

Laajakaistatekniikoiden kehitys 2009–2015



Tekijät Oy Omnitele Ab Jyri Puumalainen, Ari Ojaniemi, Mikko Valtonen		Julkaisun laji Raportti	
		Toimeksiantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	
		Toimielimen asettamispäivämäärä	
Julkaisun nimi Laajakaistatekniikoiden kehitys 2009–2015			
Tiivistelmä <p>Hallituksen laajakaistahankkeen tavoitteen mukaan vuonna 2015 kotitalouksien ja yritysten tulee olla korkeintaan kahden kilometrin päässä 100 Mbit/s:n yhteyden tarjoavasta valokuitu- tai kaapeliverkosta. Tämä tutkimus on osa hankkeen toteutusvaihtoehtojen arviointia. Tutkimuksessa selvitetään kiinteiden ja langattomien laajakaistatekniikoiden odotettu kehitys sekä tekniikoiden soveltuvuus kahden kilometrin tilaajayhteyden toteuttamiseen.</p> <p>Kiinteiden tekniikoiden markkinajohtaja DSL kehittyy edelleen ja uusilla DSL-tekniikoilla voidaan tulevaisuudessa saavuttaa yli sadan megabitin liittymänopeudet, mutta vain hyvin lyhyillä etäisyyksillä. Tekniikat tulevatkin käyttöön lähinnä keskustoissa ja taajamissa osana kuitu kortteliin tai kuitu kiinteistöön -toteutuksia. Myös kaapelimodeemitekniikalla päästään sadan megabitin yhteysnopeuksiin, mutta vain myötäsunnassa ja lisäksi tekniikkaa on pidettävä lähinnä taajamien ja kaupunkien tekniikkana. Varsinaiset kuitu kotiin -toteutukset mahdollistavat sadan megabitin symmetriset yhteydet ilman mainittavia yhteyspituusrajoituksia, mutta kuituratkaisuiden yleistymistä hidastavat korkeat rakentamiskustannukset.</p> <p>Langattomista tekniikoista laajakaistahankkeen tavoitteisiin pystytään parhaiten vastaamaan matkaviestintekniikoilla HSPA ja LTE: suorituskyvyn voi odottaa nousevan jopa kymmeneen megabiteihin käyttäjää kohti. Kapasiteetti on kuitenkin jaettua kapasiteettia ja saavutettavat nopeudet riippuvat mm. operaattoreiden käytössä olevista taajuuksista. Kaupunkeihin ja taajamiin soveltuvia taajuuksia operaattoreilla on hyvin käytettävissä jo nyt, ja tulevan taajuushuutokaupan myötä taajuuksia on saatavilla lisää. Sen sijaan maaseudulla tekniikoiden hyödyntämistä rajoittaa alhaisten ja hyvin etenevien taajuuksien vähäisyys. Lisätaajuuksia on tiedossa lähinnä taajuusylijämmästä, mutta sen käyttöönotosta ei vielä ole tietoa.</p> <p>Muiden langattomien tekniikoiden, kuten kiinteän ja mobiilin Wimaxin, 450 MHz:n Flash-OFDM:n, WLANin ja satelliittilaajakaistan, merkityksen odotamme jäävän selvästi varsinaisia matkaviestintekniikoita pienemmäksi.</p>			
Avainsanat (asiasanat) Laajakaistatekniikka, VDSL2, kaapelimodeemi, kuitu kotiin, HSPA, LTE, WiMAX, kehitys			
Muut tiedot Yhteyshenkilö/LVM: Juha Parantainen			
Sarjan nimi ja numero Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 46/2009		ISSN 1457-7488 (painotuote) 1795-4045 (verkkojulkaisu)	ISBN 978-952-243-111-0 (tuloste) 978-952-243-112-7 (verkkojulkaisu)
Kokonaissivumäärä 26	Kieli suomi	Hinta	Luottamuksellisuus julkinen
Jakaja Liikenne- ja viestintäministeriö		Kustantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	



