



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ

**ATM-TEKNIIKAN KORVAAMINEN ETHERNET-
TEKNIKALLA TELEOPERAATTORIN
ALUEDATAVERKOSSA**

Kai Kanninen

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma
Toukokuu 2008
Työn ohjaaja: Harri Hakonen

TAMPERE 2008



Tekijä(t)	Kai Kanninen	
Koulutusohjelma(t)	Tietojenkäsittely	
Opinnäytetyön nimi	ATM-tekniikan korvaaminen Ethernet-tekniikalla teleoperaattorin aluedataverkossa	
Työn valmistumis- kuukausi ja -vuosi	Toukokuu 2008	
Työn ohjaaja	Harri Hakonen	Sivumäärä: 52

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyöni on tehty Elisa Oyj:n (myöhemmin Elisa) toimeksiannosta. Tarkoituksena tällä työllä on ollut tuottaa koulutusmateriaalia toimeksiantajan teknilliselle asiakastuelle teleoperaattoreiden dataverkoissa tapahtuvasta muutoksesta sekä selvittää teleoperaattorin laajakaistaverkon infrastruktuuria, jolla voidaan tarjota ADSL-liittymiä kuluttaja-asiakkaille.

Elisa on juuri toteuttamassa omassa dataverkossaan verkkouudistusta, jossa ATM-tekniikka korvataan Ethernet-tekniikalla aluedataverkossa. Tavoitteena tässä työssä on ollut selvittää tekniikan muutoksen syitä sekä uuden tekniikan hyötyjä että haasteita vanhaan tekniikkaan nähden.

Opinnäytetyössäni tarvittaviin tietoihin ja taitoihin pystyin hyödyntämään ja soveltamaan koulun tietoliikennekursseilla opittuja asioita. Elisan palveluasiantuntijana olen saanut myös käytännön kokemusta ADSL-tekniikasta. Työhön tarvittavaa aineistoa taas löysin kvalitatiivisia keinoja hyödyntämällä. Aineistona oli tietoliikennealan kirjoja sekä internet-lähteitä alan standardeista ja käytännöistä. Arvokkaana lähteenä työlle toimi myös Elisan Antti S. Salonen, jonka kanssa kävin sähköpostinvaihtoa työssä käsiteltävistä aiheista.

Työn tuloksena syntyi koulutuksessa hyödynnettävää materiaalia teleoperaattoreiden laajakaistaverkoista ja niissä käytettävästä verkkoinfrastruktuurista. Tämän lisäksi työssä käsitellään teleoperaattorin Ethernet-tekniikasta saamaa hyötyä, kun sillä korvataan ATM-tekniikka aluedataverkon tiedonsiirtotekniikkana. Ethernet-tekniikan avulla verkosta saadaan nopeampi ja kustannustehokkaampi. Dataverkkoon saadaan tuotua myös uusia palveluita. Esimerkiksi ryhmälähetysviestien avulla voidaan verkossa välittää videokuva paljon entistä tehokkaammin.

Työn tulokset ovat hyvin yleistettävissä muiden teleoperaattoreiden verkkoihin, koska työn aiheita on käsitelty yleisellä tasolla erikoistumatta kuitenkaan vain Elisan dataverkkoon. Tämä työn pohjalta voidaan kuitenkin tehdä tarkempi koulutusmateriaali, joka käsittelee ainoastaan toimeksiantajan dataverkkoa. Tällainen materiaali olisi kuitenkin jo luonteeltaan luottamuksellista.



Author(s)	Kai Kanninen	
Degree Programme(s)	Business Information Systems	
Title	Migration from ATM to Ethernet in a telecom operator's regional network	
Month and year	May 2008	
Supervisor	Harri Hakonen	Pages: 52

ABSTRACT

I started to work on this thesis on assignment from Elisa Oyj (later: Elisa). The main purpose of this thesis is to produce educational material for Elisa's technical customer support. The material deals with what kind of change is happening in the data networks of modern telecommunication companies. And also to find out what kind of network infrastructure is needed to be able to produce ADSL subscriber connections.

Elisa is now carrying out a migration in its data network. The company is replacing ATM-technology with an Ethernet in the regional networks. The goal of this thesis is to find out the reasons for this migration and the benefits that Ethernet will bring compared to ATM.

In this thesis I was able to use and apply my knowledge of telecommunication networks that I have learned in school. Also the information that I have learned from working in Elisa as a service expert was very helpful. The source material for this thesis was searched through qualitative means. The data I found was composed of literature and internet sources about telecommunication technology standards and practical use of different technologies. Also a valuable source was Antti S. Salonen, an employee in Elisa. With whom I discussed through email.

As a result of the work, this thesis can be used as an educational material. It describes how the telecommunication companies are producing broadband connections to customers, what kind of data networks are in use and what kind of network infrastructure is involved. The thesis also discuss what kind of benefits do the telecom operators get when they migrate from ATM to Ethernet in the regional networks. With the Ethernet the data network will be more faster and cost efficient. Also with the Ethernet there are more services available. For example, with the Ethernet's multicast support, the data network can relay video broadcasts much more efficient than the old ATM-network could.

The results of the thesis are quite easy to generalize to other data networks as well and they don't just apply to Elisa's network. This is because I'm discussing about the network technologies in a general level and to keep this thesis open to the public.

Keywords ADSL subscriber, Ethernet, ATM, Regional network, Broadband

Sisällysluettelo

SANASTOA	6
1 JOHDANTO	8
1.1 OPINNÄYTETYÖN TAUSTAA	8
1.2 TOIMEKSIANTAJA SEKÄ TYÖN TAVOITE	9
1.3 TYÖN RAJAUKSET	9
1.4 LÄHDEMATERIAALI	10
2 ADSL-TEKNIikka	11
2.1 JOHDATUS TEKNIikkaAN	11
2.2 MODULOINTI	11
2.3 SIIRTOMEDIANA PUHELINKAAPELI	12
2.4 ADSL-YHTEYDESSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEET	13
2.4.1 ADSL-modeemit	13
2.4.2 DSL-keskitin eli DSLAM	14
2.5 ADSL:N TULEVAISUUS JA KILPAILIJAT	15
3 ADSL-VERKON INFRASTRUKTUURI	16
3.1 OPERAATTORIN DATAVERKKO	16
3.2 PÄÄSYVERKKO	16
3.3 ALUEDATAVERKKO	17
3.4 RUNKOVERKKO	17
4 ATM-TEKNIikka	18
4.1 TAUSTAA	18
4.2 YLEISKUVAUS TEKNIikasta	18
4.3 LIITYNTÄTYYPIT	19
4.4 OSOITTEISTO	19
4.5 YHTEYSTYYPIT	20
4.6 PALVELUTASOT	20
5 ADSL-LIITTYMÄN TOTEUTUS ATM-ALUEDATAVERKON AVULLA	22
5.1 ADSL-LIITYNTÄYHTEYS	22
5.2 ATM-ALUEDATAVERKKO	23
5.3 RFC 2684	23
5.4 RFC 2684:N KÄYTTÖ ADSL-LIITTYMÄSSÄ	25
5.4.1 Siltaava kehystyyppi	25
5.4.2 Reitittävä kehystyyppi	26
5.5 KÄYTTÄJIEN TUNNISTUS – OPTIO 82	26
5.6 ADSL-LIITTYMIEN AGGREGOINTI ATM-VERKOSSA	27
6 ETHERNET-TEKNIikka	30
6.1 ETHERNETIN STANDARDOINTI	30

6.2 CSMA/CD	31
6.3 ETHERNET-KEHYS	31
6.4 VERKKOSEGMENTIT	32
6.5 VIRTUAALISET LÄHIVERKOT – VLAN.....	33
6.5.1 VLAN-tiedon välitys – GVRP.....	34
6.5.2 VLAN-palveluluokat – IEEE 802.1p	34
6.6 RYHMÄLÄHETYSVIESTIT – MULTICAST	35
7 ETHERNET-ALUEDATAVERKKO.....	36
7.1 ETHERNET OPERAATTORIEN KÄYTÖSSÄ	36
7.2 RFC 2684 KEHYSTYS ETHERNETILLE.....	36
7.2.1 Kehystys sillatulle Ethernetille.....	36
7.2.2 Kehystys reititetulle IP-protokollalle.....	37
7.3 LIITTYMÄKOHTAISET JA LIITTYMÄRYHMÄKOHTAISET VLAN:T	37
7.4 ETHERNET-ALUEDATAVERKON AGGREGOINTI	38
7.5 LIITTYMÄN TUNNISTUS ETHERNET-VERKOSSA	40
7.6 AGGREGAATIOVERKOSSA HUOMIOITAVAT TURVALLISUUSSEIKAT	41
7.6.1 MAC-Forced Forwarding.....	41
7.6.2 MAC-osoitteiden hallinta	43
7.6.3 IP-osoitteen väärentäminen – ”IP Spoofing”	44
8 VERKKOUUDISTUKSEN VAIKUTUKSET	45
8.1 ASIAKASLIITTYMIEN SIIRTÄMINEN UUTEEN TEKNIikkaAN.....	45
8.2 ADSL-MODEEMIEN YHTENSOVELTUVUUS UUDEN TEKNIIKAN KANSSA.....	45
8.3 ETHERNET-ALUEDATAVERKON HYÖDYT	45
8.4 ETHERNET-ALUEDATAVERKON HAASTEET	47
9 YHTEENVETO.....	48
9.1 HAASTEET	48
9.2 TULOKSET	48
9.3 LOPUKSI	49
9.4 KEHITYSEHDOTUKSIA.....	49
LÄHDELUETTELO.....	51

Sanastoa

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) epäsymmetrinen tiedonsiirtotapa tilaajalinjaa pitkin.

Aluedataverkko on teleoperaattorin verkko, joka koostuu fyysisistä kaapeleista sekä kytkimistä, ja joka kokoaa tietyltä maantieteelliseltä alueelta DSLAMien liikennevirrat yhteen. Joskus sitä kutsutaan myös aggregaatioverkoksi.

ATM (Asynchronous Transfer Mode) on yhteydellinen tiedonsiirto-muoto, jossa siirrettävä data jaetaan vakiomittaisiin 53 tavun soluihin ennen sen siirtämistä eteenpäin ATM-verkossa.

BRAS (Broadband Remote Access Server) on teleoperaattorin reititin, johon asiakkaiden tilaajaliittymät terminoidaan.

CoS (Class of Service) tarkoittaa palveluluokkaa, jonka mukaan liikennettä priorisoidaan Ethernet-tekniikassa. CoS on määritelty Ethernet-paketin otsakkeessa olevassa VLAN-tagissa 3 bitillä, josta saadaan 7 eri palveluluokkaa.

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) on verkkoprotokolla, jonka avulla voidaan jakaa automaattisesti IP-osoitteita verkkolaitteille.

DHCP-OPTIO82 on menetelmä, jonka avulla operaattori pystyy seuraamaan mikä IP-osoite on ollut määriteltynä tietylle internet-liittymälle tietyinä aikoina.

DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) kokoaa tilaajalinjat yhteen (esim. ADSL) ja siirtää ne eteenpäin teleoperaattorin aluedataverkkoon.

MAC-osoite (Media Access Control) on verkkosovittimen osoite Ethernet-verkossa, joka koostuu 12 heksadesimaalinumerosta (esim. 00:13:64:a1:b2:c3).

Multicast tarkoittaa suomeksi ryhmälähetystä, jossa multicast-kehys lähetetään vain tietyille vastaanottajaryhmälle. Ethernet tukee ryhmälähetystä, ATM taas ei tue.

OSI-malli (Open Systems Interconnection Reference Model) on viitteellinen malli kerroksittain järjestetyistä tiedonsiirtoprotokollista. Mallissa ensimmäinen kerros on fyysinen kerros (kaapelit), toinen on siirtokerros (kytkimet), kolmannella tasolla sijaitsee verkkokerros (reitittimet). Mallissa on yhteensä 7 kerrosta, joista viimeinen on sovelluskerros (ohjelmat).

Provisiointi tarkoittaa yleisesti käyttäjätiedon hallintaa. Tässä opinnäytetyössä sillä tarkoitetaan internet-liittymän parametrien ohjelmoimista verkossa oleville verkkolaitteille.

PVC (Permanent Virtual Channel) on ATM-tekniikassa käytetty kiinteä virtuaaliipiiri, joka luodaan manuaalisesti kahden verkkolaitteen välille ja sille on määritelty tietty palvelutaso.

QoS (Quality of Service) tarkoittaa palvelun laatua ja tietoliikenteessä (tietyn) liikenteen priorisoimista.

RFC 2684 on IETF:n (Internet Engineering Task Force) standardi, jota käytetään ADSL-liittymien toteuttamiseen.

Tilaajalinja tarkoittaa puhelinkaapeliparia, joka kulkee asiakkaan luota teleoperaattorin keskittimelle.

Triple Play palvelulla tarkoitetaan äänen, videon ja datan välittämistä laajakaistayhteyttä pitkin.

VLAN (virtual local area network) on Ethernet-verkoissa käytettävä tekniikka, jolla fyysinen tietoliikenneverkko voidaan jakaa loogisiin osiin. VLAN-tekniikan standardi on nimeltään IEEE 802.1Q.

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön taustaa

Laajakaistaliittymien määrä on kasvanut huimasti koko 2000-luvun. Kun kesällä 2003 laajakaistaisia liittymiä oli vielä vain noin 315 000 kappaletta, oli luku kasvanut vuoden 2007 kesän lopussa noin 1 520 000 kappaaleeseen (Kansallinen laajakaistastrategia 2004–2007 & Viestintäviraston markkinakatsaus 2/2007).

Laajakaistaliittymällä tarkoitetaan nykyään yleisesti länsimaissa Internet-yhteyttä, jonka miniminopeus on 256 kbit/s. Suomessa laajakaistaliittymät on toteutettu yleisimmin ADSL-yhteydellä (Asymmetric Digital Subscriber Line).

Laajakaistaliittymien nopea yleistyminen on aiheuttanut liittymien hintojen halpenemisen sekä nopeuksien kasvamisen. Kesän 2007 lopussa yleisin liittymänopeus oli 2 Mbit/s (Viestintäviraston markkinakatsaus 2/2007), mutta ADSL-tekniikalla pystytään nykyään tarjoamaan nopeuksia 24 Mbit/s asti.

Liittymien määrän hurja kasvu sekä halpeneminen ovat tuottaneet teleoperaattoreille paineita tarjota liittymiä entistä kustannustehokkaammalla tavalla. Tekniikat joilla voitiin tarjota alle puolimiljoonaa liittymää vuonna 2003, eivät enää nykypäivänä riitä yli kolminkertaisen liittymämäärän tarjoamiseen, varsinkin kun yhteysnopeuksien määrä nousee jatkuvasti. Nopeuksien kasvua ruokkivat uusien Internet-palveluiden yleistyminen, jotka vaativat entistä nopeampia siirtonopeuksia Internet-liittymiltä. Laajakaistaliittymää voidaan nykyään käyttää datan, äänen sekä kuvan välittämiseen. Puhutaan niin sanotusta Triple play –palvelusta.

Vaikka ADSL onkin juuri nyt käytetyin tekniikka laajakaistaliittymän tarjoamiseen, pitää operaattoreiden varautua jo tulevaisuuteen. ADSL:n tarjoama 24 Mbit/s ei tule riittämään kovin pitkään ja esimerkiksi VDSL2-tekniikalla pystytään tarjoamaan suurempia nopeuksia.

Näitä haasteita varten operaattorit joutuvat ottamaan käyttöön uusia verkkotekniikoita sekä verkkolaitteita laajakaistaverkoissaan. Puhutaan verkkouudistuksesta, joka on tämän opinnäytetyön aiheena.

Opinnäytetyöni käsittelee yleisellä tasolla niitä tekniikoita joita internet-operaattoreilla on käytössä laajakaistaverkkojen pääsy- ja aluedataverkoissaan. Otan myös kantaa hyötyihin ja haasteisiin, joita tällaisesta verkon uudistamisesta tulee olemaan.

Johdannon jälkeen esittelen ensin ADSL-tekniikan perusteita. Jotta lukijalla olisi parempi käsitys tässä työssä käytetyistä käsitteistä, käsittelen seuraavassa kappaleessa laajakaistaverkon infrastruktuuria.

Aluedataverkoissa käytettyä vanhempaa ATM-tekniikkaa (Asynchronous Transfer Mode) käsittelen luvuissa 3 ja 4, sekä sen korvaavaa Ethernet-tekniikkaa luvuissa 5 ja 6. Luku 7 on käytetty kokoamaan yhteen verkkouudistuksen hyödyt ja haasteet. Viimeisessä luvussa käsittelen itse opinnäytetyön tekemistä ja siitä saatuja lopputuloksia.

1.2 Toimeksiantaja sekä työn tavoite

Työn toimeksiantaja on Elisa Oyj:n (myöhemmin Elisa) tekninen asiakastuki, jossa olen ollut töissä vuoden 2005 lopusta asti osa-aikaisesti palveluasiantuntijana. Elisa on saamassa valmiiksi vuonna 2006 aloitettua verkkouudistusta vuoden 2008 keväällä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on ollut luoda koulutusmateriaalia verkkouudistuksen vaikutuksista dataverkkoon Elisan teknisen tuen palveluasiantuntijoille.

Opinnäytetyön julkisen luonteen vuoksi en kuitenkaan lähtenyt käsittelemään Elisan verkkoa, vaan olen tehnyt tämän työn yleisluontoisesti keskittyen lähinnä aluedataverkossa tapahtuvaan ATM-tekniikan korvaamiseen Ethernetillä. Käsittelen myös näiden kahden tekniikan mahdollisuuksia eri tilanteissa. Tarkoitukseni on kuitenkin palauttaa Elisalle sekä tämä työ että erillinen koulutusmateriaali. Koulutusmateriaalissa käsittelen tarkemmin juuri Elisalla tapahtunutta verkkouudistusta ja sen synnyttämää uutta verkkoa, käyttäen avuksi tässä työssä saatuja tietoja. Elisan koulutusmateriaali on luonteeltaan luottamuksellista, joten en liitä sitä tähän opinnäytetööhöni.

