

Ari Ruuskanen

**ADSL:n käyttö laajakaistaliityntänä ja
ADSL-laboraatioiden ohjeistus**

Insinööriytyö 17.11.2008

Ohjaava opettaja: projekti-insinööri Heikki Rahkonen

Tekijä	Ari Ruuskanen
Otsikko	ADSL:n käyttö laajakaistaliityntänä ja ADSL-laboraatioiden ohjeistus
Sivumäärä	73 sivua
Aika	17.11.2008
Koulutusohjelma	tietotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaava opettaja	projekti-insinööri Heikki Rahkonen
<p>Insinööriyön aiheena oli ADSL:n käytön tutkiminen laajakaistaliityntänä ja laboraatioiden ohjeistus Metropolia Ammattikorkeakoulua varten.</p> <p>Tavoitteena oli kaksi asiaa. Ensiksi tutkittiin, kuinka kouluun hankitulla ZyXEL IES-1000 -laitteella hoituisi rakennuksen sisäinen verkotus esimerkiksi oppilaitoksessa, pienyrityksessä tai taloyhtiössä. Toiseksi pyrittiin laatimaan tämän tiedon pohjalta helposti toteutettavat laboraatio-ohjeet koulun käyttöä varten.</p> <p>Alussa perehdyttiin DSL-yhteyksien tarjontaan, keskitinlaitteen ominaisuuksiin ja sen tukemiin standardeihin ja sitten rakennettiin koekytkentä. Konfiguraatiota muuttamalla saatiin yhteyksiin lisää nopeutta ja käytettävyyttä. Pohdittiin tietoturvaa ja hallittavuutta etähallintaa korostaen. Vertailtiin DSL:ää kilpailevaan HomePNA-tekniikkaan eikä havaittu kummankaan olevan toiseensa nähden ylivertainen. Sivuttiin vertailussa datasähköä ja langattomia tekniikoita.</p> <p>Päädyttiin DSLAM:n olevan hyvä valinta rakennusten ja huoneistojen väliseen verkottamiseen ja ADSL:n olevan voimissaan lähitulevaisuudessakin operaattorien tarjoamana yleisimpänä langallisena internet-yhteytenä.</p> <p>Insinööriyössä kuvatut kytkennät, konfiguraatiot ja menetelmät soveltuvat pienen yksikön verkottamiseen ja verkon ylläpitämiseen.</p>	
Hakusanat	adsl, dsl, dslam, rfc1483

Author	Ari Ruuskanen
Title	The use of ADSL as a broadband connection and ADSL laboratory instructions
Number of Pages	73
Date	17 November 2008
Degree Programme	Information Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Supervisor	Heikki Rahkonen, Project Engineer
<p>The purpose of this study was to explore the use of ADSL as a broadband connection and to compile laboratory instructions for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>The objective encompassed two things: first to study how to work out networking for example in an educational establishment, a SOHO (Small Offices and Home Offices) or a housing cooperative with a ZyXEL IES-1000 device acquired for the school; and second to compile easily executable laboratory instructions to be used in the school.</p> <p>After it had been found out what kind of DSL connections were provided, what the properties of the DSLAM were and which standards were supported, a test environment was built. By changing the configuration, more speed and availability was obtained. Security and management were considered with an emphasis on remote management. DSL techniques were compared with HomePNA and neither was found to be superior over the other. PLC (Power Line Communication) and wireless techniques were superficially compared with DSL.</p> <p>The conclusion drawn was that DSLAM is a good choice for networking buildings and flats, and ADSL is very topical also in the near future as the most common internet connection provided by operators.</p> <p>The described connections, configurations and procedures in the study are suitable for maintaining and networking a small unit.</p>	
Keywords	adsl, dsl, dslam, rfc1483

Lyhenteitä ja käsitteitä

@450	Digitan käyttämä nimitys Flash-OFDM -tekniikasta, joka käyttää NMT450-verkolta vapautuneita taajuuksia
3G-tekniikka	3rd Generation Kolmannen polven langaton tekniikka, yhteinen nimitys mm. HSDPA:lle, UMTS:lle ja EDGE:lle
AD	Active Directory Microsoftin Windows 200X Server -käyttöjärjestelmän tietokanta käyttäjistä, laitteista ja verkon resursseista
ADSL	ks. DSL
ATM	Asynchronous Transfer Mode Tahdistamaton siirtotapa, laajakaistainen, yhteydellinen tiedonsiirtomenetelmä
CAP	Carrierless Amplitude and Phase modulation Kantoaallon amplitudi- ja vaihemodulaatio, ADSL-tekniikassa käytetty modulointitapa
CFI	Canonical Format Indicator Kanonisen muodon indikaattorilippu 802.1Q/802.1p:n mukaisessa ethernet-kehyksessä
CO	Central Office Puhelinyhtiön tai operaattorin tila, jossa tilaajajohdot yhdistetään
CPE	Customer Premises Equipment Laitteet asiakkaan tiloissa
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol Protokolla, joka automaattisesti jakaa IP-osoitteita käynnistyville asiakaslaitteilleen
DMT	Discrete Multi-Tone Diskreetti monitaajuus, ADSL:n käyttämä modulointitekniikka vuodelta 1997 (ITU-T G.992.1)
DNS	Domain Name Server Nimipalvelin, joka pitää kirjaa toimialueiden nimistä ja IP-osoitteista
DSL	Digital Subscriber Line Digitaalinen tilaajayhteys, esimerkiksi <ul style="list-style-type: none">• ADSL, Asymmetric DSL = epäsymmetrinen DSL,• SHDSL, Super High speed DSL = supernopea DSL ja• xDSL = yleensä DSL

DSLAM	DSL Access Multiplexer DSL-kytkin, OSI-mallissa 2-tason laite
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution Yksi 3G-tekniikoista
Ethernet	Lähiverkkotekniikka
Flash-OFDM	Flash Orthogonal Frequency Division Multiplexing Suurisoluisen (5...20 km) uusi langattoman verkon tekniikka, vrt. @450
FTP	File Transfer Protocol Tiedonsiirtoprotokolla IP-verkoissa
GPRS	General Packet Radio Service GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
GSM	Global System for Mobile Communications Joukko matkapuhelinstandardeja
HomePNA	myös HPNA, koteihin suunnattu edullinen internet-yhteys, joka käyttää puhelinkaapeleita
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data GSM-verkon laajennus nopeampaan tiedonsiirtoon
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access Nopein 3G-tekniikka
IP	Internet Protocol Verkkokerroksen protokolla, joka huolehtii pakettien toimittamisesta perille
ISDN	Integrated Services Digital Network Digitaalinen puhelinverkko, DSL:n ”esiaste”
ISP	Internet Service Provider Internet-palvelun tarjoaja, operaattori
LAN	Local Area Network Lähiverkko, esimerkiksi <ul style="list-style-type: none"> • VLAN, Virtual LAN = virtuaaliverkko • WLAN, Wireless LAN, myös Wi-Fi, Wireless Fidelity = langaton lähiverkko
LLC	Logical Link Control Liitántärajapinta siirtoyhteyserroksessa, esimerkiksi ADSL-modeemin kapseloinniksi valittavissa ”LLC Encapsulation for Bridged Protocols”
MAC	Media Access Control Siirtoyhteyserroksen osa, joka hoitaa verkon varaamisen ja liikennöinnin, esimerkiksi MAC-osoite = verkkosovittimen ”rautaosoite”, joka on jo tehtaalla ohjelmoitu sovittimen muistiin

MDF	Main Distribution Frame Ristikytkentäteline tai -kaappi
MIB	Management Information Base Hallintatietokanta objekteista, joita voidaan etähallita verkon kautta SNMP-protokollalla käytävillä asiakasohjelmilla
NAT	Network Address Translation Osoitteen muutos DHCP-palvelimessa
NMT	Nordisk Mobiltelefon Vanhentunut matkapuhelin tekniikka
NT, NT4	Microsoftin Windows NT (New Technology) -käyttöjärjestelmä, versio 4
NVRAM	Non-Volatile RAM RAM-muisti, josta tieto ei virran katkettua häviä
OSI-malli	Open Systems Interconnection Reference Model Seitsemänkerroksinen malli siitä, kuinka tiedonsiirtoprotokollat käyttävät alempien kerroksien palveluja ja tarjoavat omia palvelujaan ylemmille kerroksille
PING	Packet Internet Groper. Pingiä tai ”pingaamista” käytetään verkkolaitteen yhteyden testaamiseen IP- verkoissa
PLC	Power Line Communication Datasähkö
POTS	Plain Old Telephone System (USA) Puhelinverkko, kuten PTSN
PPP	Point-to-Point Protocol Kaksipisteyhteysinen protokolla, esimerkiksi <ul style="list-style-type: none"> • PPPoA, Point-to-Point Over ATM = PPP ATM-yhteydellä • PPPoE, Point-to-Point Over Ethernet = PPP Ethernet-yhteydellä
PTSN	Public Telephone Switched Network (Eurooppa) Puhelinverkko, kuten POTS
QAM	Quadrature Amplitude Modulation Kvadratuuri-amplitudimodulaatio, käytetään pakkaavana modulointina esimerkiksi ADSL-modeemeissa
RAM	Read Access Memory Luku- ja kirjoitusmuisti, hajasaantimuisti
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service Protokolla, jota käytetään käyttäjien keskitettyyn autentikointiin

Reed Solomon	Lohkokoodaus, joka korjaa virheryöppyjä
RFC	Request For Comments Dokumentti, joka ei vielä ole saavuttanut virallista standardin asemaa mutta jota sellaisena kuitenkin käytetään
SHDSL	ks. DSL
SNMP	Simple Network Management Protocol Verkonhallintaprotokolla, jonka avulla valvottava laite antaa hälytyksiä tai sen tilaa voidaan kysellä verkonvalvontaohjelmistolla
SOHO	Small Office and Home Office Pienyritys, kotitoimisto, kotikäyttäjät
SSH	Secure Shell Suojattu pääteohjelma eli etäkäyttöohjelma, jota suositellaan käytettäväksi suojattomamman telnetin sijasta
SSL	Secure Sockets Layer Salausprotokolla web-sivujen siirtoon
Telnet	Yhteysprotokolla pääteyhteyksiin tai telnet-protokollaa käyttävä pääteohjelma
TCQAM	Trellis Coded Quadrature Amplitude Modulation Trellis-koodattu kvadratuuri-amplitudimodulaatio, käytetään pakkaavana ja virheen korjaavana modulointina esimerkiksi ADSL-modeemeissa
TCPAM	Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation Trelliskoodattu pulssiampplitudimodulaatio, käytetään pakkaavana ja virheen korjaavana modulointina esimerkiksi ADSL-modeemeissa
TPID	Tag Protocol Identifier Ethernet-kehysen tunniste, kun kehys kuljettaa 802.1Q/802.1p:n mukaista dataa
Trellis	Virheenkorjaustekniikka, joka korjaa yksittäisiä bittivirheitä
UDP	User Datagram Protocol Kuljetuskerroksen protokolla, jolla sovellus lähettää viestejä toiselle koneelle
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System Yksi 3G-tekniikoista
VC	Virtual Circuit Virtuaalipiiri, ks. VCI ja VPI
VCI	Virtual Circuit Identifier Virtuaalipiirin tunniste, VCI/VPI -pari määrittelee siirtotiellä oleville medioille omat yhteydet; kanavan ja väylän, vrt. VPI
VLAN	ks. LAN

VPI	Virtual Path Identifier Virtuaalipolun tunniste, VCI/VPI -pari määrittelee siirtotiellä oleville medioille omat yhteydet; kanavan ja väylän, vrt. VPI
Web	World Wide Web Verkko, selaimella käytettävä palvelu Internetissä
Wi-Fi	ks. LAN
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access Suurisoluinen (> 10 km) langaton verkko
WLAN	ks. LAN
xDSL	ks. DSL

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteitä ja käsitteitä

1 Johdanto.....	11
2 DSL-tekniikoista.....	15
2.1 DSL-tekniikoiden jakaantuminen.....	15
2.2 Modulointi.....	16
2.3 Virheenkorjaus.....	18
2.4 DSL-standardeja.....	18
2.5 RFC1483-kehys.....	21
2.6 Internet-yhteyksien hinnat DSL-tekniikalla	23
3 Testi 1: reitittävä kytkentä.....	24
3.1 Koejärjestelyt.....	24
3.2 Komponenttien toiminta kytkennässä.....	25
3.3 Komponenttien konfigurointi.....	26
3.4 Järjestelmän toimivuus.....	31
4 Testi 2: siltaava kytkentä.....	33
5 Testi 3: DSLAM:n nopeus.....	34
6 DSLAM:n tietoturva.....	35
6.1 Salasanat	35
6.2 Turvalliset asiakaskoneet.....	36
6.3 Virtuaaliverkkoihin (VLAN) perustuva tietoturva.....	36
6.4 MAC-osoitteisiin perustuva suodatus.....	37
6.5 Keskitetty käyttäjien todentaminen.....	38
6.6 Priorisointi.....	39
6.7 Suositukset tietoturva-asetuksiksi.....	40
7 DSLAM:n etähallinta.....	41
7.1 Web-selaimen ja pääteohjelman käyttö.....	41
7.2 Tiedonkeruu lokeilla.....	42
7.3 Tiedonkeruu SNMP-protokollaa käyttävillä hallintaohjelmilla.....	43
7.4 Suositukset etähallintaan.....	45
8 Vertailua kilpaileviin tekniikoihin.....	47
8.1 HomePNA.....	47
8.2 Datasähkö.....	47
8.3 Langaton lähiverkko.....	48
8.4 WiMAX.....	48

8.5 @450-verkko.....	49
8.6 3G-tekniikka.....	50
8.7 Satelliittiverkot.....	51
9 Päätelmät.....	52
Lähteet.....	53
Liitteet.....	54
Liite 1: Reitittävä kytkentä, ohjeistus 1.....	54
Liite 2: Siltaava kytkentä, ohjeistus 2.....	69
Liite 3: DSLAM:n nopeus, ohjeistus 3.....	72

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on ADSL:n käytön tutkiminen laajakaistaliityntänä ja laboraatioiden ohjeistus Metropolia Ammattikorkeakoulua varten.

Palvelun tarjoajat eli operaattorit tarjoavat asiakkailleen, koteihin ja pienyrityksiin, edullisia internet-yhteyksiä, jotka Suomessa suurimmaksi osaksi on toteutettu DSL-tekniikalla (Digital Subscriber Line). Operaattorin verkon tärkein aktiivinen komponentti on DSL-kytkin eli DSLAM (DSL Access Multiplexer).

DSL-verkon rakentaminen on helppoa, koska voidaan käyttää jo olemassa olevia puhelinkaapeleita. Pienyritykset voivat toteuttaa kevyen halvan internet-yhteytensä tai mikä on erittäin houkuttelevaa, taloyhtiön asukkaat voivat jakaa internet-yhteyden kustannukset keskenään. Taulukossa 1 on eräiden yhteyden jaon sallivien operaattorien ADSL-hintoja pääkaupunkiseudulla ja sellaisten operaattoreiden hintoja, jotka jakoa eivät salli. (Kansallinen laajakaistatyöryhmä, 2006.)

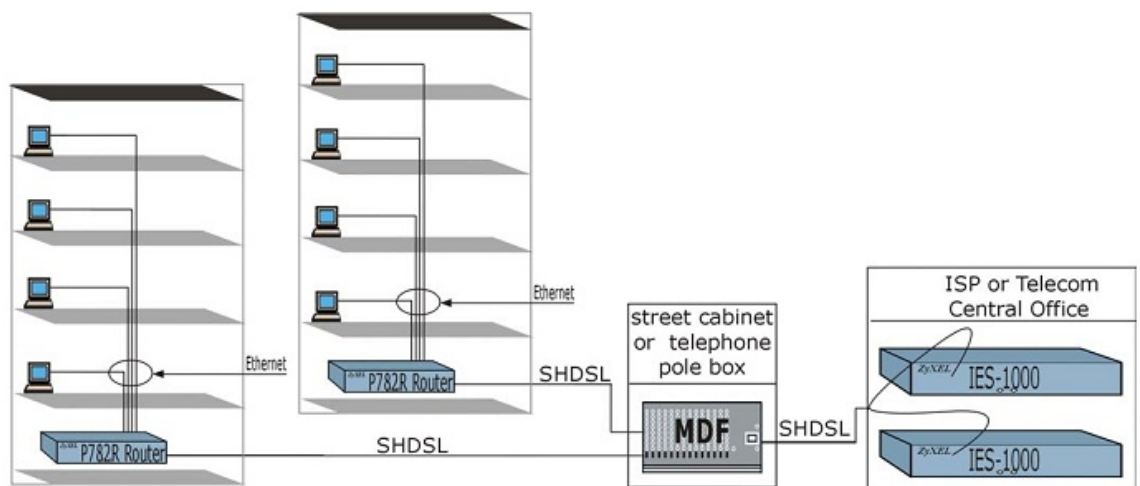
Jos esimerkiksi 40:n huoneiston taloyhtiössä jaetaan 8 M/1 M -yhteys, 115 euroa kuukaudessa, saadaan jyvitetyn hinnaksi 2,88 euroa kuukaudessa. Huoneistokohtaisesti yksittäin tilattuna loppukäyttäjä joutuisi maksamaan vähimmillään 24,90 euroa kuukaudessa mahdollisesti hitaammasta yhteydestä. Eli taloyhtiön tai yrityksen omiksi hankkimilla laitteilla kustannukset vähenevät tässä ajattelumallissa kymmenesosaan.

Taulukko 1. ADSL-yhteyksien hintoja (Elisa 2007).

