tämä tekniikka mahdollistaa nopeudeksi 1 Gbit/s, mikä täyttää 4G:n vaatimukset. [17.]

4G-tekniikat eivät enää tue piirikytkentäistä puhelinpalvelua vaan ainoastaan IP-pohjaista liikennettä. Radiotekniikan osalta hajaspektriä ei enää käytetä 4G-järjestelmissä, vaan se on korvattu OFDMA:lla (Orthogonal frequency-division multiple access). Tämä muutos mahdollistaa bittinopeuksien kasvun. MIMO-antennien (Multiple-Input and Multiple-Output) avulla voidaan nopeutta lisätä entisestään. [17.]

3.2.2 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on GSM:n seuraajaksi suunniteltu 3G-matkapuhelinteknologia. UMTS käyttää radiotekniikkana W-CDMA:ta (Wideband Code Division Multiple Access). UMTS:ää on käytetty alusta alkaen myös data-siirtoon. UMTS:n perusdata Rel99 tarjoaa 384 kb/s latausnopeuden. UMTS-verkko tarjoaa nykyään aiempaa nopeampia datapalveluita. Jos sekä verkko että päätelaite tukevat HSDPA- tai HSPA-tekniikkaa ja siirtotarve ylittää verkkoon kynnyksen ja signaalivoimakkuus on riittävä, siirtyy datayhteys näille tekniikoille. Nopeuden kasvun lisäksi RTT (Round Trip Time) pienenee murto-osaan Rel99-yhteyden RTT:stä. Kun dataa ei siirretä, HSPA-kelpoiset laitteet pudotetaan UMTS:lle ja edelleen hitaalle kanavalle antamaan tilaa muille käyttäjille. [18.]

3.2.3 HSPA+

HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access) on langattomien tietoliikenneverkkojen standardi. Se on paranneltu versio alkuperäisestä HSPA:sta. HSPA+ voi saavuttaa 42,2 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden saapuvaan suuntaan ja 11 Mbit/s lähtevään suuntaan. HSPA+ hyödyntää kohdennetun signaalin ja MIMO-antennitekniologioita. Kohdennettu signaali toimii siten, että antenni lähettää signaalin suoraan laitteen suuntaan eikä broadcast-tyyppisenä kaikkialle. MIMO taas käyttää useita antennejä molemmissa päissä. Standardin myöhemmät julkaisut ovat ottaneet käyttöön dual carrier - tekniikan, jossa kahta mobiilidatakanavaa käytetään yhtä aikaa. HSPA+:aa ei tule sekoittaa LTE:hen, joka käyttää ilmarajapintaan perustuvaa OFDMA-tekniikkaa. [19.]

3.2.4 Edge

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) on matkapuhelinten pakettikytkentäinen tiedonsiirtotekniikka. EDGE pohjautuu GPRS-tekniikkaan, joka on GSM-verkkojen tiedonsiirtostandardi. EDGE-standardin on kehittänyt 3GPP-järjestö (3rd Generation Partnership Project). Sitä sanotaan 2.5 G:ksi, koska se on parannettu toisen sukupolven tekniikka, mutta ei täytä 3G:n vaatimuksia. [20.]

EDGE-standardi mahdollistaa 236,8 kb/s tiedonsiirtonopeuden päätelaitteelle neljää aikapaikkaa käytettäessä ja 473,6 kb/s kahdeksalla aikapaikalla. Yhden aikapaikan nopeus on 59,2 kb/s. Keskimääräisesti käyttäjien nopeudet ovat 160-200 kb/s ja par-

haimmillaan 296 kb/s vastaanottosuunnassa. Lähetysuunnassa keskimääräinen nopeus on 80-160 kb/s ja enimmillään 236,8 kb/s. [20.]

2010-luvun alussa lähes kaikki markkinoilla olevat matkapuhelimet ja mobiiliverkon USB-modeemit kykenivät hyödyntämään uudempia 3G-verkkoja. Tämän johdosta EDGE-verkkojen merkitys pienenee sitä mukaa, kun matkapuhelinoperaattorit saavat täydennettyä keskeneräisiä valtakunnallisia 3G- ja 4G-verkkojaan. [20.]

3.2.5 GPRS

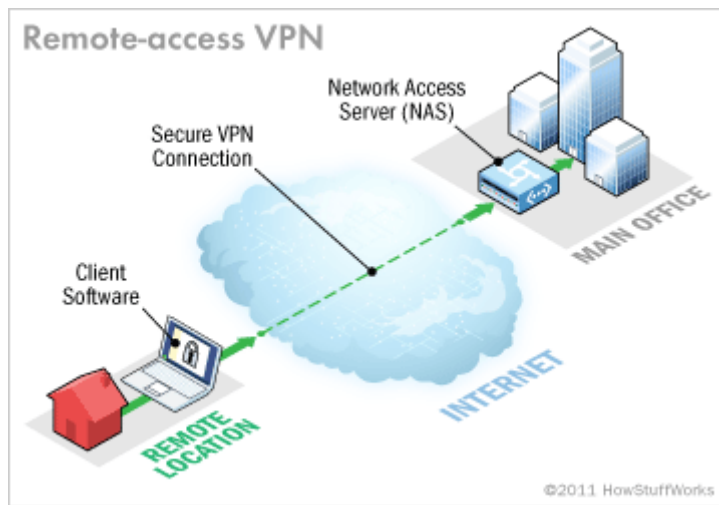
GPRS (General Packet Radio Service) on GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu. GPRS:n teoreettinen tiedonsiirtonopeus on 114 kb/s verkon ja päätelaitteen välillä, mutta todellisuudessa saavutettava nopeus on 30–40 kb/s. RTT on tyypillisesti 600–700 ms. GSM-yhteyden tapaan GPRS käyttää radioaaltoja tiedon siirtämiseen. Uusimmatkin puhelinmallit käyttävät edelleen myös GPRS-tiedonsiirtoa tilanteissa, joissa nopeampia 3G- tai 4G-verkkoja ei ole käytettävissä. GPRS käyttää pakettimuotoista spasmista tiedonsiirtotapaa GSM-datayhteyksien kiinteän nopeuden sijaan. [21.]

GPRS-tiedonsiirrosta veloitetaan siirretyn tiedon määrän perusteella. Määrään perustunut veloitus oli Suomessa useita euroja kutakin siirrettyä megatavua kohden. 2010-luvulla suomalaiset operaattorit siirtyivät pääsääntöisesti tarjoamaan liittymäsopimuksia, joissa dataa voi oman operaattorin verkossa siirtää rajattomasti kiinteällä kuukausihinnalla. [21.]

