

Ethernet-pohjaiset vuokratuotteet

Julkaisija
Viestintävirasto

KUVAILEHTI
Asiakirjan päivämäärä
20.12.2010

Tekijät FTTH (Valokaapeliverkojen vuokratuotteet) -työryhmä		Asiakirjan laji Työryhmäraportti
		Toimeksiantaja Viestintävirasto
Asiakirjan nimi Ethernet-pohjaiset vuokratuotteet		
Tiivistelmä Tässä raportissa kuvataan FTTH-työryhmän määrittelemät suositukset siitä, miten bitstream- ja Metro Ethernet-tuotteita tulisi tarjota kupari- ja kuitupohjaisissa verkoissa. Suositukset kattavat siten sekä perinteiset xDSL-verkot kuin myös erilaiset kuitu kotiin ja kuitu kiinteistöön ratkaisut. Raportissa annetut suositukset käsittelevät ensisijassa operaattorirajapintaa ja näin ollen verkko-operaattorin (VO) verkon sisällä myös muut tekniset toteutukset (esimerkiksi GPON ja MPLS) ovat mahdollisia. Työryhmän työhön on osallistunut 23 henkilöä 16 organisaatiosta: Klaus Nieminen (pj.) (Viestintävirasto), Jarna Hälinen (siht.) (Viestintävirasto), Heidi Kivekäs (vt. siht.) (Viestintävirasto), Antti Siivonen (vt. siht.) (Viestintävirasto), Andreas Ek (Dynamo Net Oy), Timo Hopponen (FNE-Finland Oy), Matti Hätönen (K&K Active Oy), Heikki Ilo (TeliaSonera Finland Oy), Jukka Kantinkoski (Elisa Oyj), Pasi Kärkkäinen (Tietokartano Oy), Pekka Laakkonen (SW Television Oy/Welho), William Lindén (Oy Multi.fi Finland Ab Ltd), Petri Naukkarinen (Verkko-osuuskunta Kuuskaista/6NET), Kenneth Nylund (Pietarsaaren Seudun Puhelin Oy), Tuija Riukulehto (Suomen Seutuverkot Oy), Sami Salmi (K&K Active Oy), Reijo Salminen (M-OAS Oy), Antti Salonen (Elisa Oyj), Anneli Siukola (TeliaSonera Finland Oy), Jussi Tiensuu (Forssan Seudun Puhelin Oy), Tomi Tuhkanen (Mikkelin Puhelin Oy), Jouni Tuomala (DNA Oy) ja Klaus Varis (DNA Oy).		
Avainsanat Ethernet, tukkutuote, bitstream ja Metro Ethernet		
Sarjan nimi Viestintäviraston julkaisuja		
Kokonaissivumäärä 25	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen
Jakaja Viestintävirasto		Kustantaja Viestintävirasto

Postiosoite
PL 313
00181 HELSINKI
Y-tunnus 0709019-2

Käyntiosoite
Itämerenkatu 3 A
00180 HELSINKI

Puhelin
09 69 661
Telekopio
09 6966 410

Sähköposti
info@ficora.fi
Kotisivu
<http://www.ficora.fi>

SISÄLLYS

SISÄLLYS	2
1 JOHDANTO	3
2 TYÖRYHMÄRAPORTISSA KÄSITELTÄVÄT TUOKUTUOTTEET	4
2.1 BITSTREAM	4
2.2 METRO ETHERNET	4
3 ETHERNET-TEKNIKAN YLEISKUVAUS	5
4 BITSTREAM-TUOTE	7
4.1 ETHERNET-TEKNIKAN SOVELTAMINEN OPERAATTOREIDEN VÄLILLÄ.....	7
4.2 TYÖRYHMÄN SUOSITUKSET.....	8
4.3 FTTH-VERKKOJEN ERITYISKYSYMYKSET	14
4.4 FTTB-VERKKOJEN ERITYISKYSYMYKSET.....	15
5 METRO ETHERNET	16
5.1 TYÖRYHMÄN SUOSITUKSET.....	16
6 LYHENNELUETTELO	22
7 VIITTEET	23

1 JOHDANTO

Valokuiduilla toteutettujen tilaajayhteyksien määrä on kasvanut tasaisesti – valokuituyhteyksiä on rakennettu uusiin kiinteistöihin ja valokaapeliverkolla on katettu kokonaisia kyliä muun muassa Pohjanmaalla. Valokaapeliverkoissa palveluoperaattoreille tarjottavat vuokratuotteet eivät kuitenkaan ole vielä vakiintuneet, eikä alalle ole muodostunut selkeitä käytäntöjä tai malleja palvelujen tarjontaan.

Viestintävirasto perustikin teleyrityksiltä saatujen ehdotusten perusteella 22.8.2007 Valokaapeliverkkojen vuokratuotteet (FTTH) -työryhmän määrittelemään FTTH- ja FTTB-laajakaistaliittymien tarjonnassa sovellettavia käytäntöjä ja teknisiä rajapintoja. Tässä raportissa annetut suositukset käsittelevät ensisijassa operaattorirajapintaa ja näin ollen verkko-operaattorin (VO) verkon sisällä myös muut tekniset toteutukset (esimerkiksi GPON ja MPLS) ovat mahdollisia.

Mikäli tässä raportissa ei ole erikseen muuta mainittu, kuvatut suositukset soveltuvat myös xDSL-tekniikalla toteutettuihin verkkoihin ja tämä suositus korvaa Viestintäviraston työryhmäraportissa 7/2004 Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat [1] Ethernet-operaattorirajapinnan toteutuksesta annetut suositukset.

Työryhmäraportti esittelee lyhyesti Ethernet-pohjaisen (L2 VLAN) operaattorirajapinnan teknisine ominaisuuksineen sekä työryhmän suositukset tämän rajapinnan toteuttamisesta¹. Raportti on suositus ja kuvaa työryhmän näkemyksen mukaiset parhaat käytännöt, joiden tarkoituksena on edistää operaattoreiden laajakaistayhteyksien yhteenliittämistä ja laajakaistapalvelujen toimivuutta, lyhentää toimitusaikoja sekä edistää laajakaistapalvelujen kehitystä. Raportissa ei pyritä käsittelemään tyhjentävästi kaikkia laajakaistayhteyksien operaattorirajapintojen toteuttamiseen liittyviä seikkoja. Raportin ulkopuolelle jäävät esimerkiksi huomattavan markkinavoiman (HMV) -velvoitteisiin, tunnistamistietojen tallentamiseen ja telekuunteluun ja -valvontaan liittyvät kysymykset.

Myös valokuituverkoissa vuokratuoterajapinnaksi on valittu Ethernet, sillä tämä vastaa perinteisissä xDSL-verkoissa käytössä olevaa tekniikkaa ja vaatii siten vain pieniä muutoksia olemassa oleviin prosesseihin ja liityntätapoihin. Työryhmä on päättänyt suositella VLAN-rajapintaa, sillä sen on arvioitu olevan parempi ratkaisu tähän tarkoitukseen kuin Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE). Tärkeimpinä tekijöinä tähän ratkaisuun ovat ne, että:

- PPPoE:n käytöstä ollaan luopumassa sillä asiakkaille halutaan tarjota palveluja ilman kirjautumista ja näin helpottaa tietokoneen käyttöä.
- PPPoE ei sovi kovin hyvin ryhmälähetysten jakeluun

Työryhmä on tunnistanut, että myöskään L2 VLAN -rajapinta ei ratkaise kaikkia ongelmia, mutta raportin julkaisuhetkellä parempaa ratkaisua ei ollut yleisesti käytettävissä.

Tasapuolisen pääsyn -malliin (Open Access -malli) liittyviä erityiskysymyksiä on käsitelty tarkemmin Viestintäviraston työryhmäraportissa 1/2010 Open Access -pilotin loppuraportti [2].

¹ Suuri osa rajapintakuvauksesta on esitetty jo Viestintäviraston työryhmäraportissa 7/2004 Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat [1].

2 TYÖRYHMÄRAPORTISSA KÄSITELTÄVÄT TUKKUTUOTTEET

Tässä luvussa kuvataan lyhyesti työryhmäraportissa käsiteltävät tukkutuotteet.

2.1 Bitstream

Bitstream [3] on osa EY:n komission suosituksen mukaista laajakaistapalvelun tukkumarkkinaa (markkina 5), joka määrittää verkon kapasiteetin vuokraamiseen perustuvan operaattoritason tukkutuotteen. Bitstream-yhteenliittäminen määrittää kaksisuuntaisen tiedonsiirtokapasiteetin tarjoamisen palveluoperaattorin asiakkaalle. Toteutuksissa yhteenliitetään palveluoperaattorin ja liityntäverkkoa hallitsevan verkko-operaattorin verkko-osuuksia siten, että palveluoperaattori kykenee päättämään asiakkaalleen tarjoamansa palvelun tiettyjä teknisiä ominaisuuksia, kuten palvelunlaatuparametreja.

Bitstream-tukkukauppamallissa liityntäverkon omistaja (verkko-operaattori, VO) vuokraa datapalvelujen tuottajalle (palveluoperaattori, PO) liittymän ja siirtokapasiteettia liittymästä VO/PO-rajapintaan. Esimerkiksi ADSL-liittymän tapauksessa bitstream-tuotteeseen kuuluvat tyypillisesti tilaajayhteys, DSLAMin portti, VLAN-virtuaalikanava DSLAMista VO/PO-rajapintaan sekä asiaankuuluvat asennus- ja ylläpitopalvelut. Bitstream-mallissa liittymän haltijalla on asiakassuhde palveluoperaattoriin, joka taas käyttää verkko-operaattoria alihankkijanaan.

2.2 Metro Ethernet

Metro Ethernet -operaattorituote on palvelu, jota voidaan käyttää mm. lähiverkkojen yhdistämiseen Ethernet -pohjaisia yhteyksiä käyttäen. Fyysisesti eri paikoissa sijaitsevat lähiverkot tai muut verkkoratkaisut voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi luomalla virtuaaliyhteyksiä verkkojen välille. Verkko-operaattorista ja tämän palveluvalikoimasta riippuen Metro Ethernet -operaattorituotteella voidaan toteuttaa paikallisia, valtakunnallisia tai jopa kansainvälisiä yhteyksiä. Tässä raportissa käytettävä määritelmä perustuu Metro Ethernet Forumin (MEF) laatimiin määrittelyihin (<http://metroethernetforum.org/>).