Nopeus	Hinta/kk	Nimellisopeus	Jako
1 Mbit/s /512 kbit/s	24,90 €		Ei sallittu
2 Mbit/s /512 kbit/s	34,90 €		Ei sallittu
8 Mbit/s /1 Mbit/s Full Rate	44,90 €	2 – 8 Mbit/s /512 kbit/s – 1 Mbit/s	Ei sallittu
24 Mbit/s /1 Mbit/s Full Rate	49,90 €	8 – 24 Mbit/s /512 kbit/s – 1 Mbit/s	Ei sallittu
2 Mbit/s / 512 kbit/s	85 €		Sallittu
8 Mbit/s / 1 Mbit/s Full Rate	115 €	2 – 8 Mbit/s / 512 kbit/s – 1 Mbit/s	Sallittu

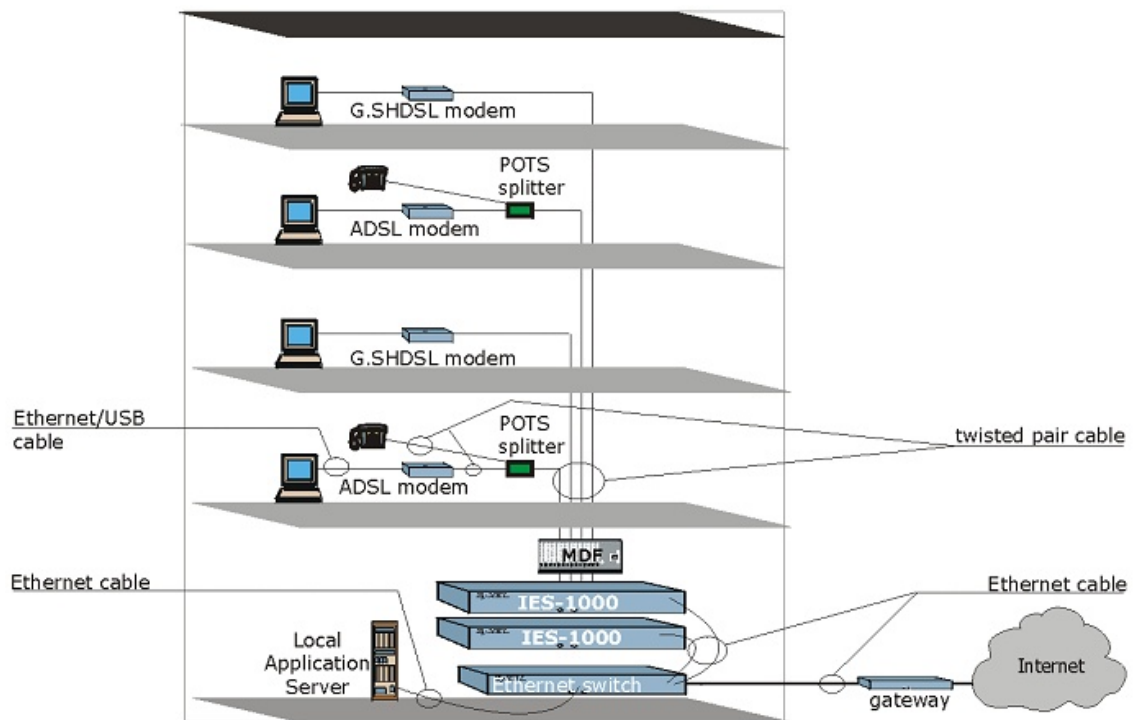
Operaattorien DSLAM-käytössä on rajoituksena se, että etäisyys asiakkaalta puhelinkeskukseen sijoitetulle DSLAM:lle voi olla yhteyden nopeudesta ja kaapeloinnin laadusta riippuen vain kilometrien luokkaa. DSLAM:lta liikenne siirtyy operaattorin yhteysverkkoon nopeammalla ja häiriösietoisemmalla tekniikalla, kuten klassillisella ATM:llä (Asynchronous Transfer Mode) tai nykyään kustannustehokkaammalla ethernetillä.

Kuvassa 1 operaattorin eli ISP:n (Internet Service Provider) hallinnoimat DSLAM-laitteet on sijoitettu operaattorin tiloihin eli CO:hon (Central Office). Yhteys asiakkaalle hoidetaan puhelinkaapelia pitkin nopealla DSL-yhteydellä, tässä SHDSL:llä (Super High speed DSL). Väliin on sijoitettu ristikytkentäteline MDF (Main Distribution Frame), jotta kytkentä olisi helppo toteuttaa ja ylläpitää. Yhteys kerroksiin on toteutettu reitittimien kautta ethernetillä.



Kuva 1. DSLAM-laitteet operaattorin verkossa (ZyXEL 2006).

Kuvassa 2 on ZyXelin IES-1000 -merkkiset DSLAM-laitteet kerätty yhteen asiakkaan tiloihin. Internetiin päästään ethernetillä ja yhteys kerroksiin on toteutettu eri DSL-yhteyksillä parikaapelia pitkin. Kuvaan on piirretty kaksi tavallista kotikäyttäjillekin tuttua ADSL-yhteyttä jakosuodattimiseen ja puhelimeen sekä kaksi ammattimaisempaan käyttöön tarkoitettua G.SHDSL-protokollaa tukevaa yhteyttä. Paikallinen sovelluspalvelin (Local Application Server) on sijoitettu konehuoneeseen. Tässä tapauksessa operaattorikäyttöön tarkoitettua DSLAM:a hallinnoikin yritys tai taloyhtiö (ZyXEL 2006).



Kuva 2. DSL-laitteet loppukäyttäjän tiloissa (ZyXEL 2006).

Insinööriyössä syvennyttiin kahteen asiaan. Ensiksi tutkittiin, kuinka Metropolia Ammattikorkeakouluun hankitulla ZyXEL-merkkisellä IES-1000 -laitteella hoituisi rakennuksen sisäinen verkotus esimerkiksi juuri oppilaitoksessa, pienyrityksessä tai taloyhtiössä. Toiseksi laadittiin tämän tiedon pohjalta laboraatio-ohjeet koulun käyttöä varten. Laboraatio-ohjeet ovat lopussa liitteenä helposti toteutettavana esityksenä. Seuraavassa tästä oppilaitosten, pienyrityksen tai taloyhtiön rakennuksen sisäisestä verkosta käytetään lyhyesti nimitystä yhtiön verkko.

Luvussa 2 tutustutaan ADSL:n teoriaan ja DSLAM:n tukemiin standardeihin ja luvussa 3, 4 ja 5 tehdään laboraatioita käyttöönotosta, reitittävästä ja siltaavasta kytkennästä sekä nopeuden lisäämisestä. Laboraatiot selitetään teoreettisesti, mutta niihin perustuvat laboraatio-ohjeistukset lopussa liitteenä selostavat tehtävät vaihe vaiheelta. Luku 6 kertoo tietoturvasta ja luku 7 etähallinnasta. Kahdeksannessa luvussa luetellaan DSL:n kilpailevia tekniikoita ja verrataan käytön kustannuksia puuttumatta syvällisemmin vaadittavien laitteiden hintoihin. Yhdeksännessä luvussa pohditaan DSLAM:n ja DSL-tekniikan soveltuvuutta tämän hetken ja tulevaisuuden vaatimuksiin.

Kuvauksissa on runsaasti konfigurointiotteita. Pääteohjelmalla tehdyt konfiguroinnit esitetään *courier*-kirjasimilla, kuten pääteohjelma itsekin sellaisia käyttää. Syötettävät arvot on selvyyden vuoksi *kursivoitu*. Web-selaimella tehdyt konfiguroinnit esitetään Times New Romanilla siinä järjestyksessä kuin käyttöjärjestelmässäkin tulee edetä. Komennot on suomennettu säilyttäen alkuperäiset englanninkieliset termit sulkeissa. Sisennyksin kuvataan, kuinka syvällä ollaan käskystöpuussa.

2 DSL-tekniikoista

2.1 DSL-tekniikoiden jakaantuminen

Kuluttajille suunnattu internet-yhteys on toteutettu yleisimmin DSL-tekniikalla. Se on helppo ottaa käyttöön, koska se käyttää hyväksi puhelinkaapelointia häiritsemättä kuitenkaan puhelinliikennettä. Taulukossa 2 näkyvät laajakaistaliittymien prosenttiosuudet Suomessa.

Yleisesti käytetään nimitystä xDSL, kun tarkoitetaan jotakin DSL-tekniikoista. Karkeasti ne jaetaan symmetrisiin ja asymmetrisiin DSL:iin. Suomessa yleisin käytössä oleva laajakaistaliityntä on juuri ADSL, jossa liikenne tilaajalle eli ”alaspäin” on nopeampaa kuin operaattorille eli ”ylöspäin”. Tämä on edullinen ja tarkoituksen mukainen kotikäyttäjille, joiden käyttö on enimmäkseen sivujen ja ohjelmien hakemista internetistä.

Asymmetrisyydestä on etua myös fyysisen yhteyden kannalta, koska epäsymmetrisessä siirrossa signaalit vaimentavat vähemmän toisiaan. Yrityskäyttöön suositaan symmetrisiä tekniikoita, joissa liikenne molempiin suuntiin on yhtä nopeaa. Näillä voidaan lähiverkot, LAN:t (Local Area Network), kytkeä yhteen (Goralski 2002).

Taulukko 2. Laajakaistaliittymien osuudet (Wikström 2005).

Suomen laajakaistaliittymien jakaantuminen:	Osuus
- ADSL	86%
- kaapeli-TV	8%
- WLAN	4%
- muut DSL-tekniikat ja datasähkö	2%

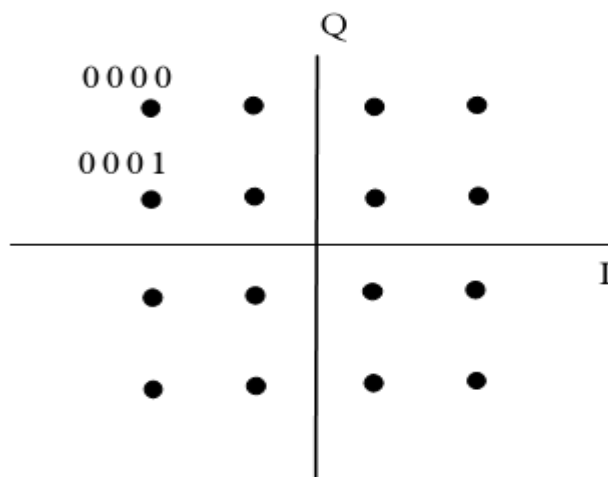
ZyXELin IES-1000 on moduulirakenteinen ja siihen on saatavissa moduulit AAM1008 ja SAM1008. AAM1008 tukee ADSL-yhteyksiä ja SAM1008 G.SHDSL:tä. Kouluun hankittu laite on varustettu ADSL-moduulilla. Tuonnempana tässä luvussa on kerrottu lyhyesti tuetuista standardeista.

2.2 Modulointi

DSL-tekniikassa tietokoneen tiedonsiirto digitaalisena diskreetteinä datapulsseina ei sovellu hyvin siirtotielle pitkillä etäisyyksillä suurilla taajuuksilla vaan signaali on siirrettävä analogisena eli moduloitava. Kaistan käyttö on tehokkaampaa, koska eri laitteet eri taajuuksineen voivat häiritsemättä toisiaan jakaa saman siirtotien.

QAM- ja PAM-modulointi

QAM-modulointi (Quadrature amplitude modulation) on menetelmä, joka yhdistää signaalin vaihe-eron ja signaalin voimakkuuden eli amplitudin. QAM:ssa bittiyhdistelmä esitetään vektorikuvauksena I/Q-koordinaatistossa, esimerkiksi kuvassa 3 16-QAM:ssa analoginen signaali jaetaan 16:een tasoon ja neljällä bitillä voidaan kuvata ne 16 eri tasoa. I-akselilla (In-phase carrier) kuvataan signaalin amplitudia ja Q-akselilla (Quadrature carrier) vaihe-eroa, kuvassa siis neljä amplitudia ja neljä vaihe-eroa. Kun signaalilla sitten on tietty vaihe-ero ja amplitudi, saadaan siirtymään neljä bitin tieto yhdellä pulssilla.



Kuva 3. Neljä bittiä kuvaa I/Q-koordinaatistossa 16-QAM:ssa 16 eri tasoa.

QAM-moduloinnissa yhdistelmiä on kahden potensseina, ja niiden lukumäärä ilmaistaan QAM-lyhenteen edessä olevalla numerolla esim.

- 4-QAM, kaksi amplitudia ja kaksi vaihe-eroa
- 16-QAM, neljä amplitudia ja neljä vaihe-eroa
- 64-QAM, kahdeksan amplitudia ja kahdeksan vaihe-eroa
- 256-QAM, kuusitoista amplitudia ja kuusitoista vaihe-eroa

QAM pakkaa tehokkaasti. Mitä enemmän moduloinnissa käytetään tasoja, sitä enemmän voidaan yhdellä pulssilla siirtää bittejä, esim. 16-QAM:ssa siirtyy kerralla 4 bittiä. Ihan määrättömästi tasoja ei voida lisätä, koska tasojen erottelu vaikeutuu ja virheet kasvavat.

QAM:ia yksinkertaisempaa PAM:ia (Pulse Amplitude Modulation) käytetään vielä SHDSL:ssä. PAM on tavallaan kuin yksinkertaistettu QAM: modulointi hoidetaan muuttamalla symbolit suoraan amplituditasoiksi ilman vaihe-eroa.

CAP-modulointi

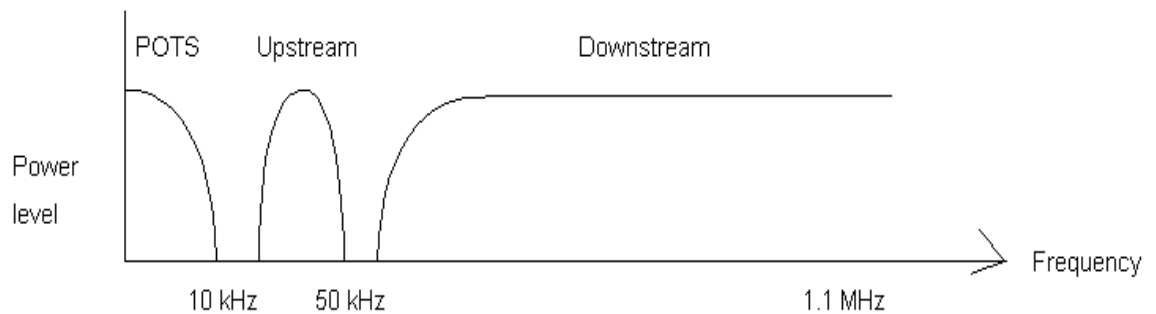
CAP (Carrierless Amplitude Phase Modulation) on DSL-tekniikassa vanhin standardi sekä helpoin ja halvin toteuttaa. Siinä siirrettävät bitit moduloidaan käyttäen QAM-menetelmää. Signaalin vaihekulmaa ja voimakkuutta vastaavat taajuustason kompleksiluvut muutetaan diskreetillä Fourier-käänteismuunnoksella signaaliprosessorissa aikataason digitaaliseksi näytteiksi

DTM-modulointi

CAP:ia hienostuneemmassa DTM-tekniikassa (Discrete Multi-Tone) käytettävä spektri jaetaan useampaan kanavaan. Kanavia operaattorille päin on 32 taajuusalueella 23...138 kHz ja tilaajalle päin 255 lopulla 1100 kHz:n taajuusalueella (kuva 4).

Kanavat toimivat häiriötilanteessa adaptiivisesti; niitä kanavia, joissa on häiriöitä, käytetään

vähemmän. Kanavaniput yhdistetään limittämällä (Goralski 2002).



Kuva 4. DTM-moduloinnissa käytettävä spektri.

2.3 Virheenkorjaus

Trellis-koodauksessa bittikuvioihin eli symboleihin lisätään tarkistusbitti ja ajetaan kooderin läpi. Symbolien bittien lukumäärä kasvaa, mutta tuloksena saavutetaan virheenkorjaus. Sitten symbolit moduloidaan QAM:lla tai PAM:lla. Menetelmä on kevyt ja tehokas korjaamaan yksittäisiä bittivirheitä.

Reed Solomon -virheenkorjauksessa käytetään erillisiä kanavia virheenkorjausdatan siirtoa varten. Menetelmä on Trellisiä raskaampi niin sanottu lohkokoodaus, mutta se pystyy korjaamaan virheryöppyjä (Goralski 2002).

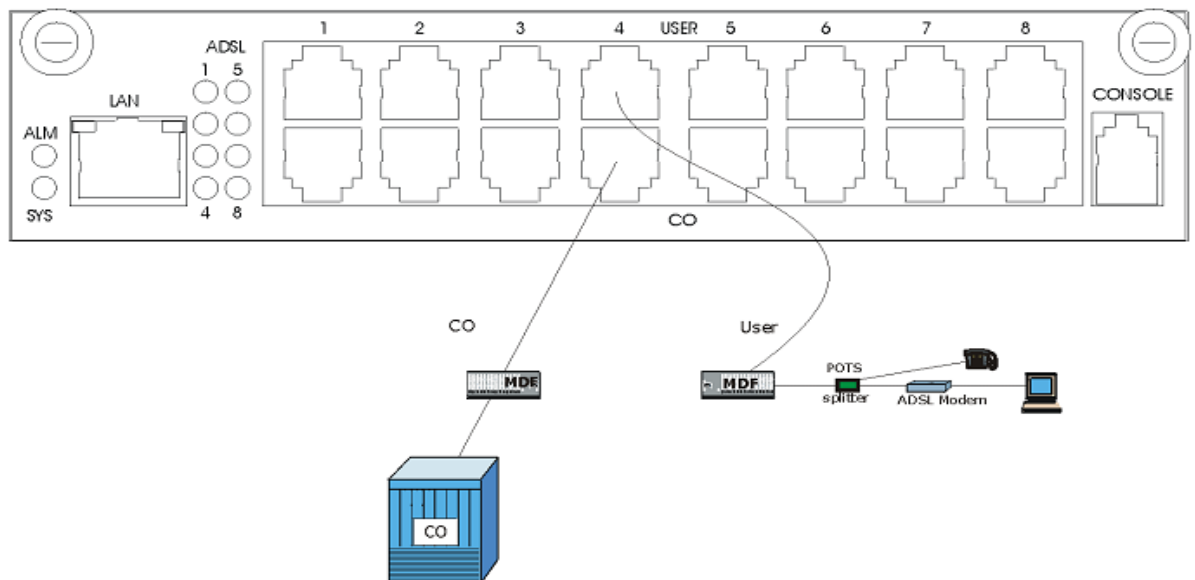
2.4 DSL-standardeja

ADSL

ADSL-yhteydet toimivat puhelinverkossa yhtäaikaan puheyhteyden kanssa. Puhelinverkko on suunniteltu ymmärrettävän puheen siirtämiseksi 0...4 kHz:n taajuuskaistalla. Etäisyydet matalalla taajuudella voivat olla pitkät. ADSL:ssä tiedonsiirto ylöspäin toimii hitaammin kapeammalla 4...100 kHz:n kaistalla ja alaspäin nopeammin leveämmällä 100...1000 kHz:n

kaistalla. Yhteys korkeilla taajuuksilla on voimakkaasti riippuvainen etäisyydestä ja kaapeloinnin laadusta ja on käytännössä vain kilometrien luokkaa, kuten myöhempanä taulukossa 3 esitetään.