3.3 VPN

3.3.1 Remote Access

Etäkäyttö (Remote Access) mahdollistaa käyttäjien muodostaa suojattuja etäyhteyksiä yrityksen verkkoon Internetin yli. Tämä yhteystyyppi sopii erinomaisesti yrityksen työntekijälle, joka tekee etätöitä tai joutuu työn puolesta liikkumaan paljon. Myös kolmannelle osapuolelle voidaan taata pääsy kohdepalveluun yhteyden avulla. Etäkäyttöyhteydestä käytetään myös nimitystä VPDN (Virtual Private Dial-Up). Etäkäyttöyhteydet ovat aina point-to-point-muotoisia. [22.]



Kuva 5. VPN-yhteydessä muodostetaan suljettu ja suojattu yhteys Internetin yli [22.]

Remote Access VPN tarvitsee kaksi komponenttia toimiakseen. Ensimmäinen näistä on NAS (Network Access Server), josta käytetään myös nimityksiä RAS (Remote Access Server) ja media gateway. Käyttäjä ottaa yhteyttä NAS:iin, kun hän haluaa käyttää VPN-yhteyttä. NAS vaatii käyttäjiltä kirjautumistunnukset, jotka saatuun se varmistaa niiden aitouden joko itse tai erilliseltä autentikaatiopalvelimelta. [22.]

Toinen vaadittu komponentti on VPN client - ohjelmisto, joka asennetaan jokaiseen VPN-yhteyttä käyttävään koneeseen. Ohjelmisto enkapsuloi ja salaa liikenteen ennen sen lähettämistä Internetin yli VPN-tunneliin. Jotkin VPN-vaihtoehdot voivat vaatia käyttäjiä asentamaan tietyn sovelluksen. Ohjelma muodostaa tunneliyhteyden NAS:iin, johon käyttäjä viittaa osoitteella. Tunnelointiin voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia protokollia: SSL:ää (Secure Socket Layer) ja IPSeciä (Internet Protocol Security). Ohjelma myös suorittaa salauksen, jotta yhteys pysyy turvallisena. [22.]

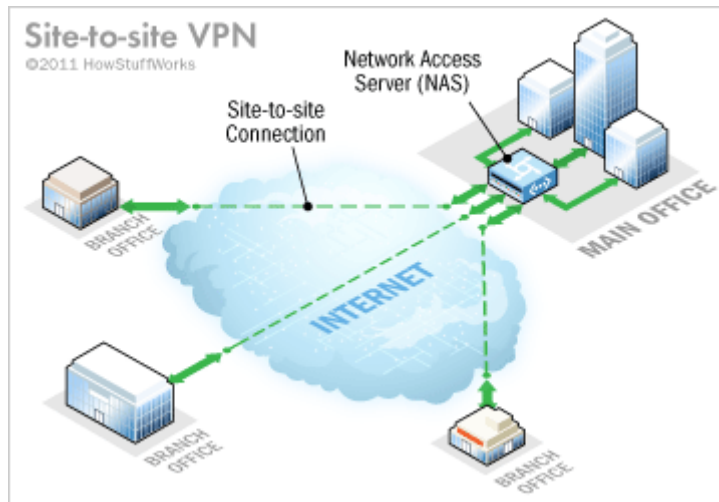
VPN-yhteyden voi myös toteuttaa clientless-muodossa, jossa koneisiin ei tarvitse asentaa mitään ylimääräisiä ohjelmistoja. Clientless VPN toimii selaimen kautta, joten sillä voidaan käyttää ainoastaan verkkosivuja ja selainpohjaisia sovelluksia. Clientless VPN on SSL VPN:n erikoistapaus, jonka perusteella sitä voidaan kutsua myös SSL VPN -portaaliksi. Clientless-muodossa käytetään SSL (Secure Socket Layer) -protokollaa salaukseen. [23.]

Yritykset ostavat ja ylläpitävät monesti omia VPN-yhteyksiään. Yritykset voivat myös halutessaan ulkoistaa VPN-palvelunsa esim. operaattorille. Operaattori ylläpitää NASia yrityksen puolesta. Erityistapauksena on hieman VPN-yhteyksistä poikkeava Direct Access. [22.]

DA (Direct Access) on IPseciä käyttävä VPN-teknologia, joka yhdistää käyttäjät automaattisesti yrityksen verkkoon. DA-yhteys muodostetaan automaattisesti, kun kone muodostaa yhteyden Internetiin eli käyttäjän sijainnilla ei ole merkitystä. DA-yhteyttä ei tarvitse erikseen käynnistää ja lopettaa toisin kuin VPN-yhteyksiä. Direct Access muodostaa IPsec-tunneleita käyttäjän ja Direct Access - palvelimen välille. Kaikki liikenne sisäverkkoon on salattu käyttäen IPseciä ja enkapsuloitu IPv4-paketteihin. Tämän ansiosta useimmissa tapauksissa palomureja tai proxyjä ei tarvitse erikseen konfiguroida. DA on ensisijaisesti suunniteltu IPv6-osoitteille ja toissijaisesti IPv4-osoitteille. Direct Access client voi käyttää esimerkiksi seuraavia teknologioita siirtämään IPv6-paketteja IPv4-verkoissa: 6to4, Teredo tai IP-HTTPS. [24.]

3.3.2 Site-to-Site

Site-to-site VPN:ksi sanotaan sellaista toteutusta, jossa kaksi LAN:a yhdistetään VPN:n avulla. Site-to-site VPN mahdollistaa toimipisteiden käyttää toistensa resursseja hyödykseen. Liikenteen osalta voidaan sallia esimerkiksi kaikki liikenne tai vain yhden sovelluksen liikenne. Vaikka site-to-site VPN:n tarkoitus on erilainen kuin remote access VPN:n, voivat ne käyttää samaa VPN gatewaytä ja Internet-palomuuria. Site-to-site VPN:n käytössä työasemille ei tarvitse erikseen asentaa VPN client - ohjelmistoa, vaan liikenteen ohjaus ja salaus tapahtuu VPN gatewayn kautta. [22.]



Kuva 6. Site-to-site VPN havainnollistus [22.]