3 ETHERNET-TEKNIIKAN YLEISKUVAUS

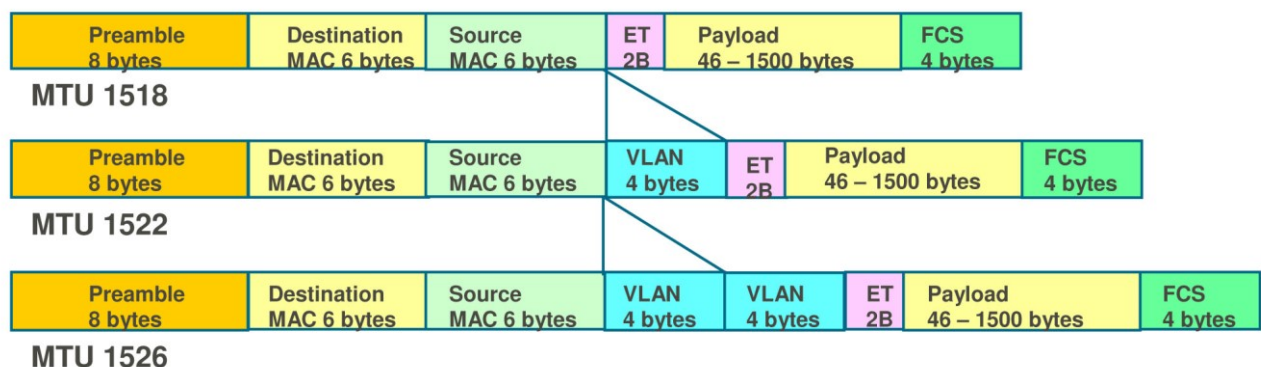
Ethernet-tekniikka on useisiin IEEE-standardeihin perustuva laajakaistainen verkkotekniikka, joka on alun perin kehitetty lähiverkkoihin. Yritysverkkotekniikkana Ethernet on osoittautunut parhaaksi vaihtoehdoksi IP-liikenteen siirtäjänä ja se syrjäytti tehokkaasti kaikki kilpailevat tekniikat 90-luvulla. Operaattoriverkoissa Ethernet-tekniikka on jatkanut muiden tekniikoiden syrjäyttämistä operaattoreille hyödyllisten ominaisuuksien tultua standardiksi osaksi Ethernetiä. Operaattorikäytön kannalta tärkeimmät virstanpylväät ovat:

1995 - Fast Ethernet: 100 Mbit/s siirtonopeus
 1998 - VLAN:ien käyttöönottoaminen (IEEE 802.1Q [4]) ja laatuluokat (IEEE 802.1p [5])
 1998 - Gigabit Ethernet: 1 Gbit/s siirtonopeus
 2002 - 10 G Ethernet: 10 Gbit/s siirtonopeus

Ethernetin käyttöönottoa vauhdittivat 90-luvulla optisten ratkaisujen kehittyminen. Optisten linkkien toteuttaminen perustui aluksi laitteisiin kiinteästi asennettuihin lähetin-vastaanottimiin, mutta tällaiset ratkaisut korvautuivat yleiskäyttöisillä moduuleilla kuten GBIC:lla (GigaBit Interface Converter) ja myöhemmin pienemmillä SFP:illa (Small Form-factor Pluggable). Siirtokapasiteetin kasvaminen sekä laser-tekniikan kehittyessä saavutettu pitkä kantama mahdollistivat Ethernet-tekniikan läpimurron operaattoriverkoissa vuoden 1995 jälkeen. Suomalaisissa operaattoriverkoissa Ethernet saavutti merkittävän aseman vuosina 2000–2001.

Ethernetin käyttö eroaa merkittävästi aikaisemmista siirtoyhteystekniikoista, koska se perustuu aidosti pakettikytkentäisyyteen toisin kuin esimerkiksi SDH tai ATM. Pakettikytkentäisyys tekee Ethernetistä samankaltaisen tekniikan kuin IP ja tästä syystä Ethernet-tekniikan odotetaan tuovan helpotusta uusien IP-pohjaisten palvelujen tuotteistamisessa ja tarjoamisessa. Ethernet-tekniikkaa voidaan käyttää kahdella eri tavalla (point-to-point ja multi-access) sovelluksesta tai verkkotopologiasta riippuen. Point-to-point-käyttö mahdollistaa tekniikan hyödyntämisen runkoverkossa ja tilaajaliittymissä. Multi-access-käyttö taas mahdollistaa käytön lähiverkoissa, konesaleissa ja palvelinklustereissa.

Ethernet-tekniikassa siirrettävä tieto pakataan Kuvan 1 mukaisiin Ethernet-kehysiin.



Kuva 1: Ethernet-kehys ja sen sisältämät kentät

MAC (Media Access Control) -osoite on tekniikassa käytettävä yksilöllinen fyysinen laiteosoite. Ethernet-kehysen kohteen MAC-osoitekenttä sisältää joko yksittäisen vastaanottajan laiteosoitteen tai ryhmälähetys/ levitysviestiosoitteen. Lähteen MAC-osoite yksilöi laitteen, joka alun perin lähetti kehyksen.

Tyyppi-/pituuskentän käyttö riippuu käytettävästä tekniikasta: IEEE 802.3 -standardin pituuskenttä ilmaisee databittien määrän, kun taas Ethernet V2.0:n tyyppikenttä määrittää ylemmän OSI-tason protokollan kuten IP, jonka datakenttä sisältää.

Ethernet-tekniikkaa käytettäessä lähetettävä data pilkotaan ylemmällä OSI-tasolla maksimissaan 1500 tavun hyötykuormakenttiin. Jos kehyksen kokonaismitta uhkaa jäädä alle 64 tavun,

datakenttään lisätään täytebittejä (PAD). Kun tarkistussumma FCS (Frame Check Sequence) on kunnossa, vastaanottava laite voi siirtää hyötykuorman verkkokerroksen käsiteltäväksi.

MTU (Maximum Transmission Unit) on tavuissa ilmaistava lukuarvo, jolla tarkoitetaan Ethernet-kehysten suurinta sallittua tavumäärää. Perus Ethernet-kehysten (IEEE 802.3) MTU on 1518 ja siihen lasketaan mukaan seuraavat kentät: kohteen MAC osoite (6 tavua), lähteen MAC osoite (6 tavua), Ethertype/Length kenttä (2 tavua), varsinainen hyötykuorma (46 – 1500 tavua) ja virheenkorjaus (Frame check sequence, 4 tavua). Kun halutaan siirtää VLAN-merkittyä liikennettä, niin peruskehysten MTU kasvaa 4 tavulla 1522:een. Jos käytetään kahta VLAN-tunnusta (QinQ), niin kehysten MTU on 1526.

Jokainen datalinkki tukee tiettyä MTU-arvoa, jonka se pystyy kuljettamaan pilkkomatta dataa. MTU-arvot vaihtelevat laitekohtaisesti. Kytkimissä on tietty MTU oletusarvoisesti sekä tietty maksimiarvo, johon liitännän Ethernet-MTU voidaan asettaa. Nykyisin Ethernetin MTU voidaan asettaa maksimissaan 9000 tavun paikkeille (jumbo frames).

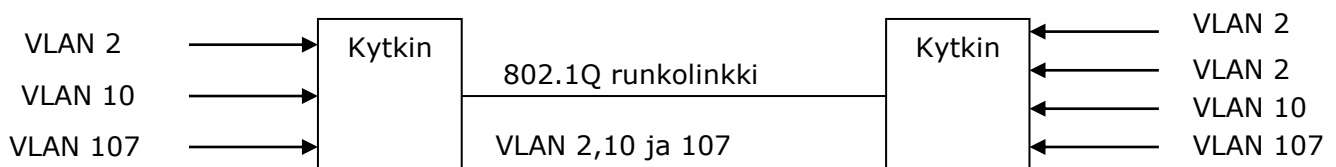
Operaattorikäytössä Ethernetin kaltainen pakettikytkentäinen monipääsyverkko on tehokas keino yhdistää reitittimiä ja erilaisia palvelimia sekä tarjota tilaajaliittymiä suuremmilla nopeuksilla kuin mitä erilaisilla xDSL-tekniikoilla on aiemmin voitu tarjota. Käytännössä tämä on johtanut erilaisten alueellisten dataverkkojen rakentamiseen keskusalueille. Näissä verkoissa peruslaitteina on kaiken kokoisia Ethernet-kytkimiä, joiden ominaisuuksista yksi tärkeimmistä on erottaa käyttäjien liikenne toisistaan VLAN-tekniikan (Virtuaali-LAN) avulla.

Virtuaali-LAN eli VLAN määrittää käyttäjien, sovellusten tai laitteiden loogisen ryhmän. VLANin avulla muodostettavaa ryhmää käsitellään yksittäisenä aliverkkona ja sen jäsenet voivat sijaita fyysisesti verkon eri alueilla. Ryhmien luontimenetelmä on kehysten merkitseminen VLAN-tunnisteella, jota kutsutaan VLAN ID -numeroksi.

IEEE 802.1Q standardin mukaista VLAN-tekniikkaa käytettäessä lisätään Ethernet-kehysten sisälle VLAN-tunnistekenttä, joka sisältää TPID- ja TCI-kentät (Tag Protocol Identifier, Tag Control Information). Koska 802.1Q-tunniste on kehysten sisällä, se näyttää aivan tavalliselta Kuvan 1 mukaiselta Ethernet-kehykseltä.

VLAN-tunnistekenttä sisältää VLAN-informaation lisäksi myös tarvittaessa priorisointitietoa, sillä kentässä on tilaa kolmen bitin mittaiselle prioriteetti-arvolle (IEEE 802.1p [5]). Itse VLAN ID:lle on varattu 12 bitin tila, jonka avulla voidaan määrittää enintään 4096 VLANia. VLAN ID-kentän arvo siis määrää sen, mihin VLANiin tietty kehys kuuluu.

Peruskytkimet suorittavat VLANien ydintoiminnot ja verkkokerrosta (reititystä) tarvitaan ainoastaan VLANien yhdistämiseen. Modernit kytkimet toimivat niin sanottuina monitasokytkiminä, joten osa niistä voi toimia myös reitittimenä yhdistäen VLANeja. IEEE:n 802.1Q-standardin [4] määrittämän menetelmän avulla voidaan kuljettaa useita VLANeja yhden fyysisen linkin kautta, kuten on esitetty Kuvassa 2.