Jotta puhe ja datayhteydet eivät häiritsisi toisiaan, tarvitaan sekä tilaajan että DSLAM:n päässä jakosuodatinta eli jaotinta, joka erottaa taajuudet toisistaan. Kuvassa 5 puheyhteydet on kytketty vasempaan MDF:ään ja oikeassa MDF:ssä puhe ja data on yhdistetty ja johdettu kerrokseen. Käyttäjän päässä puhe ja data pitää taas suodattaa jaottimella. DSLAM:ssa jakosuodin on valmiina sisäänrakennettuna.



Kuva 5. Puhelin- ja ADSL-yhteyksien kytkeminen IES-1000:ssa (ZyXEL 2006).

Standardeina on G.dtm vuodelta 1997 (ITU-T G.992.1) ja vanha CAP (ANSI T1.413 issue 2). Nopeudet ovat suurimmillaan 6144/640 kbit/s (joskin eri valmistajat saattavat poiketa standardista, IES-1000:ssa nopeus on 8160/1024 kbit/s). Modulointina ASDL:ssä käytetään uudempaa häiriönsiedoltaan parempaa DMT:ää (Discrete Multi-Tone) ja mutta vanhempi halvemmalla toteutettava CAP (Carrierless Amplitude Phase) on vielä voimissaan.

G.lite ADSL

Kuluttajille suunnattu plug and play -tyyppinen G.lite (ITU-T G.992.2) on kevytversio ADSL:stä, ja sen nopeus on asiakkaalle päin 1500 kbit/s ja operaattorille päin 500 kbit/s. Vielä muutama vuosi sitten, kun operaattorien tarjoamat yhteydet olivat hitaampia, se oli yleisin Suomessa. G.litessä ei tarvita jakosuodattimia. Modulointina se käyttää DMT:tä.

ADSL2, ADSL2+, ADSL2plus

Seuraava ADSL-standardi, ADSL2, (ITU-T G.992.3 ja G.992.4) valmistui vuonna 2002, ja siinä käytetään edistyksellisempää modulointia, TCQAM:ia (Trellis Coded Quadrature Amplitude Modulation). Modulointi mukautuu yhteyden laatuun. Nopeus on saatu nostettua 12000 kbit:iin/s. Samana vuonna 2002 tuli myös ADSL2+ (tai ADSL2plus, ITU-T G.992.5), jonka nopeus lyhyillä hyvillä yhteyksillä on 26000 kbit/s mutta joka helposti hidastuu pienestäkin häiriöstä ADSL2:n tasolle.

ZyXELin IES-1000:n AAM1008-moduuli tukee kaikkia edellä mainittuja standardeja, ja siinä on jakosuodattimet sisään rakennettuina. Tilaajan puolelle jakosuodatin kuitenkin on hankittava, jos puhelinta halutaan käyttää yhtäaikaan datayhteyden kanssa.

SHDSL

Yrityksille tarkoitettuna symmetrisen SHDSL-tekniikan (Super High speed DSL tai Single pair High speed DSL, ITU-T G.991.2) nopeus on 2300 kbit/s. Tarvittaessa nopeutta voidaan lisätä kaksinkertaiseksi yhdistämällä kaksi paria. Modulointina on TCPAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation) (Mustonen 2006).

Taulukko 3. IES-1000:n tukemat tekniikat (Mustonen 2006).

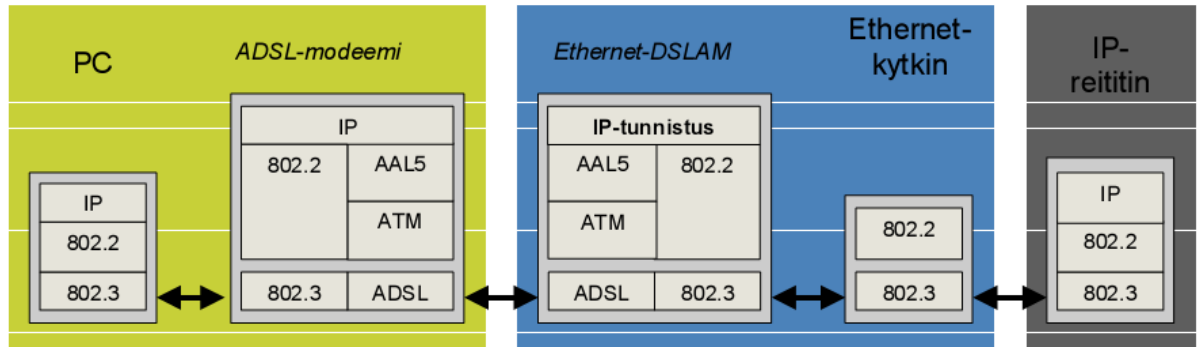
Tekniikka	Modulointi	Tilaajajohdon suurin pituus	Suurin nopeus tilaajalle/tilaajalta	Taajuuskaista
ADSL (ANSI)	CAP	3000 m	6144/640 kbit/s	4...1000 kHz
ADSL (ITU)	DTM	3000 m	6144/640 kbit/s	4...1000 kHz
G.lite	DTM	3000 m	1500/500 kbit/s	4...1000 kHz
ADSL2	TCQAM	3200 m	12000/1000 kbit/s	4...1100 kHz
ADSL2+	TCQAM	3200 m	26000/1000 kbit/s	4...2200 kHz
SHDSL	TCPAM	6700 m	2300/2300 kbit/s	4...1000 kHz

ZyXELin IES-1000:n SAM1008-moduuli tukee SHDSL-tekniikkaa. Lisäksi se osaa yhdistää neljä parikaapelia nopeaksi 9200 kbit/s -linjaksi. Taulukossa 3 on koottu IES-1000:n tukemat liittymät.

2.5 RFC1483-kehys

Tiedonsiirto perustuu kehyksiin. Jotta ADSL-modeemi, OSI2:n eli siirtoyhteyskerroksen mukainen laite, pystyisi kommunikoidaan OSI3:n eli verkkokerroksen kanssa, pitää liikenteeseen lisätä ethernet-kehys. Kuvassa 6 esitetään ADSL-modeemissa tarvittava RFC1483-määritysten (nykyisin RFC2684) mukainen protokollapino ja muutos, kun paketti matkaa pc:ltä reitittimelle.

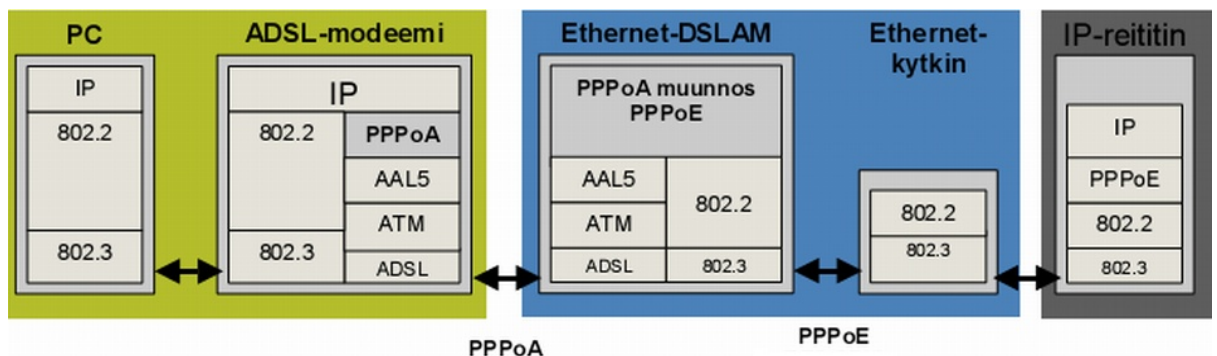
ADSL-modeemi tunnistaa PC:stä saapuneen ethernet-kehysten (802.3 ja 802.2), poistaa sen ja lähettää IP-paketin RFC1483 reitittävän moodin mukaisesti kehystettynä DSLAM:lle (AAL5 eli ATM Adaptation Layer 5, ATM). DSLAM tunnistaa kehystyksen tarpeen, purkaa kehystä IP-pakettiin asti ja varustaa sen ethernet-kehyksellä ja virtuaalisella MAC-osoitteella ja lähettää edelleen ethernet-kytkimelle.



Kuva 6. Protokollapinot ja IP-tunnistus RFC1483:n mukaisessa reitittävässä kapseloinnissa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).

Kapselointi toimii edellä reitittävänä, se erottaa asiakkaan ja operaattorin verkot toisistaan.

Siltaavassa kytkennässä käytettäessä PPPoA:ta (PPP over ATM) DSLAM:n pitää tunnistaa kehystys ja muuttaa se PPPoE:n (PPP over Ethernet) mukaiseksi. Muunnos on esitetty kuvassa 7. Siltaavassa kytkennässä asiakkaan ja operaattorin verkot on yhdistetty yhteen loogiseen verkkoon.



Kuva 7. Protokollapinot ja PPP-muunnos RFC1483:n mukaisessa siltaavassa kapseloinnissa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).

PPP-yhteyksiä voidaan käyttää myös reitittävänä palveluna, mutta operaattorit tarjoavat PPP:tä useimmin siltaavana.

Hyötykuorma sijoitetaan AAL5-kenttään. Siltaavalla RFC1483-kapseloinnilla on kaksi kanavointitapaa: VC-kanavointi ja LLC-kanavointi. Reitittävä käyttää vain LLC-kanavointia.

VC-kanavoinnissa voidaan virtuaalikanavassa kuljettaa vain yhtä protokollaa. Jokaista siirrettävää protokollaa varten pitää avata uusi virtuaalikanava. Kanavan molemmissa solmupisteissä pitää olla samat VCI/VPI-parametrit.

LLC-kanavointi sallii usean protokollan siirron samalla kanavalla. AAL5-kenttään lisätään LLC-otsikko, joka kertoo, mitä protokollaa seuraavassa kehyksessä käytetään.

LLC-kanavoinnissa on vielä erikoistyyppi, niin sanottu pelkkä LLC-kanavointi. Se on siltaava, eikä siinä ole PPP-muunnosta tai IP:n tunnistusta. IP-paketit ohjataan MAC-osoitteitten mukaan seuraavalle solmupisteelle (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).

Eri kehysrakenteiden toimintaa (reitittävä ja siltaava moodi) on esitelty lisää luvuissa 3 ja 4, jotka kuvaavat koekytkentöjä, ja liitteissä, joissa on laboraatio-ohjeita..

2.6 Internet-yhteyksien hinnat DSL-tekniikalla

Koska DSL-yhteyksien laatuun vaikuttavat olemassa oleva kaapelointi sekä tilaajajohdon pituus, vaikuttaa DSL-yhteyksien saatavuuteen ja hintoihin asuinpaikka. Taulukossa 4 esitetään saatavuus ja hinnat eräältä toimittajalta helsinkiläiseen osoitteeseen ja satunnaisesti valittuun osoitteeseen maaseudulla tammikuussa vuonna 2007.

Taulukko 4. Erään operaattorin ADSL-yhteyksien hinnat ja saatavuus kahdella eri paikkakunnalla (Elisa 2007).

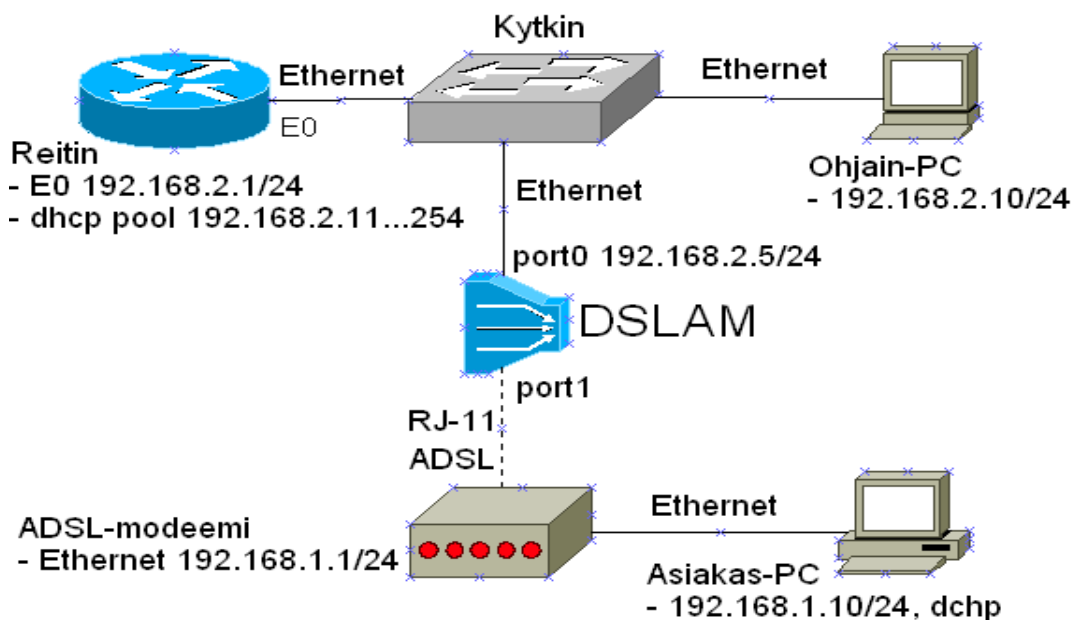
Nopeus	Hinta, Hki	Hinta, Savo	Huomautuksia
256/256 kbit/s	20,90 €	30,90 €	
512/512 kbit/s	22,90 €	42 €	
1M /512 kbit/s	24,90 €	52 €	
2M /512 kbit/s	34,90 €		
8/1 Mbit/s Full Rate	44,90 €		Nopeus on vähintään 2M/512kbit/s
24 M/1 Mbit/s Full Rate	49,90 €		Nopeus on pääsääntöisesti yli 8M/1M, vähintään 2M/512kbit/s

3 Testi 1: reitittävä kytkentä

Testissä 1 testattiin kevättalvella 2007 EVTEK-ammattikorkeakoulussa Espoossa, kuinka asiakkaan PC sai IP-osoitteen ADSL-modeemilta ja tämä taas puolestaan oman IP:nsä reitittimeltä. Asiakas-PC siis kuului silloin loogisesti eri verkkoon kuin operaattori. Kytkentä kuvaa tilannetta pienessä organisaatiossa kuten taloyhtiössä, oppilaitoksessa tai pienyrityksessä. Seuraavassa käytetään yksinkertaisuuden vuoksi testikytkennän mallintamista kokonaisuuksista termejä yhtiö, huoneisto ja asiakkaan verkko/PC ottamatta enempää kantaa organisaation muotoon.

3.1 Koejärjestelyt

Kuvan 8 mukainen kytkentä vastasi yhtiön hallinnoimaa DSLAM-kytkentää. Tarkoitus oli tässä vaiheessa pitää kaikki mahdollisimman yksinkertaisena.



Kuva 8. DSLAM:n kytkentä

Testissä käytettiin seuraavia komponentteja:

- DSLAM, ZyXEL IES-1000
- kytkin, Cisco 2900 SERIES XL
- reititin, Cisco 2501, jonka AUI-liittimeen on kytketty 10BaseT-muunnin eli transiiveri tyyppiä Centre Com 210TS, IOS-versio C2500-D-L
- ADSL-modeemi, Linksys ADSL2MUE-EU
- kaksi PC:tä Windows XP -käyttöjärjestelmiseen
- RJ11-kytkentäkaapeli DSLAM:n ja ADSL-modeemin kytkemiseksi
- konsolikaapeli reitittimen, kytkimen ja DSLAM:n konfiguroimiseksi
- ethernet-kaapeleita muiden laitteiden kytkemiseksi.

Ensiksi kytkettiin modeemi DSLAM:n porttiin 1 RJ11-kaapelilla. DSLAM:n portti 0 toimi kokoojayhteytenä, ja se kytkettiin ethernetillä kytkimen kautta reitittimeen ja ohjain-PC:hen. Asiakas-PC kytkettiin ADSL-modeemin ethernet-porttiin. Asiakas-PC vastasi huoneiston yhtä konetta tai oikeastaan huoneiston kokonaista verkkoa, koska huoneistossa voisi olla useampiakin koneita kytkimellä yhdistettynä. Kuvaan 8 sivulla 24 on piirretty vain yksi asiakas-PC ilman kytkintä ja vain yksi huoneistokohtainen ADSL-modeemi.

3.2 Komponenttien toiminta kytkennässä

DSLAM:n toiminta

DSLAM toimii ADSL-yhteyksien keskittäjänä ja ohjasi liikennettä ADSL-porttien ja ethernet-portin välillä. Portit 1...8 oli kytkettävissä RJ11-kaapelilla huoneistossa olevaan ADSL-modeemiin ja portti 0 ethernet-kaapelilla operaattorin verkkoa jäljittelevälle kytkimelle.

Reitittimen ja kytkimen toiminta

Reititin jäljitteli operaattorin verkkoa ja yhteyttä internettiin ja lisäksi se jakoi DHCP-palveluna IP-osoitteita DSLAM:n kautta ADSL-modeemille. DSLAM:ssa itsessään ei nimittäin ole DHCP-palvelua. Kaikissa Cisco 250X-reitittimissä ei ole DHCP-palvelua, joten käytettiin IOS-versiota C2500-D-L.

Kytkin pelkästään yhdisti DSLAM:n, reitittimen ja ohjain-PC:n samaan loogiseen verkkoon, vastasi siis meidän mallissa laitetta, joka on operaattorin hallinnoima.

ADSL-modeemin toiminta

ADSL-modeemi yhdisti asiakkaan verkon DSLAM:iin. Koekytkennässä asiakkaan verkkoja oli vain yksi ja siinäkin vain yksi kone, kuvassa 7 se on merkitty asiakas-PC:ksi.

Työasemien toiminta

Työasemina oli asiakas-PC, joka siis jäljitteli yhtä yhdessä huoneistossa olevaa konetta, ja ohjain-PC, joka jäljitteli yhtiön verkonvalvojan konetta. Tällä koneella voi ethernetiä pitkin eli etänä hallita yhtiön ulkopuolelta reititintä, DSLAM:ia ja kytkintä.

3.3 Komponenttien konfigurointi

DSLAM:n konfigurointi

Seuraavassa käydään läpi koekytkennän konfigurointikohtia suomeksi ja suluissa on merkitty alkuperäiskielinen ilmaisu.