Författare Oy Omnitele Ab Jyri Puumalainen, Ari Ojaniemi, Mikko Valtonen		Typ av publikation Rapport	
		Uppdragsgivare Kommunikationsministeriet	
		Datum för tillsättandet av organet	
Publikation Utveckling av bredbandsteknik 2009–2015			
Referat <p>Enligt regeringens bredbandsprogram är målsättningen att alla hushåll år 2015 skall ha tillgång till ett 100 Mbit/s optiskt eller kabelnätverk inom högst två kilometers avstånd. Denna undersökning är en del av evalueringen av vilka alternativ det finns för att genomföra programmet. Här utreds den förväntade utvecklingen av fasta och trådlösa nätverk samt hur de olika teknikerna lämpar sig för att förverkliga anslutningar inom två kilometers avstånd.</p> <p>Den marknadsledande tekniken DSL utvecklas vidare, och med ny DSL-teknik kan man i framtiden uppnå över hundra megabits överföringshastighet, men bara inom korta avstånd. Tekniken kommer att användas närmast inom städernas centrum och förorter, där fiber till kvarteret (FTTC) eller till fastigheten (FTTB) tillämpas. Även med kabelmodemteknik kan man uppnå hastigheter på hundra megabit, men endast för inkommande trafik. Dessutom kan denna teknik anses vara ämnad främst för städer och tätorter. Att förverkliga fiber till hemmet (FTTH) möjliggör symmetriska anslutningar på hundra megabit utan nämnvärda begränsningar, men höga installeringskostnader kan fördröja genomförandet.</p> <p>Den trådlösa tekniken som bäst lämpar sig för att uppnå målsättningarna är HSPA eller LTE: effektiviteten kan väntas uppnå tiotals megabit per användare. Kapaciteten kommer att vara delad, och de hastigheter som uppnås beror bl.a. på de frekvenser operatörerna använder. Redan nu använder operatörerna frekvenser som passar städer och tätorter, och i och med den förestående frekvensauktionen kommer flere frekvenser att vara tillgängliga. Däremot begränsar bristen på snabba frekvenser utnyttjandet av teknikerna på landsbygden. Tilläggsfrekvenser kan dock fås via frekvensöverskottet, men när och om detta sker är ännu oklart.</p> <p>Betydelsen av övrig trådlös teknik, som fast och mobil Wimax, 450 MHz:s Flash-ODFM, WLAN och satellitbredband, förväntas vara klart mindre än egentlig mobilteknik.</p>			
Nyckelord Bredbandsteknologi, VDSL2, kabelmodem, fiber till hemmet, HSPA, LTE, WiMAX, utveckling			
Övriga uppgifter Kontaktperson vid ministeriet är Juha Parantainen.			
Seriens namn och nummer Kommunikationsministeriets publikationer 46/2009		ISSN 1457-7488 (trycksak) 1795-4045 (nätpublikation)	ISBN 978-952-243-111-0 (trycksak) 978-952-243-112-7 (nätpublikation)
Sidoantal 26	Språk finska	Pris	Sekretessgrad offentlig
Distribution Kommunikationsministeriet		Förlag Kommunikationsministeriet	