Kuva 2: IEEE 802.1Q

4 BITSTREAM-TUOTE

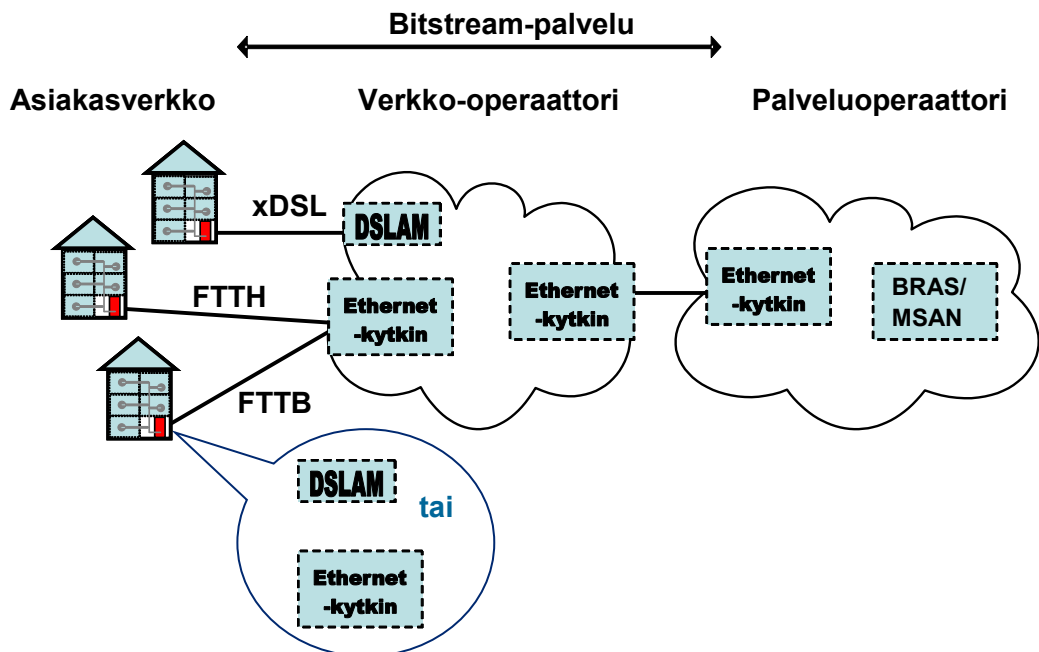
Nykyinen bitstream-operaattorirajapinta perustuu Ethernet-tekniikkaan. Aikanaan rajapinta määriteltiin Viestintäviraston Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat -työryhmässä [1], jolloin alalle luotiin parhaita käytäntöjä verkko-operaattorin ja palveluoperaattorin välisestä Ethernet-rajapinnasta VO:n toimittaessa PO:lle bitstream-palveluja esimerkiksi xDSL-laajakaistaliittymiin. Työryhmä rajautui Ethernet-rajapinnan teknisiin kysymyksiin.

Tämä luku kuvaa lyhyesti Ethernet-tekniikan ja sen varaan rakennetun bitstream-toteutuksen. Kappaleessa 4.2 esitetään työryhmän suositukset Ethernet-tekniikan käytöstä VO:n ja PO:n välisen rajapinnan toteutuksessa. Rajapinnan soveltamista FTTH-, FTTB ja xDSL-verkoissa sekä tasapuolisen pääsyn -mallissa käsitellään tarkemmin luvuissa 4.3 ja 4.4.

4.1 Ethernet-tekniikan soveltaminen operaattoreiden välillä

Bitstream-palvelun toteuttamisessa Ethernet-tekniikalla yksi 802.1Q:n [4] mukainen looginen VLAN-ryhmä muodostaa joko yhden tilaajaliittymän tai asiakasryhmän. Toisin sanoen, tekniikka erittelee asiakkaat joko liittymäkohtaisiin tai liittymäryhmäkohtaisiin VLANeihin.

Kun yhdyskäytävän ja verkko-operaattorin pääsyverkon kytkimet lähettävät tai vastaanottavat kehyksen, ne lukevat siitä VLAN-tunnisteen. VLAN-tunnisteiden avulla operaattorit voivat kontrolloida VLANien käyttöä ja suodattaa tarpeetonta liikennettä.



Kuva 3: Esimerkki bitstream-tuotteen eri toteutusvaihtoehdoista

Kuvassa 3 on esitetty bitstream-tuotteen eri toteutusvaihtoehdot. Tässä työryhmäraportissa kuvattuja suosituksia on siten mahdollista soveltaa bitstream-palvelun tarjontaan esimerkiksi xDSL-, FTTB- kuin FTTH-kohteisiin. Annettuja suosituksia on mahdollista soveltaa myös PON-tekniikalla toteutetuissa liittymissä.

Bitstream-tuotteessa on kyse kaksisuuntaisen tiedonsiirtokapasiteetin tarjoamisesta. Tarjotun palvelun tulee olla mahdollisimman läpinäkyvä, jotta se ei rajoita palveluoperaattorin tuotteistusta. Tähän pyritään myös seuraavaksi annettavissa suosituksissa palvelun toteuttamisesta Ethernet-tekniikalla.

4.2 Työryhmän suositukset

Työryhmän työn pohjana ovat toimineet seuraavat Ethernet-tekniikan käyttöön liittyvät tavoitteet:

- Yleiset tekniset rajapintamäärittelyt Ethernet-tekniikan käytölle
- Määrittely liittymäkohtaisen VLANin käytölle
- Määrittely liittymäryhmäkohtaisen VLANin käytölle
- Vianrajaukseen Ethernet-tekniikassa liittyvät määrittelyt

Näiden tavoitteiden perusteella työryhmä on jakanut antamansa suositukset seuraaviin yksityiskohtaisempiin suosituksiin:

4.2.1 Liitynnät yhdyskäytävässä

Operaattoreiden liityntärajapinta toistensa verkkoihin toteutetaan kaapeloimalla yhteys operaattoreiden Ethernet-kytkinten välille. Ethernet-kytkimet voivat sijaita parhaimmillaan samassa laitetilassa tai niillä saattaa olla etäisyyttä useita kilometrejä. Tarvittava kapasiteetti riippuu tilaajaliikenteen määrästä. IEEE 802.3ad [6] link aggregation -ominaisuutta käyttäen voidaan yhdistää useampia fyysisiä yhteyksiä kapasiteetin lisäämistä tai linkkien varmentamista varten.

Suositus 1: Operaattoreiden välinen Ethernet-kytkentä tulisi tehdä joko 1 Gbit/s tai 10 Gbit/s nopeudella (802.3z GbE [7] tai 802.3ae LAN-PHY [8]) käyttäen yksimuotokuitua.

Suositus 2: Luovutusrajapinnaksi tulisi sopia joko verkko-operaattorin tai palveluoperaattorin Ethernet-portti.

Suositus 3: Samaa yhteenliittämisrajapintaa suositellaan käytettäväksi eri liityntätekniikoilla (FTTH, FTTB ja xDSL) toteutetuille bitstream-palveluille.

4.2.2 802.1Q VLAN

Ethernet VLAN -tekniikka mahdollistaa yhteyksien muodostamisen sekä liittymäkohtaisesti että liittymäryhmäkohtaisesti L2-tasolla. Ensimmäisenä mainittu sopii käytettäväksi yhteisötilaajille tai yrityksille ja jälkimmäinen esimerkiksi samantasoisten kuluttajaliittymien toteuttamiseksi kustannustehokkaasti yhtä yhteyttä käyttäen.

VLAN-tekniikka asettaa rajoituksia erityisesti liittymäkohtaisten VLANien käytölle VLANien maksimimäärän (4094) takia. Käytännössä valmistajakohtaiset toteutukset saattavat rajoittaa VLANien yhtäaikaisten määrän kuitenkin pienemmäksi. Tästä syystä valtaosa yhteyksistä ja tavallisesti kuluttajaliittymät on toteutettu käyttäen liittymäryhmäkohtaisia VLANeja.

Yhteisen VLANin käytöstä seuraa vaatimuksia liittymän tunnistamiselle ja tietoturvallisuudelle. VO:n on kiinnitettävä huomiota verkkonsa toteutukseen, jotta VO pystyy tarjoamaan PO:lle keinon tunnistaa liittymä, josta liikenne on peräisin. PO:n on myös oletusarvoisesti pystyttävä luottamaan siihen, että tilaajat eivät voi liikennöidä keskenään VO:n verkossa.

VLAN-tekniikan avulla voidaan myös toteuttaa yhteyksiä, jotka käyttävät useampaa VLAN-tunnistetta. Tällöin tilaajaportissa täytyy olla käytössä VLAN-kehystys ja portissa tulee rajoittaa sallitut VLAN-tunnisteet. Tällaisia liittymiä voidaan tarvita esimerkiksi suurille yrityksille ja tukiasemarunkoyhteyksille. Tällöin myös Ethernet tason laatuluokittelun toteuttaminen on mahdollista tilaajaportissa.

VLAN-tekniikkaa käytettäessä on myös huomioitava sellaisten liittymien tuotteistus, joissa liittymien välinen liikenne on välttämätöntä VO:n verkossa. Tällaisia liittymiä ovat esimerkiksi

yrittäjille ja yhteisöille tuotettavat lähiverkkojen yhdistämispalvelut. Nämä liittymät eivät ole tämän suosituksen piirissä.

Suositus 4: VO:n tulisi tuottaa VLAN-palvelu. VO/PO-rajapinnassa tulisi tarjota sekä liittymäkohtainen VLAN että liittymäryhmäkohtainen VLAN -toteutus.

Suositus 5: VO/PO-rajapinnassa VO määrittää käytettävän VLAN ID-alueen ja PO tilaa siitä haluamansa VLANin.

Suositus 6: Yhteyksien toimittaminen vaatii PO/VO-rajapinnassa VLANin ID:n varaamisen yhteydelle sekä liityntäpisteiden määrittelemisen. VO:n verkossa liityntäpisteitä tulee olla vähintään kaksi, jotka ovat VO/PO-rajapinta sekä ensimmäinen VLANiin liitetty asiakasliittymä tietyssä VO:n tilaajakytkimessä tai DSLAM:ssa. Tästä syystä VLANien määrä, liityntäpisteiden lukumäärä sekä siirtoetäisyys ovat hinnoittelukomponentteja. Työryhmä suosittelee, että:

- VLANin toimittamista varten PO:n täytyy määritellä yhteyden päätepisteet
- VO:n on myytävä VLANeja tasapuolisesti kaikille PO:ille
- VO varaa VLANit niitä tilanneille PO:ille tilausjärjestyksessä

Suositus 7: VO:n tulee huolehtia VLAN-toimituskyvystään. Työryhmä suosittelee, että VO hankkii runkoverkkoonsa vain laitteita, jotka tukevat yhtäaikaista täyttä VLANien määrää sekä vain reunakytkimiä, jotka tukevat täyttä VLAN ID -avaruutta.