Yleiset asetukset (General Setup)

DSLAM:n Yleiset asetukset (General Setup) -kohdasta täydennettiin yleisiä tietoja:

- nimeksi (System Name): *adsl*
- sijainniksi (Location): *espoo*
- yhteyshenkilöksi (Contact Person's Name): *Evttek*

Siltausasetukset (Bridge Setup)

DSLAM ei pysty jakamaan DHCP-palveluna IP-osoitteita työasemille, joten IP-kyselyt täytyi pystyä ohjaamaan DHCP-palvelimelle. Siltausasetuksista (Bridge Setup) valittiin DHCP:n välitys (DHCP Relay) -kohdan alta:

- DHCP-välitys sallitaan (DHCP Relay Enable)
- DHCP-palvelimen osoitteeksi (DHCP Server Address): *192.168.2.1*

IP-asetukset (IP Setup)

Tarkistettiin IP-asetukset (IP Setup) -kohdasta portin 0, hallinnointiosoitteen, asetukset:

- IP-osoite (IP Address): *192.168.2.5*
- IP-maski (IP Subnet Mask): *255.255.255.0*
- oletusreititin (Default Gateway): *192.168.2.1*

Porttiasetukset (Port Setup)

DSLAM:n kahdeksasta mahdollisesta portista portti 1 kytkettiin RJ11-kaapelilla ADSL-modeemiin. Alussa kaikki portit olivat passiivisia ja niillä oli oletusprofiili nimeltään DEFVAL. Uuden profiilin määrittäminen ja nimeäminen olisi onnistunut sujuvasti tässä samaisessa ikkunassa, mutta DEFVAL-profiilia ei voi muuttaa. Käytettiin aluksi DEFVAL-profiilia, vaikka sen nopeus oli vain 2048/512 kbit/s.

Porttiasetus (Port Setup) -kohdasta:

- napautettiin portti 1 aktiiviseksi (Active)
- annettiin portille nimi (Name): *portti1*
- Kanavan asetus (Channel Setup) -kohdasta määritettiin:
 - VPI: 0
 - VCI: 33
 - edellä mainitut rastitettiin aktiiviseksi
 - Superkanava (Super Channel) klikattiin päälle
 - VC-profiiliksi (Virtual Circuit): *DEFVAL*

Virtuaaliverkon asetukset (VLAN Setup)

Kukin porteista kuuluu tehdasasetuksessa omaan virtuaaliverkkoonsa, jolloin portissa olevat laitteet eivät voisi ”kuulla” toisiaan. Ethernet-portti 0 kuuluu VLAN1:een, DSL-portti 1 kuuluu VLAN2:een, DSL-portti 2 kuuluu VLAN3:een ja niin edelleen. VLAN-numeron voi muuttaa, mutta pysyttiin tehdasasetuksissa, eli käytettiin DSL-porttia 1, joka kuului virtuaaliverkkoon VLAN2.

Virtuaaliverkko (VLAN Setup) -kohdasta:

- VLAN otettiin käyttöön (VLAN Enable)

Asetusten tallettaminen (Config Save)

Ei talletettu muutoksia, koska ne tulivat voimaan muutenkin napauttamalla apply-painiketta. Config Save -kohtaa tarvitaan, jos halutaan konfiguraation säilyvän virran katkeamisenkin jälkeen.

Reitittimen konfigurointi

Reititin konfiguroitiin seuraavasti:

- nimeksi *DHCPServer*
- ethernet-portin osoitteeksi *192.168.2.1/24*
- DHCP-palvelu jakaa osoitteita väliltä *192.168.2.11...192.168.2.254* sekä osoitetiedot oletusreitistä ja DNS-palvelimesta (Domain Name Server) sekä toimialueen nimen; asetettiin:
 - oletusreitiksi *192.168.2.1*
 - DNS-palvelimeksi *192.168.2.2* (tekaistu osoite)
 - toimialueen nimeksi *adsl.evtek.fi*

Kytkimen konfigurointi

Kytkin pelkästään yhdistää reitittimen, DSLAM:n ja ohjain-PC:n, joten varmistettiin, että kytkimellä ei ole turhia virtuaaliverkkoja.

ADSL-modeemin konfigurointi

Perusasetuksissa (Basic Setup) sivulta 1 valittiin:

- ADSL-asetuksiin (ADSL Settings):
 - Kapseloinniksi (Encapsulation) *RFC 1483*, muita vaihtoehtoja olisi ollut:
 - RFC 2516 PPPoE
 - RFC 2364 PPPoA
 - Bridged Mode Only
 - Virtuaalipiirin tunnuksiksi VPI/VCI: *0/33*
 - Limittämiseksi (Multiplexing): *LLC*

- IP-asetuksiin (IP Settings) valittiin:
 - Hae IP-osoite automaattisesti/DHCP (Obtain IP Address Automatically)

Näin modeemin ADSL-porttiin tuli osoite DSLAM:n läpi reitittimeltä. Tilanne vastasi kotikäyttäjän helposti toimintakuntoon saatettavaa asetusta.

Verkkoasetuksiin (Network Setup) sivulta 2 (Network Setup) asetettiin:

- Modeemin IP (Modem IP):
 - Paikallinen IP-osoite (Local IP Address): *192.168.1.1*, jätettiin tehdasarvoon
 - Aliverkon peite (Subnet mask): *255.255.255.0*, jätettiin tehdasarvoon
- NAT-palvelimen asetukset (Network Address Server Settings/DHCP):
 - Paikallinen DHCP-palvelin: sallitaan (Local DHCP Server: Enabled)
 - Alkuosoite (Start IP Address): *192.168.1.20*
 - Osoitteiden määrä (Number of Addresses): *10*
 - IP-osoitteiden alue (IP Address Range): *192.168.1.20 - 192.168.1.29*
 - Osoitteen pitoaika (Client Lease Time): *1 tunti (Hour)*

Asetukset olivat nyt samat kuin esimerkiksi kotikäyttäjällä, joka haluaa sisäverkon pidettävän yksityisenä NAT-palvelulla erotettuna julkisesta verkosta. Yhtiön verkossa tämä onkin paras tapa.

Työasemien konfigurointi

Ohjain-PC:llä konfiguroitiin reititin ja DSLAM. Ohjain-PC:n IP-osoitteeksi valittiin reitittimen kanssa samassa verkossa oleva osoite 192.168.2.10/24. Asiakas-PC:n IP-osoite oli tarkoitus saada DHCP-palveluna reitittimeltä tai ADSL-modeemilta. Koska asiakas-PC oli fyysisesti kytkettynä ADSL-modeemiin, piti asiakas-PC:n IP-osoite tilapäisesti muuttua

ADSL-modeemin konfiguroinnin ajaksi samaan loogiseen verkkoon eli nyt 192.168.1.10/24:ksi.

3.4 Järjestelmän toimivuus

Työasemien toimivuus

Verkkolaitteiden konfiguroinnin jälkeen työasemien asetus ”Hae IP-osoite automaattisesti” otettiin käyttöön. Vaikka Ohjain-PC:llä tuotantokäytössä olisi tietoturvan takia järkevämpää pitää kiinteää IP-osoitetta, haluttiin koejärjestelyissä käyttää dynaamista IP-osoitetta. Näin saatiin heti varmuus, että reitittimen DHCP-palvelu toimii. Ohjain-PC siis sai IP-osoitteensa reitittimeltä ja asiakas-PC ADSL-modeemilta.

Reitittimen toimivuus

Reititin siis jakoi asiakkailleen DHCP-palveluna osoitteita onnistuneesti ja se vastasi asiakas-PC:n ping-testiin.

Kytkimen toimivuus

Kytkimen tehtävä oli yhdistää samaan fyysiseen verkkoon reititin, DSLAM ja ohjain-PC. Kytkin toimi, hallintaan käytetty VLAN1 vastasi ping-testiin ja kaikki koejärjestelyissä käytetyt portit olivat aktiivisia.

DSLAM:n toimivuus

Yhteys muodotettiin asiakas-PC:ltä reitittimelle DEFVAL-profiililla, jonka nopeus on 2048/512 kbit/s. Kokeiltiin ping-testiä asiakas-PC:ltä reitittimelle vähän suuremmilla paketeilla, jotta saataisiin suuntaa antavia tietoja yhteyden nopeudesta.

Aika oli 10 kilotavun paketilla keskimäärin 252,5 ms ja tätä aikaa käytetään myöhemmin vertailutietona.

ADSL-modeemin toimivuus

Modeemi sai IP-osoitteensa reitittimeltä ja teki osoitteenmuutokset (NAT) eli jakoi IP-osoitteita sisäverkkoonsa omasta varannostaan eli ”poolistaan”. Modeemi toimi reitittävän RFC1483-määritelmän mukaan ja eristi operaattorin ja huoneiston verkon toisistaan loogisesti.

4 Testi 2: siltaava kytkentä

Testissä 2 testattiin, miten siltaava kytkentä yhdistää operaattorin ja asiakkaan verkon loogisesti. Edellisen testin kytkentää muutettiin siten, että modeemin kapselointi muutettiin siltaavaksi RFC 1483 -kapseloinniksi. Tämä sai aikaan sen, että modeemin NAT-palvelu meni pois aktiivisesta tilasta. IP-osoite välittyi sitten reitittimeltä asiakas-PC:lle.

Eli asiakas-PC:llä muutettiin ADSL-modeemin asetuksia (ADSL Settings):

- kapseloinniksi (Encapsulation) siltaava (Bridged Mode Only)

Siltaavassa kapseloinnissa käytettiin LLC-kapselointia. IP-pakettiin ei kajottu, ja lähettäjän ja vastaanottajan MAC-osoitteet lisättiin kehykseen, vrt luku 2.5.

Reititin ja asiakas-PC olivat nyt samassa aliverkossa eli operaattorin verkko ja asiakkaan verkko yhdistyi samaksi loogiseksi verkoksi..

Seuraavassa laboraatioissa lisätään kytkentään nopeutta.

5 Testi 3: DSLAM:n nopeus

Testissä 3 edellistä konfigurointia nopeutettiin. Aluksi ADSL-portin VC-profiiliksi oli siis valittu DSLAM:ssa vakiona oleva oletusprofiili DEFVAL. Nyt luotiin uusi profiili ”Nopea”, jolle asetettiin valmistajan mukaiset suurimmat nopeudet 8160/1024 kbit/s.

Muutettiin DSLAM:n Porttiasetus (Port Setup) -kohdasta seuraavaa:

- napautettiin porttia 1 (Port Number: 1) ja valittiin:
 - ADSL-profiiliasetuksesta (ADSL Profile Setup) lisättiin (Add) uusi profiili :
 - Nimi (Name): *Nopea*
 - Latenssityyppi (Latency Mode): rästettiin *interleave*, eli siirrettävien lohkojen välissä on Reed-Solomon -virheenkorjauksen vaatima 4 ms:n (oletus) viive; toinen vaihtoehto olisi ollut ”virheettömillä” yhteyksillä *fast*
 - Nopeus operaattorille päin (Up Stream Rate): *1024* kbit/s
 - Nopeus asiakkaalle päin (Down Stream Rate): *8160* kbit/s
 - Kanavan asetus (Channel Setup) -kohdasta avattiin uusi ikkuna, josta määriteltiin:
 - VC-profiiliksi (Virtual Circuit): *Nopea*

Näin saatiin ping-testissä asiakas-PC:ltä reitittimelle 10 kilotavun paketille ajaksi 141 ms.

Aika parani siis 10 kilotavun paketilla ping-testissä 252,5 ms:sta 141 ms:iin eli 44 %.

Testaus oli suuripiirteinen, koska siinä ei otettu huomioon yhteyden asymmetrisyyttä eikä päätelaitteiden latenssia. Tästä voi päätellä vain, että uusi Nopea-profiili on käytössä.

Tarkempi aikavertailu voitaisiin tehdä liitteenä olevan laboraation 1 lopussa esitetyllä FTP-siirrolla.

Nyt saatiin DSLAM:n nopeus säädettyä suurimmaksi. Oikeassa yhtiössä nopeutta voitaisiin joutua tästä jopa pienentämään, jottei tehokäyttäjät veisi tiedostojen siirrossa itselleen kaikkea kaistaa.

6 DSLAM:n tietoturva

Tietoturva yleisesti jaetaan kolmeen alueeseen: saatavuuteen, luottamuksellisuuteen ja eheyteen. Samaa jakoa selvitetään DSLAM:ssa seuraavassa.

Saatavuus eli käytettävyys tarkoittaa, kuinka toimintavarmasti laite on käytettävissä. Käyttökatkoksilta yritetään suojautua hyvällä valvonnalla, huolellisella dokumentoinnilla, konfiguraatioiden ja ohjelmien varakopioinnilla ja äärimmilleen vietyä laitteen ja kaapeloinnin kahdentamisella. Käytettävyyttä parannetaan myös priorisoimalla palvelut ja protokollat, jotka eivät viiveitä siedä. Priorisoinnista kerrotaan lisää luvussa 6.6. Etävalvontaa käsitellään perusteellisemmin luvussa 7.

Luottamuksellisuus tarkoittaa, että laitteeseen voivat olla yhteydessä vain sellaiset laitteet tai henkilöt, joilla siihen on oikeus. Luottamuksellisuutta parannetaan käyttämällä eritasoisia käyttäjätunnuksia, salasanoja, virtuaaliverkkoja, käyttäjätietokantoja sekä määrittelemällä turvalliset IP- tai MAC-osoitteet. Edempänä kerrotaan näistä menetelmistä enemmän. Fyysisellä tietoturvalla tarkoitetaan esimerkiksi laitetilojen lukitsemista ulkopuolisilta.

Eheys tarkoittaa sitä, että käsiteltävä data pysyy muuttumattomana. Tähän pyritään hyvällä kaapeloinnilla, huolellisilla liitännöillä ja virheenkorjauksella, josta viimeisimmästä kerrottiin luvussa 2.3.

6.1 Salasanat

DSLAM:n sarjaportille on tehdasasetuksena salasana "1234", joka kannattaa tuotannossa vaihtaa toiseksi 1...8 -merkkiseksi pääteohjelmalla, esimerkiksi TeraTermillä. Salasana vaihdetaan kirjoittamalla pääteohjelmalle "passwd". Sama salasana tulee voimaan telnet- ja FTP-yhteyksiin. FTP-yhteyttä tarvitaan ohjelmiston päivityksessä.

Web-selaimella salasana on alussa samoin "1234", ja sekin kuuluu vaihtaa toiseksi. Ohjekirjassa ei kerrota sen pituudesta mitään. Web-selaimella alkusivulta kohdasta Hallinta

(Advanced Management) valitaan:

- Sisään kirjoittautumiset (Logins), sitten avautuvasta ikkunasta täydennetään
 - Vanha salasana (Old Password): *[vanha salasana]*
 - Uusi salasana (New Password): *[uusi salasana]*
 - Kirjoita uudelleen uusi salasana (Retype to confirm): *[uusi salasana]*

6.2 Turvalliset asiakaskoneet

Turvalliset asiakaskoneet voivat käyttää DSLAM:a internetin kautta telnetillä, FTP:llä ja web-selaimella. Web-selaimella alkusivulta kohdasta Hallinta (Advanced Management) valitaan:

- Ylläpito (Maintenance), sitten avautuvasta ikkunasta valitaan:
 - Turvallinen asiakaskone (Secured Client), uudesta ikkunasta valitaan
 - Turvalliset sallitaan (Secured Enable) -kohta rastitetaan
 - Osoite (Address): *[täydennetään IP-osoite]*
 - Lisää-näppäimellä (Add) toistetaan edellä mainittu jokaiselle uudelle turvalliselle asiakkaalle

6.3 Virtuaaliverkkoihin (VLAN) perustuva tietoturva

VLAN:eilla verkko jaetaan useampiin loogisiin helpommin hallittaviin kokonaisuuksiin, joissa liikenne tehostuu, kun yleislähetykset (Broadcast) eivät leviä laajemmalle alueelle. DSLAM:ssa käyttäjät eristetään VLAN:ein.

VLAN:t erotetaan toisistaan ethernet-kehyksessä olevin lipukkein (Tag). Lipukkein varustetut kehykset ovat täsmällisiä (Explicit Tagging) tai ehdottomia (Implicit Tagging). Täsmällisissä VLAN:n tunnus lisätään kehyksen otsikkoon. Ehdottomissa MAC-osoite, joka

yksilöi kehyyksen lähde-VLAN:n, sisällytetään kehyyseen. 802.1Q käyttää molempia tapoja.

DSLAM on OSI-mallin 2-kerroksen (=siirtoyhteyskerros, Data Link Layer) mukainen laite. DSLAM käyttää standardin 802.1Q mukaista lipukkeellista virtuaaliverkkoa ja standardin 802.1p mukaista portteille määriteltävää prioriteettia. Lipukkeellinen ethernet-kehys on neljä tavua pidempi kuin lipukkeeton ja sisältää kuvan 9 mukaisia kenttiä. Kehyksien mukana tieto VLAN:eista kulkee pitkin ethernetiä.

TPID 2 Bytes	User Priority 3 Bits	CFI 1 Bit	VLAN ID 12 bits
-----------------	-------------------------	--------------	--------------------

Kuva 9. Lipukkeellisen (Tagged) ethernet-kehyyksen kenttiä (ZyXEL 2006)

TPID:llä (Tag Protocol Identifier) on kiinteä heksadesimaalinen arvo 8100H, ja se ilmaisee, että kehys kuljettaa 802.1Q/802.1p:n mukaista dataa. CFI on kanonisen muodon indikaattorilippu (Canonical Format Indicator), ja se asetetaan nolaksi kytkimille menevissä kehyyksissä. VLAN:n tunnuksiksi jää 12 bittiä, joten niillä voidaan ilmasta 4096 lukua. Nolla ja 4095 (=0FFFH) on varattu erikoistarkoituksiin, joten VLAN:eja voi olla yhteensä 4094 erilaista.

DSL-portit ovat alussa tehdasasetuksilla (ks. kohta sivulla 28 Virtuaaliverkon asetukset, VLAN Setup), jota muuttamalla DSL-porttien eristäminen tai yhdistäminen toisiin verkkoihin on monipuolista.

Nopea käyttötapa (Fast Mode) on menetelmä, jossa lipukkeellisesta 802.1Q-kehyysestä tunnistetaan lähdeportti ja ohjataan kehys dynaamisen VLAN-taulukon mukaan eteenpäin. DSLAM muodostaa kuuntelemalla porttiensa liikennöintiä automaattisesti reititystaulukon, dynaamisen VLAN-taulukon (Dynamic VLAN Table, DVLAN Table). Porttiin kytketyt koneet voivat tällöin kuulua vain yhteen VLAN:iin (ZyXEL 2006).

6.4 MAC-osoitteisiin perustuva suodatus

Ottamalla käyttöön MAC-osoitteisiin perustuva suodatus voidaan määritellä, mitkä laitteet

saadaan kytkeä DSL-portteihin. Kullekin portille voidaan määritellä viisi eri MAC-osoitetta. Web-selaimella alkusivulta kohdasta Siltausasetukset (Bridge Setup) valitaan MAC-suodattimen asetus (MAC Filter Setup) ja avautuvasta ikkunasta valitaan portti:

- Suodatus sallitaan (Filtering Enable) -kohta rastitetaan.
- Täydennetään MAC-osoite (MAC Address): [XX XX XX XX XX].
- Lopuksi napsautetaan Lisää (Add) -näppäintä tai Poista (Delete) -näppäintä.

