

# IPTV-TOTEUTUS LAAJAKAISTAVERKOSSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2006  
Paula Savolainen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma

SAVOLAINEN, PAULA: IPTV-toteutus laajakaistaverkossa

Tietoliikennetekniikan opinnäytetyö, 51 sivua, 16 liitesivua

Kevät 2006

TIIVISTELMÄ

---

Digitaalisten lähetysten yleistyessä ovat myös teleoperaattorit alkaneet kiinnostua digitaalisista televisiolähetyksistä. Laajakaistaverkoissa kuljetettu digitaalinen televisiolähetys onkin uusi mahdollisuus tuottaa televisioon interaktiivisia palveluja. Laajakaistatekniikan kehitys on mahdollistanut myös IPTV lähetykset. Siirtyminen Ethernet tekniikan käyttöön sekä ADSL2+-tekniikan tulo markkinoille on mahdollistanut suuremmat liittymänopeudet kuin ennen.

IPTV toteutuksessa pyritään säästämään kaistaleveyttä, mikä on toteutettu käyttämällä ryhmälähetysviestejä, jolloin jokaiselle käyttäjälle ei tarvitse lähettää omaan viestiä vaan ne saadaan hoidettua monelle käyttäjälle yhtäaikaaisesti. Ryhmälähetysviestien reititykseen on käytetty IGMP:tä ja PIM:ää.

Työssä perehdytään liityntäteknikkaan ja päätelaitteisiin, joita IPTV-toteutus vaatii toimiakseen. Toteutuksessa tarvittavia laitteita ovat Kreatellin digisovitin, modeemi, DSLAM sekä reitittimet ja kytkimet. Modeemia valittaessa oli ratkaisu vaihtoehtoja kaksi. Vaihtoehtoja oli toteuttaa yhden tai kahden PVC kanavan avulla. Ratkaisuksi kuitenkin valittiin yhdellä PVC-kanavalla toteutettu modeemi ratkaisu, sen yksinkertaisuuden takia.

IPTV tuo mukanaan täysin uusia mahdollisuuksia toteuttaa interaktiivisia palveluja verkossa. Palvelut mahdollistaa yhteyden kaksisuuntaisuus, jolloin sitä pystytään käyttämään vuorovaikutteisesti esimerkiksi tilausvideopalvelussa ja videoneuvotteluissa. Tulevaisuus mahdollistaa yhä monipuolisempien palveluiden tuonnin laajakaistaverkoissa.

Asiasanat: Ethernet, IPTV, laajakaista

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

SAVOLAINEN, PAULA: Implementing IPTV in broadband networks

Bachelor's thesis in Telecommunications Technology, 51 pages, 16 appendices

Spring 2006

ABSTRACT

---

The objective of this thesis was to examine the implementation of Internet Protocol Television (IPTV). The work was commissioned by PHP, a local tele company in Lahti.

As digital transmissions have become more popular tele operators have become interested in digital television transmission. Digital television transmissions in broadband networks provide new opportunities for interactive services. Ethernet and ADSL2+ techniques are faster broadband services than before. Those techniques help in IPTV transmission.

Multicast is a technique that helps minimize the bandwidth utilization rate in IPTV. Multicast sends one message to all subscribers. Multicast uses IGMP and PIM protocols to routing messages.

The study concentrated on the technology and equipment that are needed to make IPTV work. Those kinds of devices are for example digiboxes, modems, DSLAMs, routers and switches. When choosing the modem there are two alternatives: doing it with one PVC or two PVCs. PVC was chosen here because it is easier to carry out.

IPTV enables full duplex connection, which makes possible for example Video on Demand and video conference services. In future it is possible to provide more complex services in the broadband network.

Keywords: Ethernet, IPTV, broadband

SISÄLTÖ	
TYÖSSÄ KÄYTETYT LYHENTEET	
1 JOHDANTO	1
2 LAAJAKAISTAVERKOT	2
2.1 Tekniikan perusteet	2
2.1.1 xDSL	2
2.1.2 ADSL	3
2.1.3 ADSL2/ADSL2+	3
2.2 Runko-, alue- ja liityntäverkot	4
2.3 ATM	5
2.3.1 Yleistä	5
2.3.2 ATM-verkon rakenne	5
2.3.3 ATM-verkon kytkentäisyys	6
2.4 Ethernet	8
2.4.1 Yleistä	8
2.4.2 Siirtoyhteys	8
2.4.3 Koodausmenetelmät	9
2.5 MPLS	10
2.5.1 Yleistä	10
2.5.2 Leimakytkentä	10
2.5.3 MPLS:n toiminta	11
3 IPTV-TEKNIikka	12
3.1 Perinteinen kaapelitelevisiotekniikka (HFC)	12
3.2 ASI2IP-muunnos	12
3.3 Palvelimet	14
3.3.1 Http-proxy	14
3.3.2 IPTV-Core	14
3.3.3 Kreatel Boot-Server	15
3.4 IPTV-vaatimukset	15
3.5 Multicast	16
3.5.1 Yleistä	16
3.5.2 Edelleen lähetys	17
3.5.3 RPF-testi	18
3.6 IGMP	20
3.6.1 IGMPv1	20
3.6.2 IGMPv2	21
3.7 PIM	23
3.7.1 Yleistä	23
3.7.2 PIM-DM	23
3.7.3 PIM-SM	24
4 TAPAUS PÄIJÄT-HÄMEEN PUHELIMEN IPTV-TOTEUTUS	27
4.1 Yleinen kuvaus	27
4.2 Metro-Ethernet-alueverkko	27
4.3 Liityntäyhteystekniikka	30
4.3.1 Yleistä	30
4.3.2 DSLAM	30
4.3.3 1 PVC:n modeemi	34
4.3.4 2 PVC:n modeemi	35
4.3.5 EDA 2.2	37
4.3.6 Set-Top-Box	38

4.4 PHP:n IPTV-toteutus	39
4.4.1 Yleistä	39
4.4.2 IPTV-toteutus palveluntarjoajalla	40
4.5 Alueverkko Ethernet-tekniikka ja konfiguraatiot	41
4.5.1 Harjukatu-MCcore-I-gw	41
4.5.2 Harjukatu-MCEdge-I-gw	42
5 ANALYYSI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	45
5.1 IPTV-toteutuksen ongelmat	45
5.2 DSL-liittymän toteutustavan valinta	45
5.3 Johtopäätökset	46
6 TULEVAISUUS	47
LÄHTEET	49
LIITTEET	52

## TYÖSSÄ KÄYTETYT LYHENTEET

8B/10B 8 Bit/10 Bit, linjakoodausmenetelmä

4D-PAM5 Four Dimensional-Pulse Amplitude Module 5,  
lohkokoodausmenetelmä

AAL ATM Adaptation Layer, ATM:n sovituserros

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line, asymmetrinen tilaajajohto

ARP Address Resolution Protocol, protokolla, jonka avulla selvitetään IP-osoitetta vastaava MAC-osoite

AS Autonomous System, autonominen alue

ASBR Autonomous System Border Router, AS:ien välillä ASBR-laitteet vaihtavat reititystietoja

ASI Asynchronous Serial Interface, asynkroninen serial liityntä

ASI2IP Asynchronous Serial Interface to Internet Protocol

ATM Asynchronous Transfer Mode, asynkroninen siirtomuoto, jossa siirrettävä data pilkotaan määrämuotoisiin paketteihin.

BGP Border Gateway Protocol, AS:ien välinen reitityspankollalla

CAS5 Conditional Access System for Digital Video Broadcasting, videon salausjärjestelmä

CBR Constant Bit Rate, vakiosirtonopeuden palveluluokka

CSMA/CD Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection,  
vuoronvarausmenettely

DMZ Demilitarized zone, eteisverkko Internetin ja LAN:n välillä, johon sijoitetaan kaikki julkiset palvelimet

DSL Digital Subscriber Line, laajakaistateknologia, joka hyödyntää puhelinverkkoja

DSLAM Digital Subscriber Line Access Multiplexer, puhelinkeskuksessa oleva usean digitaalisen tilaajajohdon yhteinen päätelaite.

DVB Digital Video Broadband, digitaalitelevisiosignaalin jakelutapa

DVMRP Distance Vector Multicast Routing Protocol, multicast reititystaulun muodostus protokolla

EoMPLSEthernet over MPLS, Ethernet kehysten kuljettamiseen MPLS:n päällä.

FEC Forwarding Equivalence Class, edelleen reitityksen ekvivalenssiluokka

GDA Group Destination Address, ryhmäkohdeosoite

HFC Hybrid Fiber Coaxial, kaapelitelevisiotekniikka

IGMP Internet Group Management, ryhmälähetyksen hallintamenetelmä

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineering, standardeja kehittävä ryhmä

IETF Internet Engineering Task Force, Internet standardointia hoitava elin

IP Internet Protocol, Internetissä käytettävä tiedonsiirtoprotokolla

IPTV Internet Protocol Television, laajakaistatelevisio

ITU International Telecommunications Union, YK:n alainen standardointi järjestö

LAN Local Area Network, lähiverkko

LDP Label Distribution Protocol, leimojen jakelu protokolla

LER Label Edge Router, MPLS-reititin joka hoitaa leimojen määrittämisen

LIB Label Information Base, MPLS:n käyttämä leimataulu

LSA Link State Algorithm

LSR Label Switching Router, leimoja kytkävä reititin MPLS-verkossa

NNI Network Node Interface, ATM kytkinten välinen liitäntä

MAC Media Access Control, ethernetin käyttämä fyysinen laiteosoite

MAN Metropolitan Area Network, alueverkko

MOSPF Multicast Open Shortest Path First, muodostaa multicast reititystaulun

MPEG2 Moving Picture Expert Group 2, kuvan ja äänen pakkausmuoto

MPEG4 Moving Picture Expert Group 4, kuvan ja äänen pakkausmuoto

MPLS Multi Protocol Label Switching, menetelmä, jolla kuljetetaan esimerkiksi IP-paketteja ennalta määriteltyjen yhteyksien ylitse nopean runkoverkon solmujen kautta ilman, että solmujen tarvitsee tehdä reititystä

MRT Maximal Response Time, maksimi vastausaika

MSDP Multicast Source Discovery Protocol, yhdistää useita PIM-SM alueita

OFDM Orthogonal frequency-division multiplexing, modulointitapa, joka perustuu tiedonsiirtoon lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa

OSI Open Systems Interconnection, ISO:n tietoverkkoarkkitehtuuri

OSPF Open Shortest Path First, reititysprotokolla

P Provider, MPLS-verkossa verkko-operaattorin oma runkolaite

PE Provider Edge, MPLS-verkossa verkko-operaattorin laite, johon asiakkaat on kytketty

PIM Protocol Independent Multicast, reitittimien keskinäiseen neuvotteluun käytetty multicast-protokolla

PIM-DM Protocol Independent Multicast Dense Mode, tiheä PIM



PIM-SM Protocol Independent Multicast Sparse mode, harva PIM

PSI/SI Program Specific Informaton/Service Information, järjestelmätieto

PSTN Public Switched Telephone Network, yleinen puhelinverkko

RFC Internet Requests for Comments, IETF:n julkaisema dokumentti sarja

RP Redezvous point, keskus piste

RPF Reverse Path Forwarding, ryhmälähetysessä käytetty menetelmä, jolla estetään silmukoiden syntyminen

RPT Rezodevous Point Tree, jaettu ryhmälähetyspuu

RR Route Reflector, vaihtaa keskitetysti reititystietoja autonomisten alueiden välillä. Se voi myös jakaa keskitetysti reittejä BGP-reitittimien välillä

RTP Real-Time Transport Protocol, UDP:n päällä toimiva protokolla reaaliaikaisen datan kuljetukseen

SCART liitännästandardi, jonka kautta voidaan kuljettaa kuvaa ja ääntä laitteelta toiselle

STB Set-Top-Box, päätelaite, joka kytketään televisioon esim. digivastaanotin

TCP Transmission Control Protocol, yhteydellinen tiedonsiirto protokolla

TTL Time to Live, IP-otsikon kenttä, joka kertoo paketin elinajan hyppyissä

UDP User Datagram Protocol, yhteydetön tiedonsiirto protokolla

UNI User Network Interface, liitäntä, jossa laitteet kytketään verkkoon aidolla ATM liitännällä

VCI Virtual Channel Identifier, virtuaalikanavatunnus

VCC Virtual Channel Connection, virtuaaliyhteys,

VDSL Very High Data Rate Subscriber Line, nopein DSL linja

VLAN Virtual Local Area Network, virtuaalinen lähiverkko

VoIP Voice over Internet Protocol, puheen kuljettaminen IP-protokollan päällä

VPI Virtual Path Identifier, virtuaalipolkutunnus

VPN Virtual Private Network, virtuaalinen privaattiverkko

WAN Wide Area Network, maanlaajuinen verkko

WEB World Wide Web, eli www on Internetin sivustotunnus

Wimax Worldwide Interoperability for Microwave Access, langaton laajakaistatekniikka

WLAN Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

## 1 JOHDANTO

Laajakaistalla tarkoitetaan tiedonsiirtoyhteyttä, joka mahdollistaa tietoverkkojen käytön vaivattomasti. Kansainvälisessä televiestintäliitossa ITU:ssa (International Telecommunications Union) yleisen näkemyksen mukaan laajakaistan miniminopeus on kiinteissä yhteyksissä 256 kbit/s.

Päijät-Hämeen Puhelin Oyj alkoi selvittää laajakaistaliittymän päällä toteutettavista lisäpalveluista, kiristyneen operaattorien välisen kilpailun takia, jotta markkinaosuus saataisiin säilytettyä kilpailijoihin nähden. Lisäpalveluista alettiin testata Internet-puhelua ja laajakaistatelevisiota. Laajakaistatelevisiolla tarkoitetaan laajakaistaliittymän päällä toteutettua palvelua, minkä avulla saadaan tuotua digitaalinen televisiolähetys kotitalouksiin. Laajakaistatelevisio mahdollistaa myös useita lisäpalveluja, mikä johtuu sen kaksisuuntaisesta liikennöinnistä.

Työssä käydään läpi runkoverkkotekniikoita, joiden avulla pystytään toteuttamaan asiakkaalle laajakaistayhteys. Tärkeimpiä työssä käytettyjä runkoverkkotekniikoita ovat Ethernet ja MPLS (Multi Protocol Label Switching). Ryhmälähetyksen avulla on pyritty pienentämään verkon kuormaa, jolloin käytetty kaistanleveys pienenee. IGMP (Internet Group Management) ja PIM-SM (Protocol Independent Multicast Sparse mode) ovat ryhmälähetysviestejä, joiden avulla saadaan ryhmälähetysviestit osoitettua oikeaan kohteeseen.

Työn tavoitteena oli perehtyä laajakaistatelevision toimintaan laajakaistaverkossa. Työssä oli tarkoitus käsitellä tekniikoita, joiden avulla laajakaistatelevision toteutus olisi mahdollista. Yhtenä tärkeänä tekniikkana oli selvittää ryhmälähetyksen toimivuus sekä ryhmälähetysprotokollien toimintaa. Työn tarkoituksena oli luoda kuva Päijät-Hämeen Puhelin Oyj:n laajakaistatelevision toiminnasta.

## 2 LAAJAKAISTAVERKOT

### 2.1 Tekniikan perusteet

#### 2.1.1 xDSL

DSL (Digital Subscriber Line) on laajakaistateknologia, joka hyödyntää kiinteitä lankapuhelinverkkoja. DSL:ssä tiedonsiirto tapahtuu samoissa kuparikaapeleissa kuin puheensierro kiinteässä puhelinverkossa, mutta eri taajuudella. Perinteinen puhelinverkko hyödyntää vain osan saatavilla olevasta kaistasta, jolloin DSL tekniikalla voidaan siirtää dataa puhelinverkon käyttämätöntä kaistaa hyödyntäen. (Laajakaistainfo 2005.)

DSL-yhteyksien etuna on se, että se tarjoaa loppukäyttäjälle oman kaistan, jota ei jaeta muiden saman alueen käyttäjien kanssa, toisin kuin kaapelimodeemissa ja langattomassa laajakaistassa. DSL-yhteyksien suurimpana etuna kuitenkin on, että kuparikaapelit on vedetty lähes kaikkiin talouksiin. Kaapelimodeemin ja langattoman laajakaistan käyttäjät voivat kärsiä ruuhkasta, jos moni käyttäjä siirtää dataa samanaikaisesti saman paikallisvaihteen alueella, koska näillä teknologioilla loppukäyttäjät jakavat kyseisellä alueella allokoitun kaistanleveyden toisten käyttäjien kanssa. (Laajakaistainfo 2005.)

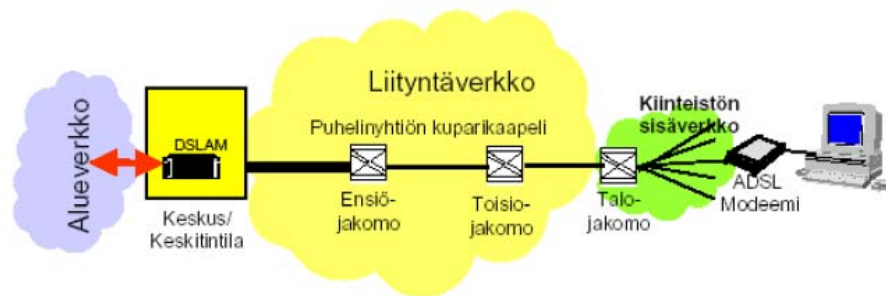
Yhteys muodostetaan yhteyden tarjoajan ja loppukäyttäjän välille kytkemällä DSL-modeemi puhelinpistokkeeseen. Yhteyden nopeuteen vaikuttavat käyttäjän etäisyys paikallisvaihteesta, puhelinkaapelin paksuus ja käyttäjän DSL-teknologian tyyppi. (Laajakaistainfo 2005.)

Tyypillinen DSL-yhteys on epäsymmetrinen ADSL (Asymmetric DSL), jossa nopeus verkosta käyttäjälle on suurempi kuin nopeus käyttäjältä verkkoon. Uudempi tekniikka on VDSL (Very High Data Rate Subscriber Line), jonka avulla päästään nopeuksiin, jotka ovat 26 Mbit/s, joka mahdollistaa hyvälaatuisen televisiokuvan lähettämisen laajakaistaverkoissa. Näiden tekniikoiden lisäksi Internet yhteys saadaan muodostettua myös datasähköllä, kaapelimodeemilla, langattomalla verkolla kuten Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), Flash OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) ja WLAN (Wireless Local Area Network). (Laajakaistainfo 2005.)

### 2.1.2 ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscribe Line) on asymmetrinen tilaajajohto. Asymmetrisyys tarkoittaa, että yhteys Internetistä käyttäjälle (downstream) on nopeampi kuin yhteys käyttäjältä Internetiin (upstream). Asymmetriset yhteydyt soveltuvat hyvin web-selailuun, jossa liikkuu enemmän dataa alavirtaan. Asymmetrisestä siirtomuodosta on myös hyötyä fyysisen yhteyden kannalta, koska epäsymmetriset signaalit vaimentavat toisiaan vähemmän kuin symmetriset. (Liikenne ja viestintävirasto 2004.)

ADSL-tekniikka hyödyntää jo olemassa olevaa lankapuhelinverkkoa (liityntäverkko) ja kiinteistöjen sisäverkkoja, joten uusia liityntäkaapeleita ei tarvitse asentaa, vaan se toimii samoilla kuparikaapeleilla kuin puheen siirto. ADSL hyödyntää datasiirrossa tilaajajohtojen yläkaistaa eli puhelinalvelujen yläpuolella olevia taajuuksia. ADSL järjestelmän keskeisimmät osat ovat ADSL-keskitin eli DSLAM (Digital Subscribe Line Access Multiplexer) ja ADSL-modeemi. DSLAM:n tehtävänä on koodata data linjalle. Keskuksesta ja asiakkaalta löytyvät splitterit jakavat taajuuden puheelle ja datalle, joka erottaa puhe- ja dataliikenne toisistaan. Kuviossa 1 näkyy keskitetyn ADSL-järjestelmän periaatekuva. (Liikenne ja viestintävirasto 2004.)