Authors Oy Omnitele Ab Jyri Puumalainen, Ari Ojaniemi, Mikko Valtonen		Type of publication Report	
		Assigned by Ministry of Transport and Communications	
		Date when body appointed	
Name of the publication Development of broadband access technologies 2009–2015			
Abstract <p>By the end of 2015, the distance from all residences and enterprises to the nearest optical fibre or cable network that provide at least 100 Mbit/s data capacity should be at most two kilometers according to goal of a broadband development program initiated by the Finnish government. This study supports deployment option analysis of the program by examining expected development of fixed and wireless broadband technologies as well as assessing their suitability for building two kilometer long subscriber lines.</p> <p>The dominant fixed broadband technology, DSL, is still advancing and new DSL-technologies are able to provide over 100 Mbit/s data rates, although only over very short distances. These technologies will be implemented mainly in city centers and sub-urban areas as fiber to the curb or fiber to the building deployments. In addition to DSL, cable modem also enables over 100 Mbit/s data rates, but only in the downstream direction. It is also mainly conceived as a technology for city centers and sub-urban areas. Actual fiber to the home solutions provide over one hundred megabit symmetrical data rates without any noteworthy distance limitations. However, high construction costs of fiber to the home -solution slow down its deployment.</p> <p>Of all the wireless data technologies analyzed in the study, HSPA and LTE technologies are the best options to fulfill the requirements set in the government's program. Both technologies can provide several dozens megabit data rates per user. However, data capacity is shared between users and achievable data rates will depend on the amount of bandwidth and number of frequencies that are available to operators. Frequencies, which are suitable for city centers and sub-urban areas, are already today widely available to operators and the forthcoming 2.5 GHz spectrum auction will provide further spectrum options. In rural areas, the availability of lower frequencies with preferable propagation characteristics is hindering the exploitation of new mobile data technologies. Digital Dividend would provide more frequencies, but the current spectrum allocation time schedule has not yet been decided.</p> <p>The role of other wireless data technologies such as fixed and mobile WiMAX, 450 MHz Flash-OFDM, WLAN and satellite broadband is expected to be minor compared to HSPA and LTE technologies.</p>			
Keywords Broadband technology, VDSL2, cable modem, FTTH, HSPA, LTE, WiMAX, development			
Miscellaneous Contact person at the Ministry: Mr Juha Parantainen			
Serial name and number Publications of the Ministry of Transport and Communications 46/2009		ISSN 1457-7488 (printed version) 1795-4045 (electronic version)	ISBN 978-952-243-111-0 (printed version) 978-952-243-112-7 (electronic version)
Pages, total	Language Finnish	Price	Confidence status Public
Distributed and published by Ministry of Transport and Communications			

ESIPUHE

Valtioneuvosto linjasi joulukuussa 2008 tietoliikenneyhteyksien kehittämistä. Tavoitteeksi asetettiin, että lähes kaikki suomalaiset ovat vuoteen 2015 mennessä enintään kahden kilometrin etäisyydellä 100 Mbit/s yhteyden mahdollistavasta valokuitu- tai kaapeliverkosta. Myös langattomia yhteyksiä kehitetään koko ajan ja niille etsitään uusia käyttökelpoisia taa-juusalueita.

Tässä selvityksessä arvioidaan niin kiinteän kuin langattomankin laajakaistatekniikan kehitystä vuoteen 2015. Erityisenä mielenkiinnon kohteena on ollut se, miten erilaiset tekniikat sopivat tilaajayhteyden ratkaisuksi keskusta-, taajama-, ja haja-asutusalueilla. Tarkastelun pääpaino on haja-asutusalueissa, koska taajamissa ja kaupungeissa laajakaistayhteyksien tarjonta kehittyy markkinaehtoisesti ja niin, että vaihtoehtoisia tekniikoita ja palveluntarjoajia on saatavilla jopa useita. Sen sijaan haja-asutusalueilla vaihtoehtoja ei useinkaan ole valittavaksi asti.

Tutkimuksen ovat tehneet Ari Ojaniemi, Jyri Puumalainen ja Mikko Valtonen Omnitele Oy:stä. Tutkimuksessa esitetyt näkökannat ja päätelmät ovat tekijöiden.

Helsingissä marraskuussa 2009

Juha Parantainen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KIINTEIDEN LAAJAKAISTATEKNIKOIDEN KEHITYS	2
2.1	DSL-tekniikat	2
2.1.1	ADSL, ADSL2+ ja VDSL2.....	2
2.1.2	Tulevaisuuden kehitys	3
2.2	Kaapelimodeemi	4
2.2.1	EuroDocsis 3.0.....	4
2.2.2	Tulevaisuuden kehitys	4
2.3	Kuitu-kotiin	5
2.3.1	Aktiivinen Ethernet ja PON.....	5
2.3.2	Tulevaisuuden kehitys	6
3	LANGATTOMIEN LAAJAKAISTATEKNIKOIDEN KEHITYS	7
3.1	HSPA ja HSPA Evolved	7
3.1.1	HSPA.....	7
3.1.2	HSPA Evolved.....	8
3.2	LTE-tekniikat	9
3.2.1	LTE.....	9
3.2.2	LTE Advanced.....	10
3.3	WiMAX-tekniikat	10
3.3.1	Kiinteä Wimax.....	10
3.3.2	Mobiili Wimax	11
3.4	450 MHz:n Flash-OFDM tekniikka	11
3.5	Muut langattomat tekniikat	12
3.5.1	Satelliittilaajakaista.....	12
3.5.2	WLAN	12
4	LAAJAKAISTATEKNIKOIDEN SOVELTUVUUS TILAAJAYHTEYDEN RATKAISUKSI	13
4.1	Kiinteät laajakaistatekniikat	13
4.2	Matkaviestintekniikat	16
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	18
6	LÄHTEET	19