Suositus 8: PO:n tulee arvioida tuleva VLANien tarpeensa VO:n kanssa yhteisesti sovitulla aikajänteellä.

4.2.3 Palveluntarjoajalle tarjottava maksimikehyskoko

MTU (Maximum Transmission Unit) on tavuissa ilmaistava lukuarvo, jolla tarkoitetaan Ethernet kehyksen suurinta sallittua tavumäärää. Perus Ethernet-kehyksen (IEEE 802.3) MTU on 1518 ja siihen lasketaan mukaan seuraavat kentät: kohteen MAC osoite (6 tavua), lähteen MAC osoite (6 tavua), Ethertype/Length kenttä (2 tavua), varsinainen hyötykuorma (46–1500 tavua) ja virheenkorjaus (Frame check sequence, 4 tavua). Kun halutaan siirtää VLAN-merkittyä liikennettä, niin peruskehyksen MTU kasvaa 4 tavulla 1522:een. Jos käytetään kahta VLAN tunnusta (QinQ), niin kehyksen MTU on 1526.

Kehyksen suurin sallittu tavumäärä (MTU) vaihtelee siten toteutuksesta riippuen. Käyttäjän kokeman hyötykuorman tulee kuitenkin säilyä samana (46–1500 tavua), jotta paketteja ei tarvitse pilkkoa.

Tämän vuoksi palveluntarjoajalle tarjottavan maksimikehyskoon tulee olla vähintään 1518 tavua. Maksimikehyskoolla tarkoitetaan VO:n verkossa kuljetettavaa PO:n kokemaa hyötykuormaa. Tämä tarkoittaa, että MTU:n on oltava PO/VO-nielurajapinnassa vastaavasti vähintään 1522 tavua.

Suositus 9: Sekä liittymäkohtaisissa että liittymäryhmäkohtaisissa toteutustavoissa palveluntarjoajalle tarjottavan maksimikehyskoon tulee olla vähintään 1518 tavua.

4.2.4 Tilaajan tunnistaminen

Käytettäessä liittymäryhmäkohtaista VLANia, VO ohjaa kaikkien samaan VLANiin liitettyjen liittymien liikenteen PO:lle. Ilman erillisiä protokollatoteutuksia, PO ei pysty yhdistämään tietyn liittymän liikennettä mihinkään tunnistamistietoon L2- tai L3-tasolla. Tästä syystä joko liittymän tai VO:n on tuotettava riittävä tunnistamistieto kunkin liittymän liikenteeseen.

Nykyisissä xDSL-toteutuksissa PO tunnistaa IPv4-liittymän DHCP optio82 -menetelmällä [9]. Kaikki nykyiset DSLAM:t ja Ethernet-kytkimet eivät tue DHCP optio82 -menetelmää, joten VO:n tulee tarkistaa tuki ennen laitteiden hankkimista. Menetelmässä VO liittää DHCP optio 82 -tunnisteen tilaajan DHCP-kyselyihin. PO:n kannalta on helpointa, jos VO käyttää liittymätunnistena PO:n antamaa liittymätunnistetta.

Mikäli tilaajan tunnistamisessa ei käytetä PO:n määrittämää liittymätunnistetta, joudutaan tunnistetieto välittämään VO:lta PO:lle esimerkiksi toimitusvahvistuksen yhteydessä. Tämä johtaa monimutkaisempaan operaattoreiden väliseen toimitusprosessiin. Mikäli VO muodostaa liittymätunnisteen ohjelmallisesti tilaajakytkimissä, määräytyy tunniste vasta liittymän provisioinnin jälkeen. DSLAM:n tai tilaajakytkimen määrittämä liittymätunniste saattaa lisäksi vaihdella ohjelmistopäivityksen yhteydessä, eikä uusia tunnistetietoja välttämättä tiedetä ennen päivitystä.

Liittymän tunnistamisen lisäksi optio82-tietoa käytetään myös PO:n tuotteistuksessa. Nykyisin esimerkiksi IP-osoitteiden määrän rajausta liittymässä sekä kiinteän osoitteen jakaminen DHCP:llä tiettyyn liittymään voidaan tuotteistaa DHCP optio82:n avulla. Tästä syystä PO:n on pystyttävä tulkitsemaan, mihin liittymään tunniste liittyy ja voitava luottaa siihen, että VO tiedottaa mahdollisista muutoksista.

Käytettäessä liittymäkohtaista VLANia kaikki liittymän liikenne ohjataan omassa VLANissa VO:n verkon läpi PO:lle. Tällöin PO:n ei tarvitse erikseen tunnistaa tilaajaa, vaan PO pystyy yhdistämään itse tunnistamistiedot suoraan oikeaan liittymään.

Suositus 10: VO:n tulee hankkia vain DSLAMEja ja tilaajakytkimiä, jotka tukevat DHCP optio82 -menetelmää (L2-toiminne) [9].

Suositus 11: Työryhmä suosittaa, että VO toteuttaa DHCP optio82 -tunnisteen liittämisen tilaajan DHCP-kyselyihin liittymäryhmäkohtaista VLAN-toteutusta käytettäessä. Tunnisteen tulee olla yksikäsitteinen ja muuttumaton. VO:n on myös syytä viestittää käyttämänsä kenttä (Circuit-ID tai Remote-ID) palveluntarjoajille.

Suositus 12: Työryhmä suosittaa, että PO voi halutessaan itse määrittää DHCP optio82 -tunnisteen liittymää tilatessaan. Jos tämä ei ole mahdollista, VO:n tulee huolehtia, että PO saa tiedon liittymän optio82 -tunnisteesta viimeistään liittymän tilausvahvistuksessa. PO:n tulee myös saada tieto etukäteen, jos tunniste vaihtuu ohjelmistopäivityksen tai muun sellaisen takia.

4.2.5 Tietoturva

Bitstream-palvelun tietoturvaa tullaan käsittelemään Viestintäviraston määräyksessä 13 Internet-yhteyspalvelujen tietoturvasta ja toimivuudesta [10] ja määräyksessä 28 viestintäverkkojen ja -palveluiden yhteentoimivuudesta [11] sekä molempien määräysten MPS-dokumentissa. Asiaa ei siten käsitellä tarkemmin työryhmän antamissa suosituksissa.

4.2.6 MAC-osoitteiden käytön hallinta ja suodatus

MAC-osoitteiden käytön hallinta ja suodatus ovat verkonsuojausmenetelmiä, jotka ovat tarpeen tarjotun palvelun tietoturvan ja toimintavarmuuden varmistamiseksi. Jos asiakas saa täytettyä kytkimen MAC-aulun, kytkin levittää kaikki paketit jokaiseen kytkimen porttiin, jolloin jokainen kytkimeen kytketty laite näkee kaiken kytkimen kautta kulkevan asiakasliikenteen. Kytkimissä ja DSLMeissa MAC-aulun rajattu koko on siis yksi tunnetuista tietoturvauhista. Verkkoa mitoitettaessa MAC-osoitteiden määrä (MAC-osoiteavaruuden koko) on myös yksi kustannustekijä operaattorille, sillä se vaikuttaa Ethernet-kytkinten kapasiteettiin ja edelleen hintaan.

Edellä mainitun ongelman vakavuus riippuu kuitenkin käytetystä tekniikasta. Teleyritys voi esimerkiksi vähentää edellä kuvattuja ongelmia hyödyntämällä Provider Backbone Bridging -tekniikkaa (802.1ah [12]). Ongelma voidaan estää myös rajoittamalla porttikohtaisten MAC-osoitteiden määrä ja sallimaan liikenne vain opittuihin oikeisiin MAC-osoitteisiin. Vanhemmissa tai edullisimmissa kytkimissä ei ole aina mahdollista estää MAC-aulujen täyttämistä asiakasporteista. Edellä mainittu ongelma koskee myös Ethernet-verkon mitoituksia terminointireitittimen ja asiakaspäätelaitteen välissä.

Vaatus MAC-osoitteiden yksikäsitteisyydelle on helposti osoitettavissa tilanteissa, joissa operaattorin verkkoon on huolimattoman maahantuonnin tms. takia liitetty samalla MAC-osoitteella varustettuja laitteita. Tällöin kummankaan tilaajan liittymä ei toimi normaalisti ja pahimmillaan operaattorin DHCP-palvelimen sekä BRASin tai MSANin toiminta häiriintyy. Tällaiset liittymät täytyy sulkea, jolloin tilaajan vastuulle jää selvittää, miksi hankitussa laitteessa ei ole standardin mukaista MAC-osoitetta. On myös huomioitava, että tilaaja voi vaihtaa tiettyjen laitteiden MAC-osoitteen itse.

VO voi estää useamman saman MAC-osoitteen aiheuttamat haitat käyttämällä verkossaan virtuaalisia MAC-osoitteita, joiden käyttöä osa DSLAM- ja kytkinvalmistajista tukee. On kuitenkin tärkeää, että asiakaspäätelaitteiden maahantuojat ymmärtävät vastuunsa ja pitävät huolta siitä, että laitteet ovat standardien mukaisia. Siksi ei ole syytä varautua moninkertaiseen MAC-osoitteisiin. Sen sijaan on sovittava käytäntö siitä, miten VO toimii, kun PO havaitsee verkossa moninkertaisia MAC-osoitteita. VO voi esimerkiksi sulkea kaikki liittymät, joissa virheellisiä MAC-osoitteita käytetään tai suodattaa liikenteen, jonka lähettäjäksi on merkitty kyseinen MAC-lähdeosoite. Se, mitä mekanismeissa tässä yhteydessä ensisijaisesti käytetään voi riippua mm. VO:n verkkotekniikan tarjoamista vaihtoehdoista.

Periaatteessa yksittäisessä liittymässä tarvitaan vain sen verran MAC-osoitteita kuin sieltä hyväksytään erillisiä IP-osoitteita. Käytännössä on kuitenkin niin, että tilaajaverkkoihin tullaan kytkemään myös sellaisia laitteita, joilta ei ole tarkoitus liikennöidä VO/PO-verkkoihin. Nämä MAC-osoitteet näkyvät Ethernet-verkon toimintaperiaatteen takia myös VO:n verkossa ja siksi VO ei voi mitoitaa liittymän käytössä olevien MAC-osoitteiden määrää suoraan PO:n tuotteistaman IP-osoitemäärän mukaan. Koska MAC-osoitteiden määrä on hinnoittelukomponentti VO/PO-rajapinnassa, täytyy VO:n ottaa käyttöön sopiva MAC-osoitemääräporrastus, jotta PO:n tuotteistusta ei rajoiteta.