6.5 Keskitetty käyttäjien todentaminen

IES-1000 tukee IEEE-802.1X:n mukaista keskitettyä käyttäjien todentamista, kuva 10. RADIUS-protokollaa (Remote Authentication Dial In User Service) käytetään pääasiassa operaattorien sisäisessä yhden tahon ylläpitämissä verkoissa. Jokaista palvelimen ja verkkolaitteen välistä yhteyttä varten täytyy konfiguroida oma salasana.



Kuva 10. DSLAM-käyttäjien keskitetty hallinta RADIUS-palvelimella (ZyXEL 2006)

Siltausasetukset (Bridge Setup) -kohdasta valitaan 802.1X-asetus ja avautuvasta ikkunasta valitaan:

- 802.1X sallitaan (802.1X Enable) -kohta rastitetaan
- Avataan RADIUS-palvelimen määrittelyt napsauttamalla RADIUS-palvelin (RADIUS Server) -linkkiä ja avautuvasta ikkunasta täydennetään:
 - IP-osoite (IP Address): 192.168.2.10
 - UDP-portti (UDP Port): 1812 (oletusportti)
 - Salasana (Shared Secret): 1234
- Takaisin edelliselle tasolle päästään Siltausasetukset (Bridge Setup)

-kohdasta ja ADSL1-portille määritellään 802.1X-asetuksissa (Edit 802.1X Setup):

- ADSL1-portti rastitetaan aktiiviseksi (Active).
- Uudelleentodennus (Reauthentication) otetaan käyttöön (on).
- Uudelleentodennusajastimeksi (Reauthentication Timer) valitaan 3600, eli käyttäjän todennus varmistetaan tunnin välein RADIUS-palvelimelta.

RADIUS-palvelimella on tietokanta käyttäjistä ja salasanoista, tai se voi saada tiedon niistä NT4:n toimialuekoneelta tai Windows 200X:n AD:stä (Active Directory).

6.6 Priorisointi

Virtuaalisia kanavilla, PVC:illä, voidaan asettaa kahdeksan erilaista prioriteettia palveluille tai käyttäjälle kutakin DSL-porttia kohti. Ensiksi asetetaan PVID (Port VLAN ID) jokaiselle kanavalle, sitten prioriteetti jokaiselle PVID:lle. Näin saadaan eri prioriteetti jokaiselle kanavalle. Esimerkiksi yhtiön sisäpuhelinjärjestelmä voitaisiin toteuttaa:

- Editoi staattista VLAN:a (Edit Static VLAN) -kohdasta valitaan portti, jota sisäpuhelinjärjestelmä käyttää ja asetetaan PVID.
- ADSL Edit Port Channel Setup -kohdasta valitaan:
 - kanava, jota sisäpuhelinjärjestelmä käyttää ja asetetaan sama PVID kuin edellä staattisessa VLAN:ssa sekä
 - asetetaan kanavalle korkein prioriteetti

Tässä esimerkissä palvelu (puhe) vaatii vähän kaistaa, mutta on käyttäjälle hyvin ärsyttävää, jos palvelu pätkii. Priorisoimalla käytettävyyys paranee.

6.7 Suositukset tietoturva-asetuksiksi

OSI-mallin kakkoskerroksen eli siirtoyhteyskerroksen mukaisilla laitteilla, jollainen DSLAM:kin on, on tehtävänä hoitaa lähiverkon laitteiden välistä liikennettä eikä niille ole suunniteltu monipuolisia tietoturvatehtäviä. Tietoturvan puutteen takia apua pitää hakea OSI-mallin ylemmiltä kerroksilta.

Pääteyhteyksien ja web-palvelimen salasana pitää vaihtaa vaikeasti arvattavaksi numeroiden sekä isojen ja pienten kirjaimien yhdistelmäksi. Käyttöönottoa lukuun ottamatta telnetiä tai web-selainta ei tulisi käyttää. SNMP:n yhteisötunnus pitää muuttaa ja luku- sekä kirjoitusoikeudet poistaa, jos niitä ei käytetä etähallinnassa.

Porttien erilliset virtuaaliverkot on määritelty jo tehdasasetuksissa. Käyttämättömät portit tulisi tehokkuuden takia ottaa pois käytöstä. MAC-osoitteisiin perustuvan suodatuksen käyttöönottoa ei tulisi käyttää, koska saatava hyöty ei ole suhteessa siihen nähtävään hankaluuteen.

Koska IES-1000 ei tue pääteyhteyksissä SSH:ta (Secure Shell) ja web-selaimessa SSL:ää (Secure Sockets Layer), tulisi DSLAM:n tietoturva varmistaa RADIUS-palvelimella. RADIUS-protokollaa käytettäessä verkossa salasanat eivät liiku salaamattomana, mutta pääte- ja web-yhteyksillä salasanat olisivat siepattavissa. Siksi on tärkeää, että DSLAM:n etäyhteyksissä käytetään RADIUS-palvelimen käyttäjien tunnuksia.

Luotettujen isäntäkoneiden määrittely lisää hiukan tietoturvaa SNMP-protokollalle (SNMPv1 ja SNMPv2) ominaisine heikkouksineen. Tästä kerrotaan enemmän luvussa 7.3 Tiedonkeruu SNMP-protokollaa käytävillä hallintaohjelmilla.

Pienessä yrityksessä tai yhteisössä ei välttämättä ole halukkuutta hallinnoida RADIUS-palvelinta, joten saattaisi olla riittävää turvautua kevyempään ratkaisuun vaikkapa lisäämällä fyysistä suojausta. DSLAM:n asetukset ja mikrokoodi tulisi kopioida talteen mahdollista myöhempää häiriötä varten. Tästä kerrotaan seuraavassa luvussa 7.1.

7 DSLAM:n etähallinta

7.1 Web-selaimen ja pääteohjelman käyttö

DSLAM:n käyttöönoton lisäksi web-selain ja pääteohjelmat kuten TeraTerm ja telnet soveltuvat hyvin salaamattomaan etähallintaan. Telnetilla voidaan tehdä etänä samalla tavalla samat asiat kuin konsolilta paikallisestikin. IES-1000 ei tue salattuja yhteyksiä SSH:ta ja SSL:ää.

FTP-yhteydellä voidaan päivittää koneen mikrokoodi (Firmware) työasemalta, vasemmalla on esitetty pääteohjelman käskyt ja oikealla selitykset:

<code>c:\> ftp 192.168.0.5</code>	Avataan FTP-yhteys DSLAM:iin.
<code>User: <ENTER></code>	Syötetään ”tyhjä” käyttäjätunnus.
<code>Password: 1234</code> <code>230 Logged in</code>	Syötetään tehdasarvoinen salasana.
<code>ftp> put firmis.img image</code>	Kopioidaan firmis.img -niminen mikrokoodi työasemalta DSLAM:lle.
<code>ftp> quit</code>	Poistuminen tiedonsiirtomoodista.

Firmis.img on tuoreen mikrokoodin nimi, joka on työasemalla oletushakemistossa ja image on DSLAM:n sisäinen nimi mikrokoodille. FTP-yhteyden sulkemisen jälkeen DSLAM käynnistää itsensä uudella mikrokoodilla automaattisesti. Mikrokoodin päivitystä ei saa keskeyttää, sillä mikrokoodi voi vahingoittua ja jumittaa koko laitteen.

FTP-yhteydellä voidaan tallettaa konfiguraatio tai palauttaa DSLAM:lle:

<code>c:\> ftp 192.168.0.5</code>	Avataan FTP-yhteys DSLAM:iin.
<code>User: <ENTER></code>	Syötetään ”tyhjä” käyttäjätunnus.
<code>Password: 1234</code> <code>230 Logged in</code>	Syötetään tehdasarvoinen salasana.

<code>ftp> get init</code>	Talletetaan konfiguraatio työasemalle.
<code>ftp> put init</code>	Palautetaan konfiguraatio DSLAM:lle.
<code>ftp> quit</code>	Poistuminen tiedonsiirtomoodista.

Palautuksessa FTP-yhteyden sulkemisen jälkeen DSLAM käynnistää itsensä uudella konfiguraatiolla automaattisesti.

7.2 Tiedonkeruu lokeilla

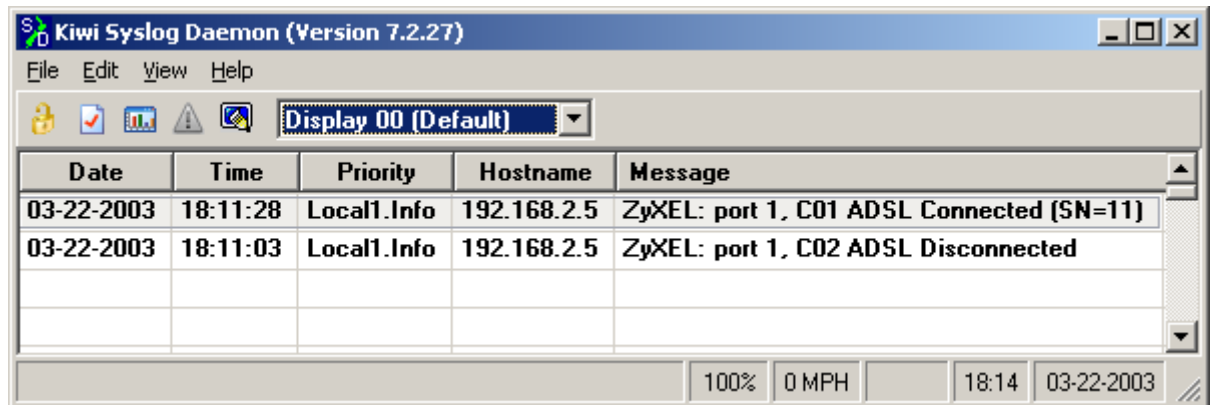
DSLAM:n muistiin kerääntyy tietoja laitteen toiminnasta ja on sieltä luettavissa. Web-selaimella alkusivulta kohdasta Hallinta (Advanced Management) valitaan:

- Tilastot (Statistics), sitten avautuvasta ikkunassa on tietoa järjestelmästä ja valittavissa on:
 - Laitteiston valvonta (Hardware Monitor)
 - Porttien liikenne (Port Statistics)
 - Kanavien liikenne (Channel Statistics)
 - Virtuaaliverkkojen tila (Vlan Status)

Lokit voidaan ohjata UNIX-työasemalle tai ohjelmalle, joka simuloi sellaista. Web-selaimella alkusivulta kohdasta Hallinta (Advanced Management) valitaan:

- Ylläpito (Maintenance), sitten avautuvasta ikkunasta:
 - rastitetaan kohta Unix System Log
 - täydennetään Unix-palvelimen IP-osoite (System log IP Address): *192.168.2.11*
 - valitaan alavetovalikosta logityyppi (Log Facility) vaihtoehtoista Paikallinen1...Paikallinen7 (Local1...Local7), jolloin UNIX-järjestelmä käsittelee syntyviä tiedostoja halutulla tavalla, valittiin Paikallinen1

Ohjain-PC:ssä käynnistettiin Kiwin Syslog -ohjelma ja simuloitiin yhteyden katkeamista ADSL-modeemista. Näin saatiin lokitietoa ohjelmalle, kuva 11.



Kuva 11. Tapahtumaviestien ohjaaminen pääteohjelmalle.

7.3 Tiedonkeruu SNMP-protokollaa käyttävillä hallintaohjelmilla

SNMP:tä (Simple Network Management Protocol) käyttämällä tiedonkeruu saadaan havainnollisemmaksi ja automaattisemmaksi. Web-selaimella alkusivulta kohdasta Hallinta (Advanced Management) valitaan:

- SNMP, sitten avautuvasta SNMP:n Asetus (SNMP Setup) -ikkunassa on täydennettävissä:
 - Luotetun isännän IP-osoite (Trusted Host): *192.168.2.11*
 - Yhteisötunnus (Community), oletuksena *public*
 - Pääsyoikeudet (Access Right): ei mitään/luku/kirjoitus (None/Read/Write), oletuksena luku
 - Tapahtumaviestien lähetys (Send Trap): kyllä/ei (Yes/No), valittiin *kyllä*

SNMP-ajatuksen mukaisesti valvottavassa laitteessa, nyt DSLAM:ssa, oleva pieni palvelinohjelma, agentti, kerää tietoa laitteen toiminnasta ja lähettää tiedon pyydettyessä valvovalle isäntäohjelmalle. Isoista tapahtumista generoidaan viesti pyytämättä. Niitä on kuusi, suluissa tapahtuman standardi:

- laitteen käynnistyminen (RFC 1215)
- todentamisvirhe, kun palvelinohjelma käyttää väärää yhteisötunnusta (RFC 1215)
- linkki aktiivinen, kun DSL-portti avataan (RFC 1215)
- linkki passiivinen, kun DSL-portti sulkeutuu (RFC 1215)
- kuumenemisvaroitusta (ZyXEL-MIB)
- kuumenemisvaroitusta ohi (ZyXEL-MIB).

Sekä agentilla että isäntäohjelmalla pitää olla sama kuvaustietokanta MIB (Management Information Base) kerättävistä tiedoista, jotta isäntä pystyisi tulkitsemaan tiedot oikein. IES-1000 käyttää MIB-II:a, joka on määritelty RFC 1213:ssa ja RFC 1215:ssa.

IES-1000 tukee versioiden 1 ja 2 (SNMPv1 ja SNMPv2) mukaisia protokollia.

Tehdasasetuksilla SNMP on aktiivinen, yhteisötunnuksella ”public” on lukuoikeudet ja yhteisötunnuksella ”1234” on kirjoitusoikeudet . SNMP:ssä yhteisötunnus on sama kuin salasana.

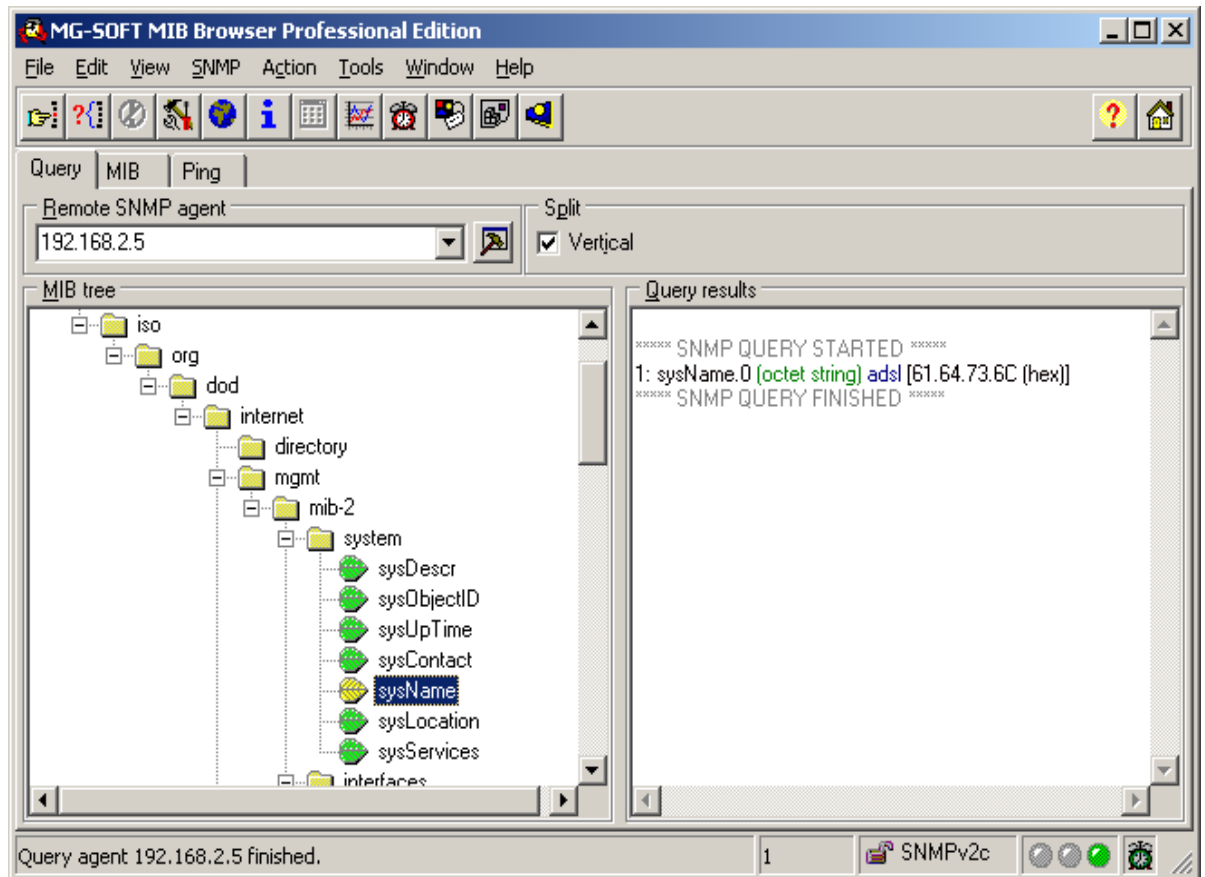
Tuettu SNMP-käskykanta on hyvin suppea: Get, GetNext ja Set. Get-käskyllä haetaan MIB-tietokannan määrittelemä objekti, GetNextillä seuraavaa tietoa ja Set-käskyllä asetetaan objektille parametri. Lisäksi on edellä mainittu Trap-toiminto, jolla siis agentti raportoi automaattisesti tärkeimmistä tapahtumista.

Luotettu isäntä on siis tässä yhteydessä isäntäkone, jonka pyyntöihin agentti vastaa. Jos isäntäkoneen IP-osoite valitaan 0.0.0.0:ksi, reagoi agentti kaikkiin sille osoitettuihin SNMP-käskyihin.

Trap-viestit on oletuksilla passiivisessa tilassa, joten ne voidaan ottaa käyttöön telnetillä:

```
192.168.2.5 snmp> trap add public 192.168.2.11
```

Yhteisötunnuksella ”public” Trap-viestit ohjataan osoitteeseen 192.168.2.11 ohjain-PC:hen. Käytettävissä oli työasemassa alkeellinen MG-Softin MIB Browser, joten yksinkertaista tiedonkeruuta esitetään kuvassa 12.



Kuva 12. Laitteen toiminnan seuraaminen SNMP-asiakasohjelmalla.