1 JOHDANTO

Liikenne- ja viestintäministeriön Laajakaista kaikille –hankkeen tavoite on saada kehittyneet laajakaistayhteydet käytännössä kaikkien kotitalouksien ja yritysten ulottuville. Täsmällisen tavoitteen mukaan vuonna 2015 kotitalouksien ja yritysten tulee olla korkeintaan kahden kilometrin päässä 100 Mbit/s:n yhteyden tarjoavasta valokuitu- tai kaapeliverkosta. Tavoitteen odotetaan täyttyvän pääosin markkinaehtoisesti, mutta hankkeeseen on varattu myös julkista rahaa heikoimmin kannattavien kohteiden verkottamiseksi. Julkisesti rahoitettavissa kohteissa korkeintaan kahden kilometrin tilaajayhteyden rakentaminen jää kotitalouksien ja yritysten omalle vastuulle.

Tämä tutkimus palvelee Laajakaista kaikille –hanketta selvittämällä vaihtoehtoisten kiinteiden ja langattomien laajakaistatekniikoiden odotetun kehityksen ja tekniikoiden soveltuvuuden kahden kilometrin tilaajayhteyden toteuttamiseen. Tekniikoiden kehityksen selvityksessä keskitytään suorituskyvyn ja tekniikan rajoitteiden arviointiin. Laajakaistatekniikoiden soveltuvuutta tilaajayhteydeksi arvioidaan keskusta-, taajama-, ja haja-asutusalueilla. Selvityksen aikajänne ulottuu vuodesta 2009 vuoteen 2015 ja koskee Suomen kuluttajamarkkinoita. Tämä tutkimus soveltuvin osin päivittää ministeriön vuonna 2004 teettämän selvityksen Laajakaistatekniikoiden kehitys 1995 – 2010.

2 KIINTEIDEN LAAJAKAISTATEKNIIKOIDEN KEHITYS

Tässä luvussa tarkastellaan DSL- ja kaapelimodeemitekniikoita, jotka ovat nykyisin keskeisimmät kiinteät laajakaistatekniikat. Lisäksi selvitetään valokuitutekniikoita, joiden odotetaan yleistyvän tilaajayhteyden laajakaistarakaisuina tulevaisuudessa. Datasähkötekniikan käyttö ei ole yleistynyt viime vuosina vaan pikemminkin supistunut. Nykyisin tekniikkaa hyödyntääkin Suomessa vain yksi toimija, Kuopion Energia. Datasähköä ei näin tarkastella selvityksessä.