Suositus 13: VO:n ja PO:n tulisi olla mahdollista hallita porttikohtaisesti (tilaajakytkin tai yhteenliittämisrajapinta) aktiivisten MAC-osoitteiden määrää. Jos VO toteuttaa hallinnan rajoittamalla MAC-osoitteiden määrää, suositeltavat aktiivisten MAC-osoitteiden määrärajoitteet ovat esimerkiksi 5, 10, 20, 50, 100, 500 ja 1000 MAC-osoitetta porttia kohden.

Suositus 14: VO voi itse sulkea liikenteen päällekkäisiä MAC-osoitteita käyttävistä liittymistä. VO:n tulisi PO:n pyynnöstä sulkea liikenne päällekkäisiä MAC-osoitteita käyttävistä liittymistä.

Suositus 15: Mikäli VO käyttää MAC-osoitemuunnosta verkossaan (virtuaaliset MAC-osoitteet), tulisi VO:n tiedottaa tästä PO:lle.

4.2.7 Lähetyksmyrskyt

Lähetyksmyrskyt, varsinkin levitysviestien osalta, voivat saattaa yhdysliikennepisteen käyttökeltvottomaksi. Tästä syystä yhdysliikennettä harjoittavien osapuolten tulee varautua lähetyksmyrskyjen vaikutusten rajoittamiseen. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi rajoittamalla levitysviestien saamaa kapasiteettia verkossaan.

Tyypillisesti eri laitetyypeissä voidaan käyttää niin sanottuja "Storm-control" -suodattimia, joiden avulla on mahdollista rajoittaa tietty osuus linjakapasiteetista yksittäislähetys- ja yleislähetysliikenteelle. Yhdyskäytävässä käytettäessä, suodattimista ei saa normaalitilanteessa aiheutua haittaa tilaajille.

Suositus 16: Työryhmä suosittelee, että VO käyttää lähetyksmyrskysuodattimia asiakasporteissa ja sekä VO:n että PO:n käyttävät lähetyksmyrskysuodattimia yhteenliittämisrajapinnassa.

4.2.8 Kapasiteetin hallinta

Asiakas- ja yhdysliikennerajapintojen liityntänopeudet voivat olla selvästi myyryä yhteykskapasiteettia suuremmat. Asiakkaalta lähtevän ja tälle saapuvan liikenteen nopeutta onkin syytä rajoittaa verkon kapasiteetin riittävyden turvaamiseksi.

PO vastaa mahdollisuuksien mukaan asiakkaalle päin saapuvan liikenteen nopeuden olevan palveluun nähden oikein mitoitettu ja VO vastaa verkkoyhteyden nopeuden rajoittamisesta.

Suositus 17: VO rajoittaa tarjotun kapasiteetin sekä nousevaan että laskevaan suuntaan.

4.2.9 Yhteyden toiminnan testattavuus

Verkko-operaattorin olisi hyvä kyetä tarjoamaan yhteyden toiminnan testaus samanlaisesti kaikille palveluoperaattoreille. Yhteyden testausta voidaan tehdä päätelaitteella, VO:n kytkimellä tai DSLAM:illa tai palveluoperaattorin laitteelta. Ethernet-palveluiden testaamiseen on tehty määrittelyitä joita hyödyntämällä VO voi tarjota PO:lle työkalua yhteyden testaamiseen. Tällaisia määrittelyjä ovat mm. Broadband Forumin TR-069 [13], IEEE 802ah Link OAM [14], IEEE 802ag Fault Management [15] ja ITU-T Y.1731 [16].

TR-069 määrittelyä käytetään loppuasiakkaan päätelaitteen provisioinnissa ja testauksessa. IEEE 802.3ah on EFM-standardi joka sisältää linkkitason OAM-mekanismien lähettämällä CCM-viestejä. IEEE 802.1ag:n avulla tunnistetaan, paikannetaan ja tarkistetaan Ethernet-palvelun vikoja. ITU-T Y.1731 määrittelee verkon ja Ethernet-palveluiden ylläpitotoimia. Se tukee yhteysvikojen lisäksi myös suorituskyvyn mittausta.

Näiden lisäksi on olemassa laitevalmistaja ja ohjelmistokohtaisia ratkaisuja. VO:n olisikin syytä hankkia verkkoonsa vain sellaisia laitteita, joista löytyy vian hallintaan liittyviä työkaluja.

Työryhmä suosittelee, että VO pyrkiä tarjoamaan palveluoperaattoreille työkalun jolla voidaan todeta liittymän toiminta toimitusvaiheessa ja vikatilanteissa. Työkalun avulla PO:n olisi hyvä voida uudelleenkäynnistää omia asiakasporttejaan. Lisäksi testaustyökalun olisi hyvä näyttää asiakkaalle menevästä portista ainakin seuraavat asiat:

Ethernet-tekniikalla toteutetut liittymät:

- Hallinnollinen tila (up/down)
- Portin tila (up/down, speed, duplex)
- Portin liikennelaskurit (in/out)
- Portin virhelaskuri (CRC-virheet)

xDSL-tekniikalla toteutetut liittymät:

- Hallinnollinen tila (up/down)
- Portin tila (up/down)
- Linjan modulaatio
- Määritelty nopeus (down/up)
- Portin kättelyn nopeus (down/up)
- Ylösnousu yritykset resetoinnin jälkeen
- Linjan maksiminopeus (down/up)
- Ulostuloteho (dBm) (down/up)
- Vaimennus (down/up)
- signaalikohinasuhde (dB) (down/up)

Näiden toimintojen lisäksi PO:n olisi hyvä saada näkyviin asiakkaan MAC-osoitteet ja mahdollinen DHCP:llä jaettu IP-osoite. Nämä ovat kuitenkin ominaisuuksia, jotka pitäisi näkyä myös PO:n DHCP-palvelimelta. Myös liittymän kapasiteetin testaus pitäisi pystyä suorittamaan ainakin asennusvaiheessa. xDSL-tekniikalla toteutetuissa liittymissä VO:n olisi lisäksi hyvä tarjota palveluoperaattoreille tilaajayhteyden pituuden mittaushetkellä (SELT, Single-Ended Loop Testing).

Suositus 18: Työryhmä suosittelee, että VO tarjoaa PO:lle työkalun asiakasporttien hallintaan sekä yhteyden toiminnan todentamiseksi, mikäli tämä on vain mahdollista ilman merkittäviä lisäinvestointeja. Työkalun olisi hyvä näyttää asiakasportikohtaisesti ainakin yllä määritellyt parametrit.

Suositus 19: Työryhmä suosittelee, että VO hankkii verkkoonsa vain sellaisia laitteita, jotka mahdollistavat suosituksessa 18 mainitun toiminnallisuuden tarjonnan.

4.2.10 IPv6

IPv6-protokollan ensimmäinen IETF-spesifikaatio (RFC 1752) valmistui vuonna 1993. IPv6-protokollan kehitys on jatkunut siitä saakka ja jatkuu edelleen. IPv6-toteutusten edellyttämät perusspesifikaatiot ovat kuitenkin olleet olemassa jo useita vuosia ja tällä hetkellä IPv6-tuki on saatavana kaikkiin merkittävimpiin verkon komponentteihin.

IPv6-protokollan tuomista uusista lisäominaisuuksista ja IPv4-osoitteiden loppumisesta lähitulevaisuudessa huolimatta IPv6-protokollan käyttöönotto asiakasliittymissä on ollut hidasta. Pääsyy tähän on ollut, etteivät operaattorit ole nähneet kaupallisia tarpeita siirtymiseen. IPv6:n täysmittainen käyttöönotto on kuitenkin yhä ajankohtaisempaa ja teleyritysten tulee varautua siihen.

Suositus 20: Työryhmä suosittelee, että VO hankkii verkkoonsa vain sellaisia laitteita, jotka tukevat eri IP-protokollaversioiden yhtäaikaista välittämistä verkossa.

4.3 FTTH-verkkojen erityiskysymykset

Tämän luvun tavoitteena on kuvata edellisessä luvussa kuvattujen rajapintamääritysten soveltamista FTTH-verkossa ja siihen liittyviä erityiskysymyksiä.

FTTH-ratkaisussa kuituyhteys ulottuu liityntäsolmusta tilaajan huoneistoon asti. Rivi- ja kerrostaloissa VO:n kuitu päätetään talojakamoon, josta optinen yhteys jatkuu kiinteistön nousukaapelointina (kiinteistön sisäverkkona) kotijakamoon. Kotijakamo on huoneiston jakamo, johon päätetään nousu- sekä kotikaapelointi ja sijoitetaan kodin tietoliikennepalvelujen edellyttämät aktiivilaitteet, kuten esimerkiksi optinen verkkopääte. Pientaloissa talojakamo toimii samalla kotijakamona, jolloin VO:n kuitu jatkuu liityntäsolmulta pientaloon asti.

Kuitutason FTTH-toteutusta käsitellään tarkemmin Viestintäviraston työryhmäraportissa 1/2006 Optiset liityntäverkot [17]. Tämän lisäksi jotta vältetään erilaisten liittimien ja optiikoiden aiheuttamilta ongelmilta työryhmä on määritellyt optiselle liitännälle suositusten 21 ja 22 mukaiset parametrit.

Suositus 21: Työryhmä suosittelee että 100 Mbit/s tai tätä hitaamman FTTH-liittymän kotijakamon optinen liitäntä täyttää seuraavat parametrit:

- Yksimuoto kuitu (SM)
- 100 Base-BX (tx 1310 nm/rx 1550 nm)
- SC/UPC- tai LC/UPC-liitin

Rajapinta voidaan toteuttaa myös suosituksen 22 mukaisesti,

Suositus 22: Työryhmä suosittelee että yli 100 Mbit/s FTTH-liittymän kotijakamon optinen liitäntä täyttää seuraavat parametrit:

- Yksimuoto kuitu (SM)
- 1000 Base-BX (tx 1310 nm/rx 1490 nm)
- SC/UPC- tai LC/UPC-liitin

Jos verkko-operaattori ei voi tarjota edellisen suosituksen mukaista optista rajapintaa, työryhmä suosittelee, että palveluntarjoajan ja verkko-operaattorin välisenä luovutusrajapintana asiakkaan päässä on asiakaspäätelaitteen Ethernet-portti. Tällöin VO:n on syytä toimittaa myös asiakaspään päätelaite (optinen verkkopääte). Tämä on perusteltua, jotta päätelaitteen tiettyyn verkkoon soveltuvat tekniset ominaisuudet tulee otettua huomioon. Lisäksi rajapinta on riippumaton siitä käytetäänkö aktiivista vai passiivista ratkaisua (Ethernet vs. PON).