Alun perin minun piti tehdä ensin Elisan koulutusmateriaali, mutta tulin pian siihen lopputulokseen, että tarvitsin aiheesta lisää informaatiota työn pohjalle. Joten aloitin ensin tämän opinnäytetyön tekemisen, jotta saisin ensin riittävästi tietoa laajakaistaverkoista sekä niissä käytetyistä tekniikoista.

1.3 Työn rajaukset

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan teleoperaattorin dataverkossa olevia pääsy- (Access network) ja aluedataverkkoja (Distribution network). Työssä tutkitaan niissä käytettäviä verkkotekniikoita ja miten niiden avulla voidaan tuottaa laajakaistaliittymiä. Pääpaino tässä työssä on kulluttajaliittymien tuottamisessa.

Olen rajannut työstäni pois operaattorin runkoverkon sekä asiakkaiden sisäverkon, lukuun ottamatta ADSL-modeemia. Tietyissä laajakaistaliit-

tymissä käytetyn PPP-tekniikan olen myös jättänyt työstäni pois, koska kansallisesti se on käytössä vain harvalla operaattorilla. Pois jää myös niin sanottujen tukkuliittymien käsittely. Tukkuliittymällä tarkoitetaan ADSL-liittymää, jonka palveluoperaattori on toteuttanut vuokraamalla paikallisen verkko-operaattorin dataverkkoa.

1.4 Lähdemateriaali

Ennen opinnäytetyön aloittamista olin työssäni tutustunut hieman ADSL-tekniikkaan ja operaattorin pääsyverkko-tekniikkaan. Ethernet-tekniikka oli puolestaan tuttua tietokoneiden lähiverkoista ja koulun kursseilta. ATM-tekniikka ei sinänsä ollut tuttua, mutta se muistuttaa paljon Frame Relay -tekniikkaa, johon olin ehtinyt ammattikorkeakoulun kursseilla tutustua.

Operaattoreiden käyttämiin verkkotekniikoihin tutustuin kirjallisuuden kautta. David Ginsburgin ADSL, Mika Grundströmin & Roy Mickosin ATM-tekniikka ja moniverkkopalvelut, sekä Hannu Jaakohuhdan Local Area Networks – Ethernet olivat tärkeimmät. Osa kirjoista oli vanhoja, mutta toisaalta niissä käsitellyt tekniikkojen perusteetkaan eivät olleet muuttuneet.

Perusteita opinnäytetyölle sain myös Wikipedian sekä DSL Forumin (www.dslforum.org) artikkeleista. Jälkimmäisen artikkelit tuntuivat luotettavilta ja informatiivisilta, kun taas Wikipedian artikkeleja lukiessa joutui välillä harrastamaan lähdekritiikkiä lukemalla useamman artikkelin samasta aiheesta sekä suomeksi että englanniksi.

Tietoa tekniikoiden yhteen soveltamisesta sain IETF:n RFC-dokumenteista sekä IEEE:n Xplore-tietokannasta (<http://ieeexplore.ieee.org/>), joista löysin monta hyvää tieteellistä artikkelia laajakaistaverkoista, sekä DSLAMien toiminnasta että Ethernet-tekniikan hyödyistä aluedataverkoissa. Teleoperaattoreiden soveltamista käytännöistä Suomessa ei näistä lähteistä kuitenkaan löytynyt.

Tietoa kansallisista käytännöistä ADSL-verkoista löysin Juha Sarson tietotekniikan diplomityöstä, sekä Viestintäviraston internet-sivuilta (www.ficora.fi). Lopputyö ei välttämättä ole yleisesti paras mahdollinen tietolähde, mutta siitä sai käyttämistäni yksittäisistä lähteistä parhaimman kokonaiskuvan teleoperaattoreiden tietoliikenneverkoista.

Näiden lähteiden lisäksi kävin sähköpostikeskustelua Elisa Oyj:n Antti S. Salosen kanssa. Hän vastasi ystävällisesti kysymyksiini, opasti verkko-tekniikoissa sekä neuvoi mistä tietoa kannattaisi seuraavaksi etsiä.

2 ADSL-tekniikka

2.1 Johdatus tekniikkaan

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) tarkoittaa epäsymmetristä tiedonsiirtoa tilaajalinjaa pitkin. Tilaajalinjalla tarkoitetaan ADSL:n tapauksessa tavallista lankapuhelinlinjaa. Epäsymmetrinen tiedonsiirto tarkoittaa linjan siirtonopeuden olevan korkeampi tilaajalle päin eli laskevaan suuntaan. Tilaajalta verkkoa kohden tapahtuva liikennöinti on taas nouseva suunta. Tämän kaltainen yhteysmuoto sopii hyvin kuluttajayhteysien toteuttamiseen, koska niissä Internet-yhteyttä käytetään yleensä sisällön lataamiseen, eikä niinkään sen lähettämiseen.

ADSL:n kehitys alkoi 1990-luvun alussa, kun sitä oltiin kehittämässä videopalveluiden (MPEG2) siirtotekniikaksi. Pilottikokeilujen jälkeen videonsiirrosta luovuttiin, mutta Internetin nopea kasvu 1990-luvun puolivälissä herätti kiinnostusta alkaa toteuttaa Internet-yhteyksiä edullisella ADSL-tekniikalla. (Ginsburg, 2000: 18.)

Alun perin ADSL mahdollisti 8 Mbit/s vastaanottonopeuden sekä 1 Mbit/s lähetysnopeuden. Vuonna 2002 valmistui ADSL2-standardi, joka lisäsi vastaanottonopeuden 12 Mbit/s:iin edistyneemmän moduloinnin ansiosta.

Vuonna 2003 esitellyn ADSL2+-tekniikan myötä on vastaanottonopeus saatu kasvamaan 24 Mbit/s:iin asti, lähetysnopeuden pysyessä kuitenkin 1 Mbit/s nopeudessa. Taajuuksien käyttöä on esitetty kuvassa 1, kun ADSL-liittymä on kytketty lankapuhelinlinjan ylätaajuudelle.

2.2 Modulointi

Puhelinlinjalla pystytään moduloinnin avulla välittämään samanaikaisesti sekä normaalia puhelinliikennettä että ADSL-liikennettä. Modulointi jakaa siirtokaistan useisiin pieniin osiin, joiden avulla voidaan puhe- ja dataliikenne erotella toisistaan. Näiden kanta-aallon osasten lukumäärät ja koot vaihtelevat kulloinkin käytettävän modulaatiotekniikan mukaan.

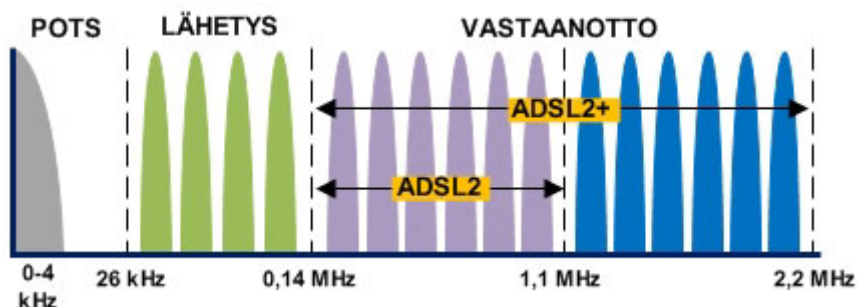
Alun perin ADSL:ään ei ole standardoitu mitään tiettyä modulaatiotekniikkaa, mutta yleisimmin käytettyjä ovat CAP-modulointi (carrierless amplitude and phase modulation) eli kanta-aalloton amplitudi ja vaihemodulaatio sekä DMT-modulointi (digital multi-tone) eli digitaalinen monitaajuus. Yleisempi näistä on DMT, sen paremman viansietokyvyn vuoksi.

DMT-moduloinnissa siirtokaista jaetaan 256 kappaleeseen 4 kHz levyisiä kaistoja. Nämä kaistat voivat siirtää tietoa enintään 11 bittiä symbolijaksoa kohden, siten että nopeutta voidaan säädellä linjan häiriöiden mukaan. (Modulaatio, osa 1: Enemmän tietoa siirtokanavaan 11, 2004.)

Vaikka ADSL- ja ADSL2-tekniikan käyttämä taajuusväli on sama, on ADSL2-tekniikassa enemmän taajuuskanavia. ADSL2+-tekniikka taas tuplasi käytettävän kanavataajuusvälin. (DSL Forum, 2003.)

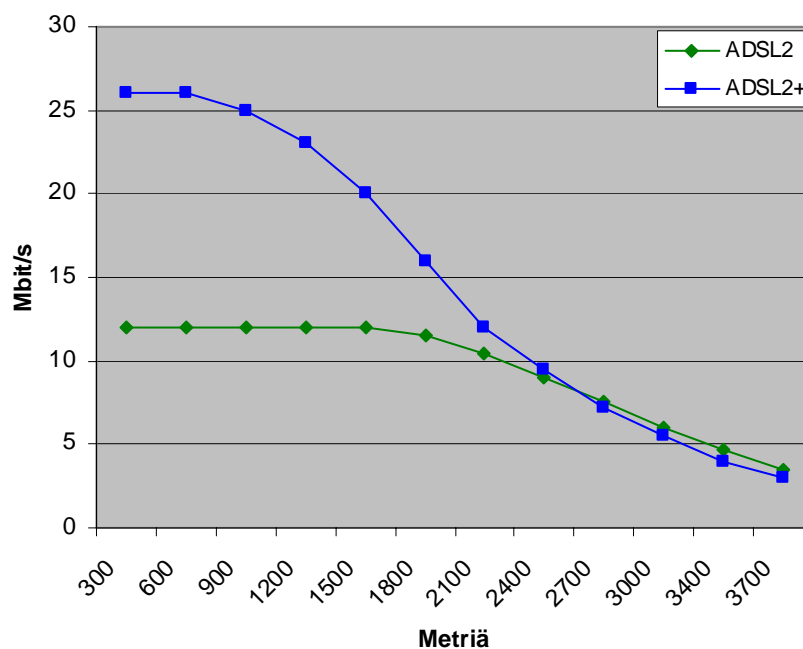
2.3 Siirtomediana puhelinkaapeli

Siirtomediana ADSL-tekniikka käyttää tavallista puhelinkaapelia. Puhelinliikenne ja ADSL-signaalit pystyvät käyttämään samaa kaapelia, koska ADSL perustuu korkeiden taajuuksien käytölle. Tavallinen puhelinliikenne (POTS eli Plain old telephone service) käyttää taajuuksia 0-4kHz ja ADSL linjan ylätaajuuksia. Kuvassa 1 on taajuuksien käyttöä havainnollistettu.



Kuva 1: Puhelinlinjan taajuuksien käyttö ADSL2+ -tekniikassa (DSL Forum, 2003)

Koska puhelinlinjalla kuljetetaan sekä puheliikennettä että ylätaajuudella ADSL-liikennettä, tulee ADSL-liittymässä olla jakosuotimet sekä asiakkaan puolella että teleoperaattorin DSL-keskittimen päässä. Näillä suotimilla voidaan puhelin- ja datalinjat erottaa toisistaan, jotta ne eivät häiritسی toistensa taajuuksia.



Kaavio 1: Johtimen pituuden vaikutus ADSL-yhteyden nopeuteen (DSL Forum, 2003)

Puhelinkaapeli ei alun perin ollut kehitetty korkeiden taajuuksien käyttöön, joten ADSL-linjan pituus on rajallinen ja yhteyden siirtonopeus laskee linjan pituuden myötä. Kaaviossa 1 on kuvattu miten ADSL-yhteyden nopeus muuttuu tilaajajohdon pituuden myötä. Tilaajajohdolla tarkoitetaan puhelinjohtoa ADSL-keskittimeltä tilaajan ADSL-modeemille.

2.4 ADSL-yhteydessä käytettävät laitteet

ADSL-linja muodostuu asiakkaan tiloissa olevan ADSL-modeemin eli verkkopäätteen ja DSL-keskittimen välille. Asiakas kytkee modeemin puhelinjohdolla asunnossa olevaan pistorasiaan, josta puhelinlinja kulkee talojakamon kautta puhelinverkkoa pitkin DSL-keskittimelle saakka. ADSL-modeemi on asiakkaan oma tai operaattorilta vuokrattu. Normaalissa kuluttajaliittymissä modeemi on yleensä asiakkaan oma.

2.4.1 ADSL-modeemit

ADSL-modeemin tehtävä on muuntaa asiakkaan sisäverkosta tuleva digitaalinen liikenne analogisen puhelinverkon ylitse. Modeemi vastaanottaa asiakkaan sisäverkosta tulevat data-paketit ja siirtää ne ADSL-linjan ylitse ATM-tekniikan avulla.

ADSL-modeemit voidaan nykypäivänä jakaa karkeasti kahteen ryhmään; siltaaviin sekä reitittäviin verkkopäätteisiin. Siltaavat verkkopäätteet toimivat linjalla kytkimen tapaan. Kun tietokone on kytketty suoraan siltaavaan modeemiin kiinni, saa se internet operaattorilta tulevan julkisen IP-osoitteen ja operaattorin DHCP-palvelimella näkyy tietokoneen verkkokortin MAC-osoite. Reitittävät verkkopäätteet ovat nykyisin yleisimmin käytettyjä verkkopäätteitä ja nimensä mukaisesti toimivat myös reitittiminä (router). Asiakkaalla on näin oma sisäverkko, jonka verkkolaitteille reitittävä modeemi jakaa sisäverkon IP-osoitteet. Modeemi myös hakee internet operaattorin DHCP-palvelimelta julkisen IP-osoitteen ja operaattorille näkyy näin vain modeemin MAC-osoite.

Reitittävässä modeemissa pitää olla osoitteenmuunnos eli NAT-toiminto (network address translation), jonka avulla modeemi piilottaa sisäverkon IP-osoitteet ja sisäverkossa oleva tietokone näkyy internetissä käyttävän julkista IP-osoitetta, joka on siis oikeasti verkkopäätteellä. NAT-toiminnon lisäksi reitittävässä verkkopäätteessä toimii myös DHCP-palvelin. Näin sisäverkon IP-osoitteita voidaan jakaa dynaamisesti. Yleisimmin tehdasasetuksilla olevat modeemit jakavat 192.168.x.x tai 10.x.x.x alkavia verkko-osoitteita.

Merkittävin reitittävästä verkkopäätteestä saatava etu on se, että asiakas saa oman sisäverkon omalla IP-verkollaan. Tähän verkkoon voidaan kytkeä useita tietokoneita. Verkkopäätteen ollessa sillattu voi vain tietty määrä tietokoneita käyttää internet-yhteyttä, koska kaikki tietokoneet saavat julkisen IP-osoitteen, joiden määrän on operaattori käytännössä aina rajannut tiettyyn määrään liittymää kohden.

NAT-toiminto antaa myös tietoturvaa. Osoitteenmuunnoksella tietokoneiden oikeita IP-osoitteita ei näy julkiseen verkkoon, jolloin modeemi toimii eräänlaisena palomuurina hyökkäyksiä vastaan.

Asiakkaan sisäverkko käsittää yleisimmin työaseman, joka on Ethernet-verkkojohdolla kiinni ADSL-modeemissa. Modeemissa voi olla myös tuki langattomalle lähiverkolle (wireless LAN), tai asiakkaalla voi olla erikseen langaton tukiasema. Tulevaisuudessa asiakkaiden sisäverkkoihin tulee kytkeytymään yhä uusia laitteita ja niistä tulee yhä monimutkaisempia.

2.4.2 DSL-keskitin eli DSLAM

DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) on teleoperaattorin laite, joka kanavoi digitaaliset tilaajalinjat ja kytkee ne eteenpäin operaattorin aluedataverkkoon. DSLAM:iä voidaan pitää eräänlaisena kytkimenä, joka myös muuntaa liikenteen mediatyyppin toiseksi, kuten ADSL-modeemi. DSLAM sijaitsee puhelinkeskuksessa.

Ennen DSLAM:ia puhelinlinjasta tuleva signaali erotetaan puhelinkeskuksen sisällä jakosuotimen avulla. Suodin on tekniikaltaan samanlainen kuin mitä tilaajan eli asiakkaan huoneistossa on, jos hänellä on käytössä samaan aikaan lankapuhelimia. Keskuksessa oleva jakosuodin ohjaa puhelinliikenteen puhekytkimeen ja ADSL-datan DSLAM:n porttiin.

Nykypäivän DSLAM:t ovat modulaarisia rakenteiltaan eli ne koostuvat useista tilaajakorteista. ADSL-tilaajat kytketään taas tilaajakorttien porttipaikkoihin.

2.5 ADSL:n tulevaisuus ja kilpailijat

Tulevaisuudessa Ethernet-aluedataverkkojen myötä kaikki ADSL-yhteydet tulevat olemaan ADSL2+–kelpoisia. ADSL-yhteyksien lähetysnopeutta saadaan myös kasvatettua nykyisestä 1 Mbits/s aina 3,5 Mbits/s asti ADSL2+ Annex M – tekniikalla.

ADSL saa kuitenkin kilpailijan jossain vaiheessa tulevaisuutta VDSL2-tekniikasta (Very High Speed DSL), joka tarjoaa nopeampia lähetys- ja vastaanottonopeuksia. Toisen sukupolven VDSL pystyy tosin vain 300 metriä pitkiin yhteyksiin, jolloin VDSL2-keskitin pitää sijaita lähellä asiakkaita. ADSL-tekniikalla pystytään tarjoamaan yhteyksiä pidemmille matkoille, joten vaikka VDSL2 pystyykin nopeampiin yhteyksiin, ei se ainakaan heti lähitulevaisuudessa tule korvaamaan kaikkia ADSL-liittymiä.

Nykyään pystytään kaapelimodeemitekniikalla tarjoamaan myös jopa 30 Mbit/s yhteyksiä. Kaapelimodeemiyhteyksiä ei kuitenkaan voida tarjota kuin vain kaapeliverkon alueella asuville asiakkaille.