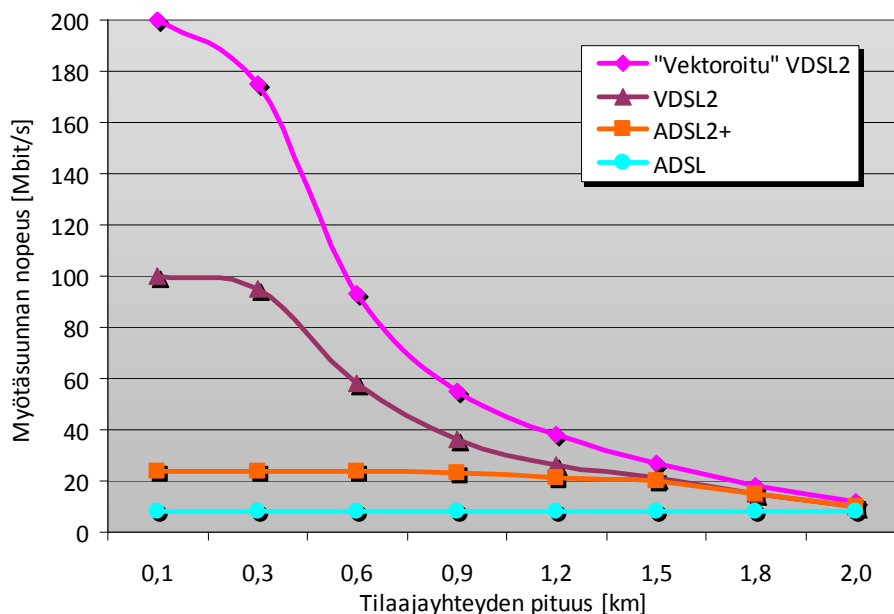
2.1 DSL-tekniikat

DSL	Digital Subscriber Line
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ADSL2+	Asymmetric Digital Subscriber Line 2
VDSL2	Very High Speed Subscriber Line 2

DSL-tekniikka on liittymien lukumäärällä mitattuna laajakaistamarkkinoiden ylivoimainen johtaja sekä Suomessa että globaalisti. Seuraavassa kuvataan ADSL:n, ADSL2+:n ja VDSL2:n ominaisuudet ja kehitysnäkymät.

2.1.1 ADSL, ADSL2+ ja VDSL2

Perinteinen ADSL on edelleen keskeisin kuluttajaliittymien toteutustekniikka, mutta laajakaistaverkot tukevat jo laajasti ADSL2+ -tekniikkaa¹. ADSL-tekniikoiden heikkouksina voidaan pitää melko alhaisia datanopeuksia, epäsymmetrisyyttä sekä etäisyysrajoitetta. Esimerkiksi ADSL2+ mahdollistaa 24/3 Mbit/s liittymänopeudet noin 600 metriin (Kuva 1).

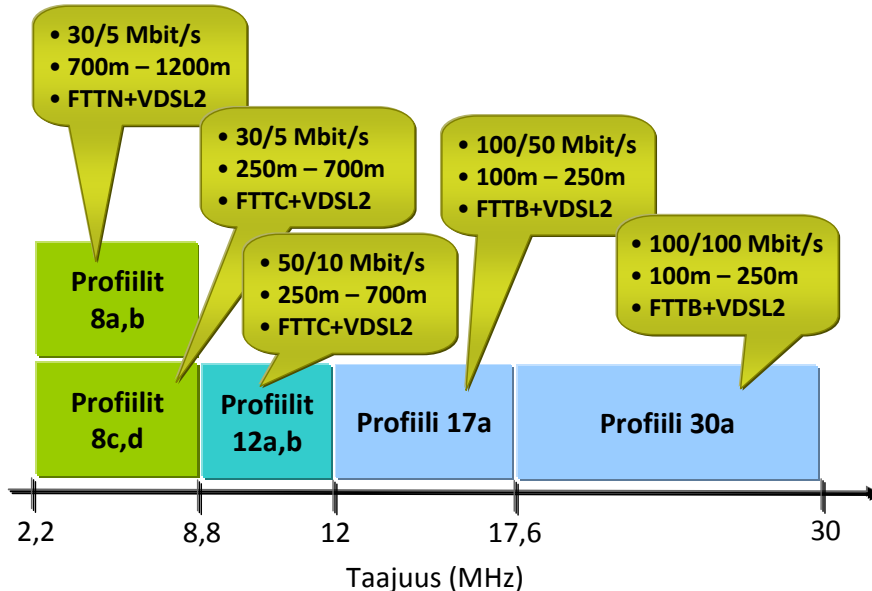


Kuva 1. Keskeisten DSL-tekniikoiden teoreettiset myötäsunnan datanopeudet tilaajayhteyden pituudesta riippuen²

¹ 1/2009 ADSL2+ oli saatavilla noin 60 %:lle Suomen kotitalouksista. Lähde: Liikenne- ja viestintäministeriön kysely teleyrityksille 1.1.2009.