Suositus 23: Työryhmä suosittelee, että mikäli verkko-operaattori ei voi tarjota suositusten 21 tai 22 mukaista optista rajapintaa, palveluntarjoajan ja verkko-operaattorin välinen luovutusrajapinta asiakkaan päässä on asiakaspäätelaitteen Ethernet-portti.

4.4 FTTB-verkkojen erityiskysymykset

FTTB-ratkaisussa operaattorin kuitu tuodaan kiinteistön talojakamoon, jossa liitytään kiinteistön sisäverkkoon. Talojakamossa sijaitsevat kiinteistön aktiivilaitteet. Kiinteistön sisäverkko on toteutettu joko perinteisellä puhelinkaapeloinnilla, yleiskaapeloinnilla (esim. CAT5/6), valokuiduilla tai näiden yhdistelmällä. Jos sisäverkko on toteutettu valokuidulla, voidaan käyttää FTTH-ratkaisua. Kiinteistö voi olla joko asuin- tai yritys kiinteistö, tai näiden sekoitus. Usean rakennuksen muodostamassa kiinteistössä voi olla myös muita talokohtaisia jakamoita.

Kuitutason FTTB-toteutusta käsitellään tarkemmin Viestintäviraston työryhmäraportissa 1/2006 Optiset liityntäverkot [17].

4.4.1 Puhelinkaapeloinnilla toteutetut sisäverkot

Puhelinkaapeloitujen kiinteistöjen talojakamoon asennetaan yleensä DSLAM, josta tarjotaan yhteydet huoneistoihin käyttäen ADSL2+ tai VDSL2 -tekniikkaa. ADSL2+ -tekniikkaa käyttäen päästään tyypillisesti maksimissaan 24M/3M-liittymänopeuksiin ja VDSL2-tekniikkaa käyttäen jopa yli 100 Mbit/s symmetrisiin liittymänopeuksiin.

Huoneistoihin tarvitaan aina päätelaite (DSL-modeemi), joka voi Bitstream-mallissa olla loppuasiakkaan itsensä hankkima tai PO:n/VO:n toimittama. Palveluoperaattori voi haluta toimittaa päätelaitteen esimerkiksi eri palvelujen laadun takaamiseksi. VDSL2-tekniikassa usein esiintyvien päätelaitteiden yhteensopimattomuusongelmien takia myös verkko-operaattorin voi olla syytä toimittaa päätelaite. Vaihtoehtoisesti VO:n tulee määritellä ainakin yhteensopivat modeemityypit.

4.4.2 Yleiskaapeloinnilla toteutetut sisäverkot

Yleiskaapeloitujen kiinteistöjen talojakamoon asennetaan yleensä Ethernet-kytkin. Asiakasportit voivat olla joko 10/100M tai jopa 10/100/1000M nopeuksisia Ethernet-portteja. Bitstream-mallissa erillistä päätelaitetta ei välttämättä tarvita, mutta jos asiakas haluaa kytkeä palveluun enemmän kuin yhden laitteen, tarvitaan huoneistoon vähintään Ethernet-kytkin.

4.4.3 Bitstream-palvelun toteuttaminen FTTB-verkossa

Verrattuna kappaleessa 4.3 käsiteltyihin FTTH-liittymiin, FTTB-palvelussa ei ole vastaavia optiseen rajapintaan liittyviä ongelmia. VO:n ja PO:n välinen luovutusrajapinta onkin mahdollista määritellä yleisesti talojakamossa olevan DSLAM:n tai kytkimen portiksi.

Suositus 24: Työryhmä suosittaa, että FTTB-verkoissa Bitstream-palvelun luovutusrajapinta asiakkaan päässä on puhelinkaapeloiduissa sisäverkoissa talojakamossa oleva DSL-portti ja yleiskaapeloiduissa sisäverkossa Ethernet-portti.

5 METRO ETHERNET

Metro Ethernet -operaattorituote on palvelu, jota voidaan käyttää mm. lähiverkkojen yhdistämiseen Ethernet -pohjaisia yhteyksiä käyttäen. Fyysisesti eri paikoissa sijaitsevat lähiverkot tai muut verkkoratkaisut voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi luomalla virtuaaliyhteyksiä verkkojen välille. Verkko-operaattorista ja tämän palveluvalikoimasta riippuen Metro Ethernet -operaattorituotteella voidaan toteuttaa paikallisia, valtakunnallisia tai jopa kansainvälisiä yhteyksiä.

Tässä raportissa käytettävä määritelmä perustuu Metro Ethernet Forumin (MEF) laatimiin määrittelyihin. MEF (<http://metroethernetforum.org/>) on kansainvälinen yhteenliittymä, joka on perustettu edistämään Ethernet-tekniikkaan ja -palveluiden käyttöönottoa operaattoriympäristössä. MEF laatii mm. teknisiä määrittelyksiä, joiden tarkoituksena on edesauttaa Ethernet-palveluiden yhteentoimivuutta. Metro Ethernet Forum on myös määritellyt kolme erilaista Ethernet-palvelua: E-Line, E-LAN ja E-Tree -palvelut [18].

- Ethernet Line (**E-Line**) -palvelu tarjoaa päästä päähän yhteyden (point-to-point EVC) eli sen avulla voidaan yhdistää kaksi asiakkaan porttia toisiinsa verkon yli.
- Ethernet LAN (**E-LAN**) -palvelu tarjoaa mahdollisuuden yhdistää useita eri portteja toisiinsa verkon yli. Palvelun avulla liittymät voivat viestiä suoraan keskenään (multipoint-to-multipoint -yhteys).
- Ethernet Tree (**E-Tree**) -palvelu tarjoaa mahdollisuuden yhdistää useita asiakasportteja yhteen tai useampaan nieluliittymään (root UNI). Palvelussa eri liittymät eivät voi viestiä suoraan keskenään, vaan kaikki liikenne kiertää nieluliittymän tai nieluliittymien kautta.

Metro Ethernet -operaattorituotteiden avulla verkko-operaattorin on mahdollista tarjota eri nopeusluokkia ja palvelunlaatuasvoja.

5.1 Työryhmän suositukset

Tässä kappaleessa kuvataan työryhmän Metro Ethernet -palveluiden toteutuksesta antamat suositukset.

5.1.1 Liittynät yhdyskäytävässä

Operaattoreiden välinen yhteenliittämisrajapinta toteutetaan kaapeloimalla yhteys operaattoreiden Ethernet-kytkinten välille. Ethernet-kytkimet voivat sijaita parhaimmillaan samassa laitetilassa tai niillä saattaa olla etäisyyttä useita kilometrejä. Tarvittava kapasiteetti riippuu tilaajaliikenteen määrästä. IEEE 802.3ad [6] link aggregation -ominaisuutta käyttäen voidaan yhdistää useampia fyysisiä yhteyksiä kapasiteetin lisäämistä tai linkkien varmentamista varten.

Suositus 25: Operaattoreiden välinen Ethernet-kytkentä tulisi tehdä joko 1 Gbit/s tai 10 Gbit/s nopeudella (802.3z GbE [7] tai 802.3ae LAN-PHY [8]) käyttäen yksimuotokuitua.

Suositus 26: Luovutusrajapinnaksi tulisi sopia joko verkko-operaattorin tai palveluoperaattorin Ethernet-portti.

5.1.2 VLANit asiakas- ja yhdysliikennerajapinnoissa

Pinottujen VLANien (QinQ) avulla voidaan toteuttaa Transparent LAN -tyyppinen palvelu. Tällöin asiakasliittymässä voidaan käyttää joko IEEE 802.3 tai IEEE 802.1Q [4] kehystä ilman että VO:n tarvitsee sitä huomioida. Tässä tapauksessa asiakkaan käyttämiä VLAN-tunnisteita kutsutaan C-VLAN tunnisteiksi ja VO:n käyttämää ulompaa tunnistetta S-VLAN tunnisteeksi.

Operaattoreiden välisessä yhteenliittämisrajapinnassa käytetään kahta VLAN-tunnusta (QinQ). Ulompi VLAN-tunniste (S-VLAN) määrittelee, mistä liittymästä liikenne tulee. Vain tällä VLAN-tunnisteella on merkitystä yhteenliittämisrajapinnassa.

Suositus 27: VO/PO-rajapinnassa VO:n määrittää käytettävän VLAN ID-alueen ja PO tilaa siitä haluamansa VLANin.

Suositus 28: VO:n tulee tarjota VO/PO-rajapinnassa IEEE 802.1ad [19] mukainen VLAN-tunnelointi. Tässä tulee kuitenkin huomioida eri laitevalmistajien käyttämät erilaiset ethertype-kentän arvot. Työryhmä suosittelee, että Ethertypen arvona käytetään arvoa 0x8100, mikäli teleyritykset eivät erikseen toisin sovi.

5.1.3 Palveluntarjoajalle tarjottava maksimikehyskoko

MTU (Maximum Transmission Unit) on tavuissa ilmaistava lukuarvo, jolla tarkoitetaan Ethernet kehysten suurinta sallittua tavumäärää. Perus Ethernet-kehysten (IEEE 802.3) MTU on 1518 ja siihen lasketaan mukaan seuraavat kentät: kohteen MAC osoite (6 tavua), lähteen MAC osoite (6 tavua), Ethertype/Length kenttä (2 tavua), varsinainen hyötykuorma (46–1500 tavua) ja virheenkorjaus (Frame check sequence, 4 tavua). Kun halutaan siirtää VLAN-merkittyä liikennettä, niin peruskehysten MTU kasvaa 4 tavulla 1522:een. Jos käytetään kahta VLAN tunnusta (QinQ), niin kehysten MTU on 1526.

Kehysten suurin sallittu tavumäärä (MTU) vaihtelee siten toteutuksesta riippuen. Käyttäjän kokeman hyötykuorman tulee kuitenkin säilyä samana (46–1500 tavua), jotta paketteja ei tarvitse pilkkoa.