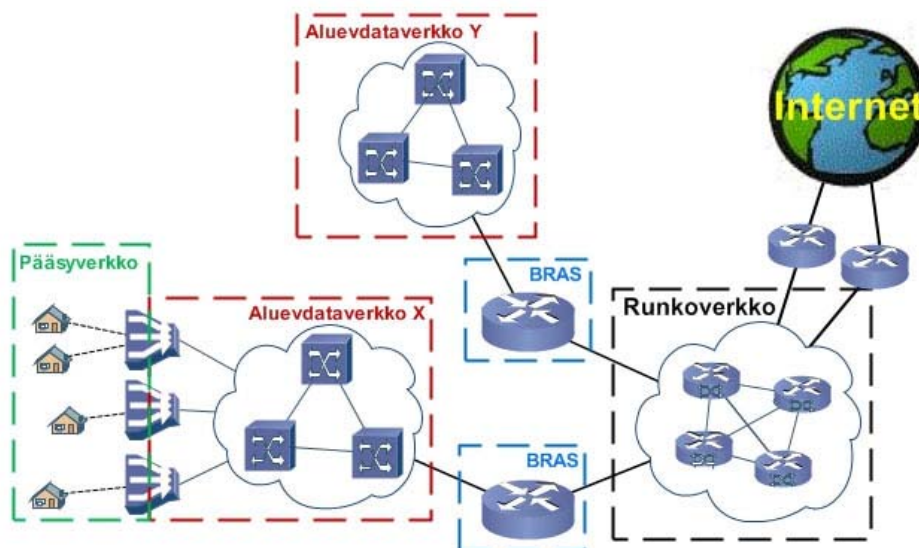
Omasta mielestäni kovin kilpailija ADSL-tekniikalle tulevaisuudessa saadaankin matkapuhelinverkon liikennenopeuksien kasvamisen myötä. Tällä hetkellä operaattoreilla on tarjolla erilaisia 3G- ja HSDPA-verkoilla (High-Speed Downlink Packet Access) toteutettuja ”mobiililaajakaista” – yhteyksiä, joiden nopeus voi nykyään olla parhaimmissa tapauksissa jopa 2Mbit/s. Tällä hetkellä mobiilidatayhteyksien taso ei kuitenkaan ole lähelläkään kiinteitä yhteyksiä, mutta mobiiliverkkojen liikennenopeuksien kasvu on nopeaa ja niillä voidaan tarjota edullisia yhteyksiä.

3 ADSL-verkon infrastruktuuri

3.1 Operaattorin dataverkko

Tässä kappaleessa käsitellään teleoperaattorin ADSL-laajakaistaverkon mallia sekä ADSL-tekniikassa käytettyjä verkkolaitteita. Tarkoituksena on myös selventää opinnäytetyössä käytettyjä käsitteitä. Seuraavissa kappaleissa keskitytään käsittelemään aluedataverkkoa ja siinä tapahtuvaa tekniikan uudistusta. Runkoverkko ja sen tekniikat ovat rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Kuvassa 2 on karkeahko yleistys siitä millainen teleoperaattorin ADSL-laajakaistaverkko voi olla rakenteeltaan. Pääsyverkossa ADSL-tilaajat liitetään ADSL-yhteydellä operaattorin keskuksiin, jotka yhdistävät asiakkaiden liittymät operaattorin aluedataverkkoon. Aluedataverkko on tietyllä alueella oleva operaattorin verkko, joka puolestaan yhdistää alueen liikenteen operaattorin runkoreitittimelle (BRAS). Runkoreitittimet ovat kiinni operaattorin valtakunnallisessa runkoverkossa. Runkoverkosta liikenne ohjataan taas Internetiin.



Kuva 2: Teleoperaattorin dataverkon teoreettinen malli

3.2 Pääsyverkko

Pääsyverkon (Access network) tehtävä on kytkeä tilaajat verkkoon. ADSL-tilaajat kytketään operaattorin keskittimiin ADSL-yhteyden avulla. Asiakkaalla oleva ADSL-modeemi muodostaa ATM-yhteyden keskit-

timeen eli DSLAM:iin. Fyysisenä mediana käytetään tavallisia puhelinlinjoja. DSLAM kuuluu pääsyverkkoon, mutta sen voidaan katsoa kuuluvan myös osaksi aluedataverkkoa, kuten kuvassa 2 on kuvattu. DSLAM on tavallaan aluedataverkon ensimmäinen kytkin.

Operaattorin vastuu verkosta alkaa siitä mistä sen omistamat puhelinparikaapelit alkavat. Esimerkiksi kerrostalossa asiakkaan vastuulla on hänen huoneistonsa oma sisäverkko, taloyhtiön vastuulla on yhteys asunnosta talojakamoon ja operaattorin vastuu alkaa talojakamosta, josta puhelinparikaapelit lähtevät keskittimelle.

3.3 Aluedataverkko

Aluedataverkko (Regional Broadband Network) käsittää tietyn maantieteellisen alueen, jolta asiakkaiden liikennevirrat aggregoidaan eli kootaan yhteen ja siirretään operaattorin runkoverkkoon kytkimien avulla. Joissain yhteyksissä aluedataverkosta käytetään myös nimitystä aggregaatioverkko. Tässä osassa verkkoa tapahtuu yleensä myös siirtomedian ja tekniikan muunnokset, kuten esimerkiksi kuparikaapelista kuitukaapeliin ja ATM:stä Ethernet-tekniikkaan.

Lisäksi aluedataverkon tehtäviin kuuluvat liittymien tunnistus sekä liikenteen turvallisuusseikat. Liikenteeseen voidaan vaikuttaa erilaisilla pakettifilttereillä sekä pääsyyloilla.

Riippuen siitä miten ja millä tekniikoilla teleoperaattori on verkkonsa infrastruktuurin rakentanut, voi joissakin tapauksissa aluedataverkkoon yhdistyä myös runkoverkon toiminnallisuuksia. Tällöin siitä voidaan myös käyttää runkoverkon nimeä. Tässä työssä olen kuitenkin selvyyden vuoksi erottanut nämä kaksi verkon osaa toisistaan.

3.4 Runkoverkko

Runkoverkon (Core Network) tärkein tehtävä on liikenteen nopea kytkeminen eteenpäin. Kaikki datan manipulaatio pyritään pitämään minimissään, jotta runkoverkon liikenne saataisiin kulkemaan mahdollisimman nopeasti.

Nykypäivän runkoverkkotekniikkana voidaan käyttää esimerkiksi MPLS-tekniikkaa (Multiprotocol Label Switching), jolla verkon reititys muutetaan kytkennäksi. Tekniikassa on piirteitä ATM-tekniikasta.

4 ATM-tekniikka

4.1 Taustaa

ATM muodostuu sanoista Asynchronous Transfer Mode eli asynkroninen siirtomuoto. Alun perin se on suunniteltu tekniikaksi, jolla pystyttäisiin siirtämään tehokkaasti viivevaihtelulle herkkää liikennettä, kuten kuvaa ja ääntä. Tekniikka kehitettiin myös säilyttämään liikennetyyppien palvelutasot liikenteen siirron aikana, yhden linkin tai ATM-verkon yli. Erityisesti puhe- ja videoliikenne ovat erityisen herkkiä siirron aikana tapahtuvalle lähetyksen viivevaihteluille ja kaistanleveyden muutoksille.

ATM-tekniikka valtasi alaa 1990-luvun alkupuolella, kun eri operaattorit rupesivat ottamaan sitä käyttöön runkoverkoissaan. ATM on nykyään pitkälle standardoitua, siitä on paljon käyttökokemuksia ja se on käyttövarma tekniikka. Sen avulla päästään 0,6–2,6 Gbit/s nopeuksiin. Kuitenkin tyypillinen käytetty yhdysliikenne on toteutettu STM-1 signaloinnilla, jolla saavutettava nopeus kytkinten välillä on 155 Mbit/s. (Viestintävirasto, 2004.)

Nykyään ATM-tekniikkaa käytetään lähinnä operaattoreiden runkoyhteyksissä, vaikka alussa ATM-tekniikkaa kehitettiin käytettäväksi aina lähiverkoista runkoverkkoihin. 2000-luvulla se on saanut uusia kilpailijoita muun muassa Gigabit Ethernetistä.

4.2 Yleiskuvaus tekniikasta

ATM on yhteydellinen ja laajakaistainen siirtomuoto eli siinä luodaan piiriyhteys lähettäjän ja vastaanottajan välille. OSI-mallissa ATM sijaitsee siirtoyhteyserroksella, heti fyysisen tason yläpuolella.

ATM-verkko koostuu sekä päätelaitteista että verkon solmuista. Päätelaitteina voidaan nykyään pitää ATM-verkon yhdyskäytäviä muihin verkkoihin (Grundström & Mickos, 1997: 72). Solmuilla tarkoitetaan taas joko kytkimiä tai keskittimiä. Keskittimet kokoavat useasta eri linkistä tulevat liikennevirrat yhdeksi virraksi, jonka se siirtää eteenpäin. Hyvänä esimerkkinä keskittimestä voidaan pitää DSLAM:iä.

Kuten Frame Relay, myös ATM on solukytkeäinen verkko. ATM-tekniikassa kytketään eteenpäin vakiokokoisia soluja. Nämä solut ovat aina 53 tavun pituisia ja ne koostuvat 5 tavun pituisesta otsakkeesta sekä 48 tavun mittaisesta hyötykuormasta. Solujen pieni koko mahdollistaa lähetyksen pienet viiveet ja viiveiden vaihtelut (jitter). (Ginsburg, 2000: 59.)

ATM toimii siis siirtoyhteyskerroksella. ATM-solujen pienestä koosta johtuen ylemmiltä protokollatasoilta tulevat data on sovitettava 48 tavun mittaisiksi palasiksi. Tätä sovittamista varten on määritelty 4 eri ATM-sovituskerrosta (ATM Adaptation Layers): AAL 1, 2, 3/4 ja 5. AAL 1 ja 2 ovat tarkoitettu vakionopeuksisen data- ja puheliikenteen sovitusta-voiksi. AAL 3/4 ovat melkein hävinneet. Laajakaistayhteyksissä käytetään lähinnä sovituskerrosta AAL 5. Kyseinen sovituskerros on muodoltaan yhteydellinen eli vaikka hyötyliikennettä ei virtuaalipiirissä kulkisi-kaan, tuottaa se silti tyhjiä soluja verkkoon (Viestintävirasto, 2004).

Kun sovituskerros on sovittanut datan 48 tavun palasiin, lisätään siihen vielä 5 tavun otsake ja lähetetään siirtotietä pitkin eteenpäin piiriyhteyden toiseen päähän. Vastaanottavassa terminointipäässä hyötykuorma kootaan taas alkuperäiseksi dataksi saman sovituskerroksen avulla ja lähetetään ylhäällä olevalle verkkokerrokselle.

ATM-verkko on NBMA-verkkotekniikkaa (Non Broadcast Multiple Access). Siinä ei voida käyttää joukkolähetyksiä (Multicasting). (Sarso, 2007: 40.)

4.3 Liityntätyypit

ATM-verkoissa on kaksi eri liityntätyyppiä; UNI (User-to-Network Interface) eli käyttäjän ja verkon välinen rajapinta sekä NNI (Network-to-Network Interface) eli verkkorajapinta. UNI-rajapinta yhdistää ATM-päätelaitteen tai -reitittimen ATM-verkkoon, kun taas NNI-rajapinta yhdistää ATM-verkon sisällä eri solmut toisiinsa.

4.4 Osoitteisto

Gloaalien osoitteiden (esimerkiksi IP-osoite) sijaan ATM-soluissa on vain paikalliset VPI- ja VCI-tunnistetiedot, joiden avulla ATM-solmu pystyy kytkemään solua eteenpäin. Jokainen solmu myös korvaa nämä tiedot omilla uusilla tunnistetiedoillaan. ATM-solun tunnisteet siis vaihtuvat jokaisen linkin kohdalla.

VCI (Virtual Circuit Identifier) eli virtuaalikanava on yhteystunniste, joka määrittää sen virtuaaliyhteyden, jolle yhden liittymän solut kuuluvat. VPI (Virtual Path Identifier) on taas virtuaalipolku, jonka avulla voidaan virtuaaliyhteyksiä niputtaa yhdeksi yksiköksi (Kuva 3). Näin VPI-tunnistetta käyttäen soluja voidaan kytkeä nopeasti eteenpäin ilman että solun muita arvoja tarvitsee tutkia. Varsinaista tietoa ei virtuaalipoluilla kulje.



Kuva 3: VPI- ja VCI-arvojen suhteet fyysisellä siirtotiellä

ATM-solun otsakkeeseen on NNI-rajapinnassa varattu VPI-kentälle 12 bittiä ja VCI-kentälle 16 bittiä. Näin eri virtuaalipolkuja voi olla 4096 kappaletta ja eri virtuaalikanavia 65536 kappaletta. Näin ATM-verkon sisällä voi olla enintään 268 miljoonaa eri virtuaaliyhteyttä. Eri valmistajien ATM-laitteissa löytyy silti valmistajakohtaisia eroja käytettävien virtuaaliyhteyksien määrissä.

4.5 Yhteystyypit

Virtuaalipiiriksi kutsutaan ATM:ssä kahta pistettä yhdistävää yhteyttä, ja yksi virtuaalipiiri tukee vain yhtä palvelutasoa (QoS) kerrallaan. Yhteystyyppejä on kaksi erilaista.

Kiinteää virtuaalipiiriä kutsutaan PVC-yhteydeksi (Permanent Virtual Circuit). Sen oletetaan säilyvän paikoillaan pidemmän aikaa, eikä se muodostu yhteydelle dynaamisesti, vaan se joudutaan provisioimaan verkon laitteille. Provisioinnilla tarkoitetaan yhteyden tai liittymän tarvitsemien verkkoparametrien ohjelmointia verkon laitteille.

Valinnainen (tai kytkentäinen) virtuaalipiiri SVC (Switched Virtual Circuit) muodostuu väliaikaisen tarveyhteyden mukaan. Se perustetaan ja puretaan dynaamisesti, kun jokin päätelaite sitä tarvitsee. SVC-yhteydet ovat alun perin kehitetty puhtaaseen ATM-verkkoon päätelaitteiden väliseen kommunikointiin (Salonen, 9.11.2007, sähköpostikeskustelu).

Näiden lisäksi on vielä kolmas yhteystyyppi nimeltä soft-PVC eli niin sanottu puolikiinteä yhteys. Siinä yhteys muodostuu ATM-verkon lävitse dynaamisesti sen jälkeen kun lähtö- ja päätepisteenparametrit on annettu. Näin yhteys ATM-verkon läpi on aina optimaalinen.

4.6 Palvelutasot

Yksi ATM-verkkojen isoimmista eduista on niiden kyky tarjota asiakkaille yhteyksiä heidän tarpeittensa mukaan. Asiakkaalle tarjotaan sitä mitä hän haluaa, eikä sitä mitä verkko pystyy toimittamaan. Tätä kautta pystytään tekemään erilaisia liikennöintisopimuksia palveluntasoista (SLA-sopimuksia, Service Level Agreement). (Grundström & Mickos, 1997: 102.)

Lyhenne	Liikenne- luokka	Suomen- nos	Kuvaus	Sovellukset
CBR	Constant Bit Rate	Vakio- nopeuksi- set yhtey- det.	Yhteydellä on tietty määrä tiedonsiirto- kaistaa koko ajan käytettävissä.	Piiriemulointi.
VBR	Variable Bit Rate	Vaihteleva- nopeuksi- nen yhteys.	Yhteydensiirto- kapasiteetti vaihtelee. Vaihtelun rajat on määritelty yhteydelle.	Purskeluontoi- nen data. Pu- heen-, videon-, ja audion siirto. Kriittiset datayh- teydet.
UBR	Unspeci- fied Bit Rate	Määrittele- mätön nopeus.	Yhteys saa käyttää kaikkea jäljellä olevaa kaistaa.	Ei-tosiaikainen liikenne, Inter- net, perinteiset lähiverkot.
ABR	Available Bit Rate	Käytettä- vissä oleva nopeus.	Sama kuin yllä, mutta vuonohjaus on ATM- kerroksen vastuulla. Yhteydelle määritet- tään miniminopeus.	Samat kuin yllä. Sekä ohjelmal- linen audio- ja videokoodaus.

*Taulukko 1: ATM:n liikenneluokat
(Grundström & Mickos, 1997: 100–102)*

Taulukossa 1 on kuvattu eri palvelutasoja, joita voidaan määrittää ATM:n virtuaalipiireihin. Näitä kaikkia liikenneluokkia voidaan käyttää sovituseros AAL 5:n kanssa, mutta laajakaistaliittymissä käytetään erityisesti UBR-luokkaa, koska sen liikenne vastaa pakettidataverkkojen palvelua. Sille ei myöskään tarvitse varata ATM-verkon laitteista resursseja, koska UBR käyttää vain jäljellä olevaa kaistaa. (Sarso, 2007: 33.)

Liikenneluokkia ei yhdellä virtuaalipiirillä voi kuitenkaan olla enempää kuin yksi. Tämän takia virtuaalipiirejä tarvitaan niin monta kuin eri palvelutasojakin tarvitaan. Sinällään tämä ei tuota ongelmia, mutta voi johtaa skaalautuvuusongelmiin isoissa verkoissa. Esimerkiksi jos yhden linkin välillä pitää kulkea tosiaikainen puhe sekä dataa, pitää linkille määrittää kaksi PVC-yhteyttä, jotta puheliikenteelle saadaan taattua aina tietty kaista.