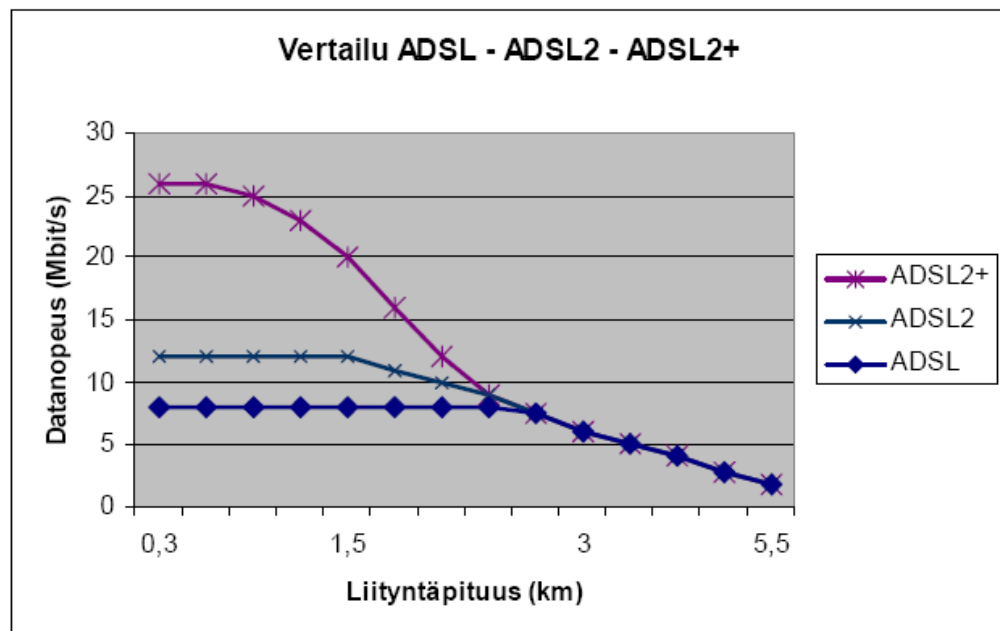
KUVIO 1. ADSL järjestelmä

### 2.1.3 ADSL2/ADSL2+

ADSL2-standardi ITU 992.3/992.4 valmistui 2002. ADSL2-standardi eroaa alkuperäisestä ADSL-standardista siten, että siinä on tehostettu modulaatiota ja kanavakoodausta. Muutosten ansiosta saavutetaan suuremmat datasiirtonopeudet laajakaistaverkoissa. ADSL2 tekniikka mahdollistaa maksimissaan nopeuden,

joka on 12 Mbit/s-siirto nopeuden alavirtaan ja 3 Mbit/s ylävirtaan. (Liikenne ja viestintävirasto 2004.)

ADSL2+ on 2003 ITU:n hyväksymä standardi G.992.5. Tässä ratkaisussa alavirta taajuusalue kaksinkertaistuu eli ylärajataajuus nousee 1,1 MHz:stä 2,2MHz:iin. Ylärajataajuuden noston ansiosta alavirta datanopeudet kasvavat merkittävästi lyhyillä etäisyyksillä. ADSL2+-standardin mukaisilla laitteilla voidaan saavuttaa jopa 24 Mbit/s nopeus alavirtaan noin 900 metrin pitkällä linjalla. 20 Mbit/s voidaan saavuttaa 1500 metriä pitkillä linjoilla. Etäisyyttä rajoittaa se, että korkeat taajuudet vaimenevat nopeasti, jolloin lisätaajuuksien tuoma hyöty katoaa. (Kuvio 2) (Liikenne ja viestintävirasto 2004.)



KUVIO 2. Siirtonopeuden riippuvuus linjanpituudesta (Ficora, 2002.)

## 2.2 Runko-, alue- ja liityntäverkot

Runkoverkolla tarkoitetaan kaupunkeja ja kuntia yhdistävää siirtoverkkoa.

Runkoverkkotekniikoita ovat mm. ATM, Gigabit Ethernet ja MPLS.

Runkoverkko on toteutettu yleensä valokaapelilla tai radiolinkeillä riippuen mm. kapasiteettitarpeesta ja paikallisista olosuhteista. Laajakaistainen runkoverkko ei siis edellytä valokaapelia alueilla, joissa kapasiteettitarpeet ovat esimerkiksi asukasmäärän vuoksi pienet. Yleisesti runkoverkon siirtokapasiteetin on oltava suuri, jotta se selviäisi lähiverkkojen välisestä liikenteestä. (Ficora 2002.)

Alueverkolla tarkoitetaan kuntien sisäisiä taajamia ja kaupunginosia eli paikalliskeskuksia ja keskittimiä yhdistäviä siirtoverkkoja. DSLAM:ää käytetään alueverkoissa keskittimenä. Kun tietyn alueen lähiverkot kootaan yhteen, niin voidaan puhua alueverkosta. MAN- verkot (Metropolitan Area Network) ovat alueverkkoja. (Ficora 2002.)

Liityntäverkolla tarkoitetaan tilaajan ja alueverkon yhteyttä. Tämä sisältää myös kiinteistön sisäverkon. Tilaajajohto DSLAM:lta asiakkaalle on liityntäverkko. (Runko AlueLiityntä) Liityntäverkko on mahdollista toteuttaa puhelinverkon (PSTN) päällä yläkaistana xDSL-tekniikalla tai jollain muulla kiinteällä tilaajajohtoverkolla. Liityntäverkko on mahdollista toteuttaa myös langattomasti hyödyntämällä matkaviestinverkon tilaajayhteyksiä. (Ficora 2002.)

## 2.3 ATM

### 2.3.1 Yleistä

ATM on nopea verkkojärjestelmä, jossa voidaan siirtää ja kytkeä puhetta, dataa, kuvaa ja videota nopeammin ja luotettavammin kuin aikaisemmillä menetelmillä. ATM sopii sekä laajan alueen dataverkkoihin (WAN, Wide Area Network), lähiverkkoihin (LAN, Local Area Network) että puhe- ja videoverkkoihin. (iec.org 2004a.)

### 2.3.2 ATM-verkon rakenne

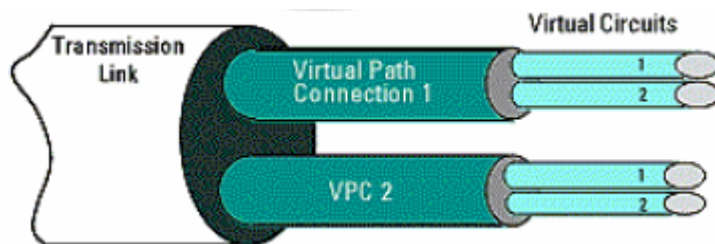
ATM-verkko muodostuu ATM-kytkimistä ja niitä yhdistävistä ATM-linkeistä. Kytkimet vastaanottavat ATM-soluja yhdestä liitännästään ja lähettävät ne eteenpäin toista liityntää pitkin kytkimen sisäisten kytkentätaulujen mukaisesti. (iec.org 2004a.)

ATM-päätelaitteet lähettävät ensisijaisesti ATM-verkon datan. ATM-päätelaitteet voivat olla esimerkiksi työasemia ja palvelimia tai reitittäjiä, jotka kytkeytyvät verkkoon aidolla ATM-liitännällä. Tätä liitännää kutsutaan User Network Interfaceksi (UNI). ATM-kytkimien välistä liitännää taas nimitetään Network Node Interfaceksi (NNI). ATM:llä pystytään integroimaan erilaisia liikennetyyppejä yhteen verkkoon. Erilaiset liikennetyypit taas tarvitsevat erilaisia

palveluja ja sovitusta verkkoon. ATM Adaptation Layer-kerrokset (AAL) vastaavat sovittamisesta päätelaitteissa. (iec.org 2004a.)

### 2.3.3 ATM-verkon kytkentäisyys

ATM-verkon toiminta perustuu kytkentäisyyteen. Kytkentäisyydellä tarkoitetaan, että ennen datan lähettämistä on muodostettava virtuaaliyhteys lähettäjältä vastaanottajalle. ATM-verkoissa multipleksoidaan useista lähteistä tulevaa liikennettä ja sen on pystyttävä erottamaan yhteydet toisistaan. ATM-verkoissa tämä toteutetaan kolmiportaisen hierarkian avulla, missä ATM-linkit yhdistävät kytkimet toisiinsa. ATM-linkin sisältä löytyvät virtuaalipolut, jotka erotellaan toisistaan virtuaalipolcutunnuksen (VPI) avulla. Virtuaalipolut taas sisältävät virtuaalikanavat, jotka osoitetaan virtuaalikanavatunnuksilla (VCI) (kuvio 3). (iec.org 2004a.)



KUVIO 3. ATM-verkkojen kytkentäisyys (iec.org, 2004a.)

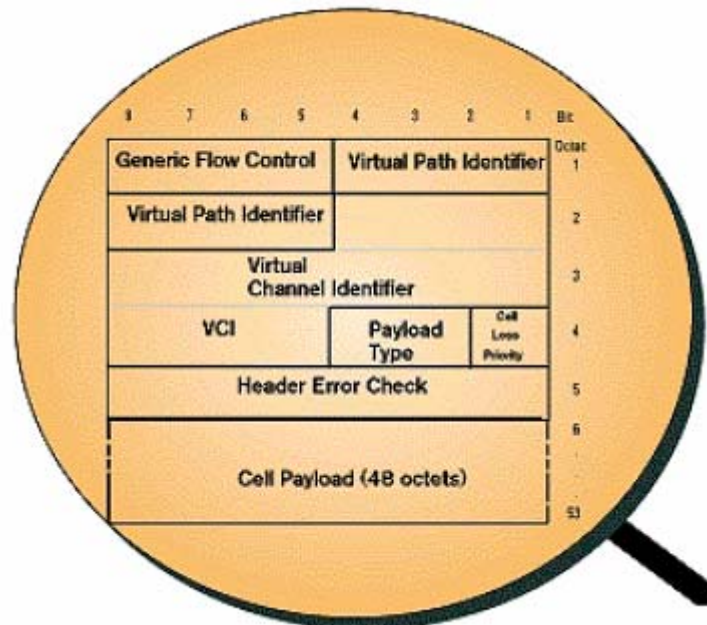
Todellinen datasiirto tapahtuu kuitenkin virtuaaliyhteyksillä (VCC, Virtual Channel Connection), jotka ovat päästä päähän yhteyksiä lähettäjältä vastaanottajalle (half-duplex). Kaikissa siirrettävissä soluissa on kaksi tunnusta VPI ja VCI, jotka erottelevat virtuaaliyhteyden, jolle solut kuuluvat. Solussa ei ole osoitetta, koska se veisi liian suuren osan solun koosta. (iec.org 2004a.)

Virtuaaliyhteydet ryhmitellään virtuaalipoluiksi. Tämä helpottaa virhetilanteissa: jos yhteys menee poikki kahden kytkimen välillä, voidaan niiden kautta kulkevat virtuaaliyhteydet kytkeä kulkemaan toista reittiä pitkin kytkemällä ainoastaan virtuaalipolut. (iec.org 2004a.)



### 2.3.4 ATM-solurakenne

ATM-verkoissa data siirretään vakiomittaisessa solussa, joka on 53 tavua, josta on 5 tavua otsikkoa. Tämän seurauksena varsinaiselle datalle jää 48 tavua. Tämä rakenne on esitetty kuviossa 4. (iec.org 2004a.)



KUVIO 4. ATM-solun rakenne (iec.org, 2004a)

ATM-solu muodostuu osoitteesta ja datasta. Virtual Path Identifier määrittelee virtuaalipolun, jolle solu kuuluu, ja Virtual Channel Identifier määrittelee käytetyn virtuaalikanavan. Yhdessä VPI:n kanssa VCI määrittelee virtuaaliyhteyden. Payload Type -kentällä erotetaan varsinainen käyttäjädatta hallinta- ja ohjausliikenteestä. Cell Loss Priority -kenttä asetetaan 1:ksi, kun kyseisen solun prioriteetti on alhainen. Tätä tietoa käytetään hyväksi ylikuormitustilanteissa, joissa kytkin ei pysty käsittelemään kaikkia soluja, jolloin se heittää ensiksi pois kaikki alemman prioriteetin solut. Header Error Check -kentän avulla tarkistetaan otsikon oikeellisuus. Lopuksi on 48 tavun kenttä varsinaiselle datalle. ATM-protokolla perustuu ajatukselle hyvien ja luotettavien siirtoyhteyksien käytöstä. Tämän seurauksena se tarkastaa ainoastaan otsikon oikeellisuuden, mutta ei mitenkään data-kentän oikeellisuutta. (iec.org 2004a.)

ATM kytkee soluja VPI- ja VCI-arvojen mukaan. VCI-kentän avulla kytkin hakee vastaavat ulos lähtevät linkit, virtuaalipolun ja virtuaalikanavan. Tämän jälkeen

kytkin sijoittaa oikeat arvot kyseiseen soluun ja lähettää sen eteenpäin. (iec.org 2004a.)

## 2.4 Ethernet

### 2.4.1 Yleistä

Ethernet on pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu. IEEE 802.3 -standardiin on standardoitu Ethernet-tekniikka. Ensimmäistä Ethernet verkkoa alettiin kehittää vuonna 1972, jolloin siirtonopeus oli 2,94 Mb/s. Laajemmin Ethernet-verkkoa alettiin käyttää 1980-luvulla. 10 Mbps Ethernet on määritelty 1985. Vuonna 1995 saavutettiin 100 Mbit/s siirtonopeus Fast Ethernetin avulla. Siirtonopeuden kasvu perustui parempiin verkkolaitteisiin ja kaapeleihin sekä verkon rakenteen muuttamiseen. (Cisco 2000.)

Vuonna 1998 kehitettiin Gigabit Ethernet, joka on yleisnimi kaikille verkkotekniikoille, jotka pystyvät 1 Gbit/s siirtonopeuteen. Tämä tekniikka on standardoitu 1000BASE-T:ssa Cat5e kuparikaapeloinnille ja 1000BASE-SX:ssa lyhyille kuituyhteyksille.

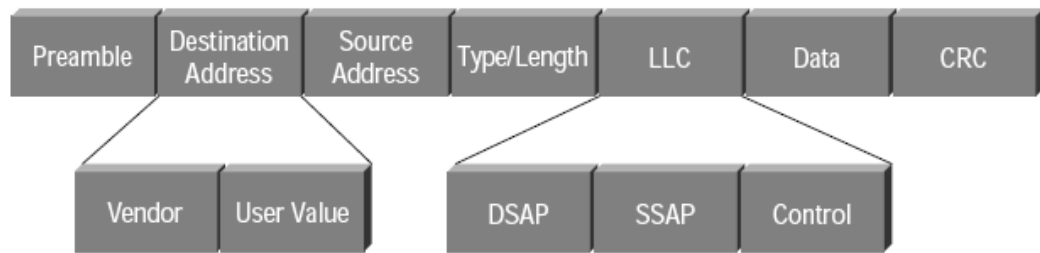
Nykyään Ethernet nimitys viittaa lähiverkkojen toteutustapoihin, jotka käyttävät CSMA/CD-kilpavaraustekniikkaa (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) jakaessaan siirtotien työasemien kanssa. (Cisco, 2000.)

### 2.4.2 Siirtoyhteys

Ethernetin CSMA/CD:n toimintaperiaate on kuunnella, onko linjalla liikennettä. Mikäli mikään muu laite ei ole lähettämässä, on kaikilla laitteilla oikeus aloittaa lähetys. Muussa tapauksessa odotetaan satunnainen aika ennen uudelleen yrittämistä. Jos useampi laite alkaa lähettää samanaikaisesti, ne havaitsevat törmäyksen. Törmäyksen tapahtuessa siirtotiellä keskeytetään lähetys. Siirtotielle lähetetään JAM-signaali, jolloin kaikki odottava satunnaisen ajan ennen uudelleen lähettämistä, minkä aikana toivutaan törmäyksestä. (Cisco 2000.)

Ethernetissä verkkolaitteet tunnistetaan MAC- osoitteella (Media Access Control), joka on 48-bittinen. Jokaisella verkkolaitteella on oma yksilöllinen MAC-osoite.

Ethernet kehys pystyy huolehtimaan 1500 tavun kuormasta. Kuviossa 5 on Ethernet kehysrakenne. (Cisco 2000.)



KUVIO 5. Ethernet kehys (Cisco 2000.)

Lyhyiden kehysten pituus on kasvatettu täytetävällä vähintään 512 tavuun, jotta saataisiin lähetysaika kasvamaan ja törmäys voitaisiin havaita koko segmentin pituudella. (Cisco 2000.)

1 Gbit/s nopeus saavutettiin kehittämällä pidemmät kehykset, tehostuneella koodauksella, lyhentämällä segmenttejä ja siirtymällä Full Duplexin käyttöön. Full Duplexin avulla yhteydestä saatiin kaksisuuntainen, jonka avulla pystyttiin samanaikaisesti lähettämään ja vastaanottamaan dataa. (Cisco, 2000b.)

#### 2.4.3 Koodausmenetelmät

8B/10B-koodausta käytetään kuiduissa. Tässä koodausmenetelmässä, jossa jokaista kahdeksaa lähetettävää bittiä kohti lisätään kaksi signaalointibittiä. Tästä tehdyssä taulukossa on 10 bitin koodisanat kaikille 8 bitin koodisanoille. Nämä 10 bitin koodisanat on pyritty valitsemaan niin, etteivät ne sekoittuisi keskenään. (Cisco 2000.)

4D-PAM5 lohkokoodausmenetelmää käytetään 1000BASE-T:ssä eli parikaapelipohjaisessa Gigabit Ethernetissä. 4D-PAM5 lohkokoodausmenetelmässä signaalia siirretään neljässä johdinparissa. Tässä koodausmenetelmässä käännetään 8 bitin datatavun samanaikaiseksi neljän koodisymbolin (4D) lähetykseksi neljässä johdinparissa. Koodisymbolit lähetetään käyttäen 5-tasoisia Pulse Amplitude Modulated eli PAM5-signaaleja. Viisitason linjasignaalointijärjestelmä sisältää virheenkorjaussignaalin, minkä tavoitteena on parantaa signaali-kohinasuhdetta. (Spurgeon 2000, 157.)

## 2.5 MPLS

### 2.5.1 Yleistä

MPLS on tehokas verkkotekniikka, jossa paketit voidaan ajaa OSI:n toisen kerroksen yli kuten ATM, Frame Relay ja Ethernet. MPLS yhdistää kerroksen 3 reitityksen ja kerroksen 2 kytkennän vahvuudet tehokkaiksi IP-verkoiksi. Kerros 2 kytkentä on verkon ytimessä, missä suuret pakettiliikennemäärät edellyttävät tehokasta pakettienvälitystä. IETF (Internet Engineering Task Force) perusti moniprotokollaleimakytkentä-työryhmän vuonna 1997. MPLS käyttää lipuilla merkittyjä paketteja datan siirtoon. (Cisco 2004a.)

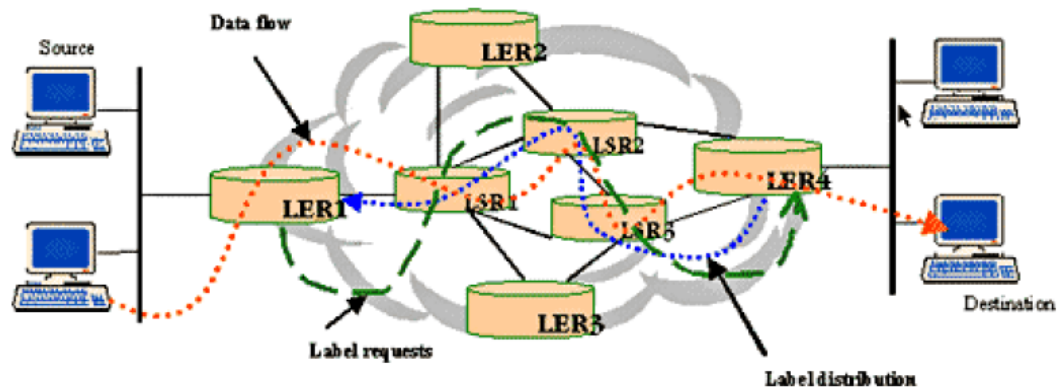
Alkuperäinen motivaatio MPLS:n kehittämiseen oli kehittää tekniikka, jonka avulla voidaan rakentaa erilaisia palveluja. MPLS on alun perin lähtenyt kehittymään mekanismina, jolla saadaan yhdistettyä Ethernet-verkkojen suorituskyky ja IP-tason kontrolli-informaatio. MPLS:ssä käytetään hyväksi sitä, että liikennettä voidaan välittää varsinaisista IP-pakettien osoitetiedoista poiketen. MPLS:ssä liikenteen välitys suoritetaan käyttämällä erillistä lippukenttää, jonka arvo voidaan määrittää erilaisilla kontrollimekanismeilla. (Cisco 2004b.)