Tämän vuoksi palveluntarjoajalle tarjottavan maksimikehyskoon tulee olla vähintään 1534 tavua. Maksimikehyskoolla tarkoitetaan VO:n verkossa kuljetettavaa PO:n kokema hyötykuormaa. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi PO/VO-nielurajapinnassa MTU:n on vastaavasti oltava vähintään 1538 tavua.

Suositus 29: Palveluntarjoajalle tarjottavan maksimikehyskoon tulee olla vähintään 1534 tavua.

Suositus 30: VO:n tulisi tarjota palveluntarjoajille myös suosituksessa 29 mainittua suurempaa MTU-kokoa, mikäli liityntäteknikka ei aseta tälle rajoituksia.

5.1.4 Tietoturva

Asiakas- ja yhteenliittämisrajapiontojen tietoturvaa tullaan käsittelemään Viestintäviraston määräyksessä 13 Internet-yhteyspalvelujen tietoturvasta ja toimivuudesta [10] ja määräyksessä 28 viestintäverkkojen ja -palveluiden yhteentoimivuudesta [11] sekä molempien määräysten MPS-dokumentissa. Asiaa ei siten käsitellä tarkemmin työryhmän antamissa suosituksissa.

5.1.5 MAC-osoitteiden käytön hallinta ja suodatus

MAC-osoitteiden käytön hallinta ja suodatus ovat verkonsuojausmenetelmiä, jotka ovat tarpeen tarjotun palvelun tietoturvan ja toimintavarmuuden varmistamiseksi. Jos asiakas saa täytettyä kytkimen MAC-aulun, kytkin levittää kaikki paketit jokaiseen kytkimen porttiin, jolloin jokainen kytkimeen kytketty laite näkee kaiken kytkimen kautta kulkevan asiakasliikenteen. Kytkimissä ja DSLAMEissa MAC-aulun rajattu koko on siis yksi tunnetuista tietoturvauhista. Verkkoa mitoitettaessa MAC-osoitteiden määrä (MAC-osoiteavaruuden koko) on myös yksi kustannustekijä operaattorille, sillä se vaikuttaa Ethernet-kytkinten kapasiteettiin ja edelleen hintaan.

Edellä mainitun ongelman vakavuus riippuu kuitenkin käytetystä tekniikasta. Teleyritys voi esimerkiksi vähentää edellä kuvattuja ongelmia hyödyntämällä Provider Backbone Bridging -tekniikkaa (802.1ah [12]). Ongelma voidaan estää myös rajoittamalla porttikohtaisten MAC-osoitteiden määrä ja sallimaan liikenne vain opittuihin oikeisiin MAC-osoitteisiin. Vanhemmissa tai edullisimmissa kytkimissä ei ole aina mahdollista estää MAC-aulujen täyttämistä asiakasporteista. Edellä mainittu ongelma koskee myös Ethernet-verkon mitoituksia terminointireitittimen ja asiakaspäätelaitteen välissä.

Vaatus MAC-osoitteiden yksikäsitteisyydelle on helposti osoitettavissa tilanteissa, joissa operaattorin verkkoon on huolimattoman maahantuonnin tms. takia liitetty samalla MAC-osoitteella varustettuja laitteita. Tällöin kummankaan tilaajan liittymä ei toimi normaalisti ja pahimmillaan operaattorin DHCP-palvelimen sekä BRASin tai MSANin toiminta häiriintyy. Tällaiset liittymät täytyy sulkea, jolloin tilaajan vastuulle jää selvittää, miksi hankitussa laitteessa ei ole standardin mukaista MAC-osoitetta. On myös huomioitava, että tilaaja voi vaihtaa tiettyjen laitteiden MAC-osoitteen itse.

Tämän vuoksi on sovittava käytäntö siitä, miten VO toimii, kun PO havaitsee verkossa moninkertaisia MAC-osoitteita. VO voi esimerkiksi sulkea kaikki liittymät, joissa virheellisiä MAC-osoitteita käytetään tai suodattaa liikenteen, jonka lähettäjäksi on merkitty kyseinen MAC-lähdeosoite. Se, mitä mekanisme tässä yhteydessä ensisijaisesti käytetään voi riippua mm. VO:n verkkotekniikan tarjoamista vaihtoehdoista.

Periaatteessa yksittäisessä liittymässä tarvitaan vain sen verran MAC-osoitteita kuin sieltä hyväksytään erillisiä IP-osoitteita. Käytännössä on kuitenkin niin, että tilaajaverkkoihin tullaan kytkemään myös sellaisia laitteita, joilta ei ole tarkoitus liikennöidä VO/PO-verkkoihin. Nämä MAC-osoitteet näkyvät Ethernet-verkon toimintaperiaatteen takia myös VO:n verkossa ja siksi VO ei voi mitoitaa liittymän käytössä olevien MAC-osoitteiden määrää suoraan PO:n tuotteistaman IP-osoitemäärän mukaan. Koska MAC-osoitteiden määrä on hinnoittelukomponentti VO/PO-rajapinnassa, täytyy VO:n ottaa käyttöön sopiva MAC-osoitemääräporrastus, jotta PO:n tuotteistusta ei rajoiteta.

Suositus 31: VO:n ja PO:n tulisi olla mahdollista hallita porttikohtaisesti (tilaajakytkin tai yhteenliittämisrajapinta) aktiivisten MAC-osoitteiden määrää. Lisäksi E-LAN-palvelussa VO:n tulee hallita MAC-osoitemäärää palvelukohtaisesti. Jos VO toteuttaa hallinnan rajoittamalla MAC-osoitteiden määrää, suositeltavat aktiivisten MAC-osoitteiden määrärajoitteet ovat esimerkiksi 20, 50, 100, 500,1000 ja 5000 MAC-osoitetta porttia kohden.

Suositus 32: VO voi itse sulkea liikenteen päällekkäisiä MAC-osoitteita käyttävistä liittymistä. VO:n tulisi PO:n pyynnöstä sulkea liikenne päällekkäisiä MAC-osoitteita käyttävistä liittymistä.

5.1.6 Palvelun laatu (Quality of Service, QoS)

Ethernet-metroverkkoon voidaan toteuttaa laatutasot erityyppisiä loppukäyttäjäpalveluja varten. IP-pohjaiset puhepalvelut, IPTV ja yritysliittymät ovat esimerkkejä palveluista ja liikenteestä, jotka tarvitsevat Ethernet-metroverkossa erityiskohtelua viiveiden ja kapasiteetin hallitsemiseksi.

Ethernet verkossa voidaan toteuttaa IEEE 802.1p -standardin [5] mukaisia laatuluokkia (CoS). Verkossa tämä edellyttää IEEE 802.1Q [4] -kehystyksen käyttämistä. Tilaaajayhteyksillä tämä voi olla ongelma, jos niillä ei ole IEEE 802.1Q -kehystystä käytössä. Tällöinkin voidaan laskevan suunnan (downstream) laatuluokitus toteuttaa runkoverkon luokittelun pohjalta, mutta nousevassa suunnassa (upstream) tämä ei ole mahdollista. Nousevan suunnan laatuluokitus voidaan toteuttaa IP-tason mekanismeja käyttäen (esim. IP DSCP). Tällöin tilaajakytkimen täytyy kyetä merkitsemään IEEE 802.1p -kentän arvot IP-tason QoS-arvojen mukaisesti.

Suositus 33: Liikenteen priorisoimiseen Ethernet-metroverkoissa tulee käyttää IEEE 802.1p -standardin [5] mukaisia laatuluokkia. VO:n ja PO:n tulee sopia L3-tason laatuluokkien (IP DSCP) käytöstä ja käytön rajoituksista. Lisäksi, jos VO on tuotteistanut eri laatutasoja, tulisi näiden laatutasojen olla myös muiden palveluoperaattoreiden saatavilla Metro Ethernet palvelussa.

Liikenne, joka halutaan siirrettävän jossain laatuluokassa, luokitellaan PO:n toimesta haluttuun luokkaan. PO:n CoS-merkinnät tunneloidaan siten, että vain tilausta vastaavat liikenneluokat otetaan priorisoinnissa huomioon, muut merkinnät välitetään Metro Ethernet verkon yli sellaisenaan (ei ylikirjoitusta) ja käsitellään perusliikenneluokan liikenneluokan mukaisesti. VLAN-tunnukseton liikenne (ns. natiivi Ethernet) käsitellään perusliikenteenä.

Työryhmä suosittelee seuraavia IEEE 802.1p -kentän arvoja käytettäväksi taulukon 1 mukaiselle liikenteelle:

Taulukko 1: Eri liikenneluokille käytettävät IEEE802.1p -arvot

IEEE802.1p	ITU-T Y.15401	Liikenneluokka
5	0	Reaaliaikainen liikenne (esim VoIP)
4	1	(esim. multicast IPTV)
3	2-4	(esim. VoD tai tärkeä TCP-liikenne)
0	5	Perusliikenne (Best Effort)

Suositus 34: Työryhmä suosittelee taulukon 1 mukaisen sovituksen käyttöä ja vähintään reaaliaikaliikenneluokan tarjoamista perusliikenneluokan lisäksi. Lisäksi suositellaan liikenneluokan 3 tarjoamista.

ITU- T on standardissa Y.1540 [20] määritellyt suorituskykytekijöitä kuvaamaan laatuluokkien palvelutasoa ja verkohallintaan vaikuttavia asioita. Näitä ovat mm. yhdensuuntainen viive (IPTD, IP Packet Transfer Delay), viiveen vaihtelu (IPDV, IP Packet Delay Variation), pakettihävikki (IPLR, IP Packet Loss Ratio) ja virhesuhde (IPER, IP Packet Error Ratio). Näiden tekijöiden avulla, standardissa Y.1541 [21] on esitetty kullekin laatuluokalle määritelty vähimmäispalvelutaso päästä päähän eli käyttäjältä käyttäjälle.

5.1.7 Lähetyksmyrskyt

Lähetyksmyrskyt, varsinkin levitysviestien osalta, voivat saattaa yhdysliikennepisteen käyttökelvottomaksi. Tästä syystä yhdysliikennettä harjoittavien osapuolten tulee varautua lähetyksmyrskyjen vaikutusten rajoittamiseen. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi rajoittamalla levitysviestien saamaa kapasiteettia verkossaan.

Tyypillisesti eri laitetyypeissä voidaan käyttää niin sanottuja "Storm-control" -suodattimia, joiden avulla on mahdollista rajoittaa tietty osuus linjakapasiteetista yksittäislähetyks- ja yleislähetysliikenteelle. Yhdyskäytävässä käytettäessä, suodattimista ei saa normaalitilanteessa aiheutua haittaa tilaajille.