5 ADSL-liittymän toteutus ATM-aluedataverkon avulla

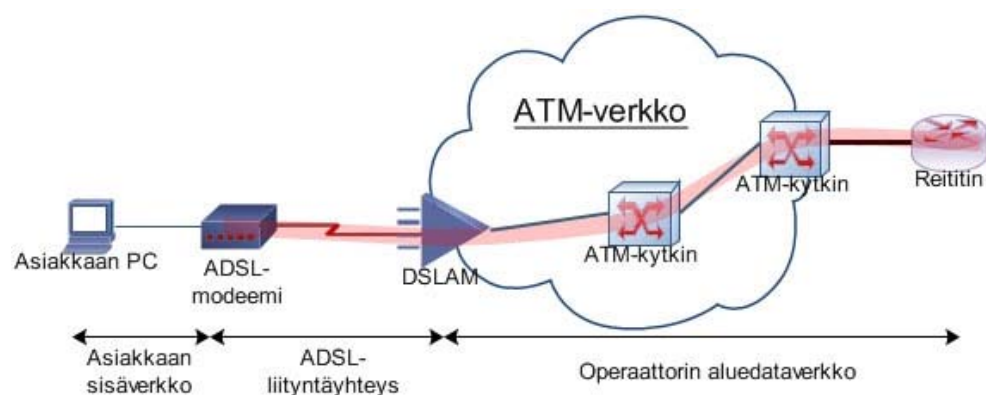
5.1 ADSL-liityntäyhteys

Ensimmäisenä ADSL-kuljetusprotokollana toimi Frame Relay, mutta ATM korvasi sen 1990-luvulla suurten palveluntarjoajien suosiessa ATM:ää. Sen katsottiin tarjoavan tulevaisuudessa paremmat mahdollisuudet siirtää asiakkaille datan lisäksi myös kuvaa ja ääntä. ATM oli myös juuri otettu käyttöön monissa yhteys- ja pääsyverkoissa, joten ATM:n levittäminen ADSL-liittymiin nähtiin parempana vaihtoehtona. (Ginsburg, 2000: 55–56.)

Asiakkaan tietokone on yhdistettynä ADSL-modeemiin asiakkaan oman lähiverkon kautta. Yleisimmin tietokone on yhdistetty modeemiin Ethernet-liitännän kautta RJ-45 verkkojohdolla. Muita liitännämahdollisuuksia ovat USB-portti tai PCI-väylä (sisäinen modeemi). Nykyään yhä yleisemmäksi tulee myös langattoman Ethernet-verkon kautta tapahtuva liittyminen.

ADSL-liittymä toteutetaan yhdistämällä tilaajan ADSL-modeemi kuparisella parikaapelilla operaattorin DSLAMiin. Fyysisen siirtotien yläpuolella sijaitsevat eri ADSL-koodaustekniikat ja niiden yläpuolella on ATM ADSL:n siirtotekniikkana.

ATM:n avulla luodaan virtuaalikanava asiakkaan modeemin ja operaattorin ensimmäisen reitittimen välille, operaattorin ATM-verkon kautta. Kuvassa 4 on virtuaalikanavaa kuvattu punaisella ”putkella”.



Kuva 4: ADSL-liittymä ATM-verkon avulla toteutettuna

5.2 ATM-aluedataverkko

Aluedataverkko on teleoperaattorin yksityinen verkko, joka yhdistää tietyn pääsyverkon valtakunnalliseen runkoverkkoon. ATM-tekniikalla toteutettu verkko koostuu ATM-keskittimistä sekä -kytkimistä, jotka ovat yleensä yhdistetty valokuituyhteyksillä.

Aluedataverkko yhdistää ADSL-liittymät reitittimeen, johon ne terminoidaan. Yhdistäminen tapahtuu ATM:n virtuaalikanavien avulla, jotka alkavat asiakkaan ADSL-modeemista ja kulkevat aluedataverkon lävitse päättyen reitittimeen. Terminoinnilla tarkoitetaan ADSL-laajakaistaliittymään liitettyjen IP-osoitteiden lisäämistä reitittimen reititystauluun. (Salonen, 2.7.2007, sähköpostikeskustelu). Reitittimestä johon ADSL-liittymien liikenne on reititetty, käytetään nimitystä BRAS (Broadband Remote Access Server).

Reitittimessä on käytössä DHCP-relay toiminto, joka ohjaa asiakkaiden laajakaistaliittymistä tulevat DHCP-kyselyt operaattorin DHCP-palvelimelle. Näin palvelin osaa jakaa IP-osoitteet oikeisiin liittymiin.

Kuvassa 4 on esitetty ATM-tekniikalla toteutettu ADSL-liittymä. ADSL-modeemi on yhteydessä ATM-DSLAM:iin ADSL-liityntäyhteydellä. DSLAMissa käytetään siis ATM-tekniikkaa ja sen voidaan katsoa kuuluvan ATM-verkkoon.

5.3 RFC 2684

Suomessa ADSL-liittymät ovat toteutettu IETF:n (The Internet Engineering Task Force) RFC 2684 -määrityksen (Grossman & Heinänen, 1999) määrittelemällä tavalla. Internet-standardin aseman RFC 2684 saavutti vuonna 1999 (Sarso, 2007: 22). Se perustuu Juha Heinäsen tekemään RFC 1483:een, ja on sen korvaava versio. Uudempi RFC 2684 eroaa vanhasta versiosta lähinnä PPP-protokollan käytön määrittelyllä sekä muutamien pienempien tarkennusten osalta. Tarkemmin uudistuksia uuden ja vanhan version välillä on eroteltu RFC 2684:n liitteessä E.

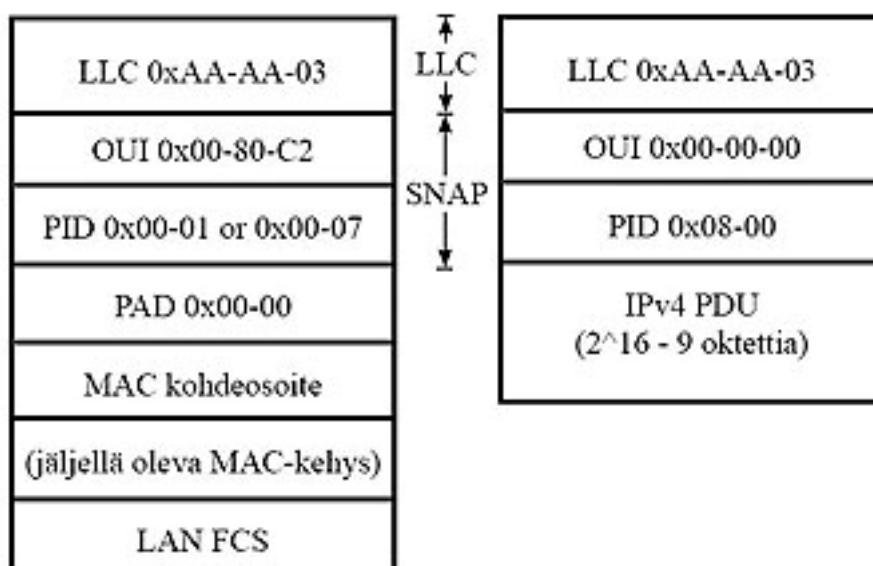
RFC 2684:ssä on määritelty kaksi tapaa, joilla voidaan kuljettaa sillatussa tai reititettyssä muodossa olevia datakehyksiä ATM-verkon ylitse AAL 5-sovituserroksen avulla. Ne ovat VC-multipleksointi ja LLC-kehystys (Logical Link Control).

VC-multipleksointia ei ADSL-liittymissä hyödynnetä, koska se lisää käytettäviä virtuaalikanavia, monimutkaistaen samalla verkon rakennetta ja vaikeuttaen näin sen ylläpitoa sekä viankorjausta (Sarso, 2007: 23). ADSL-liittymissä käytetäänkin LLC-kehystystä sekä siltaavien että reitittävien datakehysten kapseloimiseen. LLC on määritelty IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardissa 802.2.

LLC-kehystä tarvitaan kun samaa virtuaalikanavaa käyttää useampi protokolla. Siirrettävän datakehysten eteen lisätään LLC-otsake, jossa on määritelty tieto kuljetettavasta protokollasta.

Tämän lisäksi RFC 2684:ssä on määritelty myös SNAP-kehystys (Sub-Network Attachment Point), jossa SNAP-otsake lisätään LLC-otsakkeen perään. SNAP-otsake koostuu kolmen oktetin OUI-kentästä (Organizationally Unique Identifier) sekä kahden oktetin PID-kentästä (Protocol Identifier). Näiden kenttien avulla eri standardiorganisaatioiden määrittelemät protokollat voidaan tunnistaa tehokkaammin (Grossman & Heinänen, 1999).

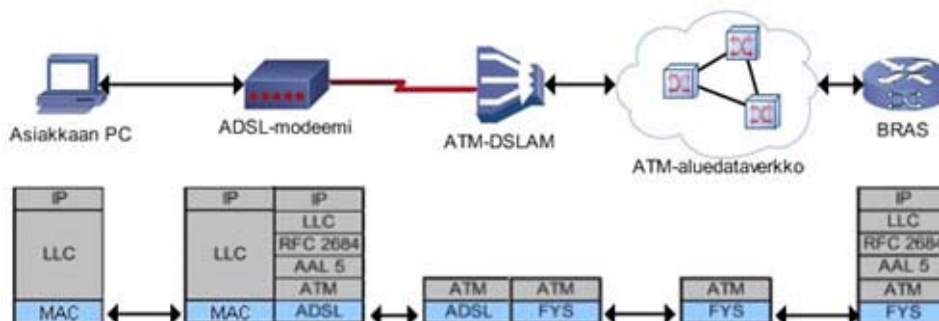
Kuvassa 3 on esitettyä LLC/SNAP-otsakkeet sillatulle ja reititetylle datakehykselle. Sillatussa kehyksessä SNAP:n PID-arvo määrittelee, että kyseessä on Ethernet-kehys ("0x00-01 tai 0x00-07"). Oikealla puolella on reititetyn IP-paketin kehystys.



Kuva 5: Vasemmalla on LLC/SNAP-otsake sillatulle kehykselle. Oikealla on LLC/SNAP-otsake reititetylle IP-kehykselle. (Grossman & Heinänen, 1999)

5.4 RFC 2684:n käyttö ADSL-liittymässä

5.4.1 Siltaava kehystyyppi

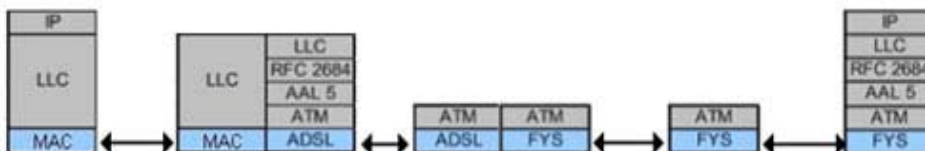


*Kuva 6: RFC 2684:n protokolla-arkkitehtuuri ADSL-liittymässä.
Reitittävä ADSL-modeemi siltaavalla kehystyypillä.
(Sarso, 2007: 25 & Ginsburg, 2000: 187)*

Kuvassa 6 ovat asiakkaan PC ja reitittävä ADSL-modeemi samassa Ethernetillä toteutetussa lähiverkossa, jota asiakas hallinnoi. Tällä hetkellä Suomessa yleisimmät markkinoilla olevat päätelaitteet ovat juuri reitittäviä.

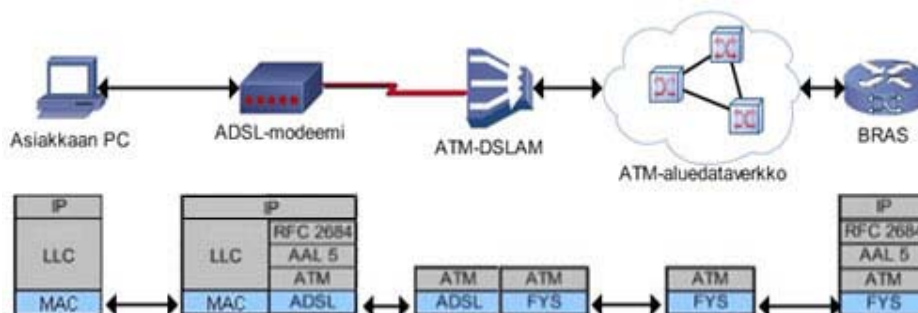
Työaseman lähettämä Ethernet-datakehys reititetään modeemissa ja lähetetään DSLAM:lle ADSL-siirtotietä pitkin RFC 2684:n määrittämässä muodossa. DSLAM:ltä kehys jatkaa aina aluedataverkon reunalla olevalle reitittimelle (BRAS) asti, josta se reititetään eteenpäin.

Kuvassa 7 on taas esitetty sama protokolla-arkkitehtuuri, mutta nyt siltaavalla ADSL-modeemilla. Siinä modeemi ei reititä pakettia vaan toimii pelkästään siltana kehykselle. Työasemalta lähtenyt kehys reititetään vasta operaattorin reitittimellä (BRAS).



*Kuva 7: RFC 2684:n protokolla-arkkitehtuuri ADSL-liittymässä.
Siltaava ADSL-modeemi siltaavalla kehystyypillä.
(Sarso, 2007: 24 & Ginsburg, 2000: 187)*

5.4.2 Reitittävä kehystyyppi



Kuva 8: RFC 2684:n protokolla-arkkitehtuuri ADSL-liittymässä. Reitittävä ADSL-modeemi reitittävällä kehystyyppillä. (Sarso, 2007: 26 & Ginsburg, 2000: 190)

Reitittävää kehystyyppiä ei käytetä normaalien kuluttaja ADSL-liittymien toteuttamiseen, vaan se on tarkoitettu yritysliittymien toteuttamiseen. Tällaisissa liittymissä on aina myös oltava reitittävä ADSL-modeemi, joka reitittää työasemalta tulevat paketit BRAS:lle.

Ongelmana tässä kehystyyppissä on se, että ADSL-liittymät joudutaan reitittämään staattisesti BRAS:lla, koska jokaisella asiakasliittymällä on oma kiinteä IP-osoite. Liittymän luomiseen tarvitaan täten enemmän työtä ja se on monimutkaisempaa. (Sarso, 2007: 26.)

5.5 Käyttäjien tunnistus – Optio 82

Operaattoreilla on Suomessa lainsäädännöllinenkin velvollisuus tietää, mikä IP-osoite on ollut milläkin internet-liittymällä tietyssä ajankohtana. Näin voidaan esimerkiksi selvittää, mistä liittymästä on tehty laittomia tunkeutumisyrittäjiä jollekin palvelimille tai mikä liittymä lähettää haittaliikennettä verkkoon. (Sähköisen viestinnän tietosuojalaki, 2004.)

Kotimaisten operaattoreiden ADSL-liittymissä, jotka ovat toteutettu siltaavaa Ethernet-kehystystä käyttämällä RFC 2684:n mukaan, on käyttäjien tunnistuksesta huolehdittu DHCP:n Optio 82:n avulla. PPP-protokollaan (Point-to-Point Protocol) perustuvaa käyttäjien tunnistusta ADSL-liittymissä ei ole Suomessa otettu käyttöön laajemmassa mittakaavassa. Tästä syystä olen rajannut PPP-protokollan käsittelyn tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Todettakoon sen vain olevan vaihtoehto DHCP:n OPTIO82:lle.

Operaattorilla on kaksi mahdollisuutta jakaa IP-osoitteita DHCP:n avulla käyttäjille:

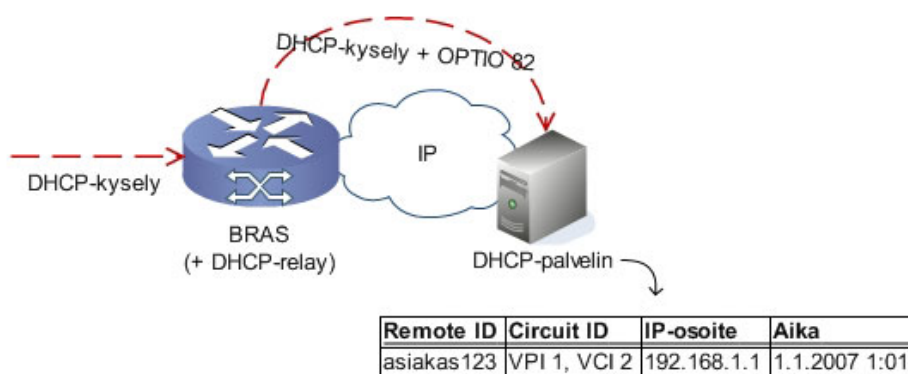
1. Joko BRAS vastaa suoraan asiakkaiden DHCP-kyselyihin ja jakaa näin IP-osoitteet itse suoraan liittymiin.

2. Tai sitten BRAS:lle on määritetty DHCP-relay –toiminto, joka välittää asiakkaiden liittymistä tulevat kyselyt erilliselle DHCP-palvelimelle.

Käytettäessä erillistä DHCP-palvelinta IP-osoitteiden jakamiseen, pitää huolehtia siitä että palvelin tietää mistä liittymästä kyselyt tulevat ja mikä IP-osoite on milläkin liittymällä ollut tietyllä hetkellä. Sama IP-osoite voi olla käytössä monessa eri liittymässä pitkällä aikavälillä. Näin voidaan myös rajoittaa tietyn liittymän saamien julkisten IP-osoitteiden määrää.

Tämän vuoksi BRAS:n välittämiin DHCP-viesteihin lisätään niin sanottu OPTIO82-kenttä, jossa on määritelty erilliset Circuit ID ja Remote ID –arvot (Patrick, M. RFC-dokumentti 3046. 2001). Remote ID –arvoon määritellään operaattorin liittymälle antama tunnistenumero, joka erottaa liittymän muista liittymistä. Tämä tunnistenumero on määritetty yhteydelle kun liittymän virtuaaliyhteys (PVC) on ohjelmoitu ATM-verkkoon. Circuit ID –arvossa on taas määritetty se aliliittymä, mistä DHCP-kysely tuli BRAS:lle. ATM-verkon tapauksessa Circuit ID –arvoon määritellään liittymän PVC:n VPI- ja VCI-arvot.