### 2.5.2 Leimakytkentä

Yksinkertaisimmillaan leimoja voidaan ajatella paketin otsikkotietojen lyhennyksenä, jota voidaan käyttää paketin edelleen reititykseen verkossa. MPLS:ssä IP-paketteihin lisätään leima niiden saapuessa IP-verkkoon ja ne välitetään leiman perusteella solmulta toiselle. Leima poistetaan paketin poistuessa MPLS-verkosta, jolloin IP-paketti voidaan reitittää normaalisti. Leimakytkentä mahdollistaa pakettien välityksen siirtoyhteyskerroksella eli paketit kytketään leimojen perusteella eikä verkkokerroksen osoitteiden perusteella. Tuloksena on nopea ja tehokas IP-pakettivälitys. ATM-kytkennät soveltuvat erityisen hyvin leimakytkennän käyttöön, koska leimakytkennässä käytettävät menetelmät ovat jo käytössä ATM-kytkentälaitteissa. Ne korvaavat VPI/VCI-osoitekentän vaihdon MPLS-leimanvaihdolla. Leima on siis vain lyhyt merkintätapa joukolle käyttäjien tietovirtoja, jotka kuuluvat samaan edelleen reitityksen ekvivalenssiluokkaan (FEC, Forwarding Equivalence Class), missä

kaikki samaan luokkaan luokitellut paketit reititetään samalla tavalla. (iec.org 2005.)

### 2.5.3 MPLS:n toiminta



KUVIO 6. MPLS:n toimintaperiaate (iec.org 2005)

Paketin tullessa MPLS-verkkoon tehdään leiman luonti ja leimajakelu. Ennen kuin liikennöintiä voidaan aloittaa, täytyy reitittimen tehdä päätös leimojen liittämisestä tiettyyn FEC:n ja rakennetaan niiden taulut. LDP:n (Label Distribution Protocol) avulla alavirran reitittimet opastavat leimojen jakelua ja leimat/FEC kiinnitetään. Taulun luonnissa LSR-reititin (Label Switching Router) tekee merkinnän LIB:n (Label Information Base) kuittaukseksi leimojen kiinnittämisestä. Taulun sisältöön määritellään leimojen ja FEC:n välinen yhteys. Taulussa on siis määritelty yhteys sisääntulo portin ja sisääntulo leimataulun väliltä ulostuloporttiin ja ulostuloleimatauluun. (iec.org 2005.)

Leimojen reitin luonti näkyy kuviossa 6, LER<sub>4</sub>-reitittimeltä LER<sub>1</sub> reitittimelle katkoviivalla. LSP on luotu käänteisenä kulkusuuntana kuin LIB-merkinnät. Leiman lisäys ja leimataulun etsiminen tapahtuu siten, että ensimmäinen reititin LER<sub>1</sub> kuviossa 7 (Label Edge Router) käyttää LIB taulua löytääkseen seuraavan hypyn ja pyytää leimaa tiettyä FEC:a varten. Seuraavat reitittimet käyttävät ainoastaan leimoja löytääkseen seuraavan reitittimen. Kun paketti saavuttaa ulosmenoreitittimen LER<sub>4</sub> kuviossa 6, leima poistetaan ja paketti toimitetaan kohteeseensa. (iec.org 2005.)

### 3 IPTV-TEKNIikka

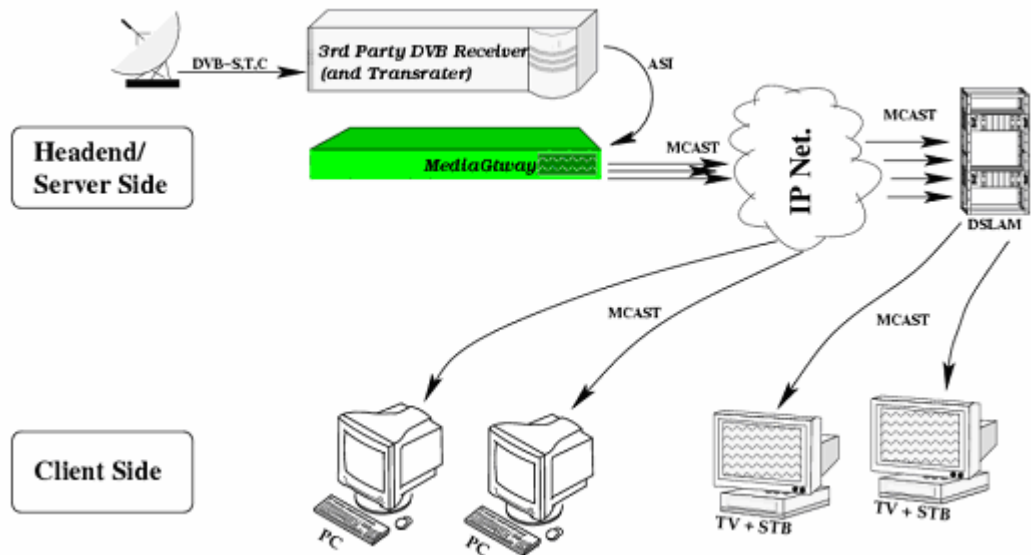
#### 3.1 Perinteinen kaapelitelevisiotekniikka (HFC)

HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) on perinteinen kaapelitelevisiotekniikka. Kaksisuuntaista kaapelitelevisioverkkoa kutsutaan kuitukoaksiaaliverkoksi (HFC, Hybrid Fibre Coaxial Network). Kaapeliverkon avulla voidaan lähettää sekä televisio- ja radiopalveluja että erilaisia laajakaistaisia datapalveluja kuten Internet yhteys, sähköposti ja erilaiset sisältöpalvelut sekä kaapelitelevisio-operaattoreiden omien ohjelmien jakeluun. Kaapelitelevisioverkossa televisio kuva lähetetään paikallisesta tv-keskuksesta. TV-keskus vastaanottaa satelliitista tulevia mikroaaltoja antennipeilien avulla. Kaapelitelevisio-keskus lähettää signaalia edelleen kaapeliverkossa (koaksiaali- tai kuituverkko) kotitalouksille. Kaapeliverkon kautta Internetiä käyttävät kotitaloudet tarvitsevat kaapelimodeemin. Kaapeliteleviossa käyttäjillä ei ole oma kaistaa vaan se jaetaan tietyn alueen käyttäjien kesken. (Tieke 1997.)

Kaapelitelevisioverkon käyttäminen tietoverkkopalveluihin edellyttää verkon kaksisuuntaistamista. Kaapelitelevisioverkkojen ratkaisut ovat yleensä epäsymmetrisiä, mikä johtuu verkon rakenteesta. Nopeus on tiedon vastaanotossa käyttäjälle 4-40 Mbit/s ja tiedon lähetyksessä käyttäjältä 20 kbit/s - 2 Mbit/s. Kaapelitelevisioverkossa yhtäaikaisten käyttäjien määrä vaikuttaa kuitenkin suoraan käytettävissä oleviin nopeuksiin, mistä takia nopeudet jäävät pienemmiksi. Kaapeli-TV sopii puheen siirtoon, digitaalisen TV-ohjelman vastaanottoon sekä epäsymmetriseen viestintään. (Tieke 1997.)

#### 3.2 ASI2IP-muunnos

ASI2IP-laitteella (Asynkronous Serial Interface to Internet Protocol) muutetaan audio- ja video lähetysvirtaa muodosta toiseen. ASI2IP muuttaa DVB-lähetteen MPEG2- tai MPEG4-muotoon ja laittaa sen IP-paketteihin (kuvio 7). ASI2IP-muunnos tehdään esim. Skytream iPlex-laitteella. IPlex:ssä on yhdistetty tiivis videokoodaus, prosessointi ja reititys. IPlex on kykeneväinen lähettämään lähetysvirta useaan erilaiseen liityntään, kuten Gigabit Ethernet, ATM ja ASI samanaikaisesti, tukien hybridiverkkoympäristöä. (Skystream 2005.).



KUVIO 7. ASI2IP muunnos (Ondems 2005)

IPlex muodostuu modulaarisista komponenteista. IPlex:n ominaisuuksiin kuuluu MPEG2 ja MPEG4 AVC-koodaus, video lähetysvirta IP:n tai ATM:n yli, videon demultiplexointi ja uudelleen multiplexointi, MPEG2-muunnos, IP:n ja videon palvelun laadusta huolehtiminen sekä IP kapselointi. IPlex tukee myös monia sovelluksia kuten broadcast tasoista TV kuvaa IP-verkon yli, tilausvideo palveluita ja digitaalisia musiikki palveluita. (Skystream, 2005.)

Reaaliaikaisessa koodauksessa voidaan sekä analoginen että digitaalinen muoto muuttaa tiiviiksi digitaalisiksi virraksi, joka on kapseloitu IP -paketteihin. Sisääntulo enkooderille voi olla digitaalista MPEG2 ASI:n yli muotoa tai sitten se voi olla NTSC, PAL, SECAM tai jokin muu analoginen muoto. Enkooderin ulostulo on digitaalisesti tiivistetty lähetysvirta, joka on kapseloitu IP otsikkoon ja lähetetty multicast ryhmän osoitteeseen. Tiivistettyä muotoa käyttävä enkooderi voi käyttää sekä MPEG2:ta, WM9:ää tai MPEG4/AVC:tä, jolloin IP-pohjaisessa siirrossa on käytetty enkoodauksessa MPEG2 siirtoa sekä UDP/IP:in tai IP/UDP/RTP:n yli. (Cisco 2005.)

### 3.3 Palvelimet

#### 3.3.1 Http-proxy

IPTV-toteutuksessa http-proxy-palvelin toimii puskurina sovelluspalvelimelle. Http-proxy on edustapalvelin DMZ:ssa (Demilitarized zone), joka toimii luotetun sisäverkon ja epäluotetun julkisen verkon välissä. Http-proxyn tarkoituksena on välittää liikennettä ja turvata sisäverkko ulkoverkolta. Esimerkiksi PHP:n ratkaisussa Http-proxynä toimii Apachen web-palvelin. Http-proxya tarvitaan erityisesti silloin, kun verkossa on useampia sovelluspalvelimia, koska sen tarkoituksena on ohjata liikenne oikealle sovelluspalvelimelle. (Teräs 2006.)

Proxy-palvelimet tehtävänä on helpottaa suurien lähiverkkojen ulospäin internetiin suuntautuvan liikenteen ruuhkaa. Proxy-palvelimen toimintaperiaatteena on toimia välimuistina ulkomaailman ja lähiverkon välillä. Normaalisti www-selain hakee halutun datan aina suoraan käytettävältä palvelimelta. Mikäli proxy on käytössä, hakee proxy-palvelin halutun dokumentin ja tallettaa sen muistiinsa ennalta määritellyksi ajaksi. Mikäli joku toinen samaa proxyä käyttävä haluaa hakea saman dokumentin määritellyn ajan kuluessa, saa www-selainohjelma datan suoraan proxy-palvelimen muistista eikä dataa tarjoavalta palvelimelta. Proxyn avulla voidaan myös sulkea pois osoitteita siten, että erikseen määritettyihin Internet-osoitteisiin ei lähiverkon sisältä ole pääsyä. (Teräs 2006.)

#### 3.3.2 IPTV-Core

IPTV Core toimii sovelluspalvelimena. Sovelluspalvelimelle on tallennettu koko välitason ohjelmatieto eli middleware. Välisovellukseen on tallennettu tieto kanavista ja niitä vastaavista ryhmälähetysosoitteista. Näiden tietojen avulla päätelaite tietää, mitä ryhmälähetysosoitetta kuunnella. Sovelluspalvelin siis ohjailee päätelaitteita ja datavirtoja. Sovelluspalvelimesta löytyvät myös erilaiset palvelut. Tähän on määritelty näytölle tuleva valikot ja palvelut, mitkä löytyvät päävalikosta. Sovelluspalvelimella on myös ohjelmaopas, johon on tallennettu tiedot tämän hetkisestä ja tulevasta ohjelmasta. (Teräs 2006.)



### 3.3.3 Kreatel Boot-Server

Kreatel-Boot-Serveriin on tallennettu käynnistettäessä tarvittava ohjelmisto.

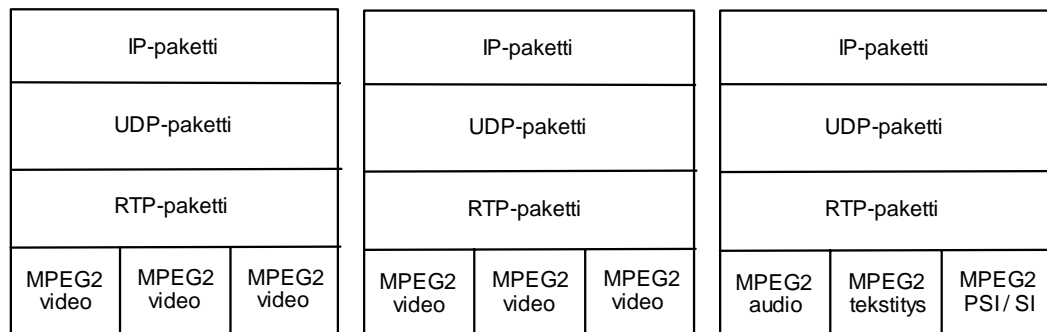
Ohjelmistoon on määritelty perusasetukset, jotka laite tarvitsee käynnistyessään.

Tämänkaltaisia asetuksia on muun muassa taustakuvat, oletus kotisivu selaimelle ja IP-osoite, mistä päätelaite löytää http-proxyn. (Teräs 2006.)

### 3.4 IPTV-vaatimukset

IPTV:n taustalla on digi-tv-tekniikka, koska lähetystekniikka perustuu DVB-standardeihin (Digital Video Broadcasting). Kuva ja ääni pakataan kuljetuskerrosta varten MPEG2-pakkausmekanismilla. MPEG2-lähetysvirralla tarkoitetaan 188 tavun mittaisia paketteja, joista muodostetaan jatkuva lähetysvirta. Kuva, ääni, tekstitys ja muu järjestelmäinformaatio on pilkottu näihin paketteihin. Digi-tv-lähetyksissä näihin 188 tavun paketteihin lisätään vain vähän virheenkorjausdataa, minkä jälkeen ne moduloidaan kaapeli tai antenniverkkoon. Vastaanottaja purkaa virheenkorjauksen ja käsittelee sen jälkeen paketit. IPTV:ssä otetaan mukaan useampia verkkokerroksia. 188 tavun MPEG2-paketit kehystetään UDP- ja RTP-kehyksellä (Real-Time Transport Protocol). Tällöin niille määritellään porttinumero ja IP-osoite, joka on tyypillisesti multicast-avaruudesta 224.0.0.0 - 239.255.255.255. Jakelu voidaan toteuttaa myös millä tahansa IP-liikennöintiä tukevalla verkkotekniikalla, kunhan sen kapasiteetti ja laatu ovat riittävät. Tyypillisesti yhteys kulkee reititetyn Ethernet-runkoverkon läpi ja lopuksi kotiin ADSL-modeemilla. (Falck 2005, 43 - 44).

IPTV-lähetysvirranmuoto



KUVIO 8. IPTV Lähetysvirta (Falck 2005, 44)

Kuviossa 8 on esitetty lähetyvirta, joka koostuu n. 1500 tavun kokoisista IP-paketeista. IP-pakettien päällä välitetään UDP-paketteja. UDP-pakettein päällä liikkuvat RTP-paketit, jotka sisältävät 188 tavun kokoisia MPEG2-paketteja. Näiden pakettien sisältönä voi taas olla vuorotellen kuvaa, ääntä, tekstitystä ja järjestelmätietoja (PSI/SI). (Falck 2005, 44).

IPTV vaatii muutoksia verkkoon. Runkoverkkoyhteyksissä on otettava huomioon, että on riittävän tehokkaat reitittimet ja näiden reitittimien on tuettava ryhmälähetyksiä. DSLAM:ien tulisi olla Ethernet-pohjaisia sekä varustettu IGMP Snooping-tuella. Runkoyhteyksien tulisi olla Gigabit-Ethernetin avulla toteutettuja, sillä ATM-runkoon saadaan IPTV-palveluja toteutettua käytännössä hyvin vähän.

### 3.5 Multicast

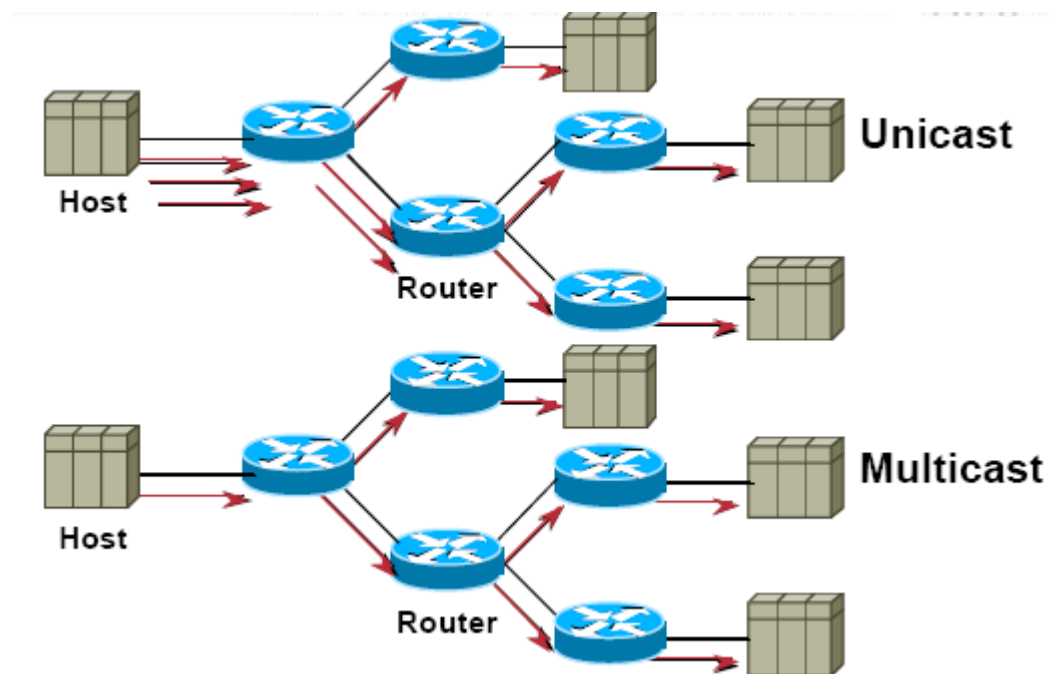
#### 3.5.1 Yleistä

Multimediasovellukset tarjoavat integroitua ääntä, grafiikkaa, animaatioita, tekstiä ja videota (Cisco 2001c). IP-ryhmälähetyksessä on pakettien lähetyksiä vastaanottajaryhmälle, jotka kuvataan yhdellä IP-osoitteella. Ryhmälähetyksen IP-osoitteet ovat D luokan osoitteita, jotka ovat 224.0.0.0:sta 239.255.255.255:een. Ne myös viittaavat ryhmäkohdeosoitteeseen (GDA, Group Destination Address). Jokaista GDA:ta kohti on yhdistetty MAC -osoite. Tämä GDA MAC osoite on muotoa 01:00:5E:xx:xx:xx, josta viimeiset 23 bittiä on GDA:n ryhmälähetyksen IP-osoite heksalukuna. Esim. GDA 224.10.10.10 vastaa MAC osoitetta 01:00:5E:0A:0A:0A. (Zyxel 2003.)

Yhden lähteen lähettämää datavirtaa monelle kohteelle kutsutaan multicastiksi eli ryhmälähetykseksi. Ryhmälähetyksiliikenne on hoidettu kuljetuskerroksella käyttäen UDP:tä (User Datagram Protocol). Toisin kuin TCP:ssä (Transmission Control Protocol), UDP ei lisää luotettavuutta, vuon ohjausta tai virheen korjausta IP:lle, se on siis ”epäluotettava” protokolla. UDP:n yksinkertaisuuden takia, datapaketin otsikko sisältää muutaman tavun ja käyttää vähemmän verkon laiteresursseja kuin TCP. Ryhmälähetyksessä multimediapalvelin lähettää yhden kopion jokaisesta paketista osoittamalla paketti tietylle osoitteelle.