DMVPN (Dynamic Multipoint Virtual Private Network) on dynaaminen, Ciscon verkkolaitteiden tukema ratkaisu skaalautuvien IPsec VPN:ien rakentamiseksi. Tekniikka on kehitetty suuria, salausta vaativia ja usein muutoksessa olevia verkkoja varten. Tämän tyyppisten verkkojen VPN-yhteyksien luonti ja ylläpito voi olla perinteisillä menetelmillä haasteellista, ja se vie aikaa. [25.]

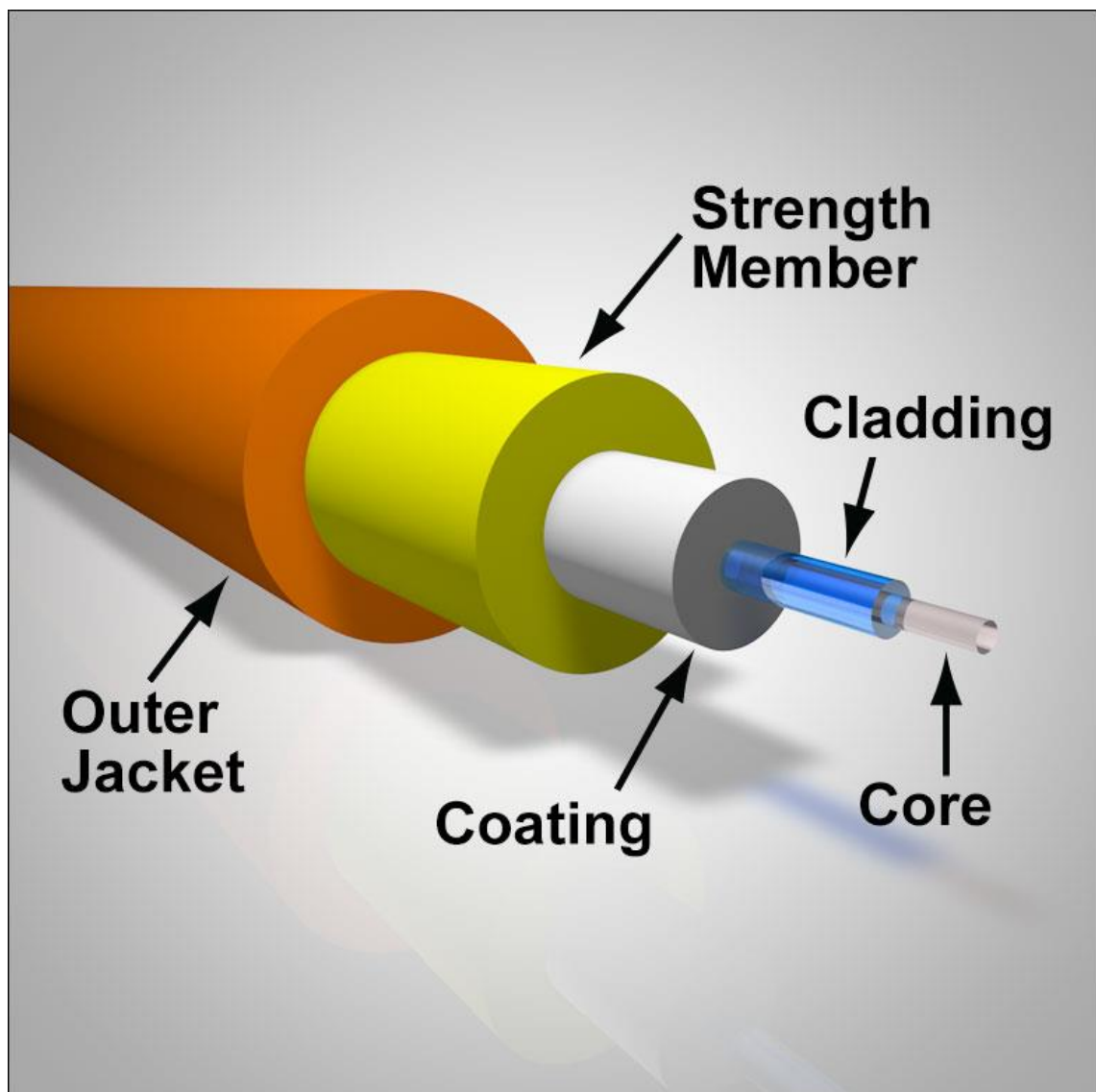
DMVPN on useiden tekniikoiden yhdistelmä, jossa pohjimmaisin komponentti on multipoint GRE -tunneli. Point-to-point GRE -tunnelissa aliverkotettu tunnelin osoite sidotaan manuaalisesti muun verkon löydettävissä olevaan porttiin ja sen osoitteeseen, tavallisimmin laitteen ulkoverkon porttiin tai loopback-interfaceen. Multipoint GRE -tunnelissa tehdään vastaavanlainen sidonta kuin point-to-point-tunnelissa. Tunnelin toinen pää jätetään kuitenkin auki. Multipoint GRE -tunnelien toimiessa samassa aliverkossa tunnelin toisia päitä on useita. Tunnelin kohteita on yhtä paljon kuin käytetyssä aliverkossa on muita host-osoitteita. [25.]

3.4 Kuituyhteydet

Valokuitu koostuu ytimestä (core), ydintä ympäröivästä kuoresta (cladding) ja pinnoitteesta (coating). Valo kulkee halkaisijaltaan 5–10 mikrometriä paksussa ytimestä heijastumalla päästä päähän. Kuidut valmistetaan lasista, jonka on oltava erittäin puhdas, koska valokuituyhteydet ovat tavallisesti pituudeltaan useita kilometrejä. Yksimuoto-kuidulle tarkoitetut moduulit tukevat linkkejä 11 kilometriin asti. Moduuleja saa myös

pidemmille matkoille, mutta tällöin tarvitaan vahvistimia, jotta alkuperäinen lähetystaso voidaan säilyttää. Vahvistimet on tavallisesti valmistettu lasikuidusta. [27.]

Monimuotokuitujen ytimet ovat halkaisijaltaan 50–70 mikrometriä. Monimuotokuidussa valo kulkee heijastumalla sekä taittumalla kuidun ytimen ja lasikuoren rajapinnasta. Lyhyille yhteyksille valokuituja valmistetaan myös muovista. Edullisilla ja helppokäyttöisillä muovikuiduilla yhteyksien pituudet ovat korkeintaan satojen metrien mittaisia. Rakennuskaapeloinnissa monimuotokuiduilla tehdään kerrosten väliset siirtymät. Rakennusten välillä voidaan myös käyttää monimuotokuitua, mikäli etäisyys ei kasva liian suureksi. Monimuotokuituluokat (OM1, OM2, OM3, OM3+ (tai OM4)). [27.]