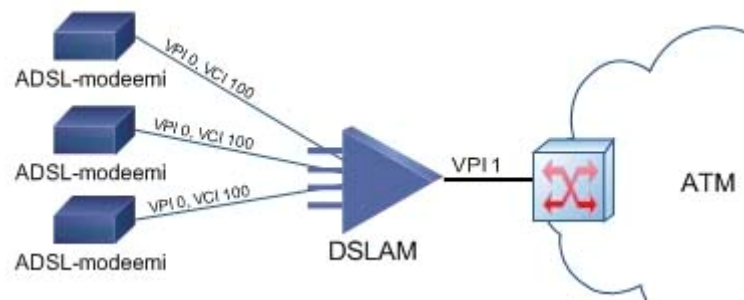
Kuvassa 9 on esitetty DHCP-kyselyiden välitys erilliselle DHCP-palvelimelle. Kuvassa näkyy myös pieni ote palvelimelle mahdollisesti generoituvasta tiedoista, joiden perusteella voidaan selvittää tietyllä liittymällä ollut IP-osoite.



Kuva 9: DHCP-kyselyiden välitys ja OPTIO 82:n toiminta

5.6 ADSL-liittymien aggregointi ATM-verkossa

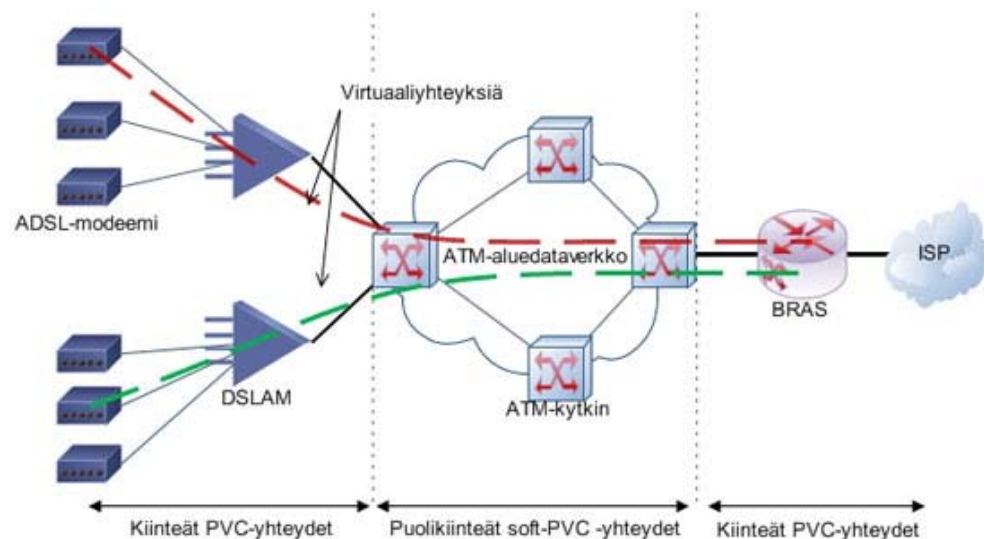
Aggregoinnilla tarkoitetaan ADSL-liittymistä tulevien liikennevirtojen kokoamista yhteen ja välittämistä eteenpäin. DSLAM on hyvä esimerkki aggregoinnista.



Kuva 10: ADSL-liittymien aggregointi ja välitys eteenpäin DSLAM:ssä

Koska VPI- ja VCI-tunnisteet ovat vain paikallisia, voidaan kaikille ADSL-asiakkaille tarjota samat yhteysarvot ADSL-tilaajayhteydelle. Näin modeemien PVC-asetukset ovat aina samat, kuten kuvassa 10 näkyy.

ADSL-liittymä muodostaa virtuaaliyhteyden ATM-verkon läpi operaattorin reitittimelle (BRAS). Virtuaaliyhteys alkaa ADSL-modeemista ja päättyy reitittimelle. ATM-verkossa voi virtuaaliyhteyksiä olla teoriassa 268 miljoonaa kappaletta, mutta käytännössä yhteyksien määrää rajoittaa ATM-kytkinlaitteiden rajallinen VPI- ja VCI-osoitevaruuksien koko (Sarso, 2007: 37). Eri laitevalmistajat ovat käyttäneet ATM-verkko-laitteissa eri osoitearvoalueita, joten ATM-standardin mahdollistamaa yhteyksien määrää ei saada aikaan. Kuvassa 11 on kuvattuna kahden eri ADSL-liittymän virtuaaliyhteyttä ATM-verkon läpi BRAS:lle asti.



Kuva 11: ADSL-liittymän virtuaaliyhteydet BRAS:lle sekä kiinteät- ja puolikiinteät PVC-yhteydet (Sarso 2007: 38)

ATM-yhteydet ovat perinteisesti olleet puolikiinteitä (soft-PVC) ATM- aluedataverkon sisällä (esitetty kuvassa 11). Tämä helpottaa virtuaaliyh- teyden rakentamista, koska verkon ylläpitäjän täytyy määrittää vain yh- teyden ensimmäisen ja viimeisen hypyn VPI- ja VCI-arvot. ATM-verkko muodostaa sen jälkeen yhteyden dynaamisesti verkon kytkinten välillä, ja vaikka virtuaaliyhteyden VPI- ja VCI-arvot voivatkin vaihtua matkan varrella, tapahtuu se täysin automaattisesti. Puolikiinteäyhteys myös rei- tittyy uudelleen, jos ATM-aluedataverkossa jokin linkki tai kytkin vi- kaantuu. Näin soft-PVC – yhteydet parantavat myös verkon viansietoky- kyä.

Kiinteitä PVC-yhteyksiä käytetään aluedataverkon ulkopuolella. Alueda- taverkon reunakytkin sekä ADSL-modeemit ovat kiinteillä yhteyksillä yhdistetty DSLAM:hin. Samoin BRAS on yhdistetty kiinteällä yhteydellä aluedataverkkoon.

Aggregointia helpottaa myös virtuaalipolkujen käyttö. Poluilla pystytään niputtamaan virtuaalikanavia yhteen ja automatisoimaan liittymien luon- tia verkkoon. Esimerkiksi kuvassa 10 on esitetty ADSL-tilaajayhteyksien välitys eteenpäin virtuaalipolkua 1 pitkin ATM-verkkoon. Samoin jos verkossa tapahtuu muutos, ei verkon ylläpitäjän tarvitse muuttaa jokaisen ADSL-liittymän virtuaalikanavaa erikseen, vaan hän voi vain muuttaa virtuaalipolkua.

6 Ethernet-tekniikka

6.1 Ethernetin standardointi

Ideana Ethernetissä on alusta asti ollut jaettu siirtotie. Alkuperäisestä muodostaan Ethernet on kasvanut tietynlaiseksi yläkäsitteeksi, joka pitää sisällään useita standardoituja lähiverkon toteutustapoja ja ominaisuuksia. Näitä standardeja yhdistää CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection) –menetelmä, jonka avulla lähiverkon laitteet pystyvät käyttämään yhteistä siirtotietä. Ethernetistä on nykyisin tullut maailman käytetyin lähiverkkotekniikka. Syy tähän on ollut pitkälti sen laitevalmistajariippumattomuus.

Toisin kuin ATM, on Ethernet pakettikytkentäinen tekniikka. Tämän vuoksi sillä voidaan tuottaa ja toteuttaa tehokkaammin erilaisia IP-palveluita (IP-liikenne on myös pakettikytkentäistä). Esimerkkinä joukkolähetyspalvelut. Ethernet-tekniikka sijaitsee OSI-mallin fyysisellä- sekä siirtoyhteyskerroksella.

Alla on listattu eräitä standardointeja, jotka ovat vaikuttaneet merkittävästi Ethernet-tekniikan kehittymiseen ja nopeuksien kasvamiseen.

- 1960-luvun lopulla Aloha-verkon ensimmäiset kokeilut, nopeus 4,800 bps.
- 1972 DIX (DEC, Intel, Xerox) Ethernet, nopeus 2,94Mb/s.
- 1982 DIX II Ethernet, nopeus 10Mb/s.
- 1983 IEEE:n standardi 802.3 Ethernetistä 10Base-5, nopeus 10 Mb/s.
- 1984 802.3a, 10Base-2 eli ohutkoaksaalikaapeli “cheapernet”.
- 1990 802.3i, 10Base-T eli parikaapeli.
- 1995 802.3u, FastEthernet, nopeus 100Mb/s.
- 1998 802.3z, Gigabit Ethernet kuidussa, nopeus 1Gb/s.
- 1998 802.1Q, VLAN:ien käyttöönotto sekä niiden laatuluokat 802.1p.
- 1999 802.3ab, Gigabit Ethernet parikaapelissa, nopeus 1Gb/s.
- 2003 802.3ae, 10 Gigabit Ethernet kuidussa, nopeus 10 Gb/s.

(Jaakohuhta, 2003: 5-17.)

6.2 CSMA/CD

Vaikka Ethernetissä siirtotie on jaettu, voi sitä kautta siirtää dataa vain yksi verkkolaite kerrallaan. Jos kaksi laitetta lähettää samaan aikaan dataa tapahtuu verkossa törmäys, jolloin molempien laitteiden lähetys epäonnistuu.

CSMA/CD on kaistanvaraustekniikka, jonka avulla verkon laitteet pystyvät käyttämään samaa siirtotietä lähettämällä dataa eri aikaan. Yksinkertaistettuna CSMA/CD-algoritmi toimii siten, että dataa lähettävä verkkolaite seuraa ensin siirtokaistaa, jotta selviää lähettääkö joku toinen laite juuri samalla hetkellä. Siirtokaistan ollessa vapaa suorittaa laite lähetyksensä. Jos kuitenkin jokin toinen laite alkaa lähettää myös samalla hetkellä ja siirtokaistalla tapahtuu lähetysten törmäys, odottaa lähettävä verkkolaite satunnaisen ajan, jonka jälkeen se lähettää saman datan uudelleen. (Jaakohuhta 2003: 63.)

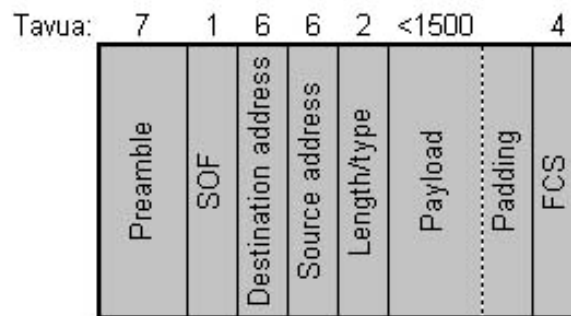
6.3 Ethernet-kehys

Ethernet-tekniikka pakkaa ylemmiltä protokollatasoilta tulevan tiedon kehyksiin, jotka lähetetään vastaanottajalle. Kehyksessä on määritelty lähettäjän ja vastaanottajan osoite, verkkolaitteiden fyysisen MAC-osoitteen (Media Access Control) perusteella. Ethernet-kehysten kohteen MAC-osoite voi olla jokin yksittäinen laiteosoite tai sitten ryhmälähetysosoite.

MAC-osoite on 6-tavun (tai 48-bitin) osoite, joka on yksilöllinen jokaisella Ethernet-verkkolaitteella. Osoite esitetään heksadesimaaleissa ja on muotoa ”00:11:22:aa:bb:cc”. MAC-osoitteen 3 ensimmäistä tavua kertovat laitteen valmistajan. Esimerkiksi ”00:13:49” kertoo laitevalmistajaksi Zyxelin.

Kehyksen hyötykuormakenttään sijoitetaan ylemmiltä tasoilta tullut siirrettävä tieto. Hyötykuormakentän koko voi olla maksimissaan 1500 tavua ja minimissään 64, paitsi Gigabit Ethernetissä, jossa minimikoko on 516 tavua (Jaakohuhta 2003: 60). Jos siirrettävä tieto ei täytä hyötykuormakentän minimikokoa, lisätään täytekentän kokoa niin paljon että kehyksen minimikoko täyttyy.

Kuvassa 12 on esitetty Ethernet-kehys ja siinä käytetyt kentät. Ethernet versio 2:n ja IEEE:n standardin 802.3 kehykset eroavat pituus/tyyppi (Length/type) – kentässä, jonka käyttö riippuu käytetystä tekniikasta. 802.3 määrittää hyötykuorman pituuden, kun taas Ethernet v2 määrittää hyötykuormassa käytetyn protokollan. Kumpaakin kehystyyppiä voidaan silti käyttää samaan aikaan siirtotiellä.



Kuva 12: Ethernet-kehys

- Preamble on tahdistuskuvio, joka kostuu seitsemästä tavusta, jotka ovat muotoa "01010101".
- Start of Frame Delimiter (SOF) seuraa tahdistuskuviota ja koostuu yhdestä "10101011" muotoisesta tavusta, jossa kohta "11" synkronoi varsinaisen kehyksen alkavan.
- Destination ja Source address, kentissä sijaitsevat kohteen ja lähettäjän MAC-osoitteet.
- Length/type – kenttä kertoo hyötykuormasta. Length ilmaisee hyötykuorman pituuden ja type sen protokollan (esim. IP).
- Payload-kentässä sijaitsee kehyksen hyötykuorma, esim. IP-paketti.
- Padding-kenttää käytetään silloin kun kehys on liian pieni ja sitä kasvatetaan niin kauan että kehys on yhteensä 64 tavun kokoinen.
- Frame-check sequence (FCS) on 4 tavun tarkistussumma, jota verrataan muuhun kehykseen ja jos summat ovat samat, voidaan päätellä että kehys ei ole korruptoitunut.

Yhteensä kehyksen pituus voi olla siis 64–1522 tavua, jos mukaan laskeaan tahdistuskuvio ja sen jälkeen tuleva synkronointitavu. MTU (Maximum Transmission Unit) on tavuissa merkittävä arvo, jolla ilmaistaan sitä arvoa jolla tietty siirtotie pystyy kuljettamaan tietoa pilkkomatta sitä pienemmiksi palasiksi. Ethernetin MTU standardiksi on muodostunut 1500 tavua sekä lähiverkoissa että operaattoreiden käytössä. MTU-arvo on kuitenkin laitekohtainen ja sitä pystytään kasvattamaan. VLAN:ien käyttö lisää MTU-arvoa 4 tavulla ja nykyään on mahdollista ottaa käyttöön jo 9000 tavun kehyksiä (jumbo frames) (Viestintävirasto, Laajakais-tyhteysien rajapinnat – raportti, 2004: 11).

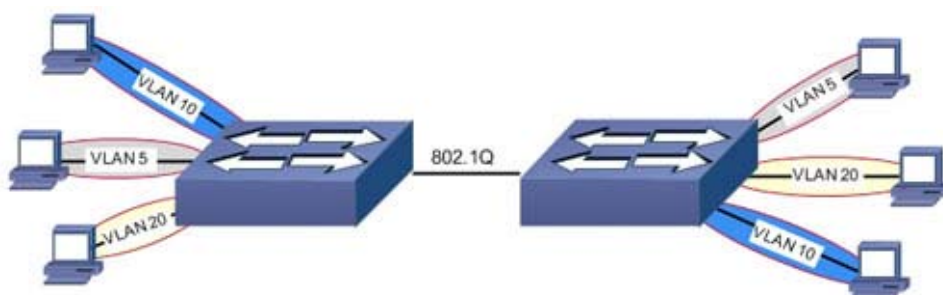
6.4 Verkkosegmentit

Mitä enemmän verkkolaitteita sijaitsee samassa verkkosegmentissä, sitä useammin verkossa tapahtuu törmäyksiä ja se ruuhkautuu. Tätä voidaan helpottaa jakamalla verkko eri segmentteihin siltojen ja kytkimien avulla. Myös virtuaalisilla lähiverkoilla VLAN:illa (Virtual Local Area Network) voidaan jakaa lähetyalueita.

6.5 Virtuaaliset lähiverkot – VLAN

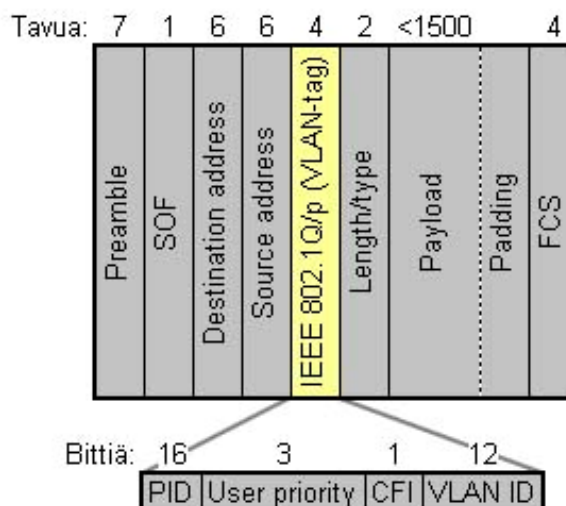
IEEE:n standardi 802.1Q virtuaalisista lähiverkoista julkaistiin vuonna 1998. Tämä tekniikka mahdollistaa fyysisen verkon jakamisen pienempiin loogisiin osiin, jotka muodostavat oman virtuaalisen lähiverkon - VLAN (Virtual LAN). VLAN:iin voi kuulua käyttäjiä, sovelluksia tai verkkolaitteita, jotka sijaitsevat fyysisesti eri puolilla verkkoa.

VLAN-tekniikalla voidaan siis erottaa käyttäjien liikenne toisistaan. Mutta sillä on myös muitakin käyttötarkoituksia. VLAN:ien avulla voidaan mahdollistaa liikenteen priorisointi ja verkon hallinnointi helpottuu käyttäjien liikkua verkossa.



Kuva 13: Kaksi kytkintä yhdistettynä runkolinkillä, joka tulee 802.1Q-standardia. Molemmissa kytkimissä on määritelty VLAN:t 5,20 ja 10.

Käytettäessä 802.1Q-standardia lisätään Ethernet-kehukseen VLAN-TAG – kenttä, joka on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14: Neljän tavun kokoinen VLAN-tagin Ethernet-kehyksessä, 802.1Q-standardin mukaan. (Jaakohuhta 2003: 118)

- Protocol Information (PID) on puolet tagista. Se kertoo kyseessä olevan 802.1Q kehys.
- User priority – kenttä on 3 bittinen ja määrittää kehyksen prioriteetin 802.1p-standardin mukaan.
- Canonical format indicator (CFI), käytetään Ethernetin ja Token Ring – verkkojen yhteensopivuuden varmistamiseksi.
- VLAN ID – arvo määrittää sen minne VLAN:iin kehys kuuluu.