7.4 Suositukset etähallintaan

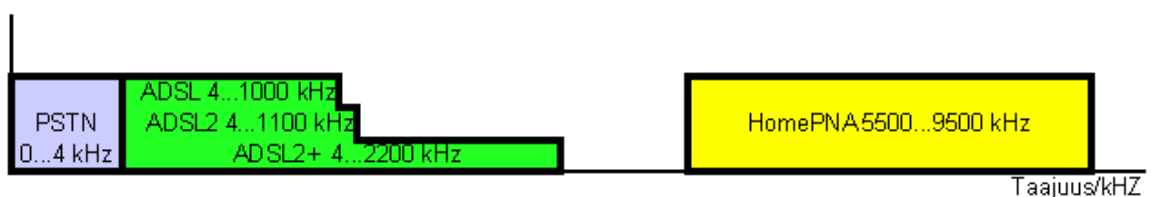
Pääte- ja web-yhteydet on yksinkertaisin ja tehokkain tapa hallita DSLAM:a, ja ne tulee konfiguroida tietoturvan kannalta kuten luvussa 6.6 on kerrottu. Graafiset SNMP-protokollaa käyttävät tiedonkeruu- ja hallintaohjelmat ovat havainnollisia, tehokkaita ja kalliita, mutta muuta etäohjelmaa ei juuri tarvita. Verkkolaitteet näkyvät silloin karttana ja värikoodattuna topologiakuvana. Vihreä väri kertoo normaalista toiminnasta, keltainen pienestä häiriöstä, punainen kriittisestä viasta ja musta laitteesta, johon ei saada yhteyttä. Myös asetusten muuttaminen ja laitteiden inventointi onnistuu helposti.

Jos ei ole mahdollista käyttää kallista graafista ohjelmaa, pitää konfiguroida UNIX-työasemalle tulostava tiedonkeruujärjestelmä kuten luvussa 7.2 on esitetty. Tapahtumaviestit kertovat linkin katkeamisesta ja uudelleen kytkeytymisestä, ylikuumentumisesta, todentamisvirheistä ja laitteen käynnistymisestä. Tarkempi kuvaus saadaan web-yhteydellä DSLAM:n sisäisestä lokista. Tämä on halpa tapa, mutta vaatii järjestelmänvalvojalta viitseliäisyyttä.

8 Vertailua kilpaileviin tekniikoihin

8.1 HomePNA

Kotikäyttäjille suunnattu edullinen HomePNA toimii yhtä aikaa puhelimen ja vaikka DSL:n kanssa samaa puhelinkaapelia pitkin korkealla taajuudella, 5,5...9,5 Mhz, eikä siten tarvitsisi jakosuodattimia. Kuvassa 13 verrataan eri tekniikoiden käyttämiä taajuuksia. HomePNA-laitteet ovat ADSL-laitteita halvemmat. Versio 1 tukee nopeutta 1 Mbit/s ja versio 2 nopeutta 10 Mbit. Uusin versio 3 tukee 128 Mbit:ä/s, mutta tekniikan tuoreudesta johtuen jo version 2 laitteilla on yhteensopivuus- ja ylikuulumisongelmia. HomePNA-kytkimiin saadaan monipuolista etähallintaa ja tietoturvaa. HomePNA-laitteet kehittyvät ja uusia standardeja luodaan. Tällä hetkellä sekä HomePNA- että ADSL-tekniikalla voidaan rakentaa nopeita, ≥ 10 Mbit/s, toimivia kokonaisuuksia, edellisellä halvemmalla, jälkimmäisellä ympäristössä, jossa on monen laitetoimittajan komponentteja. HomePNA tarjoaa hyvän vaihtoehdon langallisissa yhteyksissä taloyhtiöissä, mutta operaattorikäytössä sitä vierastetaan vaillinaisen standardisoinnin takia (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).



Kuva 13. Taajuuskaistan käyttö eri tekniikoilla

8.2 Datasähkö

Datasähkö käyttää sähköverkkoa tiedonsiirtoon, joten verkosto on laaja ja kaikkialle saatavissa. Yhteys on symmetrinen ja saavuttaa nopeuden 40 Mbit/s. Päätelaitteet ovat erittäin helppokäyttöisiä. Sähköverkko tiedonsiirtokäytössä on puolestaan altis

jännitevaihteluille, radioaalloille ja kodinkoneiden ja voimalaitteiden aiheuttamille häiriöille. Lisäksi se itse aiheuttaa häiriöitä yleisradio- ja ilmailuliikenteelle. Keskitinlaitteen monipuolinen hallittavuus, hyvä tietoturva ja nopea toipuminen virhetiloista lupaavat kuitenkin tekniikalle tulevaisuudessa suurta suosiota. Standardoinnin puute on estänyt laajaa käyttöönottoa. Kuluttajille tarjotaan nopeuksia 512 kbit/s...1 Mbit/s, ja yhteyksien hinnat ovat hiukan ADSL:ää halvempia (Liikenne- ja viestintäministeriö 2004).

8.3 Langaton lähiverkko

Langaton verkko voidaan rakentaa paikkaan, mihin kaapelointi olisi vaikeasti toteutettavissa.

Langaton lähiverkko, Wireless Local Area Network (WLAN) tai Wireless Fidelity (Wi-Fi) tarjoaa yritysmaailmassa ja kotikäytössä viimeisimmän linkin lähiverkon ja käyttäjän välillä nopeudella 11 Mbit/s (802.11b) tai 54 Mbit/s (802.11g). Solun koko on 50...100 m. Rakennusten välisten linkkien toteuttaminen onnistuu edullisesti myös tällä tekniikalla. Tekniikka ei varsinaisesti kilpaile DSL-tekniikan kanssa vaan täydentää sitä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).

8.4 WiMAX

Suurempisoluinen, tyypillisesti < 10 km, 802.16-esityksen mukainen Worldwide Interoperability for Microwave Access eli WiMAX on hyvin tuettu ja siltä odotetaan paljon lähivuosina. Tukiasema tarjoaa soluun 75 Mbit/s:n nopeuden, joka riittää kymmenille yrityksille tai sadoille kotikäyttäjille. Tekniikka tarjoaa yhteyden operaattorin ja asiakkaan kiinteistöön sijoitetun asiakaspäätteen välille. Lähitulevaisuudessa markkinoille tulee mobiileja laitteita WiMAX-verkkoon. Taulukossa 5 on erään toimittajan yhteyksien kuukausihintoja. Taulukon mökki-liittymät ovat tekniikaltaan samoja kuin kaksi muuta, mutta asiakas sitoutuu vähintään vuoden sopimukseen (Mikkelin Puhelin 2007).

WiMAX-tekniikka tarjoaa hinnaltaan kilpailukykyisen mutta hitaamman internet-yhteyden

kuin DSL.

Taulukko 5. WiMAX-yhteyden kuukausihintoja (Mikkelin Puhelin 2007).

Yhteyden nimi	Nopeus	Hinta
Laajakaista eSavo	512/512 kbit/s	29,90 €/kk
Laajakaista eSavo	1 M/512 kbit/s	38 €/kk
Laajakaista eSavo mökki	512/512 kbit/s	14,95 €/kk
Laajakaista eSavo mökki	1 M/512 kbit/s	19 €/kk

8.5 @450-verkko

Tulevaisuudessa Flash-OFDM -tekniikalla (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) voidaan toteuttaa 5...20 km:n kokoisia soluja asymmetrisellä jopa 600/1,5 Mbit/s:n nopeudella. Tätä tekniikkaa käyttää mm. Digitan @450-verkko, johon yhteyksiä myyvät esimerkiksi Saunalahti, Elisa ja Sonera. Tekniikka tukee hyvin mobiilikäyttäjää, esimerkiksi kannettavaan tietokoneeseen saadaan PCMCIA-kortilla yhteys verkkoon. Taulukossa 6 on erään toimittajan yhteyksien kuukausihintoja (Mobile.fi 2007).

Taulukko 6. @450-yhteyden kuukausihintoja (Mobile.fi 2007).

Yhteyden nimi	Nopeus	Hinta
Mobile.fi Lite	512/256 kbit/s	43 €/kk, siirtoraja 5 Gb/kk
Mobile.fi Standard	1M/512 kbit/s	48 €/kk, siirtoraja 5 Gb/kk
ProMobile.fi	512/512 kbit/s	75 €/kk, siirtoraja 10 Gb/kk

Siirtorajan täytyttyä yhteys ei katkea vaan hidastuu 64 kbit:iin/s. Kuuluvuusrajan reunoilla on käytettävä lisäantennia. @450-tekniikka on hiukan ADSL-yhteyttä kalliimpi mutta se toimii mobiilisti haja-asutusalueilla.

8.6 3G-tekniikka

Kolmannen polven 3G-tekniikka (3rd Generation) tarjoaa mobiililaitteille suuria nopeuksia uusia tekniikoita hyödyntäen. Selostamatta niitä enempää taulukkoon 7 on listattu tekniikat ja niiden teoreettiset enimmäisnopeudet. Todelliset nopeudet voivat olla huomattavastikin hitaampia. Taulukossa 8 esitetään erään toimittajan yhteyksien hintoja.

Taulukko 7. 3G-verkossa käytetyt tekniikat (Juutilainen 2006).

Tekniikka	Lyhenne	Enimmäisnopeus
High Speed Downlink Packet Access	HSDPA	1,8 Mbit/s
Universal Mobile Telecommunications System	UMTS	384 kbit/s
Enhanced Data Rates for GSM Evolution	EDGE	236,8 kbit/s
General Packet Radio Service	GPRS	53,6 kbit/s
High Speed Circuit Switched Data	HSCSD	57,6 kbit/s
Global System for Mobile Communications	GSM	9,6 kbit/s

3G muodostaa yhteyden alueen nopeimmalla saatavilla olevalla verkkotekniikalla. Listan kolme alinta eivät ole 3G-tekniikoita, mutta niitä käytetään, jos nopeampaa yhteyttä ei voida käyttää (Juutilainen 2006).

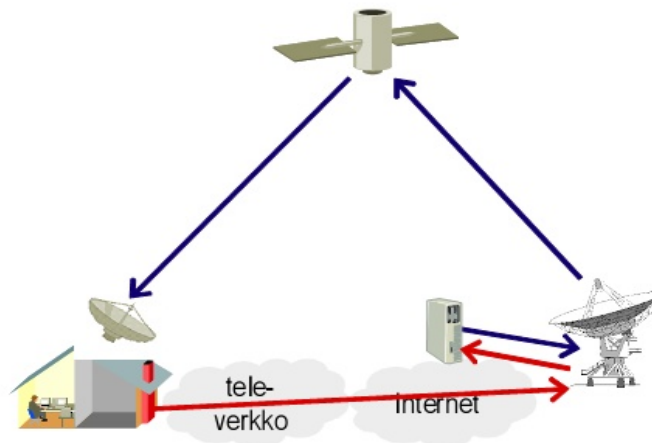
3G-yhteyksien hinnat ja saatavuus haja-asutusalueille tekee tekniikan erittäin kilpailukykyiseksi ADSL:ään verrattuna. Suosiota ja käytön helppoutta lisää se, että joihinkin kannettaviin tietokoneisiin voidaan sisään integroida 3G-verkossa tarvittava sovitin.

Taulukko 8. 3G-yhteyksien hintoja (Elisa 2006).

Yhteys	Hinta, sisältää 3G-sovittimen	Nopeus
Mobiililaajakaista 384	14,90 €/kk	384 kbit/s
Mobiililaajakaista 512	19,90 €/kk	512 kbit/s
Mobiililaajakaista 1M	24,90 €/kk	1 Mbit/s
Mobiililaajakaista 2M	34,90 €/kk	2 Mbit/s

8.7 Satelliittiverkot

Yksisuuntaiset satelliittiyhteydet ovat parhaimmillaan haja-asutusalueilla, mutta latenssiaika on etäisyyksistä johtuen pitkä. Kuvassa 14 esitetään, kuinka linkki asiakkaalle päin on nopea satelliittilinkki ja paluukanavana käytetään vaikka hidasta puhelinverkkoa.



Kuva 14. Yksisuuntainen satelliittiyhteys (JP-Epstar Oy 2003).

Tällaisessa järjestelyssä ISP vuokraa VPN-yhteyden satelliittiin satelliittifirmalta ja laskuttaa asiakkaalta sekä satelliittiyhteydestä että tarjoamastaan internet-yhteydestä. Eräs yhtiö tarjoaa lainavastaanotinta 150 euron aloitushintaan sopimuskaudeksi. Satelliittiyhteydestä joutuu maksamaan taulukon 8 mukaan. Siirtorajan ylittyttyä nopeus putoaa alle 64 kbit:iin/s, mutta sen luvataan olevan korkeampi kuin esimerkiksi GSM:llä.

Taulukko 8. Satelliittiyhteyksien hintoja (JP-Epstar Oy 2003).

Nopeus	Hinta	Siirtoraja
512 kbit/s	19,50 €/kk	200 Mb/kk
512 kbit/s	39,50 €/kk	3 Gb/kk
1 Mbit/s	69,50 €/kk	3 Gb/kk
2 Mbit/s	99,50 €/kk	3 Gb/kk

Kaksisuuntaiset satelliittiyhteydet ovat vasta elinkaarensa alussa ja maksavat vielä kymmenkertaisesti, joten niitä ei tässä käsitellä (JP-Epstar Oy 2003).

9 Päätelmät

IES-1000 -DSLAM soveltuu tekniikkansa puolesta hyvin yritys- tai taloyhtiökäyttöön rakennusten tai kerrosten väliseen verkottamiseen, kun puhelinyhteyksiin tarkoitettu parikaapelointi on valmiina. Käyttöönotto on yksinkertaista, standardisointi pitkällä, tietoturva monipuolista, hallittavuus selkeää ja laajennettavuus helppoa.

Insinööriyössä kuvatut kytkennät, konfiguraatiot ja menetelmät soveltuvat pienen yksikön verkottamiseen ja verkon ylläpitämiseen.

DSL-tekniikalla on paljon kilpailijoita, mutta se pysyy tärkeänä tekniikkana yrityksissä ja kotitalouksissa, kun siirrettävät tietomäärät ja nopeudet ovat suuria. Vaikka runkoverkon kuparikaapeleita korvataan nopeilla ja tehokkailla kuituyhteyksillä, niin suurimmalle osalle loppukäyttäjistä viimeinen maili tulee vielä pitkään olemaan kuparia. Sen sijaan langattomuus syrjäyttää DSL-tekniikkaa haja-asutusalueilla ja yritysten mobiililaitteissa ja varayhteyksissä. Yhteyden valinnan ratkaisee, miten ja missä yhteyttä käytetään ja mitä verkkoja ja palveluja alueella on tarjolla.

Lähteet

Datasähkö Suomessa. 2004. (WWW-dokumentti.) Liikenne- ja viestintäministeriö.
<http://www.mintc.fi/oliver/upl819-46_2004.pdf> 28.7.2004. Luettu 6.3.2007.

Eri teknologiat. 2006. (WWW-dokumentti.) Kansallinen laajakaistatyöryhmä.
<<http://www.laajakaistainfo.fi/teknologiat/index.php>> Luettu 5.3.2007.

Goralski, Walter. 2002. ADSL & DSL technologies. New York Osborne/McGraw-Hill cop.

Juutilainen, Matti. 2006. Siirtyvä tietoliikenne, Matkapuhelinverkot. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento07-08.pdf>> Luettu 4.2.2009.

Laajakaista - hinnat ja saatavuus. 2007. (WWW-dokumentti.) Elisa.
<http://www.elisa.fi/yksityisille/laajakaista/laajakaista/hinnat_ja_saataavuus/> Luettu 7.3.2007

Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat. 2005. (WWW-dokumentti.) Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://www.ficora.fi/suomi/document/TRaportti072004.pdf>> Luettu 20.10.2007.

Langaton laajakaista. 2007. (WWW-dokumentti.) Mobile.fi. <<http://www.mobile.fi>> Luettu 26.11.2007.

MPY Laajakaista eSavo. 2007. (WWW-dokumentti.) Mikkelin Puhelin.
<http://www.mpy.fi/alltypes.asp?d_type=5&menu_id=239> Luettu 26.11.2007.

Mustonen, Aleksi. 2006. xDSL-tekniikat. (WWW-dokumentti.)
<http://www.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5316800/seminaarit/xdsl-tekniikat_aleksi_mustonen_kalvot.ppt> 14.2.2006. Luettu 6.3.2007.

Tutkimus satelliittipohjaisista laajakaistajärjestelmistä Suomen televiestintämarkkinoilla. 2003. (WWW-dokumentti.) JP-Epstar Oy.
<http://www.laajakaistainfo.fi/ajankohtaista/satelliittiraportti_final.pdf> Luettu 28.2.2007.

Verkkojen avoin käyttö. 2005. (WWW-dokumentti.) Liikenne- ja viestintäministeriö.
<http://www.mintc.fi/oliver/upl930-Julkaisuja_76_2005> 31.10.2005. Luettu 6.3.2007.

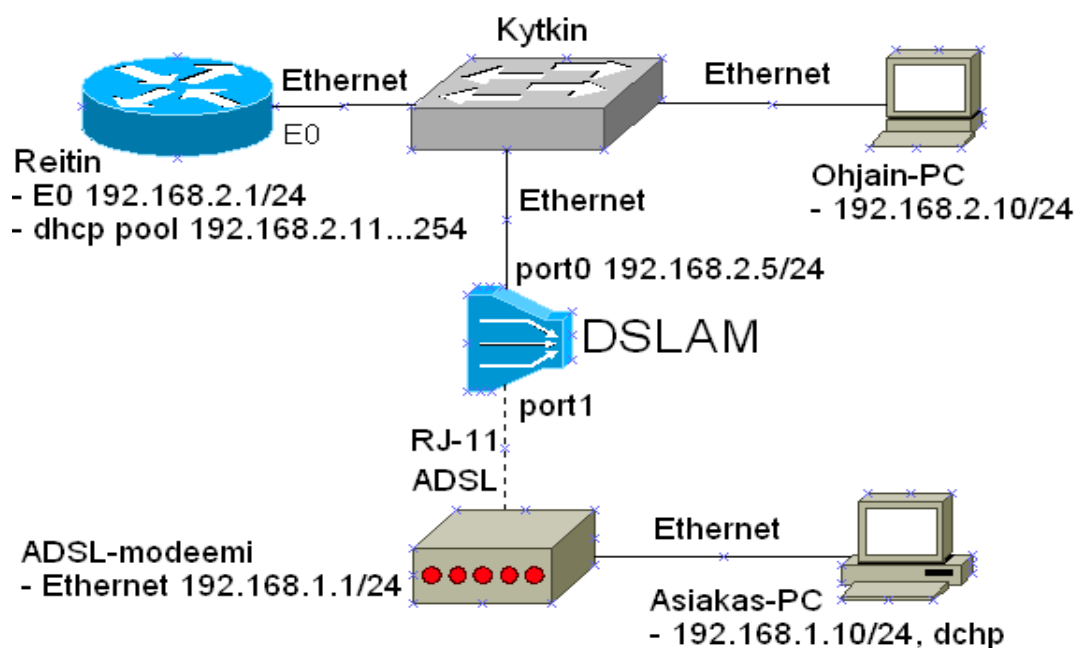
Wikström, Mika. 2005. Tietoverkot ITK155 . (WWW-dokumentti.)
<<http://www.mit.jyu.fi/wikstrom/opetus/itk115/luennot/itk115-13.pdf>> 17.2.2005. Luettu 5.3.2007.