Ryhmälähetyksereitittimet välittävät siis ryhmälähetykspaketit vastaanottajille, jotka

ovat tilanneet kyseisen ryhmälähetysten. Unicast-ympäristössä, ryhmälähetyspalvelin lähettää yhden datavirran usealle käyttäjälle. Ryhmälähetyksessä päätelaite päättää kuunteleeko ryhmälähetys osoitetta vai ei, toisin kuin broadcast-ympäristössä, jossa viesti lähetetään kaikille käyttäjille yleisviestinä. Ryhmälähetysten käyttö säästää kaistaleveyttä, koska jokaiselle käyttäjälle ei tarvitse lähettää omaan viestiä vaan ne saadaan hoidettua monelle käyttäjälle yhtäaikaaisesti kopioimalla viesti vasta lähimpänä olevassa reitittimessä useammalle kohteelle. Eliminoimalla ylimääräinen liikenne saadaan verkon kapasiteetti tehokkaammin käyttöön. Kuviossa 9 on esitetty unicastin ja multicastin eroavaisuus. (Cisco 2001a.)



KUVIO 9. multicastin ja unicastin ero (Cisco 2001c)

Ryhmälähetyksessä videopalvelin lähettää yhden videolähetysvirran jokaiselle ryhmälähetysryhmälle. Ryhmälähetysryhmä on määritelty niin, että käyttäjän laite kuuntelee tiettyä ryhmälähetysosoitetta. Laite voi kuunnella useampaa ryhmälähetysryhmää samanaikaisesti. (Cisco 2001a.)

### 3.5.2 Edelleen lähetyk

Ryhmälähetysreitityksessä, ryhmälähetyspaketit lähetetään kaikille vastaanottajille, jotka ovat liittyneet kyseiseen ryhmälähetysryhmään. Ne muodostavat ryhmälähetyspuun, jonka avulla paketit välitetään vastaanottajille.

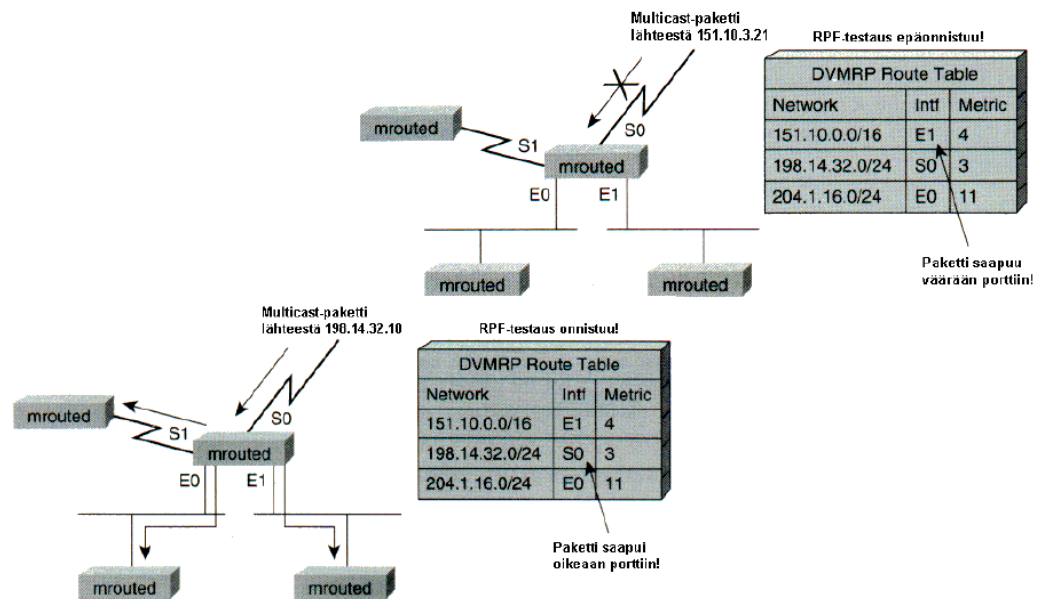
Ryhmälähetyspaketit välitetään ainoastaan niihin liityntöihin, joista ryhmälähetysten tilaajia löytyy. (Cisco 2001a.)

RPF on olennainen käsite ryhmälähetysreitityksessä, joka sallii reitittimen ryhmälähetysliikenteen edelleenlähetysten oikein alas jakelupuuhun. RPF on reitittimen käyttämä menetelmä tarkistaa, onko paketti tullut oikeasta liittynästä. RPF käyttää olemassa olevaa unicast-reititystaulua määrittämään ylävirta ja alavirta naapurit. Reititin välittää ryhmälähetyspaketit ainoastaan, jos se on vastaanotettu ylävirta liittynästä. Tämä RPF-tarkistus helpottaa takaamaan sen, ettei silmukoita pääse syntymään. (Cisco 2001a.)

Kun ryhmälähetyspaketti saapuu reitittimelle, reititin suorittaa RPF tarkistuksen paketille. RPF tarkistuksen onnistuessa paketti edelleen lähetetään, muussa tapauksessa se hylätään. (Cisco 2002.)

### 3.5.3 RPF-testi

Ryhmälähetyspaketin saapuessa reitittimelle liittynästä reititin suorittaa RPF-testin (kuvio 10). RPF-testissä reititin poimii talteen paketin lähdeosoitteen. Reititin vertaa unicast-reititystaulun tietoihin ja tarkistaa, onko liittäntä se liityntä, josta lähtee lyhin polku reitittimestä lähteelle. Jos reitti on lyhin, niin sisään tuleva paketti läpäisee RPF-testin ja se monistetaan kaikkiin muihin ulosmeneviin portteihin. Jos reitti ei ole lyhin, niin paketti ei läpäise RPF-testiä vaan paketti hylätään. Ryhmälähetysryhmän ensimmäinen paketti jaetaan kaikille reitittimille TTL:n (Time to Live) sallimissa rajoissa. Jos reunareitittimien aliverkoissa ei ole yhtään ryhmän lähetystä kuuntelevaa tilaajaa, kielletään seuraavat lähetykset tähän aliverkkoon. Kiellon tullessa kaikilta reunareitittimiltä myös välittävä reititin voi kieltää lähetykset itselleen. Reitittimen on ylläpidettävä tilatietoa (lähde, ryhmä)-pareista. Säännöllisin välein voidaan ryhmäpaketti päästää läpi reunareitittimelle asti havaitakseen mahdolliset tilaajat. Jos vielä ei löydy tilaajia, kiellot toistetaan. Mutta jos joku on ilmoittautunut IGMP-viestillä ryhmän jäseneksi, se pääsee tietyn viiveen kuluttua mukaan lähetysten vastaanottajaksi. (Cisco 2002.)



KUVIO 10. RPF-testaus (Cisco 2002)

RPF:ssä reititystauluja tarvitaan, jotta löydettäisiin lyhin polku lähteestä reitittimelle. Unicast-reititystaulu on muodostettu juuri päinvastoin eli reitittimeltä lähteelle. Tämän takia on edullisempaa käyttää erillistä reititystaulua multicastia varten. Ensimmäinen menetelmä multicast-reititystaulun muodostamiseksi (mrouterd) oli DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol). MOSPF (Multicast Open Shortest Path First) tekee saman käyttäen OSPF:ää ja erityisiä multicast-reiteille tarkoitettuja LSA:a (Link State Algorithm). (Cisco 2001a.)

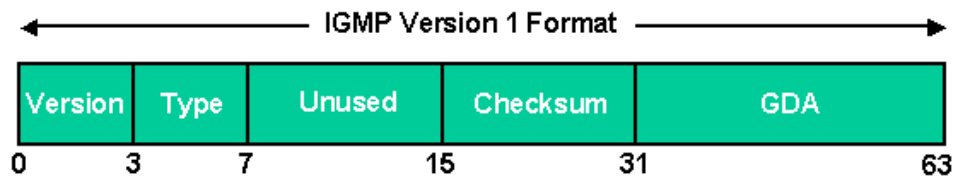
MOSPF toimii tehokkaammin kuin DVMRP, vaikka ne molemmat käyttävät RPF-algoritmia. Tämä johtuu siitä, että MOSPF-reititin tietää kaikki ryhmän jäsenet. Tällöin se voi laskea monilähetykseen RPF-algoritilla ”muistista”, jolloin voidaan karsia ylimääräiset haarat jo ennen kuin paketteja lähetetään. Monilähetykreitit lasketaan vain tarvittaessa eli ensimmäisen paketin saapuessa reitittimelle. (Cisco 2001a.)

RPF:n etuna on nopein mahdollinen pakettien jakelu, koska käytetään lyhyimpiä polkuja. Tämän ansiosta verkko tulee tasaisemmin kuormitetuksi kuin yhtä virittäjäpuuta käytettäessä, koska jokaiselle lähteelle lähdepuu määräytyy eri tavalla. RPF:n huonona puolena on se, että ryhmään kuulumista ei oteta huomioon vaan paketit levitetään kaikkialle minne TTL antaa myöten. (Cisco 2001a.)

### 3.6 IGMP

#### 3.6.1 IGMPv1

Perinteinen IP-paketti on siirretty yksi tai kaksisuuntaisesti – Unicast (1 lähettäjä 1 vastaanottajaa kohti) tai broadcast (1 lähettäjä kaikille verkossa oleville). ryhmälähetys toimittaa IP paketit vain tietylle ryhmälle käyttäjiä verkossa. IGMP on verkkokerroksen (Layer 3) protokolla, minkä avulla voidaan liittyä ryhmälähetys ryhmään. Se voi rekisteröidä tietyn ryhmälähetysliikenteen. RFC 1112 ja RFC 2236 ovat IGMP:n versioiden 1 ja 2 informaatio tiedoista. IGMP versio 1 viestit siirretään kuvion 11 mukaisessa kehyksessä. (Zyxel 2003.)



KUVIO 11. IGMP versio 1 kehys (Zyxel 2003)

IGMP versio 1:ssä versiokenttä pitäisi olla 1. Tyyppi kentässä on kahdentyyppisiä IGMP-viestejä. Kun tyyppi on 1, on kyseessä Host Membership Query eli aliverkon reititin lähettää verkon asemille kyselyjä siitä, haluavatko vastaanottajat vastaanottaa tiettyjä ryhmiä. Kyselyt lähetetään osoitteeseen 224.0.0.1. Tyypin ollessa 2 on kyseessä Host Membership Report. Host Membership Reportin avulla vastaanottajat vastaavat tyypin 1 kyselyihin lähettämällä vastauksen ryhmäosoitteeseen, mikäli haluavat olla kyseisen ryhmän vastaanottajia. Checksum kentässä lasketaan tarkastussumma ja GDA-kentässä (Group Destination Address) on ryhmän kohdeosoite. (Zyxel 2003.)

Membership Reportin viestin lähettää käyttäjä, joka haluaa liittyä tiettyyn ryhmälähetysryhmään (GDA). Kun IGMP-reititin vastaanottaa liittymispyynnön, se lisää GDA:n (ryhmän kohdeosoitteen) ryhmälähetysreititystauluun ja alkaa seurata IGMP-liikennettä tässä ryhmässä. Reititin tarkistaa tietyn aikavälein kyselyiden avulla, onko halukkaita vastaanottajia tässä segmentissä. Käyttäjän

liittymisviesti lähetetään myös, kun käyttäjä haluaa vastaanottaa ryhmän liikennettä tai vastauksia kyselyihin IGMP-reitittimeltä. (Zyxel 2003.)

IGMP versio 1:ssä ei ole palvelun lopetustoimintoa. Kun käyttäjä ei halua enää vastaanottaa IGMP liikennettä, se vain lopettaa äänettömästi.

IGMPryhmälähetysreititin lähettää jaksollisesti tiedusteluviestejä havaitakseen, millä käyttäjäryhmillä on käyttäjiä. (Zyxel 2003.)

Ryhmään liittymisviestit on siirretty seuraavan kaavion mukaan:

2. kerroksen tieto:

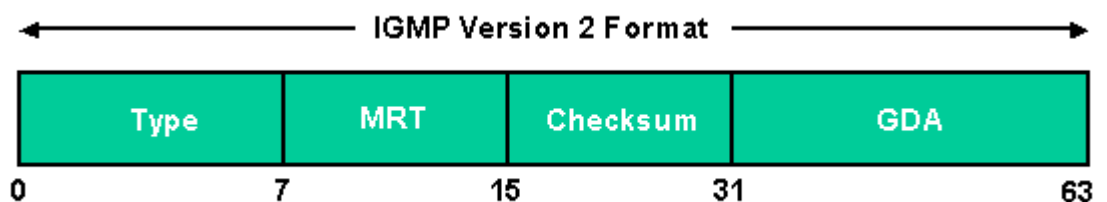
- lähde MAC-osoite: Koneen MAC-osoite
- kohde-MAC:n MAC-osoite: MAC-osoite ryhmäkohdeosoitteelle (01:00:5E:XX:XX:XX).

3. kerroksen informaatio:

- Lähde IP osoite: Koneen IP osoite
- Kohde IP osoite: GDA (224.0.0.0:sta 239.255.255.255:n) (Zyxel, 2003).

### 3.6.2 IGMPv2

IGMP versio 2 viestit siirretään kuvion 12 kehysen mukaisesti. Versio 2:ssa on Versio kenttä poistettu kokonaan. (Zyxel 2003.)



KUVIO 12. IGMP versio 2 kehys (Zyxel 2003)

Tyypikentässä on kolmentyyppisiä IGMP-viestejä.

- 0x11= Membership Query, kysely ryhmälähetysryhmistä

- 0x16= Version 2 Membership Report, ilmoitus IGMPv2:n viestien ymmärtämyksestä
- 0x17= Leave Group, Ryhmästä poistuminen
- 0x12= Version 1 Membership Report, ilmoitus IGMPv1:n viestien ymmärtämyksestä.

MRT- kentän (Maximal Response Time) tarkoitus on ainoastaan kysellä ryhmälähetysryhmistä ja yksilöidä sallittu maksimiaika ennen vastauksen lähettämistä laitteelle 1/10 sekunnissa. Kaikki muut viestit lähettäjä on asettanut nollassi jolloin vastaanottajat jättävät sen huomioimatta. Tällä kentällä kontrolloidaan sitä, ettei pääse syntymään liikaa viivettä varsinkaan ryhmästä poistuessa. (Karen 2001, 300.)

Checksum eli tarkistussumma otetaan koko IGMP-paketista ja se lasketaan aina ennen lähetystä ja tarkistetaan aina ennen hyväksymistä (Zykel, 2003).

Versio 2:ssa on uutena ominaisuutena tullut ryhmän jättöviesti. IGMP-viestin avulla vastaanottaja ilmoittaa halukkuutensa liittyä tiettyyn ryhmälähetysryhmään. Kun reititin vastaanottaa liittymispyynnön, se lisää tämän ryhmälähetysreititystauluun ja alkaa seurata IGMP liikennettä tässä ryhmässä. Ryhmälähetysten ryhmäkyselyt ovat reitittimen tavallisia kyselyitä, joilla tarkastetaan, onko kone edelleen kiinnostunut GDA:sta tässä segmentissä. Ilmoitus siitä, että kone ymmärtää IGMP-viestejä, lähetetään myös, kun kone haluaa vastaanottaa GDA-liikennettä, sekä silloin, kun kone haluaa lähettää vastauksen reitittimen IGMP-kyselyyn ryhmälähetysryhmästä. Ryhmälähetysryhmäkyselyssä kentälle annetaan arvo 0, jos kysellään, mitä ryhmiä on saatavilla, tai arvoksi annetaan jonkin ryhmän IP-osoite, jos kysellään tiettyä ryhmää. Ryhmälähetys ryhmäpyyntö- tai poistumisilmoituskentässä on kyseisen ryhmälähetysryhmän IP-osoite. (RFC 2236, 1997.)

Kun vastaanottaja ei halua enää vastaanottaa IGMP-liikennettä, se lähettää ryhmästä poistumisviestin. Ryhmälähetysreitittimen vastaanottaessa ryhmästä poistumisviestin se poistaa GDA:n multicast-reititystaulusta. Lisäksi IGMP-ryhmälähetysreitittimet lähettävät määräajoin tiedusteluviestejä havaitakseen,



mitkä koneet ovat kiinnittyneet niiden paikallisverkkoon. Jos tiedustelija ei ole otettu vastaan tiettyyn ryhmään, muutamien tiedustelujen jälkeen reititin olettaa, että tässä ryhmässä ei ole jäseniä eikä niille ei tarvitse enää lähettää ryhmälähetysviestejä. Lisäksi IGMP versio 2:ssa on poistumismekanismi, joka ilmoitetaan tyyppikoodilla 0x17. (RFC 2236, 1997.)

IGMP snooping-tuella oleva 2. kerroksen kytkin voi passiivisesti valvoa IGMP tiedusteluja, ilmoituksia ja lähtevien pakettien siirtoa IP-ryhmälähetys reitittimen/kytkimen ja IP multicast -koneen välillä oppiakseen IP-ryhmälähetysryhmän jäsenyyden. IGMP snooping varmistaa IGMP-pakettien perillemenon, erottaa ryhmärekisteröinti informaation ja konfiguroi ryhmälähetysten mukaisesti. (Zyxel 2003.)

Ilman IGMP snoopingia ryhmälähetysliikenne käsitellään samalla tavalla kuin broadcast-liikenne, missä edelleen lähetetään kaikkiin portteihin. Kun IGMP vakoilu on käytössä, ryhmälähetysliikenne edelleen lähetään ainoastaan niihin portteihin, jotka ovat ryhmän jäseniä. IGMP snooping ei generoi lisää liikennettä verkkoon. (Zyxel 2003.)

IGMP:stä on kehitetty myös IGMPv3, mutta se ei ole juurikaan käytössä. Uutta IGMPv3:ssa on suodatuslistat, joiden avulla voidaan rajata, miltä lähettäjiä ryhmälähetystä halutaan vastaanottaa. Protokolla sisältää myös useita eri viestityyppejä, jotka mahdollistavat monipuolisemman käytön. (Zyxel 2003.)

### 3.7 PIM

#### 3.7.1 Yleistä

PIM (Protocol Independent Multicast) on ryhmälähetysten reititysprotokolla. PIM:n avulla voidaan toteuttaa siis ryhmälähetys. PIM:sta on olemassa kaksi eri muotoa PIM-DM (Dense Mode) ja PIM-SM. Molemmat muodot voivat olla samanaikaisesti käytössä. (Cisco 2001b.)

#### 3.7.2 PIM-DM

PIM-DM on pääasiassa suunniteltu ryhmälähetyssovelluksille LAN-verkoissa, ja se on riippumaton käytettävästä reititysprotokollasta. PIM-DM ei siis käytä

hyväkseen minkään muun protokollan reititinvalinta algoritmeja. PIM-DM suoriutuu samasta tulvinta- ja karsintamekanismista kuin DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) ja muut tiheämuotoreititysprotokollaa käyttävät. Pääero DVMRP:n ja PIM-DM:n välillä on se, että PIM-DM perustuu itsenäisille protokollakonsepteille. PIM-DM voi käyttää reititystaulun tietoja mitä tahansa alkuperäistä unicast-reititysprotokollaa suorittamalla RPF-tarkistuksen. Tiheässä muodossa reititin odottaa, että kaikki muut reitittimet haluavat edelleen lähettää ryhmälähetyspaketit ryhmään. Karsintaviesti lähetetään takaisin lähteelle, jos reititin vastaanottaa ryhmälähetyspaketin. Seuraavaksi tulevia ryhmälähetyspaketteja ei tulvita enää tälle reitittimelle. PIM rakentaa lähdepohjaisen ryhmälähetysjakelupuun. (Karen 2001, 332 - 333.)