² Käytännössä saavutettava datanopeus riippuu myös tilaajajohtimen laadusta sekä operaattorin runkoverkon ja ulkomaan Internet-yhteyksien kuormitustilanteesta.

VDSL2:n hyödyntäminen on vasta käynnistymässä ja se tuo kaksi merkittävää parannusta suorituskykyyn: suuremmat datanopeudet sekä symmetrisyyden. VDSL2-standardi sisältää vaihtoehtoisia taajuusprofiileja, joiden teoreettiset datanopeudet vaihtelevat epäsymmetrisistä 30/5 Mbit/s-yhteyksistä symmetrisiin 100 Mbit/s-yhteyksiin. Profiilit mahdollistavat erilaiset tilaajayhteyspituudet ja soveltuvat eri kuituratkaisuille: kuitu-kiinteistöön (FTTB), kuitukeskukseen (FTTN) tai kuitu-kortteliin (FTTC). Profiilit on kuvattu alla (Kuva 2).



Kuva 2. VDSL2-profiilien taajuusalueet, datanopeudet, indikatiiviset tilaajayhteyden pituudet ja sovelluskohteet

VDSL2:n suorituskyvyn parantuminen perustuu erityisesti ylärajataajuuden nostoon ja näin kasvaneeseen taajuusalueeseen, jolloin tilaajayhteyden pituuden merkitys korostuu entisestään. Suuret datanopeudet saavutetaankin vain hyvin lyhyillä, alle 200 metrin etäisyyksillä.

2.1.2 Tulevaisuuden kehitys

Tällä hetkellä VDSL2-tekniikan suorituskykyä kehitetään eteenpäin ns. vektoroinnilla ja kupariparien bondauksella. Vektoroinnilla pyritään vähentämään ylikuulumisesta aiheutuvien häiriöiden vaikutuksia DSL-tekniikoiden toimivuuteen. Edeltävän sivun kuva havainnollistaa vektoroidulle VDSL2:lle simuloitua suorituskykyä ihanteellisissa olosuhteissa. Tekniikka voisi teoriassa tuoda etua noin kilometrin etäisyydelle ja erittäin lyhyillä yhteyksillä jopa kaksinkertaistaa datanopeuden³. Vektorointia tukevia VDSL2-laiteratkaisuja odotetaan markkinoille 2011-2012.

Bondauksella VDSL2-liittymä tarjotaan useamman kupariparin yli samalle tilaajalle, jolloin tekniikan datanopeus-etäisyys -suorituskyky voidaan periaatteessa moninkertaistaa yhdistettävien parien lukumäärän mukaisesti. Esimerkiksi Nokia Siemens Networks on testannut VDSL2-tekniikkaa kahden kupariparin bondauksella ja saavuttanut 30 Mbit/s datanopeuden 1500 metrin etäisyydellä. Perus VDSL2:lla kyseinen datanopeus on ulotettavissa noin 700 - 1000 metrin etäisyydelle. VDSL2:n suorituskykyä voidaan parantaa myös bondauksen ja vektoroinnin yhteiskäytöllä. Esimerkiksi Ericsson testasi keväällä 2009 vektoroitua VDSL2-tekniikkaa kuuden kupariparin bondauksella ja saavutti 500 Mbit/s datanopeuden 500 metrin

³ VDSL2-profiili 30a, Ericsson 2009.

etäisyydelle. Näin ratkaisulla voitaisiin tarjota jo kuitutasoisia tiedonsiirtonopeuksia. Edeltävien menetelmien kohdalla on kuitenkin huomioitava, että bondauksen hyödyntämiseksi kotitalouteen on tultava useampi kuparipari.

2.2 Kaapelimodeemi

Tällä hetkellä tärkein ktv-verkkojen datakäyttöä koskeva tekniikka on EuroDocsis 3.0, jota suomalaiset ktv-operaattorit ovat alkaneet hyödyntää vuodesta 2008.