Koska VLAN ID – kentälle on vain annettu 12 bittiä, se rajoittaa virtuaalisten lähiverkkojen määrän 4096 kappaleeseen yhdessä fyysisessä verkossa.

6.5.1 VLAN-tiedon välitys – GVRP

802.1Q-standardi määrittelee myös GVRP-protokollan (Generic VLAN Registration Protocol), jonka avulla VLAN-tietoa voidaan välittää Ethernet-verkossa automaattisesti kytkinten välillä. Näin yhdelle kytkimelle määritellyt VLAN:t leviävät verkossa automaattisesti muillekin kytkimille. VLAN-tietoa voidaan määrittää kytkimille myös manuaalisesti, mutta se on verkon ylläpidon kannalta hidasta.

6.5.2 VLAN-palveluluokat – IEEE 802.1p

Toisin kuin ATM:ssä, Ethernetissä ei pystytä takaamaan lähetykselle tiettyä palvelunlaatua (Quality of Service) verkon yli, vaan kaikki liikenne on ollut enemminkin best-effort tyylistä liikennettä. Tähän ongelmaan on pyritty löytämään ratkaisua palveluluokilla - Class of Service (CoS) - jotka ovat määritelty IEEE:n VLAN-standardiin tehdyssä laajennuksessa 802.1p. Tämä standardi määrittelee VLAN-tagin User priority – kentän (kuva 14) sisältämän kolmen bitin käytön.

Kolmella bitillä saadaan 8 eri palvelutasoa, joiden perusteella Ethernet-verkon kytkimet osaavat käsitellä kehyksiä oikein OSI-mallin toisella tasolla. Taulukossa 2 on esitetty nämä palvelutasot prioriteetti 8:n ollessa suurin.

Jotta liikennettä voitaisiin priorisoida 802.1p-standardin mukaisesti, pitää kaikissa Ethernet-verkon kytkimissä ja päätelaitteissa olla 802.1p-tuki, jotta liikenteen prioriteettitasot säilyisivät koko verkon läpi. Erilaisille liikenneluokille voidaan luoda myös omat VLAN:t, jotka ovat priorisoitu eriarvoisesti. Näin esimerkiksi ADSL-liittymän sähköpostiliikenne kulki eri VLAN:ia kuin VoIP-liikenne. (Viestintävirasto, Laajakaistayhteyksien rajapinnat – raportti, 2004: 12.)

Sovellus	Bitit	Käyttötarkoitus	Prioriteetti
RIP, OSPF, SNMP	111	Verkonvalvonta- ja hallinta	8
VoIP, IP-puhelu	110	Verkkopuhelut	7
NetMeeting	101	Multimedia	6
RealVideo	100	Ääni ja video (ei reaaliaik.)	5
Intime, SAP	011	Operatiiviset järjestelmät	4
Novell, NT	010	Standardi	3
Notes, Domino	001	Tausta	2
Web, sähköposti	000	Jäljellejäävä kapasiteetti	1

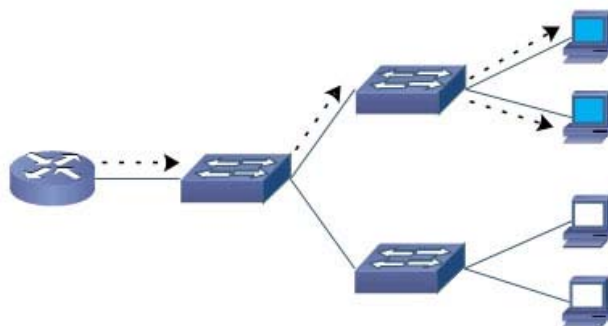
Taulukko 2: 802.Ip-standardin mukaisesti määritellyt palvelutasot (Jaakohuhta 2003: 123)

6.6 Ryhmälähetysviestit – Multicast

Toisin kuin ATM-tekniikka, Ethernet-tekniikka mahdollistaa ryhmälähetysten (multicast) käyttämisen. Ryhmälähetyksellä voidaan verkossa lähettää tehokkaasti esimerkiksi TV-lähetys.

Ryhmälähetys tarkoittaa multicast-kehiksen lähettämistä yhdeltä koneelta ryhmälle vastaanottajia. Tähän ryhmään voivat muut koneet halutessaan liittyä tai erota. Yhdellä lähetyksellä tavoitetaan siis useita vastaanottajia. Ryhmälähetys onkin tehokkaampi tapa välittää lähetys tietylle ryhmälle, kuin jos sama lähetys lähetettäisiin vastaanottajille useina omia lähetysinä (unicast).

Joukkolähetyksestä (broadcast) ryhmälähetys eroaa siinä, että joukkolähetys lähetetään kaikille verkkosegmentin laitteille. Ryhmälähetys taas lähetetään vain verkkosegmentin tietyn ryhmän jäsenille.



Kuva 15: Ryhmäviestin lähetys Ethernet-verkossa vain tietylle ryhmälle

7 Ethernet-alueverkko

7.1 Ethernet operaattorien käytössä

Alun perin Ethernet kehitettiin lähiverkkotekniikaksi, mutta 90-luvulla se alkoi syrjäyttää muita tekniikoita myös IP-liikenteen siirtotekniikkana. Uusien standardien myötä Ethernetiin tuli uusia ominaisuuksia, joista operaattoreille on ollut paljon hyötyä. Esimerkiksi VLAN, GigabitEthernet sekä 10 GigabitEthernet. Näin Ethernet on vallannut tilaa myös operaattoreiden verkoissa.

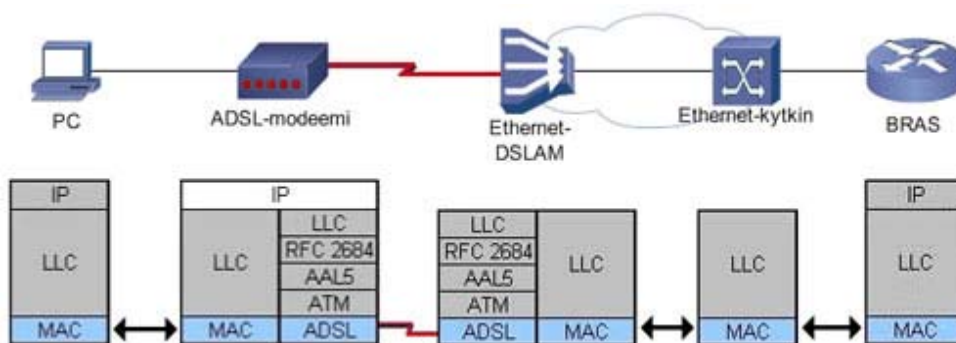
Operaattoreiden verkoissaan käyttämä Ethernet on samaa kuin mitä lähiverkoissa käytetään, siihen on vain muun muassa lisätty edellä mainittuja ominaisuuksia, joita ei käytetä perinteisissä lähiverkoissa. Puhutaan niin sanotusta Metro Ethernet -verkoista. (Salonen, sähköpostikeskustelu, 2.7.2007.)

7.2 RFC 2684 kehystys Ethernetille

Vaikka alueverkko onkin toteutettu Ethernet-tekniikalla, jää ATM silti käyttöön ADSL-tilaajayhteydessä. Mitään radikaaleja muutoksia tässä yhteydessä ei myöskään tapahdu, vaan se toteutetaan edelleen RFC 2684 -kehystyksellä. Kuten aikaisemmassa ATM-kappaleessa kävi ilmi, voidaan Ethernet-tekniikassakin kehystys tehdä siltaavana tai reitittävänä.

7.2.1 Kehystys sillatulle Ethernetille

Kuvassa 16 on kuvattu protokolla-arkkitehtuuria ADSL-liittymästä, joka on toteutettu RFC 2684 –kehystyksellä sillattuna. ADSL-modeemissa AAL5-sovituskäsitelmä purkaa Ethernet-kehiksen ATM-soluihin, jotka kuljetetaan ADSL-tilaajayhteyden yli. DSLAM taas kokoaa kehiksen jälleen ja välittää sen eteenpäin Ethernet-alueverkossa.



Kuva 16: RFC 2684 –kehystys sillatulle ADSL-liittymälle Ethernet-verkossa (Sarso 2007: 49, soveltaen)

Sillatussa yhteydessä voidaan käyttää joko siltaavaa tai reitittävää verkkopäätettä, eli ADSL-modeemia. Kuvassa 16 verkkopäätteen kohdalla näkyvässä protokollapinossa IP-taso on kuvattu eri värillä, koska siltaava verkkopäättee ei käsittele IP-paketteja, kun taas reitittävä verkkopäättee käsittelee.

Asiakkaan PC:ltä lähetetty Ethernet-kehys päättyy operaattorin reitittimelle, josta se reititetään eteenpäin IP-protokollan avulla. ADSL-verkkopäätteestä riippuen reitittimelle näkyy joko PC:n verkkokortin MAC-osoite, jos verkkopäättee toimii siltaavana, tai reitittimelle tulevassa kehyksessä näkyy reitittävän verkkopäätteen MAC-osoite.

7.2.2 Kehystys reititetylle IP-protokollalle

Kuten ATM-tekniikassakin, RFC 2684-kehystystä reititettävälle protokollalle käytetään lähinnä yritysyhteyksien toteuttamiseen. Tämä kehystysmuoto on ongelmallisempi kuin siltaava, koska ADSL-verkkopäättee on reitittävä ja tilaajayhteyden ylitse siirretään IP-paketteja ilman Ethernet-kehysä.

Ongelma tulee vastaan siinä, kun DSLAM kapseloi tilaajayhteyden ylitse välitetyn IP-paketin Ethernet-kehykseen, jotta se pystyttäisiin välittämään Ethernet-aluedataverkossa reitittimelle. Minkäänlaisia standardeja siitä millaisen MAC-osoitteen DSLAM antaa kehykselle ei nimittäin ole. DSLAM joutuu tavallaan arvaamaan MAC-osoitteen. Tässä kohtaa löytyy operaattori- ja laitevalmistajakohtaisia eroja. Ongelmaksi nämä erot voivat muodostua tukkuliittymissä, kun palveluoperaattori vuokraa ADSL-linjan verkko-operaattorilta.

DSLAM:n määrittelemä kehiksen MAC-osoite toimii ADSL-liittymän osoitteena operaattorin reitittimellä, ja tähän osoitteeseen reititetään internetistä tai IP-verkosta tulevat paketit. MAC-osoitteen tulee tämän takia olla yksiselitteinen (ainutlaatuinen) ainakin DSLAM:n sijaitsevan Ethernet-verkon alueella.

7.3 Liittymäkohtaiset ja liittymäryhmäkohtaiset VLAN:t

Koska VLAN-standardi rajaa yhtäaikaaisesti käytössä olevien VLAN:ien määrän 4096 kappaleeseen, jokaiselle liittymälle ei voida varata omaa VLAN:ia käyttöön. Operaattoreiden on ollut pakko keksiä vaihtoehtoisia toteuttamistapoja.

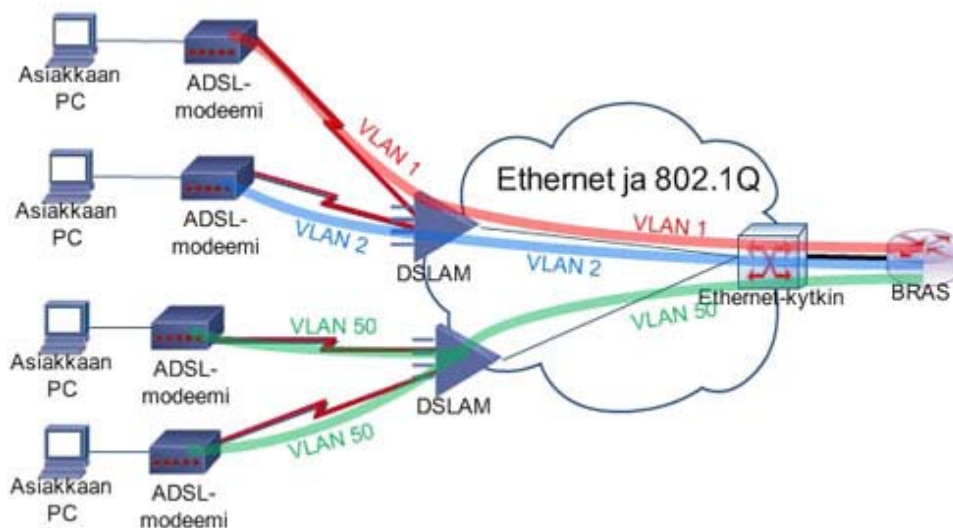
Osa operaattoreista onkin ottanut käyttöön Ethernet-tekniikan mahdollistamat liittymäryhmäkohtaiset VLAN:t. Erityisesti juuri kuluttajien ADSL-liittymiä on alettu toteuttaa tällä tekniikalla. (Viestintävirasto, Laajakaistayhteyksien rajapinnat – raportti, 2004: 13.)

Liittymäkohtaisella VLAN:illa tarkoitetaan sitä, että ADSL-liittymää varten varataan Ethernet-verkosta sen käyttöön yksi VLAN, jota käytetään vain tämän kyseessä olevan ADSL-liittymän tiedon siirtoon. ADSL-liittymän liikenne on siis näin muusta verkon liikenteestä erotettuna L2-tasolla (OSI-mallin siirtoyhteyskerros). Liittymäkohtaisia VLAN:ja käytetään lähinnä yritysliittymien toteutuksessa.

Liittymäryhmäkohtaisella VLAN:illa taas tarkoitetaan, että samantasoisille ADSL-liittymille varataan verkosta vain yksi VLAN, jota nämä kaikki liittymät käyttävät tiedon siirtämiseksi operaattorin Ethernet-alue-dataverkon lävitse. Joskus tällaisesta ryhmä-VLAN:sta käytetään myös nimeä ”massa-VLAN”. Ryhmäkohtaisia VLAN:ejä käytetään yleensä kuluttajaliittymien kanssa.

Ryhmäkohtaisia VLAN:ejä käytettäessä verkossa varattujen VLAN:ien määrä laskee. Ne lisäävät myös kustannustehokkuutta, koska liittymien konfigurointi verkkoon on helpompaa ja nopeampaa sekä sitä voidaan automatisoida paremmin.

Liittymäryhmäkohtaiset VLAN:t helpottavat myös ryhmälähetyspalveluiden (multicast) toteuttamista, kuten esimerkiksi IPTV-lähetysten levitystä operaattorin verkossa. Liittymäryhmäkohtaiseen VLAN:iin lähetetty yksi ryhmälähetys riittää sen levittämiseksi kaikille tilaajille, jotka on määritelty kuuluvaksi tähän VLAN:iin. (Sarso 2007: 58.)



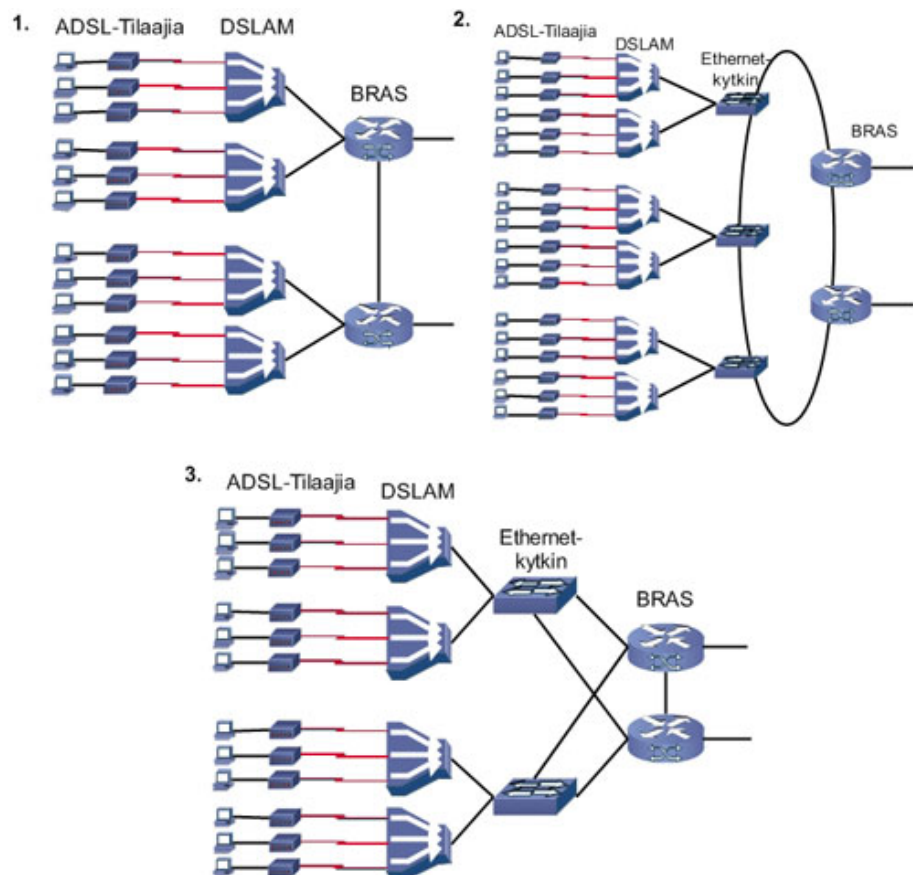
Kuva 18: VLAN:t 1 ja 2 ovat liittymäkohtaisia. Liittymäryhmäkohtainen on VLAN 50, jota käyttää kaksi liittymää. (Sarso 2007: 57, soveltaen)

7.4 Ethernet-alue-dataverkon aggregointi

Ethernet-alue-dataverkon aggregoinnilla tarkoitetaan tapaa miten ADSL-liittymistä tulevat signaalit saadaan kerättyä yhteen ja välitettyä alue-data-

verkon kautta eteenpäin operaattorin runkoverkkoon ja lopulta reititettyä julkiseen internetiin. DSL Forum on tehnyt teknillisen raportin nimeltä TR-101, joka käsittelee miten operaattorin ATM-aluedataverkko tulisi muuttaa Ethernet-aluedataverkoksi. Kuvassa 19 on esitetty kolme vaihtoehtoa Ethernet-verkon fyysiselle topologialle. Kyseessä on vain esimerkkejä, ja muitakin tapoja voidaan käyttää.