PIM-DM-protokolla käyttää lähdepuuta ja tulvintamenetelmää puun luomiseen. Tulvinta suorittaa RPF-testin ja se lähetetään eteenpäin kaikista liittynöistä lähdeliityntää lukuun ottamatta. Tämän seurauksena useimmat reitittimet saavat paketteja, jotka eivät ole läpäisseet RPF-testiä, mutta näistä selvittää harvennusoperaation avulla. Harvennuksessa reitittimet lähettävät harvennusviestejä kaikkiin niihin liittynöihin, joista ei haluta vastaanottaa ryhmälähetysviestejä. Harvennusviestejä lähetetään RPF-liittynöille ja ei-RPF-liittynöille, joissa ei ole tilaajia. Mikäli harvennettuun haaraan liittyy uusi vastaanottaja, lähettää reitin liittymisviestin, jonka avulla haara liitetään takaisin puuhun. PIM-DM:n vahvuus on yksinkertaisuus ja riippumattomuus reititysprotokollasta. Se on helppo toteuttaa ja sopii pieniin verkkoihin. PIM-DM:ää käytetään ensisijaisesti testilaboratoriossa ja reitittimien suorituskyvyn testaamiseen, mutta siitä on tehty myös todellisia toteutuksia. Sitä voidaan käyttää myös ryhmälähetysten testaamiseen sen yksinkertaisuuden takia. Skaalaamattomuus on PIM-DM:n heikkous. Verkon kasvaessa kasvavat myös ryhmälähetysreititystaulut valtaviksi ja täyttyvät näin ollen reitittimen muistin. Tämän takia protokollaa ei ole tarkoitettu käytettäväksi suurissa verkoissa. (Cisco 2001b.)

### 3.7.3 PIM-SM

PIM-SM on reitittimien välinen ryhmälähetysreititysprotokolla, jonka IETF on määritellyt. PIM-SM on suunniteltu WAN-verkoille. PIM-SM on yleisesti

käytössä oleva protokolla, joka soveltuu lähes kaikkiin topologioihin. PIM-SM:n etuina ovat sen toimivuus usean alueen verkoissa ja riippumattomuus protokollista. Tässä liikenne välitetään levityspanuissa keskitetysti yhden pisteen kautta. PIM-SM lähettää paketteja ainoastaan ryhmän jäsenille. PIM-SM päivittää tasaisin väliajoin tietoa siitä, mitkä vastaanottajat ovat edelleen halukkaita vastaanottaa kyseistä lähetystä, ja mikäli vastaanottaja ei ole enää halukas vastaanottamaan lähetystä, se poistetaan levityspanusta. (Cisco 2001c.)

Harvassa muodossa reititin odottaa, että muut reitittimet eivät enää halua edelleen lähettää ryhmälähetyspaketteja. Kun käyttäjä liittyy ryhmälähetysryhmään, suoraan liitetty reititin lähettää PIM-liittymisviestin jokaista keskus pistettä (RP, Rendezvous Point) kohti. RP pitää reittiä ryhmälähetysryhmään. Tämän jälkeen RP lähettää liittymisviestin lähdeä kohti. Tässä pisteessä paketit ovat edelleen lähetetty jaetussa jakelupanussa. Jos ryhmälähetysliikenne tietyllä lähteellä on riittävä, seuraava reititin tilaajasta katsottuna voi lähettää liittymisviestin lähdeä kohti rakentaakseen lähdepohjaisen jakelupanun. (Karen 2001, 333.)

PIM-SM käyttää pääasiassa jaettuja puita ja eksplisiittistä ryhmään liittymistä, johon vastaanottajat liittyvät IGMP-protokollan avulla. Aliverkon nimetty reititin vastaanottaa liittymisilmoituksen ja etsii ryhmän keskus pisteen (G). Keskus pisteet on määritelty ryhmäkohtaisesti. Tämän jälkeen luodaan ryhmälähetystauluun (\*,G)-merkintä ja asetetaan merkintä keskus pisteeseen. Keskus piste asettaa (\*,G)-merkinnän ulosmenoliittymäksi liittämään, josta liittymisviesti tuli. Lopuksi asetetaan (\*,G)-merkintä sisääntuloliittymäksi liittämään, johon ryhmän keskus pisteelle menevät yhdeltä yhdelle lähetysten paketit välitetään. Reitittimen on lähetettävä tietyn väliajoin (\*,G) merkintä keskus pisteelle liittymis- tai harvennusviestejä. Merkintä (\*,G) poistetaan, kun ryhmälle ei ole enää paikallisia vastaanottajia eikä reitittimeltä löydy naapurireitittimiä, joille pitäisi ryhmän liikennettä välittää. Kun nimetylle reitittimelle on luotu (\*,G)-merkintä ja tila, luo reititin liittymisviestin ja lähettää sen kohti RP:tä. Paketin Reserved kentässä sijaitsee RPT-bitti (Rendezvous Point Tree) ja Wildcard- bitti asetetaan ykköseksi ja Encoded-Joined Source Address-kentään asetetaan keskus pisteen osoite. RPT-bitti kertoo, että käytössä on jaettupuu, ja wildcard-bitti taas, että minkä tahansa kohteen lähettämä data hyväksytään. (Cisco 2001c.)

MSDP (Multicast Source Discovery Protocol) on mekanismi, joka yhdistää useita PIM-SM-alueita yhteen. Jokainen PIM-SM-alue käyttää omaa itsenäistä RP:tä, ja se ei ole riippuvainen toisesta RP-alueista. (Cisco 2005.)

## 4 TAPAUS PÄIJÄT-HÄMEEN PUHELIMEN IPTV-TOTEUTUS

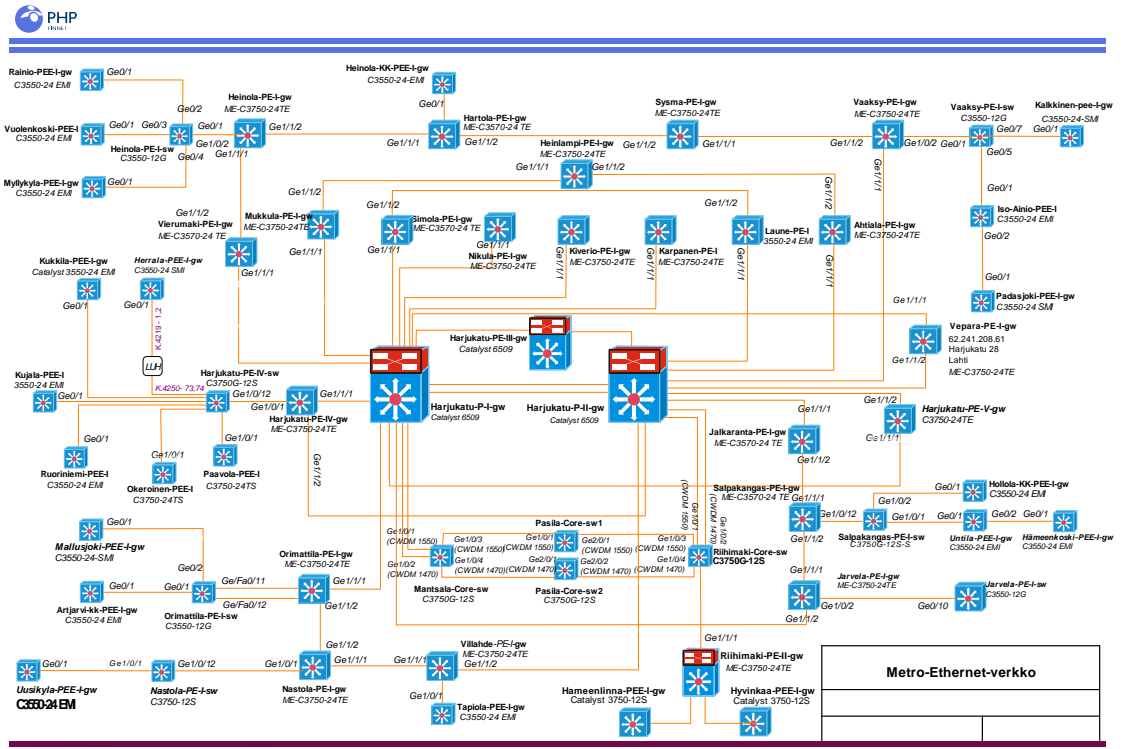
### 4.1 Yleinen kuvaus

IPTV-projekti alkoi Päijät-Hämeen Puhelimella eli PHP:llä helmikuussa keväällä 2005. Tarkoituksena oli selvittää laajakaistaverkkojen päällä toimivaa IPTV:n toteutusvaihtoehtoja sekä luoda toimiva verkko digitaalitelevisiokuvan lähettämiseen laajakaistaliittymän päällä. Tutkittavana oli siis, mitä kaikkea pitäisi tehdä, jotta IPTV-palvelu olisi mahdollista. Tuote nimettiin laajakaistatelevisioksi.

IPTV:llä (Internet Protocol Television) tarkoitetaan tekniikkaa, jolla saadaan digitaalinen televisiolähetys sekä ääni- ja videopalvelut tuotua puhelinverkossa. Kasuvat laajakaistaliittymien nopeudet takaavat hyvälaatuisen videokuvan laajakaistaverkon yli. IPTV:n ansiosta käyttäjä voi samanaikaisesti käyttää Internet yhteyttä, katsoa televisiokanavaa ja puhua puhelimessa. IPTV on toteutettu laajakaistaliittymän päälle, mikä mahdollistaa kaksisuuntaiset käyttöliittymät, eli esim. Internetin käytön televisiosta.

### 4.2 Metro-Ethernet-alueverkko

PHP:n Metro-Ethernet-alueverkko muodostuu kolmesta eri komponenteista. P (Provider), PE (Provider Edge) ja ASBR (Autonomys System Border Router) reitittimistä. Kaikki PE-reitittimet ja ASBR-reitittimet on kytketty pääasiassa P-laitteisiin. P-laitteiden tehtävä on kytkeä leimattuja paketteja PE- ja ASBR-reitittimien välillä. P-reitittimissä ei tehdä pakettien manipulointia eikä niihin liitetä asiakkaita. Kuviossa 13 on kuvattu PHP:n Metro-Ethernet-verkko.



KUVIO 13. Metro-Ethernet-verkko

PE-reitittimet ovat MPLS-verkon asiakasrajapinta, johon terminoidaan sekä OSI-kerrosten 3 ja 2 VPN:t (EoMPLS). Jokaisessa PE-reitittimessä on oma VLAN-avaruus, mikä estää VLAN:ien vuodon PE-reitittimien välillä. IPTV:n kannalta ongelmaksi muodostuu Cisco Catalyst 3750 Metro, jonka multicast-ominaisuudet osoittautuivat rajallisiksi. Kytkin ei tue esimerkiksi ollenkaan Multicast VPN:ää, mikä tarkoittaa ryhmälähetyksen ajamista 3. kerroksen VPN:nä. Tämän hetkessä ratkaisussa ryhmälähetyksiin joudutaan ajamaan 2. kerroksen VPN:nä. 2. kerroksen VPN-toteutus aiheuttaa liikenteen kertautumista PE-reitittimien lukumäärän mukaan. Lisäksi 3750 Metro ei tue lainkaan IGMP:tä MPLS-konfiguraatiossa, mikä aiheuttaa ryhmälähetyksiin valumisen jokaiseen porttiin, joka on sidottu IPTV-VLAN:iin.

ASBR:n tehtävänä on toimia rajapintana eri BGP:n (Border Gateway Protocol) AS:n (Autonomys System) välillä. Käytännössä PHP:n tapauksessa ASBR:t vaihtaa reititys tietoja muiden Finnet yhtiöiden kanssa. ASBR:t toimivat reititöistimien (RR, Route Reflector), mikä tarkoittaa sitä, että kaikki PE-laitteet vaihtavat reititystietoja keskitetysti BGP:llä ASBR:n kanssa.

PHP:n IPTV-toteutus ja kuluttajaliittymät on toteutettu EoMPLS:llä eli Ethernet over MPLS:llä. EoMPLS:ssä yli luodaan yhteys kahden PE-laitteen välille, koska muuten ei saada luotua VLAN-pohjaista kuljetusta. Jokaiseen PE-laitteeseen on luotu sama tuotanto-VLAN, jonka välityksellä saadaan jaettava kuluttaja-asiakkaille dataa. PHP:n tapauksessa käytetty tuotanto-VLAN on 400, joka vaihdetaan tuodessa se terminointireitittimelle. Kuviossa 14 ja 15 nähdään, että yhteydelle annetaan molempiin päihin VC-numero ja vastapään PE-laitteen IP-osoite, minkä avulla yhteys saadaan luotua. Tässä tapauksessa VC-arvoksi on annettu 405. PE-laitteisiin laitetaan komento xconnect, jossa kerrotaan, mihin tunneliin tämä yhteys ohjataan. Vastapään PE-laitteessa tämä puretaan liittynässä, johon BRAS-reititin eli terminointireititin on kytketty. Tästä liikenne ohjataan terminointireitittimeen VLAN arvolla 405.

Nastola-PE-I-gw

```
interface Vlan400
description EoMPLS-EDA-PHNet-Customer-Nastola
no ip address
xconnect 10.241.207.9 405 encapsulation mpls
```

KUVIO 14. Nastola-PE-I-gw konfiguraatio

Harjukatu-PE-III-gw

```

interface GigabitEthernet3/2.405
description EoMPLS-EDA-PHNet-Customer-Nastola
encapsulation dot1Q 405
xconnect 10.241.207.19 405 encapsulation mpls

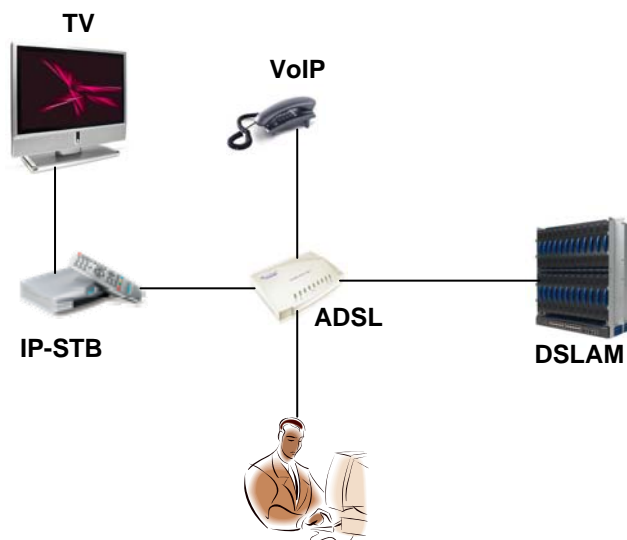
```

KUVIO 15. Harjukatu-PE-III-gw konfiguraatio

## 4.3 Liityntäyhteystekniikka

## 4.3.1 Yleistä

Liityntäyhteystekniikalla tarkoitetaan tässä tapauksessa access-rajapintaa eli väliä DSLAM:ltä käyttäjälle. Liityntäyhteystekniikka sisältää siis Eriksonin DSLAM:n ja siitä yhteyden ristikytkentäpisteiden kautta talon verkkoon. Talon sisällä tähän liityntäyhteystekniikkaan kuuluvat ADSL-modeemi, Set-Top-Box, televisio, tietokone ja VOIP-puhelin. Liityntäyhteystekniikka on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Liityntäyhteystekniikka

## 4.3.2 DSLAM

Käytettävä DSLAM on valittu Ericssonin kokoonpanoista EDN288, jossa on yhdistelmä 24 porttisesta tehoa syöttävästä Ethernet-kytkimestä ECN320 sekä 24 tilaajakortista EDN312xp IP-DSLAM:stä. Yhteen tilaajakorttiin voidaan asentaa



12 tilaajaa, jolloin yhteen DSLAM:iin mahtuu 288 asiakasta. EDN312xp on 12-linjanen IP-DSLAM, joka sisältää perinteisen puheverkon tarvittavan suodattimen (POTS) ja kaksi 100 Mbps:stä ethernet-liityntää.

EDA DSL -tekniikkaan tarvitsee luoda oma profiili IPTV:tä varten. Profiilin luonti alkaa luomalla EDA:an palvelukonfiguraatio, jossa yleisiin asetuksiin määritellään palvelutyypin nimi ja palvelu tyyppi sekä asiakkaan oletusvarustus, joka tässä tapauksessa on, että asiakkaalle jaetaan oletuksena DHCP:llä osoitteita. Näiden lisäksi perusasetuksiin laitetaan tunnistekenttä, jonka avulla tunnistetaan asiakas. Tunnistustavaksi on määritelty asiakkaan henkilökohtainen asiakasnumero (Optio 82). IP-asetuksissa on tärkeää laittaa IGMP-Snooping päälle, jotta DSLAM havaitsee tilaajien liittymisen ja poistumisen tietyltä kanavalta ja pystyy välittämään tämän tiedon reitittimelle. ATM-palveluluokaksi on valittu VBR-nrt (Variable Bitrate-nonreal time). VLAN ID:hen määritellään tuotanto-VLAN. IPTV:lle on valittu tuotanto-VLAN:ksi 399 ja VPI/VCI-arvoiksi 0/100. Kuviossa 17 on esimerkkikonfiguraatio, kun käytetään yhtä PVC:tä. Kuviossa 18 on määritelty asiakkaan tilaama kaistanleveys.

**EDA Service Configuration**

Configuration | Bandwidths | Service Brokers

Service name: Dna-TV-DHCP-VLAN399-pvc0/100

**General settings**

Customer service type: Data

CPE access method: DHCP

Relay Agent Configuration: Circuit ID - Customer number

**IP settings**

Enable IGMP snooping

Broadcast Allowed

Default gateway:

**Ethernet settings**

Enable MAC forced forwarding

Enable virtual MAC addresses

Connections allowed: 20  Send real MAC in DHCP Option 0

**ATM settings**

ATM Service Class: VBR-nrt

VPI: 0

VCI: 100

Enable upstream policing

**VLAN settings**

VLAN usage type: No automatic VLAN configuration

Ethernet priority: 0

VLAN ID: 399

OK Cancel

KUVIO 17. Palvelujen konfigurointi

**EDA Service Bandwidth**

Bandwidth Name: Stream

	<b>Downstream</b> ATUC>>ATUR	<b>Upstream</b> ATUR>>ATUC	
Peak Cell Rate:	16000	1024	kbps
Sustainable Cell Rate:	6000	128	kbps
Maximum Burst Size:	128	12	Cells

Close

KUVIO 18. Palvelun kaistanleveyden määrittely

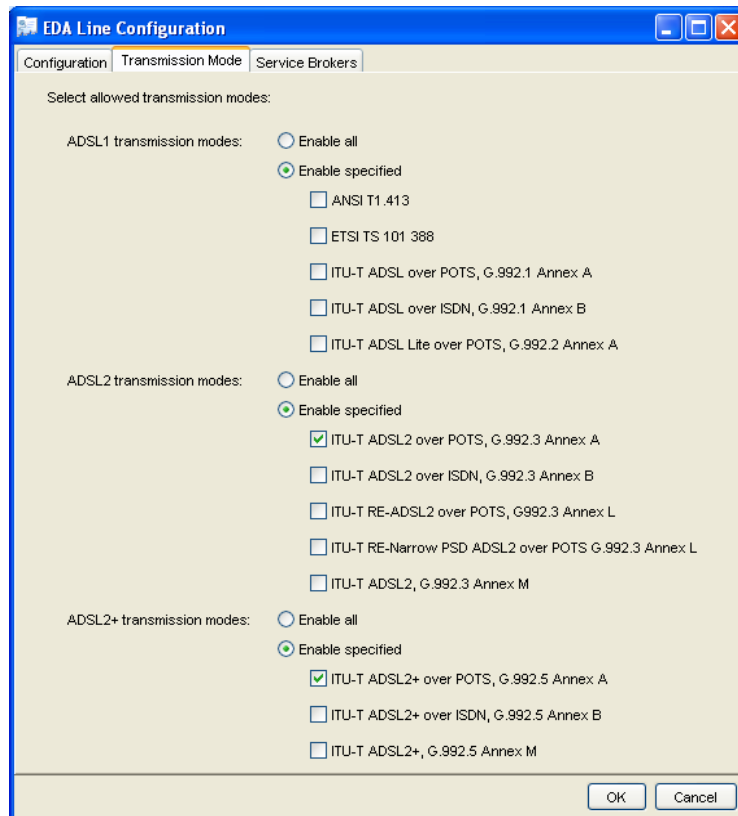
Toinen osa-alue, joka täytyy provisoida, on liikenteen parametointi, jossa yleensä on määritelty Ethernet-kehys sallittuun liikennöintiin. Tässä tapauksessa ethernet-tyypit ovat 0800 ja 0806.