Suositus 35: Työryhmä suosittelee, että VO käyttää lähetyksmyrskysuodattimia asiakasportoissa ja sekä VO:n että PO:n käyttävät lähetyksmyrskysuodattimia yhteenliittämisrajapinnassa.

5.1.8 Kapasiteetin hallinta

Asiakas- ja yhdysliikennerajapintojen liityntänopeudet voivat olla selvästi myytyä yhteykskapasiteettia suuremmat. Asiakkaalta lähtevän ja tälle saapuvan liikenteen nopeutta onkin syytä rajoittaa verkon kapasiteetin riittävyyden turvaamiseksi.

PO vastaa etäliittymään päin saapuvan liikenteen nopeuden olevan palveluun nähden oikein mitoitettu. PO:n olisi lisäksi hyvä rajoittaa nousevan liikenteen nopeutta vastaamaan VO:lta ostettua palvelua, mikäli tämä on mahdollista. PO voi hallita nousevaa liikennettä esimerkiksi silloin, kun PO hallinnoi etäliittymän päätelaitetta. VO vastaa verkkoyhteyden nopeuden rajoittamisesta sekä laskevaan että nousevaan suuntaan.

Suositus 36: VO rajoittaa tarjotun kapasiteetin sekä nousevaan että laskevaan suuntaan. PO vastaa etäliittymään päin saapuvan liikenteen nopeuden olevan palveluun nähden oikein mitoitettu. Lisäksi PO:n tulee rajoittaa nousevan liikenteen nopeus ostetun palvelun mukaiseksi, mikäli tämä on mahdollista.

5.1.9 Yhteyden toiminnan testattavuus

Ethernet yhteyden testaamiseen on tehty määrittelyitä, joilla voidaan saada liittymän tilasta ja toiminnasta tietoa kuten kappaleessa 4.2.7 on kerrottu. Yhteyden toiminnan testaaminen voidaan toteuttaa asennusvaiheessa palvelun toimituspisteestä Ethernet-nieluun tai parhaimmallaan palveluoperaattorin palveluun asti. VO:n ja PO:n on sovittava miten asennusvaiheen testaus pystytään tekemään. Asennusvaiheen testaukseen usein liittyy myös kolmas osapuoli, joka tekee varsinaisen asennustyön.

Lisäksi VO voi tarjota palvelua, jossa näkee palvelun toimituspisteen ethernet portin tilan. Tällaisessa palvelussa olisi hyvä kertoa ainakin seuraavat tiedot:

- Hallinnollinen tila (up/down)
- Portin tila (up/down, speed, duplex)
- Portin liikennelaskurit (in/out)
- Portin virhelaskuri (CRC-virheet)
- Lisäksi PO:lle olisi hyvä mahdollistaa portin uudelleenkäynnistys

Suositus 37: VO:n ja PO:n on yhdessä sovittava miten asennusvaiheen testaus tehdään Ethernet-liittymille.

Suositus 38: Työryhmä suosittelee, että VO tarjoaa PO:lle työkalun asiakasporttien hallintaan sekä yhteyden toiminnan todentamiseksi, mikäli tämä on vain mahdollista ilman merkittäviä lisäinvestointeja. Työkalun olisi hyvä näyttää asiakasporttikohtaisesti ainakin yllä määritellyt parametrit.

Suositus 39: Työryhmä suosittelee, että VO hankkii verkkoonsa vain sellaisia laitteita, jotka mahdollistavat suosituksessa 38 mainitun toiminnallisuuden tarjonnan.

5.1.10 Palvelukuvauksessa ilmoitettavat tiedot

Etenkin ulkomaiset asiakkaat kysyvät monesti Metro Ethernet Forumin palvelumääritelmässä (MEF 6.1, Metro Ethernet Services Definitions Phase 2) [18] mainittujen parametrien (service attributes and parameter values) arvoja. Työryhmä suosittelee, että VO ilmoittaa palvelussaan käyttämät parametrit palvelukuvauksessa.

Suositus 40: Työryhmä suosittelee, että VO kuvaa Metro Ethernet -operaattorituotteen palvelukuvauksessa palvelussa käytettävät MEF-palvelumääritelmässä [18] mainittujen parametrien (service attributes and parameter values) arvot.

5.1.11 IPv6

IPv6-protokollan ensimmäinen IETF-spesifikaatio (RFC 1752) valmistui vuonna 1993. IPv6-protokollan kehitys on jatkunut siitä saakka ja jatkuu edelleen. IPv6-toteutusten edellyttämät perusspesifikaatiot ovat kuitenkin olleet olemassa jo useita vuosia ja tällä hetkellä IPv6-tuki on saatavana kaikkiin merkittävimpiin verkon komponentteihin.

IPv6-protokollan tuomista uusista lisäominaisuuksista ja IPv4-osoitteiden loppumisesta lähitulevaisuudessa huolimatta IPv6-protokollan käyttöönotto asiakasliittymissä on ollut hidasta. Pääsyyinä tähän on ollut, etteivät operaattorit ole nähneet kaupallisia tarpeita siirtymiseen. IPv6:n täysmittainen käyttöönotto on kuitenkin yhä ajankohtaisempaa ja teleyritysten tulee varautua siihen.

Suositus 41: Työryhmä suosittelee, että VO hankkii verkkoonsa vain sellaisia laitteita, jotka tukevat eri IP-protokollaversioiden yhtäaikaista välittämistä verkossa.

6 LYHENNELUETTELO

ADSL(2+)	Asymmetric Digital Subscriber Line (2+)
ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPDU	Bridge Protocol Data Unit
BRAS	Broadband Remote Access Server
C-VLAN	Customer Virtual Local Area Network
CAT-5/6	Cathegory 5/6 (kategorian 5 tai 6 yleiskaapeli)
CDP	Cisco Discovery Protocol
CoS	Class of Service
CPE	Customer Premises Equipment
CRC	Cyclic Redundancy Check
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSCP	Differentiated Services Code Point
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EY	Euroopan yhteisö
GBIC	GigaBit Interface Converter
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Network
FCS	Frame Check Sequence
FTTB	Fiber to the Building (kuitu kiinteistöön)
FTTH	Fiber to the Home (kuitu kotiin)
FTTx	Fiber to the x
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
L2	Layer 2 (OSI-mallin 2. taso, eli siirtoyhteyserros)
L3	Layer 3 (OSI-mallin 3. taso, eli verkkokerros)
MAC	Media Access Control
MEF	Metro Ethernet Forum
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MSTP	Multiple Spanning Tree Protocol
MTU	Maximum Transmission Unit
OSI	Open Systems Interconnetion
PAD	Padding (täytebitti)
PBT	Provider Backbone Transport
PO	palveluoperaattori
PON	Passive Optical Network
PPPoA	Point-to-Point Protocol over ATM
PPPoE	Point-to-Point Protocol over Ethernet
PPPoX	Point-to-Point Protocol over X
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comments
S-VLAN	Service Virtual Local Area Network
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SELT	Single-Ended Loop Testing
SFP	Small Form-factor Pluggable
STP	Spanning Tree Protocol
TCI	Tag Control Information
TPID	Tag Protocol Identifier
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VDSL2	Very High Speed Digital Subscriber Line 2
VLAN	Virtual Local Area Network
VO	verkko-operaattori
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
VTP	VLAN Trunk Protocol
WAN	Wide Area Network
xDSL	(DSL) Digital Subscriber Line

7 VIITTEET

- [1] Viestintävirasto, työryhmäraportti 7/2004 Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat, 28.1.2005,
http://www.ficora.fi/attachments/suomi_R_Y/1158858936952/Files/CurrentFile/TRaportti072004.pdf
- [2] Viestintävirasto, työryhmäraportti 1/2010 Open Access -pilotin loppuraportti, 16.3.2010,
<http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/5oIN5b87E/TRaportti012010.pdf>
- [3] Bitstream Access, ERG Common Position, 2.4.2004,
http://www.erg.eu.int/doc/whatsnew/erg_0333rev1_bitstream_access_common_position.pdf
- [4] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.1Q - Virtual LANs,
<http://www.ieee802.org/1/>
- [5] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.1p - Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering (published in 802.1D-1998),
<http://www.ieee802.org/1/>
- [6] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.3ad - 2000, Link Aggregation,
<http://www.ieee802.org/3/>
- [7] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.3z - 1998, Gigabit Ethernet,
<http://www.ieee802.org/3/>
- [8] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.3ae - 2002, 10Gb/s Ethernet,
<http://www.ieee802.org/3/>
- [9] IETF, RFC 3046 DHCP Relay Agent Information Option,
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3046.txt>
- [10] Viestintäviraston määräys 13 Internet-yhteyspalvelujen tietoturvasta ja toimivuudesta,
<http://www.ficora.fi/index/saadokset/maaraykset.html>
- [11] Viestintäviraston määräys 28 Viestintäverkkojen ja -palveluiden yhteentoimivuudesta,
<http://www.ficora.fi/index/saadokset/maaraykset.html>
- [12] IEEE Standards Association, IEEE Std. 802.1ah - Provider Backbone Bridges,
<http://www.ieee802.org/1/>
- [13] Broadband Forum, TR-069 CPE WAN Management Protocol v1.1,
http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-069_Amendment-2.pdf
- [14] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.1ah-2004, Ethernet in the First Mile - Link OAM,
<http://www.ieee802.org/3/>
- [15] IEEE Standards Association, IEEE 802.1ag-2002, Maintenance #6 (Revision) - Fault Management,
<http://www.ieee802.org/3/>
- [16] ITU-T Rec. Y.1731: OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks (02/2008),
<http://www.itu.int/ITU-T/index.html>
- [17] Viestintävirasto, työryhmäraportti 1/2006 Optiset liityntäverkot, 23.2.2006,
http://www.ficora.fi/attachments/suomi_R_Y/1156442801386/Files/CurrentFile/TRaportti012006.pdf
- [18] Metro Ethernet Forum, MEF 6.1 Metro Ethernet Services Definitions Phase 2 (6/08),
<http://metroethernetforum.org/>
- [19] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.1ad - Provider Bridges
<http://www.ieee802.org/1/>

[20] ITU-T Rec. Y.1540 (11/2007): Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters, <http://www.itu.int/ITU-T/index.html>

[21] ITU-T Rec. Y.1541 (02/2006): Network performance objectives for IP-based services, <http://www.itu.int/ITU-T/index.html>