1. Ensimmäinen vaihtoehto on suora yhteys DSLAM:ltä reitittimeen eli BRAS:iin.
2. Toinen tapa on myös käyttää kytkimiä aggregoinnissa, mutta kytköt ne BRAS:lle rengastopologialla.
3. Kolmas vaihtoehto on käyttää aggregointitasoa, jolla DSLAM:t yhdistetään reitittimille. Kuvassa 19 toisen vaihtoehdon kohdalla aggregointitasona käytetään kahta kytkintä, jotka ovat DSLAM:ien ja BRAS:ien välissä.



Kuva 19: Kolme esimerkkiä miten aluedataverkon aggregointi arkkitehtuuri voidaan rakentaa Ethernet-tekniikalla (DSL Forum, TR-101: 29)

BRAS hoitaa liittymien terminoinnin, eli poistaa DSLAM:ltä tulleen Ethernet-kehiksen ja reitittää IP-paketin eteenpäin kohdeverkkoon. BRAS:n reititystaulussa on myös tieto ADSL-liittymästä, joten internetistä tulleet IP-paketit osataan ohjata oikeaan liittymään.

DSL Forumin TR-101-raportissa kutsutaan operaattorin reititintä BNG-nimellä (Broadband Network Gateway). Tässä opinnäytetyössä niistä käytetään kuitenkin selvyuden vuoksi nimitystä BRAS.

IEEE:n muistiossa RFC 4679, joka käsittelee RADIUS-palvelinten valmistajakohtaisia määrittämiä, on selvitetty BNG:n ja BRAS:n suhdetta toisiinsa. Muistiossa todetaan BNG:n olevan operaattorin aluedataverkon sekä IP-verkon välinen reunareititin, jolla vaikutetaan verkon kaistanleveyteen sekä palvelunlaatuun (QoS). BRAS on taas se piste mihin liittymien liikenne aggregoidaan aluedataverkosta, ja se sijaitsee aluedataverkon ja runkoverkon välissä. BRAS sisältää myös BNG:n toiminnallisuuden. (RFC 4679, 2006.)

BRAS:lle voidaan myös määrittää pääsyylistoja. Niiden avulla voidaan ADSL-liittymien ulos ja sisäänpäin menevää liikennettä rajata, ennen kuin se pääsee runkoverkkoon.

7.5 Liittymän tunnistus Ethernet-verkossa

Yleisimmin operaattoreilla Suomessa on kolme eri tapaa tunnistaa laajakaistaliittymät, jotka ovat yhdistettyinä Ethernet-aluedataverkkoon. Tunnistus voidaan tehdä kiinteän IP-osoitteen, VLAN:n tai DHCP – optio 82:n avulla.

Kiinteää IP-osoitetta tai IP-osoitteita käyttävien liittymien tunnistus on helppoa, koska sama IP-osoite on aina saman asiakkaan käytössä. Liittymän VLAN voidaan myös kytkeä BRAS:n liityntään, johon on määritelty oma IP-aliverkko ja johon ei ole muita liittymiä yhdistettynä (Sarso 2007: 71).

Liittymäkohtaista VLAN:ia käyttävissä liittymissä IP-osoitteet vaihtuvat, mutta VLAN-tunniste pysyy aina samana, koska samaa VLAN:ia käyttää vain yksi liittymä. Näiden liittymien tunnistuksessa käytetään avuksi tietoja, jotka BRAS välittää liittymistä tulevien DHCP-kyselyiden mukana DHCP-palvelimelle. BRAS nimittäin lisää DHCP relay agent option – kenttään BRAS:n oman tunnisteeseen, liittymän tunnisteeseen sekä VLAN-tunnisteeseen, jota käytetään juuri kyseisessä liittymässä (Sarso 2007: 70). Näiden tietojen avulla operaattori pystyy yhdistämään IP-osoitteen ADSL-liittymään.

DHCP optio 82 - tunnistusta käytetään ADSL-liittymissä, jotka ovat liittymäryhmäkohtaisessa VLAN:ssa. Samaa VLAN:ia käyttää siis useampi eri liittymä. Tällaisia liittymiä ovat yleensä kaikki tavallisille kuluttajille tarkoitetut ADSL-liittymät.

Kuten liittymäkohtaisissa VLAN:ssa, myös liittymäryhmäkohtaisissa VLAN:ssa liittymästä DHCP-palvelimelle tuleviin DHCP-kyselyihin liitetään optio82-kenttään tieto, jonka perusteella liittymä pystytään erottamaan muista liittymistä. Liittymäryhmäkohtaista VLAN:ia käyttävien liittymien kohdalla tämä optio82-kentän liittäminen pitää kuitenkin tehdä jo DSLAM:n kohdalla. Kyselyiden tullessa BRAS:lle ei samaa VLAN:ia käyttäviä liittymiä pystyttäisi muuten enää tunnistamaan toisistaan.

7.6 Aggregaatioverkossa huomioitavat turvallisuusseikat

Teleoperaattorin pitää pystyä takaamaan omassa aluedataverkossaan asiakkaiden liikenteen erottamisen L2-tasolla, taaten näin asiakkaiden tietoturvallisuuden. Tämän lisäksi operaattorin pitää myös huolehtia aluedataverkon tehokkaasta toimimisesta ja muun muassa IP-osoitteiden jakautumisesta tässä verkossa.

Toisin kuin ATM:ssä, Ethernet-verkossa asiakkaat käyttävät tiedon siirtoon samaa siirtotietä, jolloin verkon tietoturvaso ei ole oletusarvoisesti yhtä korkealla. Ethernet-tekniikkaan on jälkeempinä lisätty tietoturvasuutta parantavia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi VLAN.

Liittymäkohtaisia VLAN:ja käyttävillä liittymillä L2-tason turvallisuus on taattu BRAS:lle asti, koska liittymä on näin omassa virtuaalisessa lähiverkossaan. Kaikille liittymille ei kuitenkaan voida antaa omaa VLAN:ia, kuten aikaisemmissa kappaleissa on todettu. Liittymäryhmäkohtaisia VLAN:ja käyttävät tilaajat jakavat saman siirtotien keskenään, joten perusongelma säilyy. VLAN:ien lisäksi on siis pitänyt keksiä muita tekniikoita L2-tason liikenteen erottamiseksi operaattorin pääsyverkossa.

7.6.1 MAC-Forced Forwarding

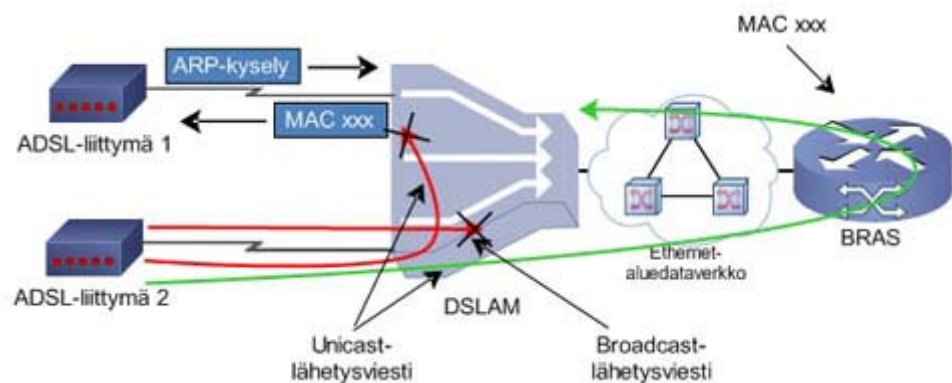
MAC-Forced Forwarding on tekniikka, joka lisää L2-turvallisuutta Ethernet-pääsyverkossa, sillä tilaajien Ethernet-kehykset saadaan kulkemaan suoraan oletusyhdyskäytävälle. Näin tilaajien liikenne saadaan eroteltua L2-tasolla. MAC FF – menetelmä on esitelty RFC dokumentissa 4562. (RFC 4562, 2006.)

Menetelmä toimii teleoperaattorin aluedataverkossa seuraavasti:

- 1) DSLAM oppii oletusyhdyskäytävän (BRAS) IP:n sekä MAC-osoitteen, koska samassa aggregaatioverkossa voi olla useita reitittimiä.

- 2) DSLAM vastaa ADSL-tilaajilta tuleviin ARP-kyselyihin oletusyhdyskäytävän MAC-osoitteella.
- 3) DSLAM estää kaikki ADSL-liittymistä tulevat ryhmä- tai joukkolähetysviestit (multicast, broadcast). Myös kaikki täsmälähetysviestit (unicast) estetään kaikkiin muihin kuin oletusyhdyskäytävän MAC-osoitteisiin.

Kuvassa 20 on kuvattuna yllä oleva kohta 2. Siinä näkyy miten DSLAM vastaa ADSL-liittymä 1:stä tulevaan ARP-kyselyyn BRAS:n MAC-osoitteella. ARP-kyselyllä ADSL-päätelaite tiedustelee mikä MAC-osoite vastaa tiettyä IP-osoitetta, eli minne Ethernet-osoitteeseen se voi lähettää IP-pakettinsa.



Kuva 20: MAC-Forced Forwarding toiminta ADSL-liittymässä

Kuvassa 20 on myös esitettyä aiemmin mainitun MAC FF -menetelmän kohta 3. ADSL-liittymä 2:sta lähetetään 2 unicast-lähetysviestiä ADSL-liittymä 1:een. Niistä toista ei DSLAM päästä läpi, koska siinä ei ole BRAS:n MAC-osoitetta. Unicast-lähetysviesti jossa on BRAS:n MAC-osoite, pääsee läpi ja se ohjataan oikeaan osoitteeseen BRAS:lta. Broadcast-lähetysviestin DSLAM tuhoaa, vaikka siinä olisikin BRAS:n MAC-osoite, koska vain unicast-lähetysviestit päästetään läpi.

MAC FF perustuu proxy arp – toiminnon käyttöön. Se tarkoittaa yllämainittua kohtaa 2. Näin asiakkaan laitteiden ei pitäisi oppia verkosta muita MAC-osoitteita kuin operaattorin reitittimen.

Kohdassa 3 mainittujen lähetysten lisäksi tulee erityisesti estää kaikki DHCP-palvelinten viestit ADSL-tilaajalta. Näin estetään kenenkään ADSL-tilaajan toimimisen toisten ADSL-tilaajien oletusyhdyskäytävänä. Tärkein MAC-Forced Forwarding menetelmällä saatu hyöty on juuri tilaajien liikenteen erottaminen. Samalla tulee myös estettyä DSLAM-porttien välinen liikenne. ADSL-tilaajat voivat näin liikennöidä keskenään vain operaattorin BRAS:n kautta, mikä käytännössä tarkoittaa internettiä. Eikä kukaan henkilö voi ”salakuunnella” toisen liittymän liikennettä.

MAC FF:lla saavutetuista hyödyistä on myös verkossa näkyvien MAC-osoitteiden lukumäärän väheneminen. Tämä on tärkeää, koska Ethernet-kytkimissä oleva MAC-osoitteille varattu muisti on rajallinen. (Sarso, 2007: 68.)

7.6.2 MAC-osoitteiden hallinta

Aluedataverkossa näkyvien MAC-osoitteiden määrä on yksi verkon kustannustekijöistä. Isot kytkimet jotka pystyvät käsittelemään tuhansia MAC-osoitteita, maksavat huomattavan paljon. Siksi operaattorin kannalta on tärkeää pystyä hallinnoimaan asiakasliittymistä aggregaatioverkkoon tulevien MAC-osoitteiden määrää. MAC-osoitteita ei voida niputtaa yhteen (summarize) kuten IP-osoitteistossa voidaan tehdä.

Vihamielinen käyttäjä voi esimerkiksi käyttää ”MAC address flooding” -tekniikkaa. Siinä hyökkääjä generoi omasta liittymästään verkkoon liikennettä ja samalla vaihtaa omaa MAC-lähdeosoitettaan hyvin nopeassa tahdissa. Tällöin verkossa olevien kytkimien muisti täyttyy eri MAC-osoitteista ja verkon toimintakyky heikkenee.

MAC-osoitteiden nopeaa vaihtamista voidaan estää muun muassa sallimalla vain tietty määrä MAC-osoitteita, joita yhdessä DSLAM:n portissa voi olla kerralla. Toinen keino on ottaa DSLAM:ssä käyttöön MAC-osoitteen muunnos (Sarso 2007: 66). Silloin DSLAM korvaa asiakkaalta tulevan Ethernet-kehysten lähdeosoitteen omallaan, joka sitten näkyy aggregaatioverkkoon. DSLAM:n liikennöidessä asiakkaalle päin vaihtaa se asiakkaan MAC-osoitteen sen jälkeen takaisin. Näin aggregaatioverkossa näkyy aina vain yksi MAC-osoite.

”MAC address spoofing” on toinen keino häiritä Ethernet-verkkoa. Se tarkoittaa MAC-osoitteen vaihtamista jonkin toisen laitteen osoitteeksi. Vihamielinen käyttäjä voi vaihtaa tahallaan oman MAC-lähdeosoitteensa vastaamaan jonkin toisen käyttäjän lähdeosoitetta. Tällöin hän voi estää toista käyttäjää pääsemästä verkkoon kokonaan. Samanlaisia MAC-osoitteita voi tosin verkkoon tulla myös laitevalmistajien virheiden takia.

Operaattori voi myös ottaa käyttöön DSLAM:iin konfiguroitavan MAC-osoitefilterin (DSL Forum, TR-101: 48). Tällöin DSLAM pystyy rajaamaan liittymästä liikennöivien MAC-osoitteiden määrän halutuksi. DSLAM voi myös estää kaiken liikenteen tietystä portistaan aggregaatioverkkoon ennen kuin liittymästä liikennöivälle verkkolaitteelle on määritelty IP-osoite, onnistuneen DHCP-kysely jälkeen (Sarso 2007: 66). Käytännössä MAC-osoitefilterinä voidaan käyttää esimerkiksi Ciscon Systemsin kytkimissä olevaa port secure -menetelmää. Tällä menetelmällä voidaan määrittää kuinka monta eri MAC-osoitetta voi liikennöidä tietyn kytkimen porttipaikan kautta yhtä aikaa.

Yllä mainittuja keinoja voidaan ottaa käyttöön samaan aikaan, eivätkä ne ole toisiaan poissulkevia, vaan lähinnä toisiaan täydentäviä. Kuitenkin niitä kaikkia ei ole standardoitu, ja eri laitevalmistajat tukevat niitä vaihtelevasti.

7.6.3 IP-osoitteen väärentäminen – ”IP Spoofing”

”IP spoofing” tarkoittaa oman IP-osoitteen luvaton väärentämistä. Vihamielinen käyttäjä voi esimerkiksi vaihtaa omaa IP-osoitettaan yrittäen näin haitata tai estää kokonaan toisen käyttäjän liikennöinnin verkossa. IP osoitteen väärentämistä käytetään myös usein palvelunestöhyökkäyksissä.

IP-osoitteen väärentäminen tapahtuu siten, että käyttäjä muuttaa lähettämänsä IP-pakettien otsikkotietoja. Otsikkotietoihin vaihdetaan lähetysosoitteeksi jokin muu IP-osoite kuin mitä käyttäjällä olisi lupa käyttää.

Pienessä lähiverkossa voi väärennetyllä IP-osoitteella kommunikointi onnistuakin, mutta suurempiin verkkoihin mentäessä eivät väärennetyt IP-paketit, reitityksestä johtuen, yleensä kuitenkaan palaa hyökkääjälle. Väärentämisen avulla voidaan silti hämätä vastaanottavaa tahoa luulemaan, että paketit tulevat luotettavasta lähteestä.

Normaalisti IP-osoitteen väärentäminen voidaan estää melko helposti. Yksi keino on pakettifiltteröinti verkon palomuurissa tai reitittimen pääsyylistassa. Siinä estetään kaikki ulos menevät IP-paketit, joilla ei ole sisäverkon IP-osoitetta.

DSL forumin teknisessä raportissa TR-101 on annettu suositus, kuinka operaattorit voivat suojautua IP-osoitteen väärentämisestä vastaan Ethernet-pohjaisessa aggregaatioverkossa. Siinä suositellaan että reitittimen tulee estää ja hylätä kaikki tietystä liittymästä tulevat ARP-viestit (kyselyt sekä vastaukset), joissa on jokin muu IP-osoite (eli väärennetyt IP-osoite) kuin mitä sille on DHCP:n kautta välitetty. Tämän tiedon reititin saa DHCP relay agent – toiminnon avulla, joka tarkistaa kaikki liittymistä tulevat DHCP-kyselyt ja merkitsee ARP-tauluunsa MAC-osoitteiden vastaavuuden IP-osoitteisiin. (DSL Forum, TR-101: 64.)

8 Verkko uudistuksen vaikutukset

8.1 Asiakasliittymien siirtäminen uuteen tekniikkaan

Käytännössä verkkouudistus tapahtuu niin, että operaattori siirtää fyysisesti kaikki ADSL-liittymät vanhoista ATM-DSLAM:sta uusiin Ethernet-DSLAM:hin. Kaikkien liittymien johtoparit joudutaan siirtämään käsin yksi kerrallaan, joten verkkouudistus ei tapahdu yhdessä yössä.

Liittymät kytketään uusiin Ethernet-tekniikkaa tukeviin DSLAM:eihin, jotka ovat valmiiksi kytketty uuteen Ethernet-aluedataverkkoon. Uusissa DSLAM:eissa pitää myös olla valmiiksi ohjelmoituna asiakasliittymien asetukset niiden porttipaikoissa, joihin ADSL-liittymät kytketään. Asiakkaalle siirtymän Ethernet-tekniikkaan pitäisi näkyä vain lyhyenä yhteyden katkaisuna.

Huomioon pitää kuitenkin ottaa virheellisten kytkentöjen mahdollisuus. Kun liittymien johtopareja joudutaan siirtämään fyysisesti yksi kerrallaan ADSL-keskittimestä eli DSLAM:stä toiseen, ja liittymiä voi yhdessä keskittimessä olla useita satoja, on todennäköistä että huonoja liitoksia tai ristiinkytkettyjä liittymiä tulee välillä esille.