Kolmas osa-alue on linja-konfiguraatio. Tässä määritellään minimi- ja maksimibittinopeus, jolla modeemi nousee ylös ja minkä modeemi voi maksimissaan saada. Viivettä ei normaalissa surffi-liittymässä tarvita, mutta IPTV-palvelua varten on määriteltävä viivettä linjalle, jotta linjalla tapahtuvat virheet kerittäisiin korjaamaan. Linjalle määritellään siis maksimiviive, jonka aikana virhe tulisi korjata. Linjan virheily vaikuttaa IPTV:ssä kuvan laatuun, sen takia on tärkeää, että virheet saadaan minimoitua. Kuviossa 19 on virheenkorjausta lisätty siten, että korjataan 2 symbolia alavirta suunnassa maksimissaan 20 ms aikana. Käytännössä tämä viive ei kuitenkaan ole näin suuri. Transmission Mode -välilehdelle on määritelty, mitä linjakoodausta käytetään ja mitä linjakoodausmenetelmää linja alkaa ensimmäisenä yrittää. Kuviossa 20 on kuva linjan siirtomuotovaihtoehtoista.

The screenshot shows the 'EDA Line Configuration' window with the following settings:

- Configuration name:** Dna-TV-16000k-20ms-2Symbol
- Channel 0**
  - Fixed bit rate
- Downstream (ATUC>>ATUR)**
  - Minimum bit rate: 64 kbps
  - Maximum bit rate: 16000 kbps
  - Interleave delay: 20 msec
  - Impulse Noise Protection (INP): 2 DMT symbol protection
- Upstream (ATUR>>ATUC)**
  - Minimum bit rate: 64 kbps
  - Maximum bit rate: 1024 kbps
  - Interleave delay: 10 msec
  - Impulse Noise Protection (INP): ½ DMT symbol protection
- Line**
  - Transmit PSD: Priority to Rate
  - PRM Protection: Disable (Default)
  - Target SNR margin: 9.0 dB
  - Maximum SNR margin: 9.0 dB
  - Rate adaptation mode: Disabled
  - Minimum downshift margin: (empty) dB
  - Minimum downshift time: (empty) sec

KUVIO 19. Linjan konfigurointi



## KUVIO 20. Linjan siirtomuoto

Profiili on tämän jälkeen valmis, kun vielä yhdistetään nämä luodut palvelu- ja linja-konfiguraatiot yhdeksi paketiksi.

Käytettäessä 2 PVC:n modeemia on EDA:n palvelu-konfiguraatioon tehtävä myös toinen palvelu, joka on tarkoitettu Internet-liikenteelle. Tämän profiilin konfiguraatio eroaa äskeisestä siten, että tuotanto-VLAN:ksi asetetaan 400 ja VPI/VCI-arvot 14/24:ksi. 2 PVC:n etuna on se, että televisiokuva on erotettu eri PVC:lle kuin liikenne, jota käytetään tietokoneella Internetin käyttöön, jolloin Internetin käyttö ei häiritse televisiokuvaa.

### 4.3.3 1 PVC:n modeemi

Yksi vaihtoehto toteuttaa IPTV-palvelu päätelaitteen kannalta on käyttää vain yhtä PVC-kanavaa, mikä on toteutukseltaan yksinkertaisempi. Tämän toteutusmallin etuna on konfiguraation yksinkertaisuus.

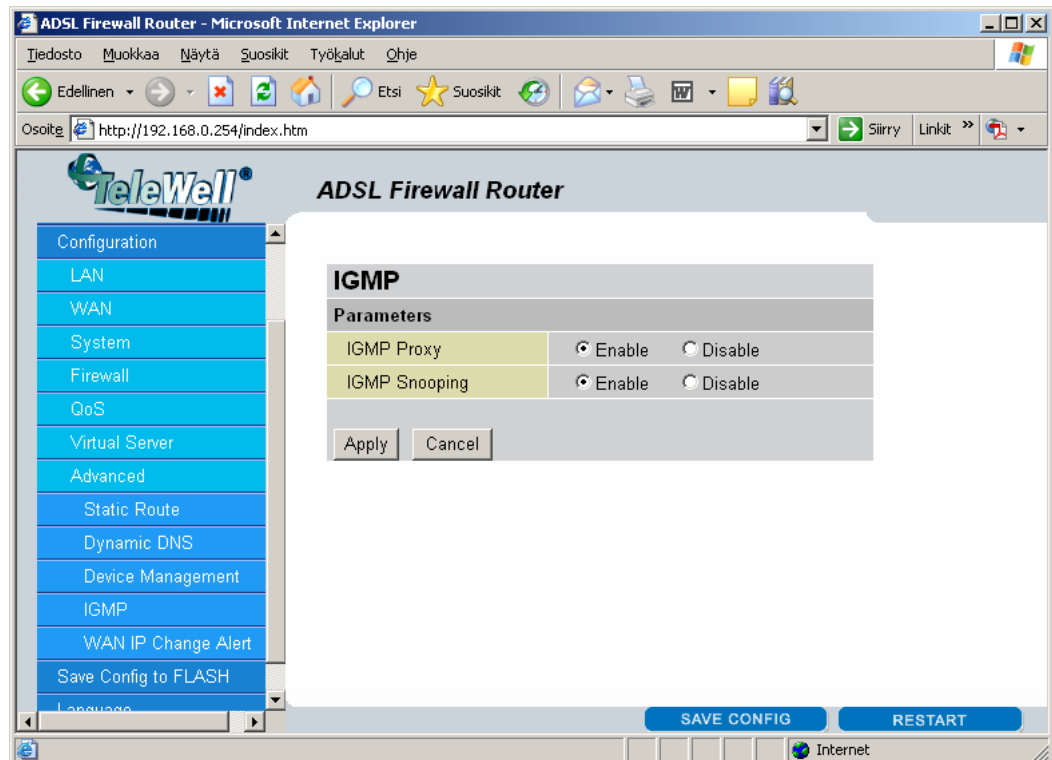
Tällä hetkellä PHP:n ratkaisussa tämän mallin ongelmana on, että kaikki liikenne tapahtuu samalla PVC-kanavalla, jolloin Internetin ja television käyttö

samanaikaisesti saattaa häiritä televisiokuvan laatua ja päinvastoin televisiokuva hidastaa liikennettä niin, että Internet liikenne hidastuu. Ratkaisuna ongelmaan olisi liikenteen priorisointi, jonka avulla pystytään antamaan televisiolle ensisijainen prioriteetti, jolloin televisiota katsellessa saadaan aina tarvittava kaista juuri televisio kuvan käyttöön.

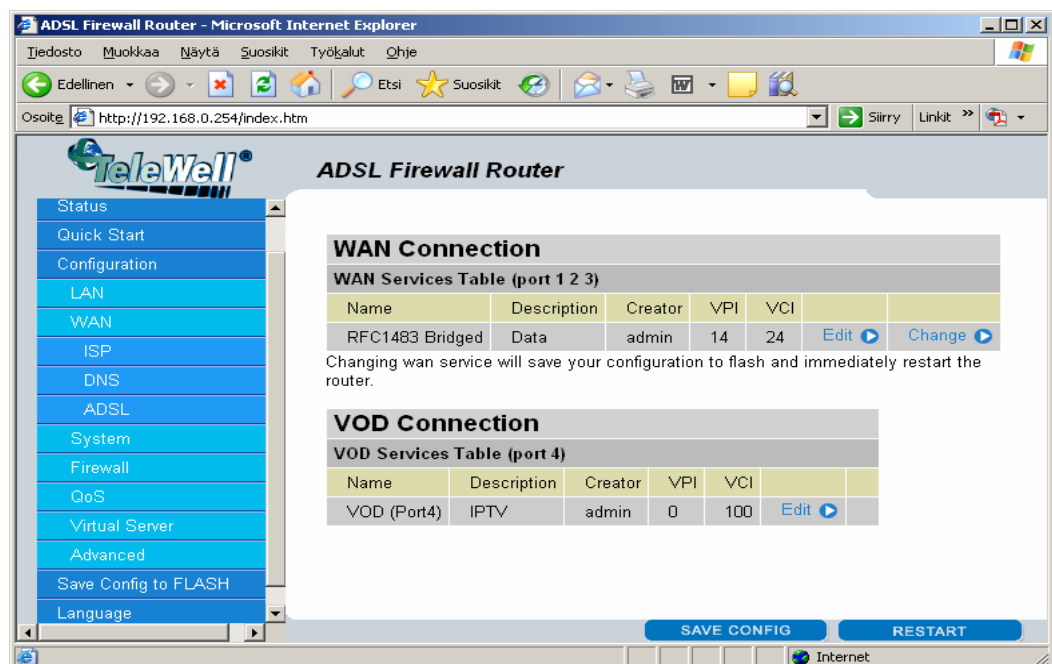
#### 4.3.4 2 PVC:n modeemi

PHP:llä on ollut testattavana Telewellin modeemeja, jotka tukevat myös 2 PVC:tä. 2:n PVC:n tarkoituksena on erottaa toisistaan data- ja videosignaalit. Tällöin data ja video toimivat eri loogisilla yhteyksillä, jolloin ne eivät häiritse toisiaan. Tämän kanavoinnin huonona puolena on se, että kummallekin varataan kiinteästi tietty kaistanleveys ja tätä kaistaa ei saada tarvittaessa toisen käyttöön, vaikka molempia ei käytettäisi yhtäaikaaisesti.

Tärkeimmät asetukset konfiguroidessa esimerkiksi TW716-modeemia, joka tukee kahta PVC:tä: 1) IGMP-snooping on laitettava päälle, jotta modeemi ymmärtää kuunnella IGMP viestejä (kuvio 21). 2) VPI/VCI-arvot on asetettava operaattorin arvoja vastaavaksi, PHP:n tapauksessa VPI on 0 ja VCI 100 käytettäessä televisiota ja 14/24 dataliikenteelle (kuvio 22). 3) Modeemin eri portit määritellään kuulumaan joko dataliikenteelle tai televisioliikenteelle. Kun portit on määritelty eri liikennetyypeille, ei kaikista porteista näy IPTV-lähetys, koska ryhmälähetyslähetysvirtaa ei lähetetä kaikkiin portteihin. 4) Modeemi on myös laitettava RFC 1483 Bridge-tilaan eli siltaamaan liikennettä reitityksen sijaan, koska se on PHP:n ADSL-toteutuksen mukainen tapa.



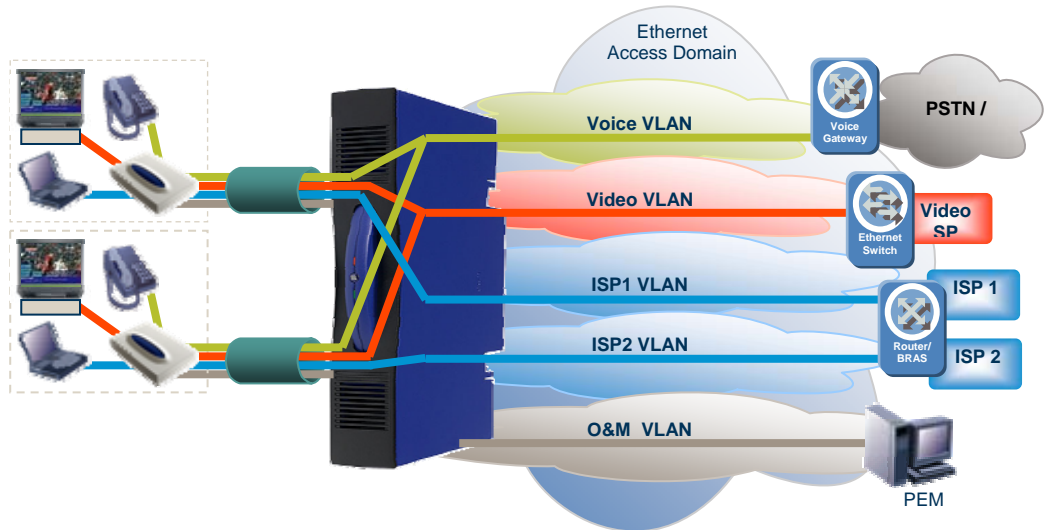
KUVIO 21. IGMP Snooping -tuki asetetaan päälle



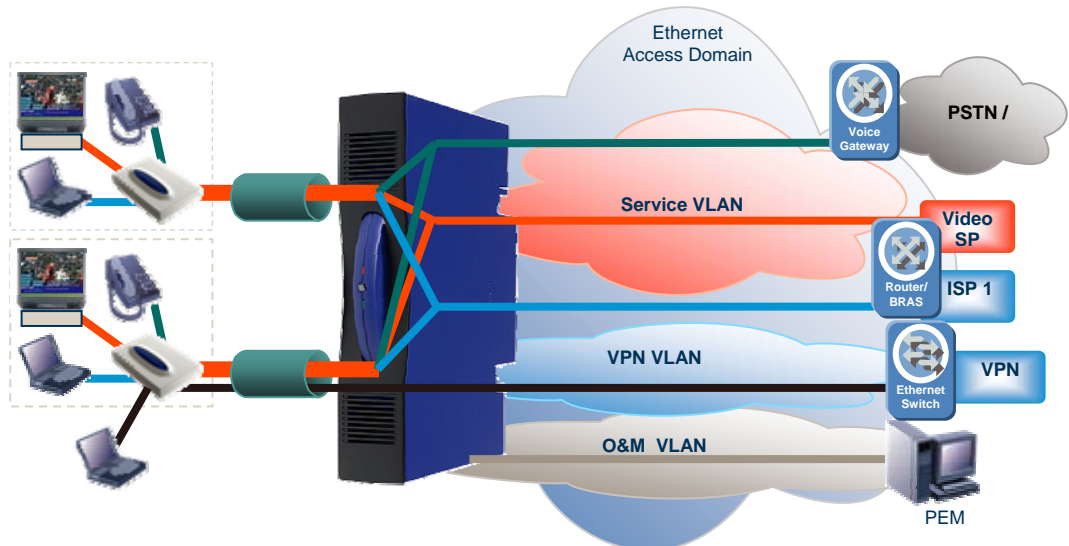
KUVIO 22. Portit 1 - 3 määritelty kuulumaan dataliikenteelle ja portti 4 on määritelty IPTV:tä varten

## 4.3.5 EDA 2.2

Ericsson DSL -tekniikkaan on kehitteillä ohjelmistopäivitys, jonka tarkoituksena olisi ratkaista ongelmat, jotka ilmenevät tällä hetkellä käytettäessä vain yhtä PVC-kanavaa. Kuviossa 23 on esitetty, kuinka liikennöinti toimii tällä hetkellä, ja kuviossa 24 kuvataan, kuinka se tulisi toimimaan tämän päivityksen jälkeen.



KUVIO 23. Usean palvelun toteutus usealla PVC:llä



KUVIO 24. Useiden palveluiden vienti yhdellä PVC:llä

EDA 2.2 -päivityksessä lanseerataan siis liikenteen priorisointi eli kaikki liikenne tuodaan yhdellä PVC:llä. Priorisoinnilla tarkoitetaan sitä, että pystytään antamaan data- ja videoliikenteelle omat priorisointitasonsa. Priorisointiarvo

määrää, kummalle medialle annetaan ensisijaisesti käytettävissä oleva kaista käyttöön. IPTV:ssä tätä pystytään hyödyntämään siten, että annetaan videolle ensisijainen prioriteetti, minkä avulla televisio saa kaiken tarvitsemansa kaistan käyttöönsä, jolloin muu dataliikennöinti ei häiritse kuvaa, vaan se saa käyttöönsä sen lopun kaistan, mikä jää vapaaksi. Toisaalta taas jos televisiota ei katsella, saa dataliikenne koko saatavilla olevan kaistanleveyden käyttöönsä.

Priorisointipäivityksellä kyettäisiin siis hyödyntämään kaistanleveys paremmin kuin tällä hetkellä, koska televisiolle ei jää käyttämätöntä ylimääräistä kaistanleveyttä, mikä on tilanne, jos kaistanleveydet on määritelty kiinteästi eri palveluille. Priorisointi tapahtuu prioriteettitavalla, joka Ethernet-kehyksessä on bitti 802.1p.

#### 4.3.6 Set-Top-Box

IPTV palvelua varten tarvitaan modeemin lisäksi oma päätelaite, joka muistuttaa digitaalisen antenniverkon päätelaitetta digiboxia. Erona perinteisen digiboxin ja Set-Top-Box:in (STB) välillä on lähinnä antenniliittimen korvaaminen Ethernet verkkoliitännällä. IPTV-sovittimissa on yleensä perusominaisuuksien lisäksi interaktiivisia ominaisuuksia. Näitä interaktiivisia ominaisuuksia on esimerkiksi sisäänrakennettu WEB-selain ja sähköinen ohjelmaopas. IPTV-sovittimen kaukosäädintä on mahdollista käyttää hiirenä, jotta www-selailu olisi mahdollista. Sovittimeen on myös mahdollista hankkia langaton näppäimistö, jossa on ohjauspallo, jonka avulla selailu helpottuu huomattavasti. Päätelaitteista valittiin testiin Kreatelin valmistama STB, malliltaan Kreatel 1510 (kuvio 25) ja Kreatel 1520, joka toimii salauksenpurkukortilla Conax CAS5. Päätelaite kiinnitetään SCART-liittimen avulla televisioon. Salauksenpurkukortilla saadaan näkyviin kanavat, jotka on tilattava erikseen palvelubtarjoajalta. Salattuja kanavia ovat mm. Canal+-kanavat.



KUVIO 25. Kreatellin 1510



Päätelaitteeseen on luotu oma päävalikko, josta löytyvät päätelaitteen tukemat palvelut. Kuviossa 26 näkyy ruutuun tuleva päävalikko. Päävalikosta päästään katsomaan sähköinen ohjelmaopas, josta löytyvät mm. ohjelmatiedot viikoksi eteenpäin eri kanaville. Kaikki kanavat eivät kuitenkaan lähetä tietoa tulevista ohjelmista, jolloin ohjelmatiedot eivät näy. Päävalikossa olevat tiedot on tallennettu päätelaitteen Middleware-ohjelmistoon.



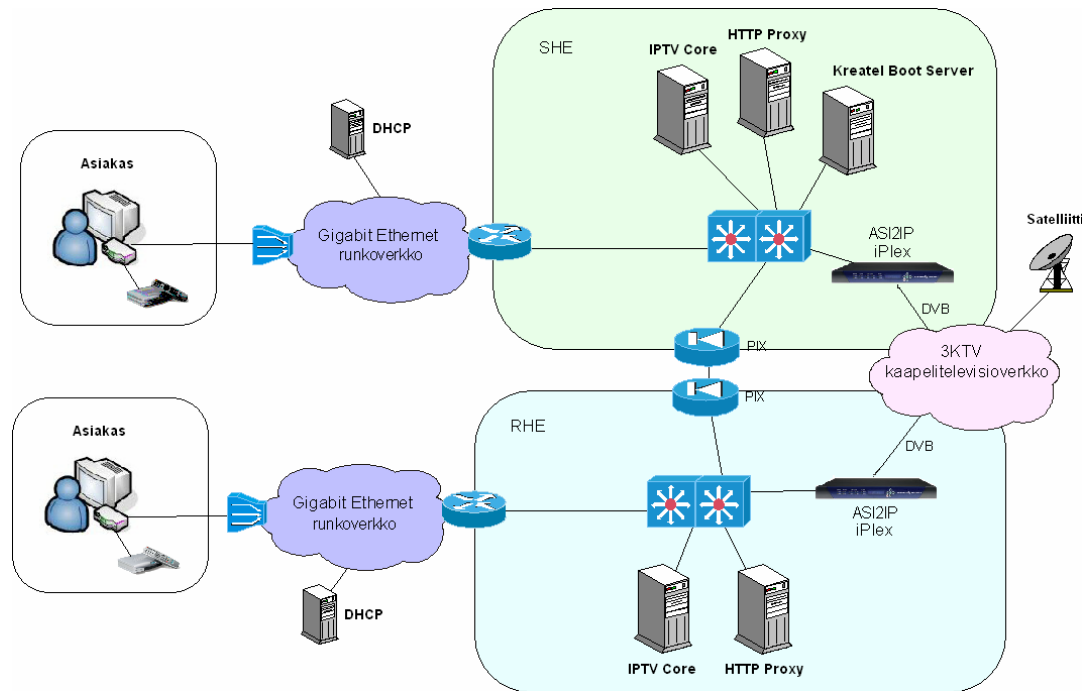
KUVIO 26. Päävalikko televisioruudulla

#### 4.4 PHP:n IPTV-toteutus

##### 4.4.1 Yleistä

PHP:n laajakaista TV-palvelussa on käytössä MPEG2-pakkausmenetelmä, jossa jokainen kanava on kaistanleveydeltään maksimissaan 5 Mbit/s. Tämän takia asiakkaalla täytyy olla vähintään 8 Mbit/s kaistaa, jotta laajakaista TV-palvelu saadaan toimimaan. Koska kanavia on yhteensä jaossa noin 70 kpl ja ne vievät maksimissaan 5 Mbit/s kaistaa, tarvitaan runkoverkossa kapasiteettia noin 350 Mbit/s, kun kaikkia kanavia jaetaan samanaikaisesti. Tähän 350 Mbit/s kaistanmäärään on varauduttava kaikissa verkon osissa. Niin runko-, alue- kuin liityntäverkoissakin.