Kuva 7. Valokuidun rakenteen havainnollistaminen [26.]

Taulukko 1. Yksimuotokuitujen ominaisuuksia [26.]

Kategoria (ISO/IEC 11801)	Siirtonopeus	Suurin pi- tuus	Lisähuomautuksia
OS1/OS2	10 Gb	10 km	9/125 µm (Laser) aallonpituus 1310 nm
OS1/OS2	10 Gb	40 km	9/125 µm (Laser) aallonpituus 1550 nm

Taulukko 2. Monimuotokuitujen ominaisuudet [26.]

Kategoria (ISO/IEC 11801)	Siirtonopeus	Suurin pi- tuus	Lisähuomautuksia
OM1	100 Mb	2000 m	62,5/125 µm (LED)
OM1	1 Gb	300 m	62,5/125 µm (Laser)
OM1	10 Gb	33 m	62,5/125 µm (Laser)
OM2	10 Gb	82 m	50/125 µm (Laser)
OM3	1 Gb	1000 m	50/125 µm (Laser)
OM3	10 Gb	300 m	50/125 µm (Laser)

OM3+	10 Gb	550 m	50/125 μm (Laser)
OM3+ (OM4)	40 Gb	100 m ?	50/125 μm (Laser)
OM3+ (OM4)	100 Gb	? m	50/125 μm (Laser) IEEE standardi n. 2010

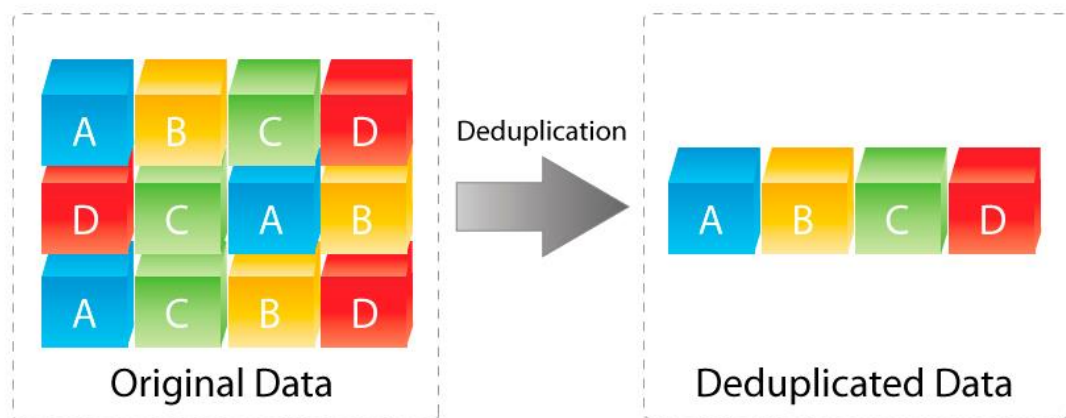
Valokuituyhteys on vakaa, ei pätki eikä yhteysnopeus vaihtele samaan tapaan kuin langattomissa tai modeemiyhteyksissä. Valokuituyhteyden nopeutta voidaan tarvittaessa nostaa tai laskea. Varsinkin nopeutta nostettaessa voidaan taata, ettei nopean yhteyden saanti kaadu esimerkiksi keskitinettäisyyksiin. [28.]

4 WAN-optimointimenetelmät

4.1 Deduplikointi

Deduplikointi on päällekkäisen tiedon poistamista. Deduplikoinnissa jokainen samanlainen datablokki tallennetaan vain kerran. Päällekkäisiä tietoja käytetään kuitenkin viittaamaan tallennettuun tietoon. Deduplikoinnilla voidaan merkittävästi vähentää tallennustilan tarvetta ja kaistan käyttöä lähetysten yhteydessä. Deduplikointiprosessi hyödyntää hash-tiivisteitä päällekkäisten tietojen tunnistamiseen. Joissakin tapauksissa kaksi eri tiedonpalasta voi generoida saman hash-koodin, josta seuraa törmäyksiä. Törmäysten sattuessa osa tiedosta voi vaurioitua tai tuhoutua kokonaan. Törmäysten todennäköisyys on pieni, mutta aina suurempi kuin nolla. [29.]

Tyypillisimpiä deduplikointikeinoja on tiedon-, tiedostojen- ja tietolohkojen deduplikointi. Tiedon deduplikointi on näistä eniten käytetty vaihtoehto, koska se toimii tiedosto-, tietolohko- ja bittitasolla. Tiedostojen deduplikoinnissa ylimääräisten tiedostokopioiden määrää vähennetään. Tietolohkojen deduplikointi suoritetaan tiedoston sisältöön, joka käsitellään hash-algoritmeilla ja tallennetaan tämän jälkeen. Päivitettyjä tiedostoja verrataan aiempaan versioon ja ainoastaan muuttuneet osat tallennetaan. [29.]



Kuva 8. Deduplikoinnissa jokainen datablokki tallennetaan vain kerran [30.]

4.2 Latenssin vähentäminen

Latenssiksi sanotaan verkossa tapahtuvaa viivettä eli aikaa, joka paketilta kuluu lähettäjän ja vastaanottajan väliseen edestakaiseen matkaan. Latenssia esiintyy jopa valoa käytettäessä. Tästä syystä jokaisessa verkossa esiintyy normaalilagenssia. Normaalilagenssi on kuitenkin pienempää verrattuna verkoissa olevaan kokonaislatenssiin nähden. Latenssilla on hyvä mitata verkon suorituskykyä, koska jos keskenään keskustellevien laitteiden välille tulee ongelmia, ilmenee se kasvaneena latenssina. [31.]

Suurin osa verkon latenssista aiheutuu siinä olevista laitteista kuten esimerkiksi reitittimistä ja palomuuereista. Latenssin optimointi olisikin aina hyvä lisätä verkon toiminnan parannussuunnitelmaan. Erilaisia algoritmeja on kehitetty latenssin optimointia varten esimerkiksi TCP Tahoe ja Reno, TCP Vegas ja TCP Hybla. Paras suorituskyky saadaan, kun kaistanleveyden lisäys yhdistetään latenssin optimoinnin kanssa. [31.]