ZyXEL. 2006. IES-1000_v2-05_UsersGuide[1].pdf. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.zyxel.com/web/>> 3.10.2006. Luettu 5.3.2007.

Liite 1: Reitittävä kytkentä, ohjeistus 1

1.1 Koejärjestelyt

Rakenna kuvan 1 mukainen kytkentä, joka vastaa yhtiön hallinnoimaa DSLAM-kytkentää. Tarkoitus on tässä vaiheessa pitää kaikki mahdollisimman yksinkertaisena.



Kuva 1. DSLAM:n kytkentä

Käytä kytkennässä seuraavia komponentteja (tai vastaavia):

- DSLAM, ZyXEL IES-1000
- kytkin, Cisco 2900 SERIES XL
- reititin, Cisco 2501, jonka AUI-liittimeen on kytketty 10BaseT-muunnin eli transiiveri tyyppiä Centre Com 210TS, IOS-versio C2500-D-L
- ADSL-modeemi, Linksys ADSL2MUE-EU
- kaksi PC:tä Windows XP -käyttöjärjestelmiseen
- RJ11-kytkentäkaapeli DSLAMin ja ASDL-modeemin kytkemiseksi
- konsolikaapeli reitittimen, kytkimen ja DSLAM:n konfiguroimiseksi
- ethernet-kaapeleita muiden laitteiden kytkemiseksi.

Kytke modeemi DSLAM:n porttiin 1 RJ11-kaapelilla. Kytke DSLAM:n portti 0, joka toimii kokoojayhteytenä, ethernet-kaapelilla kytkimen kautta reitittimeen ja ohjain-PC:hen. Kytke asiakas-PC ADSL-modeemin ethernet-porttiin. Asiakas-PC vastaa yrityksen verkossa yhtä ADSL-loppukäyttäjää yhdessä osastossa tai kerroksessa.

1.2 Komponenttien toiminta koejärjestelyissä

DSLAM:n toiminta

DSLAM toimii ADSL-yhteyksien keskittäjänä ja ohjaa liikennettä ADSL-porttien ja ethernet-portin välillä. Portit 1...8 ovat kytkettävissä RJ11-kaapeleilla osastossa oleviin ADSL-modeemeihin ja portti 0 ethernet-kaapelilla operaattorin verkkoa jäljittelevälle kytkimelle.

Reitittimen ja kytkimen toiminta

Reititin jäljittelee operaattorin verkkoa ja yhteyttä internettiin ja lisäksi se jakaa DHCP-palveluna IP-osoitteita DSLAM:n kautta asiakaskoneille. DSLAM:ssa itsessään ei nimittäin ole DHCP-palvelua. Kaikissa Cisco 250X -reitittimissä ei ole DHCP-palvelua, joten varmista, että reitittimesi tukee DHCP-palvelua.

Kytkin pelkästään yhdistää DSLAM:n, reitittimen ja ohjain-PC:n samaan loogiseen verkkoon, vastaa siis meidän mallissa osuutta, joka on operaattorin hallinnoima.

ADSL-modeemin toiminta

ADSL-modeemi yhdistää loppukäyttäjien verkot DSLAM:iin. Koekytkennässä loppukäyttäjien verkkoja on vain yksi ja siinäkin vain yksi kone, kuvassa 1 se on merkitty asiakas-PC:ksi.

Työasemien toiminta

Työasemina on asiakas-PC, joka siis jäljittelee yhtä yhtiön yhdessä huoneistossa olevaa konetta, ja ohjain-PC, joka jäljittelee yhtiön verkonvalvojan konetta. Tällä koneella voidaan ethernetiä pitkin eli etänä hallita yhtiön ulkopuolelta reititintä, DSLAM:ia ja kytkintä.

1.3 Komponenttien konfigurointi

Työasemien konfigurointi

Ohjain-PC:llä voidaan konfiguroida reititin ja DSLAM. Ohjain-PC:n IP-osoitteeksi valitaan reitittimen kanssa samassa verkossa oleva osoite 192.168.2.10/24. Asiakas-PC jäljittelee huoneistossa olevaa työasemaa. Sen IP-osoite on tarkoitus saada DHCP-palvelun kautta reitittimeltä tai ADSL-modeemilta. Koska asiakas-PC on fyysisesti kytkettynä ADSL-modeemiin, pitää PC:n IP-osoite tilapäisesti muuttaa ADSL-modeemin konfiguroinnin ajaksi 192.168.1.10/24:ksi.

Aseta työasemien verkkoasetukset Windows XP:llä seuraavasti, suluissa englanninkieliset komennot:

- Valitse Käynnistä (Start) / Asetukset (Settings) / Verkkoyhteydet (Network Connections), jolloin avautuu Verkkoyhteydet (Network Connections) -ikkuna
- Napauta verkkokortin kuvakkeen päältä oikealla hiiren painikkeella Ominaisuudet (Properties) -kohdasta, jolloin avautuu Ominaisuudet: Lähiverkkoyhteys (Local Area Network Connection Properties)
- Kaksoisnapauta Internet-protokolla (TCP/IP) (Internet Protocol (TCP/IP)) -kohtaa jolloin avautuu Ominaisuudet: Internet-protokolla (Internet Protocol (TCP/IP) Properties) -ikkuna

- Valitse Hae IP-osoite automaattisesti (Obtain an IP address automatically), jolloin reitittimeltä haetaan IP-osoite DHCP-palveluna, tai Käytä seuraavaa IP-osoitetta (Use the following IP address), jolloin voidaan antaa kuvan 1 mukaiset kiinteät osoitteet verkkokomponenttien konfiguroimista varten.

DSLAM:n konfigurointi

Konfigurointi voi tapahtua verkon kautta web-selaimella tai telnet-yhteydellä tai sarjaportin kautta suoraan pääteohjelmalla. Web-selaimella konfigurointi on käyttäjälle helppoa ja nopeaa eikä käskyjen syntaksia tarvitse opetella. Pääteohjelmalla konfigurointi on monipuolisempaa ja testauksen sekä dokumentoinnin kannalta täsmällistä, koska komennot ovat lyhyitä ja nopeasti kirjoitettavia ja pääteohjelman puskurista voidaan suoritetut käskyt tiiviissä muodossa jälkeinpäin kopioida tarkasteltavaksi. Syntaksi puolestaan on vaikeammin muistettavaa. Konfiguroi DSLAM web-selaimella.

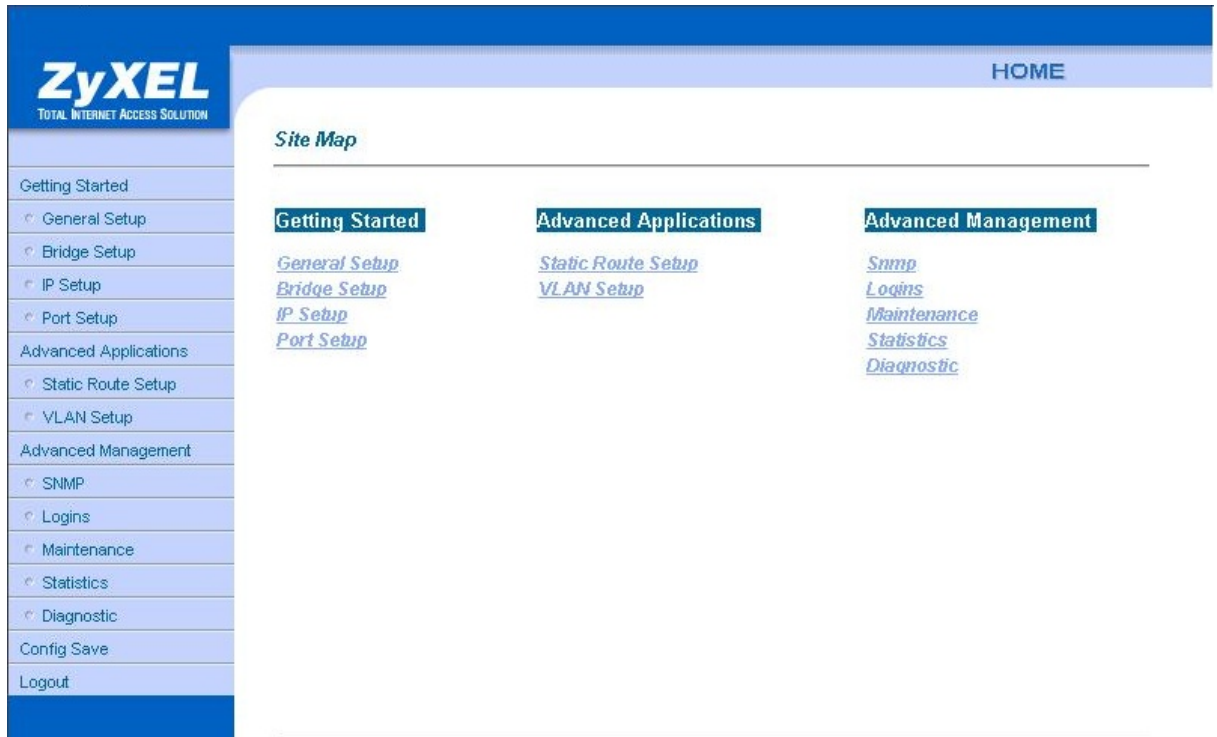
Portin 0 IP-osoite, hallinnointi osoite, on opetustarkoituksessa muutettu tehdasarvosta 192.168.1.1/24:stä 192.168.2.5/24:ksi, jota ei tässäköön koejärjestelyssä tarvitse muuttaa. Muodosta web-selaimella työasemalta em. osoitteeseen tehdasasetuksen käyttäjätunnuksella **admin** ja salasanalla **1234** yhteys, ja aloitusikkuna avautuu (kuva 2). Seuraavassa käydään läpi konfigurointikohtia suomeksi ja suluissa on merkitty alkuperäiskielinen ilmaisu.

DSLAM:n yleiset asetukset (General setup)

Yleiset asetukset (General Setup) -kohdasta täydennä yleisiä tietoja, lisättävät kohdat esitetty seuraavassa *kursivoituina*:

- nimeksi (System Name): *adsl*
- sijainniksi (Location): *espoo*
- yhteyshenkilöksi (Contact Person's Name): *Evttek*
- kotelon tunnisteeksi (Chassis ID): *1*
- korttipaikan numeroksi (Slot ID): *1*

Kaksi viimeisintä on tarkoitettu laitteen tunnistamiseen suuremmasta kokonaisuudesta samanlaisten joukosta ja tällä erää ne voidaan jättää tehdasarvoiksi.



Kuva 2. DSLAM:n konfiguroinnin aloitusikkuna

DSLAM:n siltausasetukset (Bridge Setup)

DSLAM ei pysty jakamaan DHCP-palveluna IP-osoitteita työasemille, joten IP-kyselyt täytyy pystyä ohjaamaan DHCP-palvelimelle. Siltausasetuksista (Bridge Setup) valitse DHCP:n välitys (DHCP Relay) -kohdan alta:

- DHCP-välitys sallitaan (DHCP Relay Enable)
- DHCP-palvelimen osoitteeksi (DHCP Server)Address): *192.168.2.1*

DSLAM:n IP-asetukset (IP Setup)

Tarkista IP-asetukset (IP Setup) -kohdasta portin 0, hallinnointiosoitteen, asetukset:

- IP-osoite (IP Address): *192.168.2.5*
- IP-maski (IP Subnet Mask): *255.255.255.0*
- oletusreititin (Default Gateway): *192.168.2.1*

DSLAM:n porttiasetukset (Port Setup)

DSLAM:n kahdeksasta mahdollisesta portista portti 1 kytetään RJ11-kaapelilla ADSL-modeemiin. Alussa kaikki portit ovat passiivisia ja niillä on oletusprofiili nimeltään DEFVAL. Uuden profiilin määrittäminen ja nimeäminen onnistuisi sujuvasti tässä samaisessa ikkunassa, mutta DEFVAL-profiilia ei voi muuttaa. Käytä aluksi DEFVAL-profiilia, vaikka sen nopeus oli vain 2048/512 kbit/s.

Porttiasetus (Port Setup) -kohdasta:

- napauta porttia 1 (Port Number: 1) ja avautuvasta portin määrittelyikkunasta (Edit Port Setup) napauta portti aktiiviseksi (Active)
- anna portille nimi (Name): *portti1*
- varmista, että muut käyttämättömät portit porttiasetuksissa (Port Setup) ovat passiivisia (Active: No), koska muuten DSLAM generoisi liikennettä myös käyttämättömiin aktiivisiin portteihin hidastaen toimintaa
- Kanavan asetus (Channel Setup) -kohdasta avaa uusi ikkuna, josta määrittele:
 - VPI: *0*
 - VCI: *33*
 - rastita edellä mainitut aktiiviseksi
 - napauta Superkanava (Super Channel) päälle
 - valitse VC-profiiliksi (Virtual Circuit): *DEFVAL*

VPI (Virtual Path Identifier) ja VCI (Virtual Circuit Identifier) ovat paikallisia, kahden solmun välisiä parametreja, jotka sallivat DSL-laitteiden puhua toinen toiselleen. Nämä arvot määrittelee operaattori, ja ne pitää olla samat operaattorin verkkoon kytketyssä ADSL-modeemissakin. Soneralla on kuten koekytkenässäkin VPI/VCI = 0/33, mutta esimerkiksi Kolumbuksella 0/100.

DSLAM:n virtuaaliverkon asetukset (VLAN Setup)

Kukin porteista kuuluu tehdasasetuksessa omaan virtuaaliverkkoonsa, jolloin portissa olevat laitteet eivät voisi ”kuulla” toisiaan. Ethernet-portti 0 kuuluu VLAN1:een, DSL-portti 1 kuuluu VLAN2:een, DSL-portti 2 kuuluu VLAN3:een ja niin edelleen. VLAN-numeron voi muuttaa, mutta pidättäydytään tehdasasetuksissa, eli käytetään DSL-porttia 1, joka kuuluu virtuaaliverkkoon VLAN2.

Virtuaaliverkko (VLAN Setup) -kohdasta määrittele:

- ota VLAN käyttöön (VLAN Enable)
- tarkista alemmaa taulukosta, että ethernet-portin VLAN1 on aktivoitu (Active: Yes)
- tarkista, että myös VLAN2, joka on sidottu DSL-portti 1:een, on aktiivisena (Active: Yes)
- jos edellinen ei ole oikein, klikkaa VLAN ID -kohdasta 2 ja määrittele avautuvassa ikkunassa DSL-portin 1 VLAN2 kiinteäksi (fixed) ja kiellä muut portit (forbidden)

DSLAM:n asetusten tallettaminen (Config Save)

Haluttaessa tallettaa muutokset täytyy vielä napauttaa Asetusten tallettaminen (Config Save) -kohtaa, jolloin asetukset menevät pysyvään NVRAM-muistiin (Non-Volatile RAM). Tallettamatta jättäminenkin on hyvä vaihtoehto, jolloin lopetettaessa kokeilu voidaan yksinkertaisesti virta sammuttaa DSLAM:lta. Silloin kokeiluasetuksetkin katoavat. Harkitsemattomat muutokset saattavat jumiuttaa laitteen, mutta painamalla Reset-näppäintä 10 sekuntia saadaan kätevästi tehdasarvot palautettua. Jätä tällä erää tallettamatta.

Reitittimen konfigurointi

Konfiguroi reititin TeraTerm-pääteohjelmalla seuraavasti:

- nimeksi *DHCP*Server
- ethernet-portin osoitteeksi *192.168.2.1/24*
- DHCP-palvelu jakamaan osoitteita väliltä *192.168.2.11...192.168.2.254* sekä osoitetiedot oletusreitistä ja DNS-palvelimesta (Domain Name Server) sekä toimialueen nimen; aseta:
 - oletusreitiksi *192.168.2.1*
 - DNS-palvelimeksi *192.168.2.2* (tekaistu palvelu)
 - toimialueen nimeksi *adsl.evtek.fi*

Seuraavassa tarkka toteutus käsky käskyltä courier-kirjasimilla, käyttäjän komennot *kursivoituina*:

```
Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)# hostname DHCPServer
Router(config)# no ip domain-lookup
DHCPServer(config)# service dhcp
DHCPServer(config)# ip dhcp pool ADSL
DHCPServer(dhcp-config)# network 192.168.2.1 255.255.255.0
DHCPServer(dhcp-config)# default-router 192.168.2.1
DHCPServer(dhcp-config)# dns-server 192.168.2.2
DHCPServer(dhcp-config)# domain-name adsl.evtek.fi
DHCPServer(dhcp-config)# exit
DHCPServer(config)# ip dhcp excluded address 192.168.2.1
192.168.2.10
DHCPServer(config)# interface ethernet 0
DHCPServer(config-if)# ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
DHCPServer(config-if)# no shutdown
DHCPServer(config-if)# line con 0
DHCPServer(config-line)# logging synchronous
DHCPServer(config-line)# exit
DHCPServer(config)# exit
DHCPServer# exit
DHCPServer>
```

Kytkimen konfigurointi

Kytkin pelkästään yhdistää reitittimen, DSLAM:n ja ohjain-PC:n, joten varmista, että kytkimellä ei ole virtuaaliverkkoja. TeraTermilla syötä käsky:

```
Switch# show vlan
```

Edellisen käyttäjän jäljiltä saattaa olla virtuaaliverkkoja. Jos asetuksia ei haluta sotkea, voidaan käyttää portteja, jotka kuuluvat samaan virtuaaliverkkoon. Jos se ei ole mahdollista, nollataan määrytykset seuraavasti (selitykset riveittäin ;-merkin jälkeen):

Switch# <i>delete flash:vlan.dat</i>	VLAN-tiedot poistetaan.
Switch# <i>erase start-config</i>	Käynnistysasetukset tyhjennetään.
Switch# <i>reload</i>	Käynnistetään uudelleen

ADSL-modeemin konfigurointi

ADSL-modeemin konfigurointi käy helposti ethernetin kautta web-selaimella. Syötä asiakas-PC:ltä selaimelle osoitteeksi modeemin tehdasarvo 192.168.1.1 ja saat avautumaan modeemin kirjautumisikkunan. Käyttäjätunnuksella **admin** ja salasanalla **admin** pääset Asetus (Setup) -ikkunaan. Konfigurointi tehdään pääasiassa kahdella sivulla, perusasetuksissa (Basic Setup) ja verkkoasetuksissa (Network Setup).