#### 4.4.2 IPTV-toteutus palveluntarjoajalla



KUVIO 27. IPTV toimintaperiaate

Kuviossa 27 on esitetty IPTV-toteutuksen peruseriaatteet operaattorin näkökulmasta. Käyttäjän käynnistäessä STB:n se lähtee hakemaan ADSL-liitymän kautta DHCP-palvelimelta IP-osoitetta. Tämän jälkeen STB hakee Boot Serveriltä päätelaiteohjelmiston ja saa samalla tiedon HTTP-Proxyn IP-osoitteesta. Kreatel Boot Serverille on asetettu oletukseksi Harjukadun http-proxyn osoite. Http-Proxyn takaa löytyy myös kuormantasaajat, joiden tarkoituksena on uudelleen ohjata liikennettä. Kuormantasaajat ohjaavat liikenteen paikalliselle IPTV-Core-palvelimelle. STB:lle kerrotaan siis lähimmän Core-palvelimen IP-osoite. Core-palvelimesta löytyvät kanavatiedot eli mitä ryhmälähetys osoitetta kuuntelemalla mikäkin kanava löytyy. Suomen 3KTV:n valtakunnallisessa toteutuksessa eri paikkakunnille on asennettu omat http-Proxy- ja Core-palvelimet, mutta Boot Server löytyy vain yhdestä paikasta, josta kaikki STB:t hakevat tarvittavan ohjelmiston. Muilla paikkakunnilla http-Proxyn tarkoituksena on vain piilottaa muut palvelimet taakseen siten, että käyttäjät eivät voi nähdä sen takana olevia palvelimia. Boot Serveriltä tuleva päätelaitteen käynnistyksessä tarvittava ohjelmisto jaetaan muille puhelin-yhtiöille MSDP:llä Finnetin IP-verkkojen yli.

PHP:n IPTV-toteutuksessa lähete saadaan satelliittivastaanotolla, josta lähete ajetaan kaapelitelevisioverkossa MUXeille ja sieltä Skystreamin iPlex-laitteelle. iPlexin (kuvio 28) tarkoituksena on koodata DVB-lähete pakkaamalla se MPEG2 muotoon, jotta se voitaisiin edelleen lähettää dataverkoissa laajakaistaverkon kautta asiakkaille.



KUVIO 28. Skystream iPlex-laite

Digitaalisia televisiokanavia on useita, mutta niistä välitetään vain muutamia kerralla ADSL-liittymän läpi. Kanavanvaihto tässä tekniikassa on toteutettu ryhmälähetysviestien avulla. IPTV:ssä kanavan vaihto tapahtuu siten, että kun edellisen kanavan vastaanotto päättyy, niin uusi alkaa.

Set-Top-Box lähtee hakemaan uutta kanavaa IGMP-viestien avulla. IGMP-viestissä kerrotaan tilaajan halukkuus liittyä uuteen ryhmälähetysryhmään ja ilmoitus edellisestä ryhmälähetysryhmästä eroamisesta. Käytössä on IGMP versio 2. DSLAM välittää tämän IGMP-viestin lähimmälle reitittimelle. Reitittimen tehtäväksi jää välittää tämä ryhmälähetysviesti PIM-SM:n avulla. PIM-SM on ryhmälähetysprotokolla, jolla reitittimet keskustelevat keskenään.

#### 4.5 Alueverkko Ethernet-tekniikka ja konfiguraatiot

##### 4.5.1 Harjukatu-MCcore-I-gw

Harjukatu-MCcore-I-gw muodostuu kahdesta kytkimestä Cisco Catalyst 3750-12S:stä ja Cisco Catalyst 3750-24T:stä, jotka on yhdistetty yhdeksi laitteeksi. Tähän laitteeseen on kytketty kaikki IPTV:tä varten tarvittavat palvelimet, mm. iPlex-laitteet joita on kaksi kappaletta, jotta kuorma voidaan jakaa tasaisemmin.

Kytkimen tehtävänä on kytkeä siinä kiinni olevat laitteet oikeisiin VLANhin, ja niihin määritellään, mitä muotoa portti käyttää. Tässä tapauksessa käytetään access-muotoa ja VLAN 3:a. Liityntä, johon on laitettu päälle spanning-tree

portfast, siirtyy suoraan käyttämään spanning-tree edelleenlähetys tilaan ilman standardi välitysaika viiveen odotusta. Tämä toiminto määrittellään niihin access-portteihin, jotka on liitetty yksittäiseen työasemaan tai palvelimeen. Kuviossa 29 näkyy esimerkki yhden liittymän konfiguraatiosta.

```
interface FastEthernet2/0/4
description IPTV-Servers
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
```

KUVIO 29. Harjukatu-MCcore-I-gw palvelinliitännän konfiguraatio

Gigabit Ethernet-portit, jotka on liitetty iPlex-laitteisiin, on asetettu suojattuun tilaan. Kytkinporttien suojaus estää edelleen lähettämästä mitään liikennettä (unicast, multicast tai broadcast) mihinkään suojattuun porttiin. Liikennettä ei siis voida lähettää 2. kerroksen porttien välillä. Kaikki liikenne, joka liikkuu suojattujen porttien välillä, täytyy kierrättää reitittävän laitteen kautta. Portit ovat Protected tilassa, ettei ryhmälähetys pääse valumaan missään olosuhteissa 100 Mbit portteihin, koska esimerkiksi yksi iPlex syöttää reilusti yli 100 Mbit liikennettä. Liitteessä 1 on esitetty Harjukatu-MCcore-I-gw:n koko konfiguraatio, jossa IP-osoitteet eivät ole todellisia.

#### 4.5.2 Harjukatu-MCEdge-I-gw

Ciscon 7301-reititin on valittu IPTV-asiakkaiden terminointilaitteeksi. Harjukatu-MCEdge-I-gw:hen terminoidaan vain kaikki ne asiakkaat, jotka ovat tilanneet laajakaistatelevisiopalvelun. Tämän ansiosta tietoturva paranee ja vain palvelun tilanneet pääsevät osallisiksi ryhmälähetysjakeluun.

Terminointireititintä konfiguroidessa on otettava seuraavia asioita huomioon. 1) Reitittimeen on laitettava loopback-osoitteita kaksi kappaletta. Loopback0-osoitteen tarkoitus on olla looginen osoite, joka näkyy runkoverkkoon. 2) Porteilla GE0/0.11 ja GE0/1.15 on omat IP-osoitteet, loopback0-osoitetta käytetään näissä porteissa reitittimen OSPF-prosessin ”lähdeosoitteena” eli OSPF:n reititysmainostukset on sidottu loopback0 osoitteeseen. 3) Loopback1-liittymän

osoiteavaruudesta jaetaan osoitteita DHCP-prosessin avulla asiakkaille. Loopback1-osoitetta jaetaan kaikille PE-alueille, jolloin eri PE-alueille ei tarvitse jakaa omia osoiteavaruuksia. Tämän seurauksena säästetään IP-osoitteita. 4) PE-laitteiden liityntöihin laitetaan komento ”ip unnumbered Loopback1”, minkä avulla liitetään loopback1-osoiteavaruus kyseiseen liityntään ja saadaan kyseistä osoiteavaruudesta IP-osoite tälle liitynnälle sekä jaetaan osoitteet käyttäjille.

```
interface GigabitEthernet0/0.11
encapsulation dot1Q 11
ip address 10.44.255.110 255.255.255.0
no ip redirects
no ip unreachable
ip pim sparse-mode
ip ospf cost 5000
no snmp trap link-status
```

KUVIO 30. Harjukatu-MCEdge-I-gw-reitittimen GE0/0.11-aliliitynnän konfiguraatio

Aliliitynnöille määritellään kehystystasoksi IEEE 802.1Q (dot1Q). Tämä määritellään aliliitynnän alle ja perään laitetaan VLAN ID -numero. VLAN ID -numero määrittelee, mihin VLAN:iin liikenne ohjataan. Tässä tapauksessa liikenne reititetään VLAN 11:stä. Käytössä ei ole ICMP-viestien uudelleenohjausta. Liityntään on laitettava, mitä ryhmälähetysprotokolla muotoa käytetään. Tässä tapauksessa käyttöön on otettu PIM-SM-ryhmälähetysprotokolla, jonka avulla ryhmälähetys paketit edelleen lähetetään. OSPF-linkin cost-arvot on määritelty, jottei runkoliikenne lähde vikatilanteissa kiertämään terminointilaitteiston kautta.

Ryhmälähetysreititys on laitettava päälle, jotta reititin yleensä välittää ryhmälähetysviestejä. Antamalla komento ”ip multicast-routing” saadaan ryhmälähetysreititys laitettua päälle. Liitynnöille on tärkeää antaa hyvät kuvaukset, jotta vikatapauksissa on helpompi lähteä selvittämään vikaa, kun tiedetään, mihin mikäkin liityntä menee.

PE-laitteisiin meneviin liityntöihin laitetaan myös kehystystavaksi IEEE 802.1Q. Ip helper-address -komennolla saadaan yksilöityä, mitä DHCP-palvelinta käytetään. Pääsilystoja on tärkeää käyttää, jotta saadaan liikennöinnistä turvallisempaa. Pääsilystojen tehtävä on suodattaa ei-toivottua liikennöintiä verkossa. Niiden avulla voidaan estää ja sallia tiettyä liikennettä tiettyyn liityntään ja sieltä pois. PE-laitteille meneviin liityntöihin määritellään IGMP:n liittymisryhmä multicast-osoitteeseen 224.2.2.2, joka on määritelty sitä varten, ettei STB tilaa aina päällä ollessaan tätä ryhmäosoitetta. Komennolla "ip pim neighbor-filter 2" suodatetaan pääsilysta 2:n mukaiset PIM-viestit, mikä estää sen, ettei asiakassuunnasta saada muodostettua PIM-naapuruutta. PE-laitteisiin meneviin liityntöihin tuleva konfiguraatio on kuvion 31 mukainen. Käytetyt IP-osoitteet eivät ole todellisia. Liitteessä 2 on esitetty Harjukatu-MCEdge-I-gw:n koko konfiguraatio. Konfiguraatiossa esiintyvät IP-osoitteet eivät ole todellisia.

```
interface GigabitEthernet0/2.455
description Nastola-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 455
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
```

KUVIO 31. Harjukatu-MCEdge-I-gw PE-laitteelle menevän liitynnän konfiguraatio

## 5 ANALYYSI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 IPTV-toteutuksen ongelmat

IPTV-toteutuksen luonti kaikkialle PHP:n markkina-alueella tulee olemaan haasteellista. Ongelma syntyy paikoitellen liian harvasta DSLAM-tiheydestä, jolloin tilaajajohtojen pituudet kasvavat sellaisiksi, ettei 8 Mbps nopeuksiin päästä. Sama ongelma tulee alueittain jo lyhyilläkin matkoilla, koska kuparikaapeleiden laatu on paikoittain heikkoa.

Ongelmia on ollut myös Kreatellin päätelaitteissa ja EDA DSL -tekniikassa. Päätelaitteessa ilmeni ongelma DHCP-kyselyiden suhteen, jolloin päätelaite jäi heti käynnistettäessä silmukkaan, tästä syystä kuvaa ei missään vaiheessa saatu televisioruudulle asti. Käytännössä EDA:n lähettämä gratuitous-ARP aiheutti kyseisen ongelman. Päivityksien myötä tästä ongelmasta päästiin.

### 5.2 DSL-liitynnän toteutustavan valinta

Vaihtoehtoisia toteutustapoja oli aluksi kaksi. Toteutettaisiinko lopullinen versio yhdellä vai kahdella PVC:llä. Toteutustapoja ei voi olla useampia, koska erilaiset toteutustavat olisivat tehneet ongelmien ratkaisusta erittäin vaikeaa. PHP:llä päädyttiin valitsemaan yhden PVC:n toteutus. 2:lla PVC:llä toteutetut ratkaisut olisivat olleet paljon monimutkaisempia modeemin konfiguraation osalta, sillä siinä on muutettava useampiakin asioita tehdasasetuksiin nähden, kun taas yhden PVC:n ratkaisussa tältä vaivalta vältytään. Asiakkailta kun ei voi odottaa teknistä tietämystä niin paljoa, että he osaisivat itse määritellä asetukset modeemiin, jos se jostain syystä palautuisi takaisin tehdasasetuksiin.

Valintaan vaikutti myös Ericssonilla kehitteillä oleva päivitys. Päivityksessä saataisiin kaistanleveys käytettyä käytön mukaan ja priorisoitua kaistanleveyden käyttö siten, että televisiokaista saa ensisijaisesti kaistan käyttöön. Tämän päivityksen myötä saataisiin loppukäyttäjän kannalta hyödyllisin ratkaisu, mikä takaisi kaistanleveyden täyden hyödyntämisen.

### 5.3 Johtopäätökset

PHP:n IPTV toteutus saatiin päätökseen tammikuussa 2006. Tuotteen kehitys vaiheessa ongelmia oli kuvan pätkimisessä ja päätelaitteen jumittumisessa niin, että päätelaite oli käynnistettävä useita kertoja päivässä uudestaan. Näistä selviytymisen jälkeen tuli kyseeseen tuotteen lanseeraus markkinoille. Vastaavat palvelut toteuttavia kilpailevia tekniikoita on tälläkin hetkellä useita, mikä asettaa haasteita markkinoinnille. Lähinnä laajakaistatelevisio on suunniteltu kotitalouksille, joihin ei ole mahdollista saada kaapelitelevisiota, sekä taloudet, joissa on vähintään 8 Mbit ADSL-liittymä.

Tuotteen menestys tulee perustumaan sen tuomiin uusiin ominaisuuksiin, joita ei aikaisemmin olla pystytty tekemään television välityksellä. Euroopassa vastaavanlainen toteutus on saanut asiakkailta suurta kiinnostusta juuri sen interaktiivisten ominaisuuksiensa takia.

IPTV-tuotteesta saatiin toimiva ja siihen saatiin lanseerattua myös toimiva internet selain, salattujen kanavien purku sekä tekstitys eri kielillä. Myös sähköpostin käyttö on mahdollista.



## 6 TULEVAISUUS

Useimmissa talouksissa on jo saatavilla televisiosignaali joko kaapeliverkon tai antenniverkon kautta. Tämä saakin pohtimaan, löytyykö vielä yhdenlaiselle jakelumuodolle käyttäjiä, kun digitaalinen televisiolähetys on jo muutenkin saatavilla. IPTV-ratkaisun etuina voidaan pitää sen lisäominaisuuksia verrattaessa tavalliseen kaapeli- tai antenniverkossa lähetettävään digitaaliseen televisiokuvaan. Näitä interaktiivisia palveluja on tällä hetkellä sähköinen ohjelmaopas eli EGP, sähköposti, chat ja Internet-palvelut. Nämä lisäpalvelut tulevat olemaan valtteja, kun pohditaan, mitä television jakelukanavaa halutaan käyttää, koska tämän avulla pystytään hoitamaan monta asiaa yhden laitteen avulla, kun aikaisemmin tähän on tarvittu useampi laite.

Tulevaisuudessa operaattoreiden kannattaa panostaa vuorovaikutteisten palvelujen kehittämiseen ja uusien ominaisuuksien luontiin juuri IPTV:n päälle.

Tulevaisuuden palveluja voisivat olla esimerkiksi tilausvideo-palvelu, jossa kovalevyllä voidaan tilata haluama video ja sitä voidaan katsoa esimerkiksi vuorokauden ajan. Tämän avulla säästytään videovuokraamoiden myöhästymismaksuilta, kun ei tarvitse lähteä erikseen palauttamaan vuokraelokuvia, vaan oikeus katseluun on vain tietty aika ostohetkestä lähtien. Nykypäivänä on myös totuttu reaaliaikaiseen kommunikointiin ystävien kanssa. IPTV-palveluksi voitaisiin kehittää Windows käyttöjärjestelmästä tuttua Messenger-ohjelmaa, jonka avulla kommunikointi reaaliaikaisesti toimisi helposti kotisohvalta. Tähän palveluun yhdistettynä videokeskustelut olisivat varmasti kuluttajia kiinnostava interaktiivinen palvelu.

HDTV:n tullessa myös IPTV-jakeluun tulee ajankohtaiseksi myös siirtyminen MPEG2-pakkauksesta MPEG4-pakkaukseen, minkä avulla kaistan kulutusta saadaan pienennettyä huomattavasti nykyisestä. MPEG4-pakkauksen ansiosta asiakkaan ei tarvitsisi enää olla edes 8 Mbps liittymää saadakseen televisiokuvan näkymään vaan palvelu saataisiin toimitettua myös asiakkaille, joilla on käytettävissä vain pienemmät tiedonsiirtonopeudet.

Tulevaisuudessa tärkeää on myös televisiokuvan priorisoinnin käyttöönotto, jonka avulla pystytään antamaan ensisijainen prioriteetti televisiolähetykselle, jolloin

Internetin käyttö ei enää missään tilanteessa häiritse televisiokuvaa. Priorisoimalla ryhmälähetys ensisijaiseksi saadaan tietty tarvittava kaista ryhmälähetetykselle ja loppukaista jää verkon muille koneille. Jos televisio ei ole käytössä, saadaan niiden päätelaitteiden tietokoneille käyttöön koko saatavilla oleva kaista.

Tulevaisuudessa voitaisiin kehittää myös Internetsovelluksia enemmän IPTV-ystävällisiksi. Tällaisia sovelluksia voisi olla muun muassa web-kamerayhteyksiä, webkonfressit, web-puhelut ja videopuhelut. Near Video-on-Demand-palvelussa (N-VoD) samaa ohjelmaa ajetaan eri kanavilla eri aikavälein aloitettuna. Urheilukilpailusta voidaan lähettää eri kanavilla eri kuvakulmia tai eri tapahtumia. Elokuvalle voi olla tarjolla vaihtoehtoisia loppuratkaisuja. Vuorovaikutteiset televisiopalvelut voivat olla edellä kuvattujen lisäksi myös pelejä, ostospalveluja, pankkipalveluja ja erilaisia tietopalveluja.

Tekniikan jatkuva kehitys mahdollistaa tulevaisuudessa yhä monipuolisempien palveluiden toteuttamisen laajakaistaverkoissa. IPTV-palvelut ovatkin vasta kehitysvaiheessa, ja tulevaisuudessa tullaan näkemään yhä useamman palvelun toteuttaminen yhdellä laitteella.

## LÄHTEET

- Cisco. Cisco Gigabit-Ethernet Optimized IPTV/Video over Broadband Solution Design and Implementation Guide, Release 1.0 [verkkodokumentti]. Cisco, 2005 [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa: [http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/netsol/ns88/c2001/ccmigration\\_09186a00804abd31.pdf](http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/netsol/ns88/c2001/ccmigration_09186a00804abd31.pdf)
- Cisco. Fundamentals of IP Multicast, Module 1 [verkkodokumentti]. Cisco, 2001a [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa: <ftp://ftp-eng.cisco.com/ipmulticast/training/Module1.pdf>
- Cisco. Internet Protocol Multicast [verkkodokumentti]. Cisco, 2002 [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa: [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/ipmulti.htm#xtocid4](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ipmulti.htm#xtocid4)
- Cisco. Introduction to Gigabit Ethernet [verkkodokumentti]. Cisco, 2000 [viitattu 14.3.2006]. Saatavissa: [http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/lnty/etty/ggetty/tech/gigbt\\_tc.pdf](http://www.cisco.com/warp/public/cc/techno/lnty/etty/ggetty/tech/gigbt_tc.pdf)
- Cisco. Introduction to MPLS [koulutusmateriaali]. Cisco, 2004a [viitattu 27.2.2006].
- Cisco. MPLS advanced concepts and developments in MPLS [koulutusmateriaali]. Cisco, 2004b [viitattu 3.3.2006].
- Cisco. PIM Dense Mode, Module 3 [verkkodokumentti]. Cisco 2001b. [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa: <ftp://ftp-eng.cisco.com/ipmulticast/training/Module3.pdf>
- Cisco. PIM Sparse Mode, Module 5 [verkkodokumentti]. Cisco 2001c. [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa: <ftp://ftp-eng.cisco.com/ipmulticast/training/Module5.pdf>
- Spurgeon, C. 2001. Ethernet-tehokäyttäjän opas. Gummerus Kirjapaino Oy, Helsinki
- Falck, K. 2005. Televisio siirtyy Tietoverkkoon. Tietokone 5/2005, 43 - 45.