TCP Tahoe ja Reno ovat TCP ruuhkanhallinta-algoritmeja. Molemmat Tahoe ja Reno tulkitsevat aikakatkaisusta johtuvan uudelleenlähetyksen ja monistuneet ACK-paketit pakettihäviöksi, mutta niiden reaktiot monistuneisiin ACK-paketteihin ovat erilaisia. [31.]

- Tahoe: Monistuneiden ACK-pakettien tapauksessa Tahoe suorittaa nopean uudelleenlähetyksen (fast retransmit), asettaa hitaan aloituksen (slow start) kynnyksen puoleen ikkunan koosta, pienentää ikkunan koon 1 MSS:ään (Maximum Segment Size) ja uudelleenasettuu hitaan aloituksen tilaan.

- Reno: Monistuneiden ACK-pakettien tapauksessa Reno suorittaa nopean uudelleenlähetyksen ja jättää hitaan aloituksen vaiheen välistä. Väliinjättämisen sijasta Reno puolittaa ikkunan koon, asettaa hitaan aloituksen kynnyksen samaksi kuin uuden ikkunan koon ja siirtyy nopean toipumisen (Fast Recovery) tilaan.

Molemmissa algoritmeissa, jos ACK aikakatkaistaan, käytetään hitaan aloituksen tilaa, ja molemmat algoritmit pudottavat ikkunan koon yhteen MSSään. Nopean toipumisen tilassa (vain Renossa) TCP uudelleenlähettää puuttuvan paketin ja odottaa kuittausta koko ikkunasta ennen kuin se palaa ruuhkanhallintatilaan. Jos kuittausta ei tapahdu, TCP Reno aikakatkaisee lähetyksen ja siirtyy hitaan aloituksen tilaan. [31.]

TCP Vegas on myös ruuhkanhallinta-algoritmi, mutta se käyttää latenssin optimoinnin perustana pakettien viivettä. TCP Vegasin toiminta perustuu todellisen viiveen ja odotetun viiveen suhteeseen. Ikkunan kokoa muutetaan perustuen laskutoimituksen tuloksiin. Kun ikkunaa kasvatetaan, läpimenoajan odotetaan kasvavan, koska siirrettävää on enemmän. Jos taas läpimenoaika pienenee, voidaan olettaa verkossa olevan enemmän resursseja ja ikkunaa kasvatetaan seuraavan paketin lähetykseen. TCP hybridi on puolestaan kehitelty tasaamaan satelliittiyhteyksissä tapahtuvaa suurta viiveen vaihtelua. [31.]

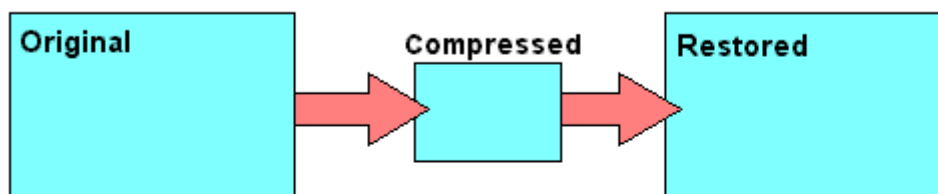
4.3 Pakkaaminen

Pakkaaminen on tekniikka, jolla tiedostokokoa voidaan pienentää levytilaa säästääkseen tai kaistankäyttöä vähentääkseen. Pakkaaminen on prosessi, jossa tieto koodataan käyttäen erilaisia pakkausohjelmia. Tiedostot ovat tavallisesti pakattu zip-, gzip- tai rar-tiedostotyyppeihin. Pakkausprosessi sisältää kaikkien lisämerkkien kuten välilyöntien poiston ja samojen merkkijonojen ilmaisemisen yhdellä merkillä. Pakkausprosessissa usein toistuvat merkit korvataan pienemmillä bittijonoilla. Näiden tekniikoiden avulla tiedoston kokoa voidaan pienentää jopa puoleen alkuperäisestä. Pakkausohjelmat käyttävät erilaisia algoritmeja pakkauksen toteutukseen. Samaa algoritmia käytetään myös pakatun tiedon purkamiseen. [32.]

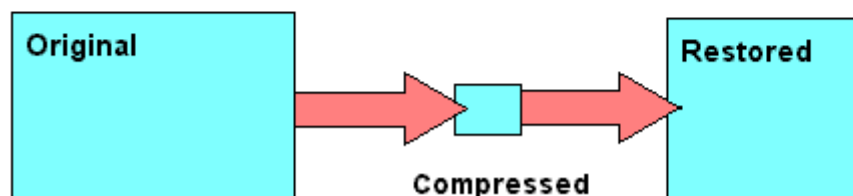
Pakkaus voidaan jakaa kahteen luokkaan: häviölliseen ja häviöttömään. Häviöllisessä pakkauksessa on mahdollista menettää pysyvästi osa tiedosta, mutta häviöttömässä tietoa ei katoa. Häviötöntä pakkausta käytetään, kun tietojen täytyy olla tarkkoja purkamisen jälkeen. Häviötöntä pakkausta käytetään esimerkiksi arkistoinnissa ja kuvien

ja videoiden tallennuksessa. Häviöllinen pakkaus pienentää tiedoston kokoa poistamalla siitä informaatiota, jolloin purkamisen jälkeen tiedosto ei ole enää alkuperäisen näköinen. [32.]

LOSSLESS



LOSSY



Kuva 9. Häviöttömän ja häviöllisen pakkaamisen eroavaisuudet [33.]

4.4 Välimuisti

Välimuisti on tietokoneen yksi tallennuspaikka, josta tietoja voidaan hakea nopeammin kuin keskusmuistista. Aina kun tietoa haetaan, tarkastetaan ensin, löytyykö kyseinen tieto välimuistista. Välimuistin osumaksi kutsutaan tapahtumaa, jossa haettu tieto löytyy välimuistiin tallennettuna. Jos tietoa ei löydy välimuistista, se haetaan hitaammasta muistista ja talletetaan samalla välimuistiin. Tätä kutsutaan välimuistihudiksi. Välimuistin ollessa täysi uusi tieto syrjäyttää vanhemman tiedon. Jos muistioperaatioita on paljon, voi tuorekin tieto kadota sieltä, jolloin se pitää hakea uudestaan hitaammasta muistista. [34.]