8.2 ADSL-modeemien yhteensopivuus uuden tekniikan kanssa

Verkkouudistuksen jälkeenkin ATM säilyy ADSL-tilaajayhteyksissä käytettävänä tekniikkana. Periaatteessa myös se voitaisiin korvata Ethernet-tekniikalla, jolloin saataisiin päästä-päähän Ethernet-yhteys. Tällöin esimerkiksi yhteyksien laatutasojen takaaminen olisi helpompaa.

Kuitenkin jos ATM häviäisi tilaajayhteydestä, joutuisi operaattori uusiin kaikki asiakkaiden ADSL-modeemit ja tästä syntyisi hyvin suuri kustannuserä. ATM säilyy siis vielä ADSL-yhteydessä pääasiassa juuri vanhojen modeemien yhteensopivuuden säilyttämiseksi.

Käytännössä asiakkailla on kuitenkin käytössä paljon erimerkkisiä ja erikäisiä ADSL-modeemeita. Kaikkien niiden yhteensopivuutta Ethernet-DSLAM:ien kanssa ei tietenkään voida taata.

8.3 Ethernet-aluedataverkon hyödyt

Yksi suurimmista syistä siirtyä käyttämään Ethernet-tekniikkaa aluedataverkoissaan teleoperaattoreilla on uuden tekniikan kustannustehokkuus

ATM-tekniikkaan nähden. Verkkolaitteet jotka tukevat ATM:ää ovat hyvin kalliita. Samoin kustannuksia tuo ATM-tekniikan monimutkaisuus ja sen skaalautuvuusongelmat.

Esimerkiksi ranskalainen verkkolaittevalmistaja Lucent (nykyinen Alcatel-Lucent) suoritti tutkimuksen, jossa verrattiin ATM ja Ethernet aggregaatioverkkojen käyttökustannuksia. Tuloksena oli 70 % säästökustannukset, jotka Ethernet-tekniikalla saavutettiin ATM-tekniikkaa käyttävää aggregaatioverkkoa nähden. (White, Hernandez, Bodzinga & Bocker 2004: 421.)

Ethernet-tekniikka tukee myös ryhmälähetysviestejä eli multicast-tekniikkaa. ATM ei tue tätä tekniikkaa. Ryhmälähetysviestien käyttö mahdollistaa taas uusien palveluiden tarjoamisen asiakkaille. Kuten esimerkiksi laajakaistaverkon kautta tulevat televisiolähetykset (IPTV) sekä erilaiset virtuaaliset videovuokraamopalvelut (Video on Demand). Markkinoinnissa puhutaan Triple Play – palvelusta, kun samaa laajakaistayhteyttä voidaan käyttää datan, televisiolähetysten ja puheliikenteen siirtämiseen VoIP:n avulla (Voice over IP).

Uuden tekniikan myötä voidaan myös kasvattaa ADSL-liittymien nopeutta. Uusilla Ethernet-DSLAM:t tukevat ADSL2+ tekniikkaa, jolla laajakaistaliittymien nopeutta on voitu kasvattaa 24 Mbit/s liittymää kohden.

Ethernet-tekniikalla toteutettu verkko on myös huomattavasti helpompi hallinnoida ja valvoa. Yksi tärkeimmistä uudistuksista Ethernetissä on VLAN:ien käyttöönotto, joilla korvataan ATM:ssä käytetyt virtuaalipiirit. ATM:ssä yhteyden luomista varten piti luoda virtuaalikanava yksi kerrallaan eri linkkien välille. Uudessa tekniikassa liittymäryhmäkohtaisilla VLAN:illa yhteyksien luominen voidaan kuitenkin toteuttaa nopeasti ja automaattisesti. Näin liittymät ovat entistä yksinkertaisempia toteutukseltaan ja tätä kautta muun muassa viankorjaus on nopeampaa.

Triple play – palveluita tarjottaessa verkon pitää myös pystyä priorisoimaan liikennettään. ATM:ssä virtuaalikanaville voidaan määrittää absoluuttiset palvelutasot, joilla voidaan muun muassa emuloida kiinteää yhteyttä. Ongelma vain on että jotta palvelutasot säilyisivät, pitäisi saman yhteyden olla päästä-päähän samaa virtuaalipiiriä (PVC). Eri palvelutasoille pitäisi myös luoda omat virtuaalipiirinsä. Tämä ei ole operaattoreiden aggregaatioverkoissa käytännössä mahdollista toteuttaa, koska se johtaisi skaalautuvuusongelmiin, ja käytettävissä olevaa siirtokaistaa ei ole tarpeeksi.

Ethernetin puolesta puhuu myös sen kyky käyttää kaikki siirtokaista hyväksi. ATM:ssä virtuaalipiireissä liikkuu soluja kokoajan, vaikka niissä ei kulkisikaan mitään varsinaista dataa.

Kaikki tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ATM-tekniikka olisi epäkäytännöllistä ja vanhaa. Se vain ei ole enää halvin tai käytännöllisin tapa toteuttaa aggregaatioverkkoa, jossa tilaajien määrät ovat kasvaneet nyky-päivän mittasuhteisiin liittymien liikennenopeuksien kasvamisen myötä. Varsinkin kun perinteisen laajakaistaliittymän toteuttamien ATM:llä käyttää vain pientä osaa sen tarjoamista työkaluista. Esimerkiksi kaikista ATM:n tarjoamista palvelutasoista käytetään vain sitä yksinkertaisinta eli määrittelemätöntä nopeutta (Unspecified Bit Rate).

Ethernetin käyttöönottaminen aluedataverkossa, voidaan myös katsoa olevan panostus tulevaisuuden tekniikoihin. Lähitulevaisuudessa operaattorit ottavat laajakaistaliittymissä käyttöön VDSL2-tekniikan, joissa mitä luultavimmin Ethernet korvaa ATM:n myös tilaajalinjalla. VDSL2-tekniikka mahdollistaa liittymien nopeuksien kasvattamisen tulosuunnassa aina (teoreettiseen) 100 Mbit/s asti.

Maailmallakin siirtyminen Ethernet-aluedataverkkoihin on käynnissä. Esimerkiksi verkkolaitteiden valmistajien tuki ATM-pohjaisille DSLAM:lle hiipuu koko ajan.

8.4 Ethernet-aluedataverkon haasteet

Vaikka Ethernet ei olekaan tekniikkana varsinaisesti mitenkään uusi, on sen käyttö uutta operaattoreiden aluedataverkoissa. Siitä ei ole läheskään niin paljon kokemuksia kuin ATM-tekniikasta, eikä se ole yhtä hyvin standardoitu kuin mitä ATM:ssä on. Jotta Ethernetistä on saatu hyödyllinen työkalu operaattoreille, on siihen pitänyt lisätä monia lisäominaisuuksia, jotka ovat olleet ATM:ssä alusta asti. Tällä hetkellä Ethernetin kaikille operaattoreiden käyttämille ominaisuuksille ei löydy valmiita standardeja ja laitevalmistajat tukevat sen tiettyjä ominaisuuksia hieman eri tavoin.

Esimerkkinä voisi mainita ATM:n virtuaalikanavat. ATM-aluedataverkossa liikenne kulkee asiakkaan ADSL-liittymästä omia virtuaalikanaviaan pitkin koko aggregaattiverkon läpi aina operaattorin reitittimelle asti. Asiakkaan liikenne on siis kokoajan erillään muusta liikenteestä L2-tasolla. Ethernet-aluedataverkossa sama onnistuu, mutta vasta VLAN-tekniikan käyttöönoton jälkeen.

Yhtenä suurena haasteena operaattorin kannalta voidaan myös nähdä itse siirtymä ATM-tekniikasta Ethernetiin. Esimerkiksi koko maanlaajuisen verkon uudistaminen vie paljon aikaa, synnyttää uusia investointeja ja tuo väistämättä vastaan ongelmia jossain vaiheessa.

9 Yhteenveto

9.1 Haasteet

Työn suurimpana haasteena koin sopivan lähdeaineiston löytämisen. Hakemiani tietoja kun ei aivan heti löytynyt yksiin tai kaksiin kansiin niputettuna, vaan tietoa piti hakea sekä oppikirjoista että Internetin lähteistä artikkeli kerrallaan. Tekniikan nopea uudistuminen tekee esimerkiksi kirjaston oppikirjoista vanhoja muutamassa vuodessa. Internetin lähteistä löytyvä tieto taas ei välttämättä sovi Suomessa käytettyihin käytäntöihin aina kovinkaan hyvin, eivätkä teleoperaattori luonnollisesti kerro kovin paljon julkisesti omien verkkojensa toimintaperiaatteista.

Toinen haaste minulla oli työn aiheen rajaamisessa. Jos tässä työssä mainittuihin tekniikoihin ja laitteisiin perehtyisi tarpeeksi, saisi niistä jokaisesta aikaan todella monta opinnäytetyötä. Koetin silti olla kirjoittamatta tietyistä aiheista liian tarkasti ja yritin keskittyä käsittelemään työssäni isomman kokonaiskuvan tuomista esille ja vastaamaan asettamiini kysymyksiin.

9.2 Tulokset

Työstäni saa selville mitä muutoksia operaattoreiden aluedataverkoissa on tapahtumassa ja mitä tarkoitetaan kun operaattorit puhuvat laajakais-taverkkojensa uudistuksista. Selvitin myös mitä palveluita uudistusten jälkeen asiakkaille voidaan tarjota. Tavoitteenani oli myös selvittää millainen verkkoinfrastruktuuri tarvitaan laajakaistaliittymien tuottamiseen.

Puhutut uudistukset ovat tapahtumassa teleoperaattoreiden aluedataverkossa, jotka yhdistävät alueelliset ADSL-pääsyverkot operaattoreiden runkoverkkoihin. Ennen aluedataverkot olivat toteutettu ATM-tekniikalla, mutta nyt niitä ollaan vaihtamassa Ethernet-tekniikkaan.

ATM on vanha ja hyväksi havaittu tekniikka, jonka käytöstä operaattoreilla on paljon kokemusta, mutta jolla nykypäivän ja tulevaisuuden internet-palvelujen toteuttamiset toisivat liian suuria kustannuksia verrattuna niiden toteuttamista Ethernetillä.

Operaattorin aluedataverkon toteuttaminen Ethernet-tekniikalla nopeuttaa tiedonsiirtoa ADSL-pääsyverkosta operaattorin runkoverkkoon. Uusi tekniikka tuo verkkoon myös uusia ominaisuuksia, joita ATM ei tue, kuten muun muassa tuen ryhmälähteyksille (multicast).

Ethernet-tekniikka ei ole soveltunut aivan heti ATM:n korvaajaksi, vaan sen ottaminen operaattoreiden käyttöön on vaatinut päivityksiä (10 Giga-bit Ethernet, VLAN-tekniikka ja sen laatuluokat), joilla on saatu korvattua ATM-tekniikassa alusta asti olleet ominaisuudet.

Ethernet-verkkoa on näin ollen helpompi kasvattaa käyttäjien sekä palveluiden kasvaessa eli se on ATM:ää skaalautuvampi ja koska sen hallinnointi on yksinkertaisempaa, ovat myös käyttökustannukset pienempiä. Tutkimukset ovatkin osoittaneet Ethernetillä toteutetun aluedataverkon olevan jopa 70 % ATM:llä toteutettua halvempi.

9.3 Lopuksi

Yksi tämän työn rajoitteista on sen julkinen luonne. Vaikka minulla olisikin ollut tarkkoja tietoja toimeksiantajan verkosta, en voinut lähteä dokumentoimaan niitä suoraan. Tämän vuoksi pyrin tekemään työni mahdollisimman yleisluontoiseksi. Ja vaikka se ei näin ollen kelpaakaan toimeksiantajan verkon spesifiseksi koulutusmateriaaliksi, tästä työstä saa verkkouudistuksen perusteet selville sekä käsityksen uudistuksen syistä.

Myöhemmin voin halutessani koostaa helposti oman koulutusmateriaalini toimeksiantajalle tämän työn pohjalta. Tätä työtä tehdessäni olenkin huomannut, että työn tekeminen antoi minulle paljon paremmat eväät tehdä koulutusmateriaalia, koska tämän työ tekeminen vaati perehtymistä eri tekniikkojen teoriaosuuksiin sekä eri käytäntöjen toteuttamistapoihin.

Työtä tehdessäni en törmännyt täysin uusiin asioihin, mutta huomasin kuinka monella tapaa asiat voidaan tehdä, sekä kuinka monta asiaa verkkojen rakentamisessa pitää ottaa huomioon. Esimerkiksi tietoturvallisen verkon toteuttaminen vaatii useiden seikkojen ja toimintojen käyttöönottamista. Pelkkä liikenteen saaminen kulkemaan edestakaisin ei riitä. Nykypäivänä teleoperaattorien käytäntöihin vaikuttaa myös lainsäädäntö entistä enemmän.

9.4 Kehitysehdotuksia

Opinnäytetyötä tehdessäni törmäsin erilaisiin asioihin, joita voisi tulevaisuudessa tutkia vielä enemmän, esimerkiksi toisissa opinnäytetöissä:

- Rajasin operaattorin runkoverkon tämän työn ulkopuolelle, mutta jouduin silti tutustumaan siihen sen verran, että havaitsin runkoverkkotekniikoidenkin kehittyvät kokoajan. Esimerkiksi runkoverkkotekniikkana käytetty MPLS-tekniikka (Multiprotocol Label Switching) vaikutti erittäin mielenkiintoiselta.

- Tulevaisuudessa IP-protokollan versio 4 tullaan korvaamaan versio 6:lla, jolloin myös IP-osoiteavaruudet muuttuvat. Tästä saisi mielenkiintoisen tutkimuskohteen, jos esimerkiksi lähtisi tutkimaan operaattoreiden valmiuksia tämänlaiseen muutokseen.
- Kappaleessa ADSL-tekniikka mainitsin nopeasti kehittyvät mobiililaajakaista tekniikat, jotka tulevat varmasti tulevaisuudessa korvaamaan ainakin jollain tavalla kiinteitä yhteyksiä. Näiden toiminnasta ja tulevaisuudesta saisi myös lisää tutkittavaa.
- Kiinnostavia aiheita olisivat myös viankorjaus ja rajaus ADSL-liittymissä. Sekä kansalliset käytännöt ja lainsäädäntö käytössä olevissa niin sanotuissa tukkuliittymissä, joissa verkko-operaattorit vuokraavat ADSL-liittymiä palveluoperaattoreille.
- Mieleepä tuli myös, että työn toimeksiantaja voisi myös olla kiinnostunut jonkun tekemästä koulutusmateriaalista liittyen kaapelimodeemiliittymien toimintaan.

Lähdeluettelo

DSL Forum 2006 Technical Report 101. Migration to Ethernet-Based DSL Aggregation. [Online] [Viitattu 13.12.2007] <http://www.dslforum.org/techwork/tr/TR-101.pdf>

DSL Forum 2003. White Paper: ADSL2/ADSL2PLUS. [Online][Viitattu 15.1.2008]. http://www.dslforum.org/learndsl/pdf/ADSL2_wp.pdf

Ginsburg, David 2000. ADSL. Helsinki: Oy Edita Ab.

Grossman, Dan & Heinänen, Juha 1999 RFC 2684. Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5. [Online] [Viitattu 19.11.2007] <http://www.ietf.org/rfc/rfc2684.txt>

Grundström, Mika & Mickos, Roy 1997. ATM tekniikka ja monipalveluverkot. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Mammoliti, Vince, Glen, Zorn, Arberg, Peter & Rennison, Robert 2006 RFC 4679. DSL Forum Vendor-Specific RADIUS Attributes. [Viitattu 18.3.2008] <http://tools.ietf.org/html/rfc4679>

Jaakohuhta, Hannu 2003. Local Area Networks – Ethernet. Finland: Edita Publishing Inc.

Kansallinen laajakaistastrategia 2004-2007. Liikenne- ja viestintäministeriö. [Online][Viitattu 3.2.2008]. http://www.laajakaista.info/fi/laajakaista_tanaan/

Mammoliti, Vince 2006 RFC 4679. DSL Forum Vendor-Specific RADIUS Attributes. [Online][Viitattu 17.12.2007]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4679.txt>

Melsen, Torben & Blake, Steven 2006. RFC 4562. MAC-Forced Forwarding: A Method for Subscriber Separation on an Ethernet Access Network. [Online][Viitattu 18.12.2007]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4562.txt>

Patrick, Michael 2001. RFC 3046. DHCP Relay Agent Information Option. [Online] [Viitattu 26.11.2007]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3046.txt>

Modulaatio, osa 1: Enemmän tietoa siirtokanavaan 2004. Prosessori-lehti 11.

Salonen, Antti S. Elisa Oyj. Sähköpostikeskustelut 29.5.2007, 2.7.2007 ja 9.11.2007.

Sarso, Juha 2007. ADSL-liittymän toteuttaminen Ethernet-tekniikalla teleoperaattorin dataverkossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tietotekniikan koulutusohjelma. Tampere.

Sähköisen viestinnän tietosuojalaki 2004/516.

Viestintäviraston internetsivut. [Online][Viitattu 15.1.2008].

<http://www.ficora.fi/index/palvelut/palvelutaiheittain/puhelinjalaajakaista/laajakaistapalvelut.html>

Viestintävirasto. Laajakaistayhteysien operaattorirajapinnat -työryhmä. Laajakaistayhteysien operaattorirajapinnat. Julkaistu 10.11.2004. [online] [viitattu 3.11.2007].

<http://www.ficora.fi/suomi/document/traportti072004.pdf>

Viestintäviraston markkinakatsaus 2/2007. Viestintävirasto. [Online][Viitattu 3.2.2008].

http://www.ficora.fi/index/viestintavirasto/lehdistotiedotteet/2007/P_39.html

White, Susan, Hernandez, Raul, Bodzinga, Anne & Bocker, Geert-Jan 2004. The Intelligent Broadband Access Network. Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. NETWORKS 2004, 11th International, 417-422.