Iec.org. Asynchronous Transfer Mode (ATM) Fundamentals [verkkodokumentti].  
iec.org, 2004 [viitattu 30.1.2006]. Saatavissa:

[http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/atm\\_fund.pdf](http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/atm_fund.pdf)

Iec.org. Multiprotocol Label Switching (MPLS) [verkkodokumentti]. iec.org,  
2005 [viitattu 26.1.2006]. Saatavissa:

<http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/mpls.pdf>

Karen, W. 2001. Building Cisco Multilayer Switched Networks. Cisco Press,  
USA.

Laajakaistainfo. Internet-liityntämuoto [verkkodokumentti]. Laajakaistainfo, 2005  
[viitattu 10.1.2006]. Saatavissa: <http://www.laajakaistainfo.fi/teknologiat/>

Liikenne ja viestintävirasto. Laajakaistatekniikoiden kehitys 1995 - 2010  
[verkkodokumentti]. Liikenne ja viestintävirasto, 2004 [viitattu 19.9.2005].

Saatavissa: [http://www.mintc.fi/oliver/upl899-53\\_2004.pdf](http://www.mintc.fi/oliver/upl899-53_2004.pdf)

Ondems. Ondems Media Gateway – User manual [verkkodokumentti]. Ondems,  
2005 [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa: <http://www.dektec.com/Products/DTX-440/Downloads/DTX-440.pdf>

RFC. RFC 2236 - Internet Group Management Protocol, Version 2  
[verkkodokumentti]. RFC 2236, 1997 [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa:  
<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2236.html> (RFC 2236 15.11.2005)

Skystream. The iPlex Video Headend Platform. [verkkodokumentti]. Skystream,  
2005 [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa:

[http://www.skystream.com/products/ipler\\_ds.pdf](http://www.skystream.com/products/ipler_ds.pdf)

Ficora. Viestintäverkkojen kehitys [verkkodokumentti]. Ficora, 2002 [viitattu  
19.9.2005]. Saatavissa:

[http://www.ficora.fi/suomi/document/Viestintaverkkojenkehitys\\_raportti.pdf](http://www.ficora.fi/suomi/document/Viestintaverkkojenkehitys_raportti.pdf)

Tieke. Suomalaisen tiedon valtatie tekninen kehitys [verkkodokumentti]. Tieke,  
1997 [viitattu 3.3.2006]. Saatavissa:

<http://palvelut.tieke.fi/arkisto/tiveke/raportit/tekeh1.htm>

Teräs, V. Tietoliikenneasiantuntija. Päijät-Hämeen Puhelin Oyj, Harjukatu 28, 15110 Lahti. Haastattelu 8.2.2006.

Zyxel. IGMP Snooping [verkkodokumentti]. Zyxel, 2003 [viitattu 3.3.2006].

Saatavissa:

<http://www.zyxel.com/support/supportnote/ies1000/app/igmpsnoop.htm>

## LIITTEET

## LIITE 1 Harjukatu-MCcore-I-gw

```
!  
version 12.2  
no service pad  
service timestamps debug datetime localtime  
service timestamps log datetime localtime  
no service password-encryption  
!  
hostname Harjukatu-MCCore-I-gw  
!  
enable secret  
!  
aaa new-model  
aaa group server radius Portsari  
server 10.44.244.127 auth-port 1645 acct-port 1646  
!  
aaa authentication login palvelin group Portsari line  
aaa authentication login konsoli line  
aaa accounting exec palvelin start-stop group Portsari  
!  
aaa session-id common  
switch 1 provision ws-c3750g-12s  
switch 2 provision ws-c3750-24ts  
ip subnet-zero  
ip routing  
no ip domain-lookup  
!  
ip multicast-routing distributed  
!  
!  
no file verify auto  
spanning-tree mode pvst  
no spanning-tree optimize bpdu transmission  
spanning-tree extend system-id  
!  
vlan internal allocation policy ascending  
!  
!  
interface Loopback0  
ip address 10.165.129.245 255.255.255.255  
!  
interface GigabitEthernet1/0/1  
description ASI2IP (192.168.10.1)(GigabitEthernet)  
switchport access vlan 3  
  
switchport mode access  
switchport protected
```

## LIITE 1. (jatkuu)

```
!  
interface GigabitEthernet1/0/2  
  description ASI2IP (192.168.10.10)(GigabitEthernet)  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  switchport protected  
!  
interface GigabitEthernet1/0/3  
!  
interface GigabitEthernet1/0/4  
!  
interface GigabitEthernet1/0/5  
!  
interface GigabitEthernet1/0/6  
!  
interface GigabitEthernet1/0/7  
!  
interface GigabitEthernet1/0/8  
!  
interface GigabitEthernet1/0/9  
!  
interface GigabitEthernet1/0/10  
!  
interface GigabitEthernet1/0/11  
  description Harjukatu-P-I-gw (Dot1q)(GigabitEthernet9/2)  
  no switchport  
  ip address 10.44.255.111 255.255.255.0  
  ip access-group deny-server-block in  
  no ip redirects  
  no ip unreachable  
  ip pim sparse-mode  
  ip ospf cost 5000  
!  
interface GigabitEthernet1/0/12  
  description Harjukatu-P-II-gw (Dot1q)(GigabitEthernet1/2)  
  no switchport  
  ip address 20.175.255.111 255.255.255.0  
  ip access-group deny-server-block in  
  no ip redirects  
  no ip unreachable  
  ip pim sparse-mode  
  ip ospf cost 5000  
!  
interface FastEthernet2/0/1  
  description Kreatel-Boot-Server-I  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast
```

## LIITE 1. (jatkuu)

```
!  
interface FastEthernet2/0/2  
  description IPTV-Core  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/3  
  description Konehuone  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/4  
  description IPTV-Servers  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/5  
  description Kreatel-Boot-Server-II testi  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/6  
  description IPTV-Servers  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/7  
  description IPTV-Servers  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/8  
  description IPTV-Servers  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/9  
  description Set-Top-Boxille  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
  switchport access vlan 3
```



```
LIITE 1. (jatkuu)
!
interface FastEthernet2/0/10
description IPTV-Servers
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/11
description DigiTV-II-sw (portti 3)
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/12
description IPTV-Servers
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/13
description HTTP-Proxy
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/14
description IPTV-Servers
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/15
description TH0001
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/16
description IPTV-Servers
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
interface FastEthernet2/0/17
description Ahtaaja
switchport access vlan 3
switchport mode access
spanning-tree portfast
```

## LIITE 1. (jatkuu)

```
!  
interface FastEthernet2/0/18  
  description Kuormuri  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/19  
  description PHNet-Internet  
  switchport access vlan 3  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/20  
  description CAS7 VPN  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/21  
  description IPTV-Firewall  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
  speed 100  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/22  
  description PHNet-Internet  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/23  
  description Harjukatu-PE-III-gw (Dot1q)(Gigabit Ethernet 2/11)  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
  speed 100  
  duplex full  
  spanning-tree portfast  
!  
interface FastEthernet2/0/24  
  description HTTP-Proxy  
  switchport access vlan 2  
  switchport mode access  
  spanning-tree portfast  
!  
interface GigabitEthernet2/0/1  
!
```

## LIITE 1. (jatkuu)

```
interface GigabitEthernet2/0/2
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
interface Vlan3
description IPTV-Servers
ip address 192.168.10.254 255.255.255.0 secondary
ip address 10.165.168.33 255.255.255.240
no ip redirects
no ip unreachable
ip pim sparse-mode
!
router ospf 1
router-id 10.165.129.245
log-adjacency-changes
auto-cost reference-bandwidth 10000
redistribute connected metric-type 1 subnets route-map redistribute-to-ospf
redistribute static metric-type 1 subnets route-map redistribute-to-ospf
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet1/0/11
no passive-interface GigabitEthernet1/0/12
network 10.44.192.0 0.0.63.255 area 1
network 10.165.128.0 0.0.63.255 area 1
network 20.175.128.0 0.0.127.255 area 1
maximum-paths 2
!
ip classless
ip http server
ip http access-class 10
ip http secure-server
!
ip pim rp-address 10.165.129.245 iplex-stream
ip pim rp-address 10.165.129.244 boot-stream
ip radius source-interface Loopback0
!
ip access-list standard boot-stream
permit 224.2.2.252
permit 224.2.2.2
permit 224.3.2.2
permit 224.3.2.11
permit 224.2.2.11
permit 224.3.2.13
permit 224.2.2.13
ip access-list standard iplex-stream
permit 230.0.0.0 0.255.255.255
!
```

## LIITE 1. (jatkuu)

```
ip access-list extended deny-server-block
 permit tcp any 10.165.168.32 0.0.0.15 eq 22
 deny ip any 10.165.168.32 0.0.0.15
 permit ip any any
!
ip prefix-list phnet-networks seq 5 permit 10.165.128.0/18 le 32
ip prefix-list phnet-networks seq 10 permit 10.44.192.0/18 le 32
ip prefix-list phnet-networks seq 15 permit 20.175.128.0/17 le 32
ip prefix-list phnet-networks seq 20 deny 0.0.0.0/0 le 32
access-list 3 deny 192.168.10.110
access-list 10 permit 10.44.244.0 0.0.0.255
access-list 20 deny any
route-map redistribute-to-ospf permit 10
 match ip address prefix-list phnet-networks
!
route-map redistribute-to-ospf deny 20
!
snmp-server community PHP94 RO
radius-server host 10.44.244.127 auth-port 1645 acct-port 1646
radius-server source-ports 1645-1646
radius-server key
!
control-plane
!
line con 0
 password 7 11391C091E190A0D0A7B
 login authentication konsoli
 stopbits 1
line vty 0 4
 access-class 99 in
 exec-timeout 30 0
 password 7 040B060F1C354D4408
 accounting commands 15 palvelin
 accounting exec palvelin
 login authentication palvelin
line vty 5 15
 access-class 99 in
 password 7 15420605173E2A2E29
 accounting commands 15 palvelin
 accounting exec palvelin
 login authentication palvelin
!
ntp clock-period 36028920
ntp server 10.165.128.130
!
end
```

## LIITE 2. Harjukatu-MCEdge-I-gw

```
!  
version 12.4  
no service pad  
service timestamps debug datetime localtime  
service timestamps log datetime  
service password-encryption  
!  
hostname Harjukatu-MCEdge-I-gw  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
logging console warnings  
enable secret  
!  
aaa new-model  
!  
aaa group server radius Portsari  
  server 10.44.244.127 auth-port 1645 acct-port 1646  
!  
aaa authentication login palvelin group Portsari line  
aaa authentication login konsoli line  
aaa accounting exec palvelin start-stop group Portsari  
!  
aaa session-id common  
!  
resource policy  
!  
ip subnet-zero  
!  
!  
ip cef  
ip host tftp 10.44.244.205  
ip dhcp relay information policy keep  
no ip dhcp relay information check  
!  
!  
ip multicast-routing  
!  
!  
class-map match-all iptv-stream  
  match access-group 1  
!  
!  
policy-map iptv  
  class iptv-stream  
    set cos 7  
!
```

```
LIITE 2. (jatkuu)
!
interface Loopback0
ip address 10.165.129.164 255.255.255.255
!
interface Loopback1
ip address 20.175.164.1 255.255.254.0
!
interface GigabitEthernet0/0
description Harjukatu-P-I-gw (Dot1q)(GigabitEthernet1/1)
no ip address
no ip route-cache cef
load-interval 30
duplex auto
speed auto
media-type gbic
negotiation auto
!
interface GigabitEthernet0/0.11
encapsulation dot1Q 11
ip address 10.44.255.110 255.255.255.0
no ip redirects
no ip unreachablees
ip pim sparse-mode
ip ospf cost 5000
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/0.30
encapsulation dot1Q 30
ip address 10.20.0.26 255.255.255.0
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/1
description Harjukatu-P-II-gw (Dot1q)(GigabitEthernet7/8)
no ip address
no ip route-cache cef
duplex auto
speed auto
media-type rj45
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet0/1.15
encapsulation dot1Q 15
ip address 20.175.255.110 255.255.255.0
no ip redirects
no ip unreachablees
ip pim sparse-mode
ip ospf cost 5000
no snmp trap link-status
!
```

## LIITE 2. (jatkuu)

```
interface GigabitEthernet0/2
description Harjukatu-PE-III-gw (EoMPLS)(GigabitEthernet4/1)
no ip address
no ip route-cache cef
load-interval 30
duplex auto
speed auto
media-type rj45
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet0/2.451
description Salpakangas-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 451
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.453
description Laune-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 453
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.454
description Heinola-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 454
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
```

## LIITE 2. (jatkuu)

```
!  
interface GigabitEthernet0/2.455  
description Nastola-PE-i-gw  
encapsulation dot1Q 455  
ip dhcp relay information trusted  
ip unnumbered Loopback1  
ip access-group koti-baana out  
ip helper-address 10.20.0.10  
ip pim neighbor-filter 2  
ip pim sparse-mode  
ip igmp join-group 224.2.2.2  
ip cgmp  
no snmp trap link-status  
!  
interface GigabitEthernet0/2.456  
description Kiverio-PE-i-gw  
encapsulation dot1Q 456  
ip dhcp relay information trusted  
ip unnumbered Loopback1  
ip access-group koti-baana out  
ip helper-address 10.20.0.10  
ip pim neighbor-filter 2  
ip pim sparse-mode  
ip igmp join-group 224.2.2.2  
ip cgmp  
no snmp trap link-status  
!  
interface GigabitEthernet0/2.458  
description Ahtiala-PE-i-gw  
encapsulation dot1Q 458  
ip dhcp relay information trusted  
ip unnumbered Loopback1  
ip access-group koti-baana out  
ip helper-address 10.20.0.10  
ip pim neighbor-filter 2  
ip pim sparse-mode  
ip igmp join-group 224.2.2.2  
ip cgmp  
no snmp trap link-status  
!  
interface GigabitEthernet0/2.459  
description Mukkula-PE-i-gw  
encapsulation dot1Q 459  
ip dhcp relay information trusted  
ip unnumbered Loopback1  
ip access-group koti-baana out  
ip helper-address 10.20.0.10  
ip pim neighbor-filter 2
```



## LIITE 2. (jatkuu)

```
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.460
description Mukkula-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 460
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.463
description Harjukatu-PE-iv-gw
encapsulation dot1Q 463
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
service-policy output iptv
!
interface GigabitEthernet0/2.464
description Simola-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 464
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.467
description Nikula-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 467
```

LIITE 2. (jatkuu)

```
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
LIITE 2. (jatkuu)
```

```
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.469
description Vierumaki-PE-i-gw
encapsulation dot1Q 469
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
!
interface GigabitEthernet0/2.472
description Harjukatu-PE-v-gw
encapsulation dot1Q 472
ip dhcp relay information trusted
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 224.2.2.2
ip cgmp
no snmp trap link-status
service-policy output iptv
!
interface ATM1/0
no ip address
load-interval 30
no atm ilmi-keepalive
!
interface ATM1/0.35 point-to-point
description KTV
ip dhcp relay information option subscriber-id 136911
ip unnumbered Loopback1
```

## LIITE 2. (jatkuu)

```

ip access-group koti-baana out
ip verify unicast source reachable-via rx
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp immediate-leave group-list 1
atm route-bridged ip
pvc 136911 11/35
  encapsulation aal5snap
!

interface ATM1/0.42 point-to-point
description DNA-TV
ip dhcp relay information option subscriber-id yh12448
ip unnumbered Loopback1
ip access-group koti-baana out
ip verify unicast source reachable-via rx
ip helper-address 10.20.0.10
ip pim neighbor-filter 2
ip pim sparse-mode
ip igmp immediate-leave group-list 1
atm route-bridged ip
pvc yh12448 11/42
  encapsulation aal5snap
!
!
router ospf 1
router-id 10.165.129.164
log-adjacency-changes
auto-cost reference-bandwidth 10000
summary-address 20.175.164.0 255.255.254.0
redistribute connected metric-type 1 subnets route-map redistribute-to-ospf
redistribute static metric-type 1 subnets route-map redistribute-to-ospf
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet0/0.11
no passive-interface GigabitEthernet0/1.15
network 10.44.192.0 0.0.63.255 area 1
network 10.165.128.0 0.0.63.255 area 1
network 20.175.128.0 0.0.127.255 area 1
maximum-paths 2
!
ip classless
ip route 20.175.164.3 255.255.255.255 GigabitEthernet0/2.472
ip route 20.175.164.4 255.255.255.255 ATM1/0.42
!
no ip http server
!
ip pim rp-address 10.165.129.245 iplex-stream

```

## LIITE 2. (jatkuu)

```

ip pim rp-address 10.165.129.244 boot-stream
ip mroute 192.168.10.0 255.255.255.0 10.165.129.245
!
!
ip prefix-list phnet-networks seq 5 permit 10.165.128.0/18 le 32
ip prefix-list phnet-networks seq 10 permit 10.44.192.0/18 le 32
ip prefix-list phnet-networks seq 15 permit 20.175.128.0/17 le 32
ip prefix-list phnet-networks seq 20 deny 0.0.0.0/0 le 32
!
ip access-list standard boot-stream
  permit 224.2.2.252
  permit 224.2.2.2
  permit 224.3.2.2

  permit 224.3.2.11
  permit 224.2.2.11
  permit 224.3.2.13
  permit 224.2.2.13
ip access-list standard iplex-stream
  permit 230.0.0.0 0.255.255.255
!
ip access-list extended koti-baana
  permit tcp any 20.175.164.0 0.0.1.255 established
  permit udp any 20.175.164.0 0.0.1.255 gt 1023
  permit tcp any 20.175.164.0 0.0.1.255 gt 1023
  permit icmp any 20.175.164.0 0.0.1.255
  permit tcp any 20.175.164.0 0.0.1.255 eq ident
  permit udp any 20.175.164.0 0.0.1.255 eq isakmp
  permit ahp any 20.175.164.0 0.0.1.255
  permit esp any 20.175.164.0 0.0.1.255
  permit gre any 20.175.164.0 0.0.1.255
  permit 41 any 20.175.164.0 0.0.1.255
  permit tcp any 20.175.164.0 0.0.1.255 eq 389
  permit tcp any 20.175.164.0 0.0.1.255 eq 522
  permit udp any 20.175.164.0 0.0.1.255 eq ntp
  permit tcp any 20.175.164.0 0.0.1.255 eq 264
  permit udp 10165.168.32 0.0.0.16 any
  permit udp any eq 22222 any
  permit udp any eq 1111 any
ip radius source-interface Loopback0
access-list 1 permit 230.0.0.0 0.255.255.255
access-list 1 permit 224.0.0.0 0.255.255.255
access-list 1 permit 192.168.10.0 0.0.0.255
access-list 2 deny any
access-list 10 permit 10.44.244.0 0.0.0.255
access-list 22 permit 20.175.164.120
snmp-server community PHP94 RO
!

```

## LIITE 2. (jatkuu)

```
route-map redistribute-to-ospf permit 10
  match ip address prefix-list phnet-networks
!
route-map redistribute-to-ospf deny 20
!
!
!
radius-server host 10.44.244.127 auth-port 1645 acct-port 1646
radius-server key
!
control-plane
!
!
!
line con 0
  password

login authentication konsoli
  stopbits 1
line aux 0
  stopbits 1
line vty 0 4
  access-class 99 in
  exec-timeout 30 0
  password
  accounting commands 15 palvelin
  accounting exec palvelin
  login authentication palvelin
line vty 5 15
  access-class 99 in
  exec-timeout 60 0
  password
  accounting commands 15 palvelin
  accounting exec palvelin
  login authentication palvelin
!
ntp clock-period 17180028
ntp server 10.165.128.130
!
end
```