Välimuistin osumien suhdetta kaikkien muistioperaatioiden määrään kutsutaan välimuistin osumatarkkuudeksi. Välimuistista saa suurimman hyödyn, kun suurin osa muistihauista osuu dataan, joka on jo välimuistissa. Välimuistin suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat välimuistin haku aika osuman sattuessa sekä hudista aiheutuva viive. Muita välimuistin suorituskykyyn vaikuttavia seikkoja ovat mm.

- koko

- assosiatiivisuus
- lohkokoko
- korvauspolitiikka
- kirjoituspolitiikka.

Välimuistityyppejä on olemassa useita erilaisia mm. käyttöjärjestelmän levyvälimuisti, kovalevyn sisäinen välimuisti, www-selaimen välimuisti, DNS-välimuisti ja uudemmissa reitittimistä löytyvä sisällön välimuisti (content cache). [34.]

Content cachen toimintaperiaate on samantapainen kuin www-selaimen välimuistin, mutta sen sijaan, että tieto tallennettaisiin selaimen välimuistiin, se tallennetaankin reitittimen välimuistiin. Suurena hyötynä tästä saadaan se, että siitä hyötyy useampi käyttäjä samanaikaisesti toisin kuin selaimen välimuistissa, jossa vain koneen käyttäjä itse hyötyy siitä. Verkosta haettu tieto tallennetaan reitittimen välimuistiin, jolloin kaikki käyttäjät samassa verkossa hyötyvät siitä, ja vain uuden tiedon joutuu hakemaan Internetistä. Tämä parantaa merkittävästi verkon suorituskykyä ja säästää kaistankäyttöä. Täytyy kuitenkin muistaa, että muistin määrä on rajallinen, joten rajattomasti tietoa ei välimuistiin pysty tallentamaan. Välimuistina reitittimet käyttävät USB-flashia. [35.]

4.5 Sovelluskiihdytys

WAN-kiihdyttimet ovat verkon kumpaankin päähän asennettavia laitteita. Ne optimoivat ja kiihdyttävät verkon toimipisteiden välillä. WAN-kiihdytys hyödyntää pakkausta ja verkkovälimuistia. Koska kaikki tieto esitetään bitteinä ja erilaisia bittiyhdistelmiä on valtava määrä, voidaan tieto pakata hyvinkin pieneksi. Verkkovälimuisti vaikuttaa nopeutumiseen siten, että liikenteestä otettavat näytteet tallennetaan lähettävän ja vastaanottavan laitteen muistiin. Kun sama tieto kulkee uudelleen laitteen läpi, voidaan siihen viitata vähemmän tilaa vievällä merkinnällä. WAN-kiihdytyksen päätarkoitus on saada tieto perille mahdollisimman nopeasti, johon pyritään pakkaamalla tieto mahdollisimman tiiviiksi ja vähän kaistaa kuluttavaksi. Osa WAN-kiihdyttimistä kiihdyttää kaikkea liikennettä ja jotkin kiihdyttimet vain tietyn tyyppistä liikennettä. Erilaisilla ratkaisuilla on erilaiset vahvuudet, joten ne eivät välttämättä sovi kaikkiin yrityksen tarpeisiin.

5 Yhteystapojen vertailu

Tässä luvussa vertaillaan erilaisia WAN-yhteystyyppejä, joita Vantaan kaupungilla on käytössä tai on mahdollista saada hankittua operaattorilta. Yhteystapojen soveltuvuutta vertailen pääasiassa MPLS:n, kuituyhteyksien ja 4G:n välillä. VPN-yhteydet on myös otettu huomioon vaikka niitä ei ole taulukkoon listattu. Taulukkoon 3 olen listannut hyviä ja huonoja puolia MPLS:stä, 4G:stä ja valokuituyhteyksistä.

Taulukko 3. Liityntäyhteystyyppien hyviä ja huonoja puolia.

MPLS (kupariliityntäyhteydet)	MPLS (kuituliityntäyhteydet)	4G	Oma kuitu
+ Halpa hinta	+ Nopeammat yhteydet kuin muilla vaihtoehdoilla.	+ Toimii kaikkialla, missä on signaalia.	+ Voidaan itse hallinnoida kuidun käyttöä.
+ Helppo asentaa.	+ Vakaa yhteys	+ Hyvä valinta paikkaan, jossa ei ole kiinteää verkkoa.	+ Nopeutta voidaan nostaa laitteistoa säätämällä.
+ Vaurioita kestävä	+ Nopeutta voidaan nostaa tai laskea tarpeen mukaan.	+ Hyvä valinta henkilölle, joka joutuu työnsä puolesta liikkumaan paljon.	+ Pienempiä, kevyempiä ja helpommin käsiteltävissä kuin kuparikaapelit.
- Häiriöherkempi kuin muut vaihtoehdot.	- Kalliit asennuskustannukset.	- Yhteys voi ajoitain olla epävakaata.	- Ohuutensa takia herkkä rikkoutumaan

- Ominaisuuksiltaan muita liityntävaihtoehtoja jäljessä.	- Ongelmatilanteiden korjaus vie enemmän aikaa.	- Katvealueet	- Asennuskustannukset voivat nousta suuriksi.
--	---	---------------	---

MPLS-verkon liityntäyhteydet voidaan toteuttaa kuparilla, kuidulla tai 4G:llä. Kupari on vanhin näistä vaihtoehtoista, ja se onkin syrjäytymässä kuidun ja 4G:n tieltä. Ominaisuuksiltaan kupari on uudempia teknologioita jäljessä. Kuparikaapelit vaativat enemmän tilaa ja ovat alttiimpia virheille kuin kuidut. Kuparin suurin etu on kuitenkin sen halpa hinta.

Kuituyhteyksien hinnat vaihtelevat sen mukaan, vuokrataanko kuitu operaattorilta vai käytetäänkö itse hankittua kuitua. Omien kuitujen käyttö on kallista, koska kuitua joutuu hankkimaan itse. Ylläpitokustannukset ovat kuitenkin halpoja. Toisin kuin omien kuitujen käytössä, vuokrakuiduilla ylläpitokustannukset ovat kalliita. Hintaan vaikuttaa myös SLA-sopimuksen taso. SLA-sopimuksia on kolmen tasoisia SLA 3, SLA 2 ja SLA 1, joista SLA 2:sta on kaksi eri muotoa SLA 2-24/7 ja SLA 2-14/6. Kokonaishinta muodostuu siis yhteyden nopeudesta ja SLA-sopimuksen tasosta. SLA-sopimus ei vaikuta asennushintaan, ainoastaan kuukausimaksun suuruuteen.