Perusasetuksissa (Basic Setup) sivulta 1 valitse:

- ADSL-asetuksiin (ADSL Settings):
 - Kapseloinniksi (Encapsulation) *RFC 1483*, muita vaihtoehtoja olisi ollut:
 - RFC 2516 PPPoE
 - RFC 2364 PPPoA
 - Bridged Mode Only
- Virtuaalipiirin tunnuksiksi VPI/VCI: *0/33*

- Limittämiseksi (Multiplexing): *LLC*
- IP-asetuksiin (IP Settings) valitse:
 - Hae IP-osoite automaattisesti/DHCP (Obtain IP Address Automatically)

Näin modeemin ADSL-porttiin tulee osoite DSLAM:n läpi reitittimeltä. Tilanne vastaa yrityksen tai kotikäyttäjän helposti toimintakuntoon saatettavaa asetusta.

Verkkoasetuksiin (Network Setup) sivulta 2 (Network Setup) aseta:

- Modeemin IP (Modem IP):
 - Paikallinen IP-osoite (Local IP Address): *192.168.1.1*, jätä tehdasarvoon
 - Aliverkon peite (Subnet mask): *255.255.255.0*, jätä tehdasarvoon
- NAT-palvelimen asetukset (Network Address Server Settings/DHCP):
 - Paikallinen DHCP-palvelin: sallitaan (Local DHCP Server: Enabled)
 - Alkuosoite (Start IP Address): *192.168.1.20*
 - Osoitteitten määrä (Number of Addresses): *10*
 - IP-osoitteiden alue (IP Address Range): *192.168.1.20 - 192.168.1.29*
 - Osoitteen pitoaika (Client Lease Time): *1 tunti (Hour)*

Asetukset ovat nyt samat kuin esimerkiksi kotikäyttäjällä tai yrityksen osaston sisällä, jossa halutaan sisäverkko pitää yksityisenä NAT-palvelulla erotettuna julkisesta verkosta.

4 Järjestelmän toimivuus

Työasemien toimivuus

Verkkolaitteiden konfiguroinnin jälkeen ota työasemien asetus ”Hae IP-osoite automaattisesti”. Vaikka Ohjain-PC:llä tuotantokäytössä olisi kätevämpää pitää kiinteää IP-

osoitetta, haluttaan koejärjestelyissä käyttää dynaamista IP-osoitetta. Näin saadaan heti varmuus, että reitittimen DHCP-palvelu toimii. Ohjain-PC siis saa IP-osoitteensa reitittimeltä ja asiakas-PC ADSL-modeemilta.

**Kysymys 1. Toimiiko kytkentä? Saako PC:t IP-osoitteensa DHCP-palveluna ja mistä?
Vastaus tuonnempana.**

Ohjain-PC:llä voidaan tarkastaa konfiguraatiota:

```
C:\>ipconfig
```

```
Windows IP Configuration
```

```
Ethernet adapter Local Area Connection:
```

```

Connection-specific DNS Suffix . : adsl.evtek.fi
IP Address. . . . . : 192.168.2.11
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 192.168.2.1

```

```
C:\>
```

Samoin Asiakas-PC:n konfiguraatio tarkastetaan:

```
C:\>ipconfig
```

```
Windows IP Configuration
```

```
Ethernet adapter Local Area Connection:
```

```

Connection-specific DNS Suffix . :
IP Address. . . . . : 192.168.1.20
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . :

```

```
C:\>
```

Vastaus 1. Kytkeä toimii, kun asiakas-PC saa IP-osoitteen ADSL-modeemin osoitevarannosta eli poolista (192.168.1.20...192.168.1.29) ja ohjain-PC reitittimen varannosta (192.168.2.11...192.168.2.254). Tulokset ovat reitittävän RFC1483-kapseloinnin mukaiset.

Reitittimen toimivuus

Reititin siis jakaa asiakkailleen DHCP-palveluna osoitteita ja se vastaa asiakas-PC:n ping-testiin:

```
C:\> ping 192.168.2.1
```

```
Pinging 192.168.2.1 with 32 bytes of data:
```

```
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=18ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=18ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=18ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=32 time=18ms TTL=255
```

```
Ping statistics for 192.168.2.1:
```

```
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 18ms, Maximum = 18ms, Average = 18ms
```

```
C:\>
```

Kytöimen toimivuus

Kytöimen tehtävä on yhdistää samaan fyysiseen verkkoon reititin, DSLAM ja ohjain-PC.

Kytöin toimii, hallintaan käytetty VLAN1 vastaa ping-testiin ja kaikki koejärjestelyissä käytetyt portit ovat aktiivisina:

```
Switch#show ip interface briefly
Interface                IP-Address      OK? Method Status
Protocol
VLAN1                    192.168.2.12   YES BOOTP  up
up
FastEthernet0/1         unassigned     YES unset  down
down
FastEthernet0/2         unassigned     YES unset  down
down
FastEthernet0/3         unassigned     YES unset  up
up
FastEthernet0/4         unassigned     YES unset  up
up
FastEthernet0/5         unassigned     YES unset  up
up
```

```

FastEthernet0/6          unassigned      YES unset  down
down
.
.
.
FastEthernet0/24        unassigned      YES unset  down
down
Switch#

```

DSLAM:n toimivuus

Yhteys muodotettiin asiakas-PC:ltä reitittimelle DEFVAL-profiililla, jonka nopeus on 2048/512 kbit/s. Kokeile ”pingata” asiakas-PC:ltä reitittimelle vähän suurempia paketteja, jotta saataisiin suuntaa antavia tietoja yhteyden nopeudesta:

```
C:\>ping -l 10240 192.168.2.1
```

```
Pinging 192.168.2.1 with 10240 bytes of data:
```

```

Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=253ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=252ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=252ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=253ms TTL=255

```

```
Ping statistics for 192.168.2.1:
```

```

    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 252ms, Maximum = 253ms, Average = 252ms

```

```
C:\>
```

Kysymys 2. Paljonko aikaa kului keskimäärin 10 kilotavun ping-testiin? Merkitse tähän, koska tarvitet tietoa vertailuun seuraavassa laboraatiossa!

_____ms

Ping-testiä tarkempi tapa mitata yhteyden nopeus olisi esimerkiksi asentamalla FTP-palvelinohjelmisto (File Transfer Protocol) ohjain-PC:hen ja FTP-asiakasohjelmalla siirtää asiakas-PC:n puolella suurta tiedostoa molempiin suuntiin järjestelmän ottaessa tiedoston siirtoon kulunutta aikaa:

```
C:\> ftp 192.168.2.11      Avataan yhteys ohjain-PC:n ftp-palveluun.

ftp> get tiedosto1        Siirretään tiedosto1-niminen tiedosto
                           ”alaspäin”, hitaampaan suuntaan.

ftp> put tiedosto2        Siirretään tiedosto2-niminen
                           tiedosto ”ylöspäin”, nopeampaan suuntaan.
```

ADSL-modeemin toimivuus

Modeemi sai IP-osoitteensa reitittimeltä ja teki osoitteenmuutokset (NAT) eli jakoi IP-osoitteita sisäverkkoonsa omasta varannostaan. Modeemi toimii reitittävän RFC1483-määritelmän mukaan ja eristi operaattorin ja huoneiston verkot toisistaan loogisesti.

RFC1483 voi toimia myös siltaavana kytkentänä, josta lisää seuraavassa laboraatiossa (Liite2: Siltaava kytkentä, ohjeistus 2) sekä pisteestä pisteeseen -kytkentänä, josta myös lisää myöhemmässä laboraatiossa.

5. Bonustehtävä: Portin lisääminen DSLAM:iin

Kuvitellaan, että haluat lisätä yrityksen keskeneräisen DSLAM-kytkennän käyttäjiä yhdellä huoneistolla. Tee vielä seuraavien kohtien asetukset:

- Porttiasetus (Port Setup)
- DSLAM:n virtuaaliverkon asetukset (VLAN Setup)
- DSLAM:n asetusten tallettaminen (Config Save)

Porttiasetus (Port Setup)

- napauta porttia 2 (Port Number: 2) ja avautuvasta portin määrittelyikkunasta (Edit Port Setup) klikkaa portti aktiiviseksi (Active)
- anna portille nimi (Name): *portti2*
- Kanavan asetukset (Channel Setup) -kohdasta avaa uusi ikkuna, josta määrittele/tarkista:

- VPI: 0
- VCI: 33
- rastita edellä mainitut aktiiviseksi
- napauta Superkanava (Super Channel) päälle
- valitse VC-profiiliksi (Virtual Circuit): *DEFVAL*

DSLAM:n virtuaaliverkon asetukset (VLAN Setup)

Virtuaaliverkko (VLAN Setup) -kohdasta määrittele:

- napauta VLAN3, joka siis on sidottu DSL-portti 2:een, aktiiviseksi (Active: Yes)
- jos edellinen ei ole oikein, napauta VLAN ID -kohdasta 2 ja määrittele avautuvassa ikkunassa DSL-portin 2 VLAN3 kiinteäksi (fixed) ja pidä muut portit kielletty-tilassa (forbidden)

DSLAM:n asetusten tallettaminen (Config Save)

Ei talleteta asetuksia tälläkään kertaa.

Nyt on yhtiömme verkko saatu toimintakuntoon yhdellä tai kahdella DSL-portilla. ADSL-modeemissa on asetukset, jotka toimisivat peruskäyttäjillä sellaisenaan esimerkiksi Soneran ja Elisan verkossa. Helppokäyttöisyyttä lisää modeemin NAT-asetukset ja DSLAM:n oletusprofiilin käyttö. Reitittävä kapselointi eristi yrityksen verkon loogisesti operaattorin verkosta.

DSLAM ei toimi vielä riittävän nopeasti ja modeemin NAT-asetukset saattavat rajoittaa joitakin käyttäjiä, joten seuraavissa laboraatioissa parannellaan kytkentää.

Vastaus 2. Suuruusluokkaa 253 ms.

Liite 2: Siltaava kytkentä, ohjeistus 2

ADSL-modeemin kapseloinniksi siltaus

Edellistä kytkentää ja konfiguraatiota parannellaan. Modeemissa edellä kapselointina käytettiin reitittävää RFC 1483:a, ja ethernet-portti sai IP-osoitteensa reitittimeltä. NAT-palvelu oli aktiivisena, joten kotikäyttäjät eivät voisi käyttää niin sujuvasti esimerkiksi etätyössä julkisen IP-osoitteen vaatimia yhteysohjelmia. Vertaisverkon ylläpito olisi hankalampaa eikä kotikoneen etäkäyttö työpaikalta onnistuisi osoitteenmuunnoksen takia ilman uudelleen ohjausta. Nyt muutetaan reitittävä RFC1483-kapselointi siltaavaksi RFC1483-kapseloinniksi.

Muuta ADSL-asetuksia (ADSL Settings):

- kapseloinniksi (Encapsulation) siltaava (Bridged Mode Only)

Siltaavassa kapseloinnissa käytetään ainoastaan LLC-kapselointia. IP-pakettiin ei kajota, ja lähettäjän ja vastaanottajan MAC-osoitteet lisätään kehykseen.

Muutos poisti NAT-palvelun ja asiakas-PC saa IP-osoitteen nyt reitittimestä. Modeemi ei tarvitse enää IP-osoitetta reitittimeltä. Modeemin hallintaan tarvittava kiinteäksi asetettu osoite 192.168.1.1 pysyi kuitenkin ennallaan. Jos operaattori jakaisi DHCP-palveluna julkisia IP-osoitteita, kotikäyttäjilläkin olisi mahdollisuus käyttää julkisia IP-osoitteita, koejärjestelyssä siis reitittimen DHCP-varannon osoitteita. Siltaava kapselointi yhdisti huoneiston verkon loogisesti operaattorin verkkoon.

Kysymys 3. Mistä siltaavassa kytkennässä asiakas-PC saa IP-osoitteensa? Vastaus seuraavalla sivulla.

Testaa asiakas-PC:llä:

```
C:\>ipconfig
```

```
Windows IP Configuration
```

Ethernet adapter Local Area Connection:

```

Connection-specific DNS Suffix . : adsl.evtek.fi
IP Address . . . . . : 192.168.2.13
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 192.168.2.1

```

C:\>

Vastaus 3. Asiakas-PC saa IP-osoitteen reitittimen varannosta (192.168.2.11... 192.168.2.254). Siltaus yhdistää operaattorin ja huoneiston verkon yhdeksi loogiseksi verkoksi.

Nyt reitittimen DHCP-taulukossa on sekä asiakas-PC että ohjain-PC kuten reitittimen konsoliin annettu seuraava käsky osoittaa:

```

DHCPserver#show ip dhcp binding
IP address      Hardware address      Lease expiration
Type
192.168.2.11    0100.0874.1c92.e8     Mar 02 1993 12:26 AM
Automatic
192.168.2.13    0100.0874.a388.6e     Mar 02 1993 12:45 AM
Automatic
DHCPserver#

```

Modeemi toimisi edelleen sekä Soneran ja Elisan verkossa että muidenkin ADSL-palveluntarjoajan verkossa, koska LLC-kapseloinnissa ei VCI/VPI-parametreja tarvitse määritellä. Kotikäyttäjien IP-osoitteet olisivat julkisia, jos operaattori sellaisia tarjoaisi.

Bonustehtävä: ADSL-modeemin kapseloinniksi PPP

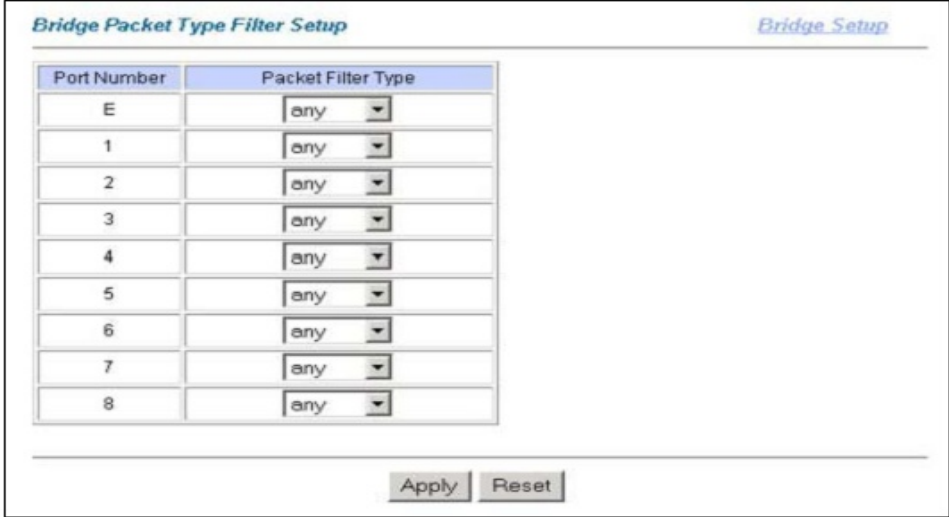
Sekä käytössämme olevat DSLAM että ADSL-modeemi osaavat käsitellä PPPoE-kehyksiä.

Muuta ADSL-asetuksia (ADSL Settings):

- kapseloinniksi (Encapsulation) RFC 2516 PPPoE

Kysymys 4. Saako asiakas-PC IP:nsä reitittimeltä?

DSLAM:mme osaa uudelleen ohjata IP-paketteja ja PPPoE-protokollan mukaisia kehyksiä. Jos ei toiminut, aseta modeemin NAT päälle ja tarkista, onko DSLAM:n asetus hyväksyä kaikki kapseloinnit kuvan 2 mukainen.



Port Number	Packet Filter Type
E	any
1	any
2	any
3	any
4	any
5	any
6	any
7	any
8	any

Apply Reset

Kuva 2. DSLAM:n kehysten uudelleen ohjaus tehdasasetuksilla (ZyXEL 2006).

Vastaus 4. Kyllä. Kyseessä edelleen siltaava kytkentä.

Liite 3: DSLAM:n nopeus, ohjeistus 3

Liitteiden 1 ja 2 laboraatioiden konfiguraatiota parannellaan. Aluksi ADSL-portin VC-profiiliksi valittiin siis DSLAM:ssa vakiona oleva oletusprofiili DEFVAL. Nyt luodaan uusi profiili ”Nopea”, jolle asetetaan valmistajan mukaiset suurimmat nopeudet 8160/1024 kbit/s.

Porttiasetus (Port Setup) -kohdasta:

- napauta porttia 1 (Port Number: 1)
 - ADSL-profiiliasetuksesta (ADSL Profile Setup) lisää (Add) uusi profiili :
 - Nimi (Name): *Nopea*
 - Latenssityyppi (Latency Mode): rästetään *interleave*
 - Nopeus operaattorille päin (Up Stream Rate): *1024* kbit/s
 - Nopeus asiakkalle päin (Down Stream Rate): *8160* kbit/s
 - Kanavan asetus (Channel Setup) -kohdasta avaa uusi ikkuna, josta määritellään:
 - VC-profiiliksi (Virtual Circuit): *Nopea*

Näin saatiin ping-testissä asiakas-PC:ltä reitittimelle 10 kilotavun paketille ajaksi 141 ms.

```
C:\>ping -l 10240 192.168.2.1
```

```
Pinging 192.168.2.1 with 10240 bytes of data:
```

```
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=141ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=141ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=141ms TTL=255
Reply from 192.168.2.1: bytes=10240 time=141ms TTL=255
```

```
Ping statistics for 192.168.2.1:
```

```
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 141ms, Maximum = 141ms, Average = 141ms
```

```
C:\>
```

Kysymys 5. Paljonko tuli keskimääräiseksi ajaksi. _____ ms.

Paljonko tuli nopeutta verrattuna DEVAL-profiiliin laboraatio 1:ssä? _____ %

Testaus on suuripiirteinen, koska siinä ei oteta huomioon yhteyden asymmetrisyyttä eikä päätelaitteiden latenssia. Tästä voi päätellä vain, että uusi Nopea-profiili on käytössä. Nopeampi aikavertailu voitaisiin tehdä liitteen 1 laboraation lopussa esitetyllä FTP-siirrolla. Nyt saatiin DSLAM:n nopeus säädettyä suurimmaksi. Joskus yrityksessä nopeutta voidaan joutua tästä jopa pienentämään, jottei verkko ylikuormittuisi.

Vastaus 5. Noin 141 ms, 44% nopeampi.