Omien kuitujen käyttö yhteyksiä toteutettaessa on huomattavasti halvempi vaihtoehto kuitujen vuokraamiseen nähden. Oma kuitua käytettäessä voi nopeudeksi yhteydelle saada vain 100 Mbit/s tai 1 Gbit/s. Vaikka 100 Mbit/s yhteydessä liityntämaksu on vuokrakuitua kalliimpi, maksaa se itsensä takaisin pidemmällä aikavälillä halvemman kuukausimaksun ansiosta. Verrattuna 4G-yhteyteen kuidun käyttö on kalliimpaa.

Yhteyksien hinta on oleellinen osa niiden kannattavuutta. 4G-yhteyksistä on matkapuhelimiin saatavissa useita vaihtoehtoja. 4G matkapuhelinliittymät ovat kustannuksiltaan halpoja. LTE-yhteys on saatavana 10 Mbit/s, 50 Mbit/s ja 100 Mbit/s nopeuksilla, joiden kokonaishinta muodostuu asennushinnasta ja kuukausimaksusta. Kuuluvuuden takaamiseksi täytyy toimipisteeseen tilata ja asentaa tukiasemia ja suorittaa kuuluvuus-kartoitus asennusten jälkeen. Sekä kiinteän yhteyden että langattoman yhteyden voi jakaa toimipisteessä tukiasemien välityksellä. 4G-yhteyksien liityntäkustannukset ovat halpoja ja jatkuvat kulut myös halpoja.

MPLS-verkko kattaa suuren osan Vantaan kaupungin toimipisteistä. Toimipisteet liitetään MPLS-verkkoon liittämällä toimipisteen reititin MPLS-verkon reunareitittimeen. Yksi MPLS:n hyvistä puolista onkin sen skaalautuvuus. MPLS-verkon sisällä pakettien reititys on nopeampaa kuin tavallisessa IP-verkossa. IP-reititys on kuitenkin edellytys MPLS:n toiminnalle. MPLS-verkon reunareitittimet liittävät paketteihin leiman, jonka perusteella kaikki muut verkon reitittimet osaavat ohjata paketit eteenpäin kohteeseensa. Ketjun viimeinen reunareititin poistaa leiman ja ohjaa paketin kohdeosoitteeseen. IP-verkoissa jokainen reititin katsoo reititystaulusta seuraavan osoitteen ennen kuin paketti ohjataan eteenpäin. Tähän kuluu enemmän aikaa kuin MPLS-verkon reitityksessä. Quality of Servicen avulla voidaan taata tietyn tyyppisen liikenteen priorisointi verkossa, jolloin esimerkiksi videoneuvotteluihin voidaan varata sopiva määrä kaistaa, jotta vältetään häiriöitä.

4G-yhteys on yleensä huonompi vaihtoehto kuin muut yhteystavat, mutta poikkeuksiaakin on. Seuraavassa kolme esimerkkiä tilanteista, joissa 4G on suositeltu yhteysvaihtoehto. Yhteys sopii erityisesti sellaisiin toimipisteisiin, joiden liittäminen MPLS- tai kuituverkkoon tulisi liian kalliiksi. Väistötiloihin se on parempi valinta, koska henkilöt työskentelevät tiloissa vain väliaikaisesti. Myös, jos henkilöt joutuvat liikkumaan eri toimipisteiden välillä, on 4G-yhteys parempi valinta. Esimerkki tällaisesta tapauksesta voisi olla liikuntapaikkojen hoitaja, jolla on useampi liikuntapaikka hoidettavanaan. 4G:n ongelmiin lukeutuvat sen hitaammat nopeudet verrattuna kuitu- ja MPLS-yhteyksiin, yhteyden epävakaas, katvealueet ja yhteyksille saatavat alhaisemmat SLA-sopimukset. 4G-yhteys ei sovi pääyhteydeksi kriittisiin toimipisteisiin epävakaautensa takia. Kriittisiä toimipisteitä ovat sairaala ja terveysasemat.

VPN-ratkaisuista kaupungilla on käytössä Microsoftin Direct Access, client VPN - ohjelmisto ja DMVPN. Ensisijaisesti käytetään Direct Accessia. Client VPN-ohjelmistoa käytetään siinä tapauksessa, jos käytetty ohjelma tai sovellus ei toimi Direct Accessin kautta. Client VPN-ohjelmiston saa ladattua ja asennettua kaupungin verkosta kaupungin tunnuksilla. Direct Accessin yhden edun huomaa välittömästi, kun konetta käyttää etänä. Yhteyttä ei tarvitse erikseen muodostaa ja lopettaa, vaan se muodostetaan automaattisesti koneen ollessa yhteydessä verkkoon. Näin ollen se on käyttäjäystävällisempi kuin client VPN - ohjelmisto, jossa yhteys täytyy joka kerta muodostaa ja lopettaa manuaalisesti. Direct Access on myös helppo pitää ajan tasalla, sillä ylläpitäjä voi päivittää ja hallita järjestelmää, vaikka käyttäjä ei olisi kirjautuneena koneelle. Kustannuksiltaan Direct Access on halvempi kuin client VPN. Mahdollisten sovellusten yh-

teensopivuusongelmien lisäksi Direct Accessin huonona puolena voidaan pitää sitä, että se toimii ainoastaan Windows-työasemissa.

6 Johtopäätökset

Sopivimman WAN-yhteystavan valinta vaati aina tapauskohtaisen tarkastelun. Kuituyhteyksien kustannuksia arvioitaessa on hyvä ottaa huomioon, käytetäänkö omia vai operaattorilta vuokrattuja kuituja. Seuraavia kysymyksiä on hyvä pohtia ennen yhteyden tilaamista:

- Onko toimipiste toiminnaltaan kriittinen?
- Toimiiko toimipiste väistötilana?
- Jatkuuko toimipisteen käyttö samanlaisena tulevaisuudessa?
- Montako henkilöä toimipisteessä työskentelee?
- Joutuvatko henkilöt liikkumaan työn puolesta?
- Minkälainen laitekanta toimipisteessä on käytössä?
- Paljonko eri yhteystavat maksavat toimipisteeseen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä?
- Minkä tasoinen SLA-sopimus yhteydelle halutaan?

Valokuidun käyttö yhteyksien toteutuksessa on syrjäyttämässä kuparikaapeleiden käytön. Kuidun paremmat ominaisuudet ja jatkunut hinnan alentuminen ovat tehneet siitä houkuttelevan vaihtoehdon kupariin nähden. Kaikki kupariyhteydet tuskin tulevat kuitenkaan katoamaan, sillä niillä pystytään edelleen täyttämään monenlaisia tarpeita. Mobiiliyhteydet eivät vielä pysty kilpailemaan kuituyhteyksien kanssa ominaisuuksissa, mutta 5G-yhteyksien myötä tilanne saattaa tulevaisuudessa muuttua. Mobiiliyhteyksien toimintavarmuuden parantuessa niistä voi tulla merkittävä kilpailija kiinteille yhteyksille.

Uusia tekniikoita tulee markkinoille tulevaisuudessa, mutta jää nähtäväksi, tulevatko ne syrjäyttämään vanhemmat, vallassa olevat tekniikat.

Lähteet

- 1 Circuit Switching, Wikipedia. Verkkodokumentti.
https://en.wikipedia.org/wiki/Circuit_switching (Luettu 15.8.2016).
- 2 Yuris Socio Perestroika. 2012. Circuit Switching vs Packet Switching. Verkkodokumentti. <http://blog.ub.ac.id/yucio/2012/03/09/circuit-switching-vs-packet-switching/> (Luettu 27.9.2016).
- 3 Pakettikytkentä, Wikipedia. Verkkodokumentti
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Pakettikytkent%C3%A4> (Luettu 11.8.2016).
- 4 Garry Fairhurst. 2001. Packet Switching. Verkkodokumentti.
<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/intro-pages/ps.html> (Luettu 11.8.2016).
- 5 Connection Oriented vs Connectionless Service, Wikiversity. 2012. Verkkodokumentti. https://en.wikiversity.org/wiki/Collaborative_computing/Connection-oriented_vs._connectionless_service (Luettu 3.8.2016).
- 6 Service Level Agreement, Wikipedia. Verkkodokumentti.
https://en.wikipedia.org/wiki/Service-level_agreement (Luettu 14.9.2016).
- 7 Wide Area Network, Wikipedia. Verkkodokumentti.
https://en.wikipedia.org/wiki/Wide_area_network (Luettu 18.7.2016).
- 8 La Empresa Y Redes Lan / Wan. 2013. Verkkodokumentti.
<https://carolinapinilla.wordpress.com/2013/04/26/la-empresa-y-redes-lan-wan/> (Luettu 27.9.2016).
- 9 Osi-malli, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli> (Luettu 27.9.2016).
- 10 Institute of Electrical and Electronics Engineers, Wikipedia. Verkkodokumentti.
https://en.wikipedia.org/wiki/Institute_of_Electrical_and_Electronics_Engineers (Luettu 20.7.2016).
- 11 About the IETF. Verkkodokumentti. <http://www.ietf.org/about/> (Luettu 20.7.2016).
- 12 About ISO. Verkkodokumentti. <http://www.iso.org/iso/home/about.htm> (Luettu 20.7.2016).
- 13 ITU-T in brief. Verkkodokumentti. <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/Pages/default.aspx> (Luettu 20.7.2016).

- 14 About the IEC. Verkkodokumentti. <http://www.iec.ch/about/> (Luettu 20.7.2016).
- 15 Multiprotocol Label Switching, Wikipedia. Verkkodokumentti. https://en.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching (Luettu 28.7.2016).
- 16 Sahng Oh. MPLS. 2011. Verkkodokumentti. <http://sahngoh.tistory.com/31> (Luettu 27.9.2016).
- 17 4G, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://en.wikipedia.org/wiki/4G> (Luettu 29.7.2016).
- 18 UMTS, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/UMTS> (Luettu 2.9.2016).
- 19 Evolved High Speed Packet Access, Wikipedia. Verkkodokumentti. https://en.wikipedia.org/wiki/Evolved_High_Speed_Packet_Access (Luettu 5.9.2016).
- 20 Edge, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/EDGE> (Luettu 31.8.2016).
- 21 GPRS, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/GPRS> (Luettu 19.8.2016).
- 22 Jeff Tyson & Stephanie Crawford. How VPNs Work. 2011. Verkkodokumentti. <http://computer.howstuffworks.com/vpn.htm/printable> (Luettu 27.9.2016).
- 23 Georgia Tech. Clientless SSL VPN. Verkkodokumentti. <http://www.oit.gatech.edu/service/vpn/clientless-ssl-vpn> (Luettu 27.9.2016).
- 24 Direct Access, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://en.wikipedia.org/wiki/DirectAccess> (Luettu 28.9.2016).
- 25 Cisco IOS DMVPN Overview. 2008. Verkkodokumentti. http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/security/dynamic-multipoint-vpn-dmvpn/DMVPN_Overview.pdf (Luettu 27.10.2016).
- 26 Thorlabs. General Fiber Overview. Verkkodokumentti. https://www.thorlabs.us/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup_ID=2410 (Luettu 27.9.2016).
- 27 Valokuitu, Wikipedia. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Valokuitu> (Luettu 16.8.2016).
- 28 Kasenet. Valokuitu. Verkkodokumentti. <http://www.kasenet.fi/?sivu=valokuitu&va=palvelut> (Luettu 9.9.2016).

- 29 WAN Deduplication. Verkkodokumentti.
<http://wanoptimization.org/deduplication.php> (Luettu 5.8.2016).
- 30 Josh Odgers. Deduplication ratios – What should be included in the reported ratio? 2015. Verkkodokumentti.
<http://www.joshodgers.com/2015/01/03/deduplication-ratios-what-should-be-included-in-the-reported-ratio/> (Luettu 27.9.2016).
- 31 Latency Optimization – Network Performance. Verkkodokumentti.
http://www.wanoptimization.org/latency_opt.php (Luettu 5.8.2016).
- 32 WAN Optimization Compression. Verkkodokumentti.
<http://wanoptimization.org/compression.php> (Luettu 6.8.2016).
- 33 Digitalfoundations. Compression. 2013. Verkkodokumentti.
<http://teaching.paganstudio.com/digitalfoundations/?cat=11> (Luettu 27.9.2016).
- 34 Välimuisti, Wikipedia. Verkkodokumentti.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4limuisti> (Luettu 8.9.2016).
- 35 Content Caching on Sputnik-Powered Devices: How-To. 2011. Verkkodokumentti.
<https://www.sputnik.com/news/files/5d1af657c4dde764bb0f5a7a90cfa293-7.php> (Luettu 28.9.2016).