2.2.1 EuroDocsis 3.0

EuroDocsis 3.0:lla voi yhdistää ktv-verkkosolun datatilaajia varten useita taajuuskanavia paluu- ja myötäsuunnassa, kun aiemmilla kaapelimodeemitekniikoilla voi hyödyntää vain yhtä taajuuskanavaa. Näin käyttäjien liittymänopeutta voidaan kasvattaa huomattavasti. Esimerkiksi yhdistämällä neljä taajuuskanavaa mahdollistuisi teoriassa noin 200/100 Mbit/s liittymänopeudet.

EuroDocsis 3.0 ei kuitenkaan muuta ktv-verkon perusominaisuutta: kapasiteetti jaetaan solukohtaisesti kaikkien käyttäjien kesken. Kaapelimodeemille varattavissa oleva kapasiteetti riippuu ktv-verkon ylärajataajuudesta, käytettävissä olevista taajuuksista, modulaatiosta ja tv-palvelujen määrästä. Ktv-verkon myötäsuunnan taajuusalue on leveä, jolloin myötäsuunnan datakapasiteettia on käytettävissä runsaasti, tyypillisesti 3,2 - 3,5 Gbit/s⁴. Vastaavasti paluusuunnalle on varattu vain pieni ja häiriöille altis taajuusalue 5 – 65 MHz, jolloin paluusuunnan solukohtainen kokonaiskapasiteetti on tyypillisesti 95 Mbit/s (QAM16-modulaatio). Kaapelimodeemipalvelut ovat siis lähtökohtaisesti vahvasti epäsymmetrisiä. Tällä hetkellä Suomessa tarjotaankin korkeimmillaan 120 Mbit/s nopeutta myötäsuunnassa ja 10 Mbit/s nopeutta paluusuunnassa.

2.2.2 Tulevaisuuden kehitys

Ktv-operaattorin verkosta riippuen solukokoja on todennäköisesti pienennettävä 100 Mbit/s myötäsuunnan yhteyksiä varten jonkin verran ja tätä korkeampia nopeuksia varten merkittävästi. Tulevaisuudessa tarvetta solukokojen pienentämiselle lisäävät edelleen laajakaistatilaa-jamäärän kasvu, nopeiden datanopeuksien yleistymisen sekä internet-liikenteen muuttuminen yhä vaativammaksi. Kaapelimodeemin palvelutarjonta tulee myös säilymään vahvasti epäsymmetrisenä ellei kokonaan uutta EuroDocsis-standardia määritellä. Esimerkiksi nykymuotoisilla järjestelmillä olisi 100 Mbit/s:n paluusuunnan datanopeudet saavutettavissa pienentämällä ktv-verkon solukoot noin 15 - 30 talouteen.

Kaapelimodeemin datanopeuksien kehittymiseen vaikuttaa myös useamman taajuuskanavan liittämistä tukevien päätelaitteiden saatavuus. Nykyisillä päätelaitteilla voitaisiin tarjota jo 180 Mbit/s nopeuksia. Lähiaikoina markkinoille on tulossa 400 Mbit/s:n datanopeudet mahdollistavia päätelaitteita. Luonnollisesti kaapelimodeemiliittymien nopeuksien nostoon vaikuttavat päätelaitteiden ja kaapelimodeemin datakapasiteetin hintakehitys. Joka tapauksessa jo lähiaikoina voidaan odottaa 200 Mbit/s liittymien tulevan tarjolle.

⁴ Ktv-verkon ylärajataajuus 862 MHz:iä, modulaatio QAM256, tv-palveluiden vaatima kapasiteetti noin 500 – 700 Mbit/s.

2.3 Kuitu-kotiin

PON	Passive Optical Network
ONT	Optical Network Terminal
GPON	Gigabit-capable passive optical network
FSAN	Full Service Access Network Group
WDM-PON	Wavelength Division Multiplexing PON

Nykyiset kuitu-kotiin toteutukset perustuvat aktiiviseen Ethernet- tai passiiviseen PON-verkkoarkkitehtuuriin, joiden ominaisuudet kuvataan seuraavassa.

2.3.1 Aktiivinen Ethernet ja PON

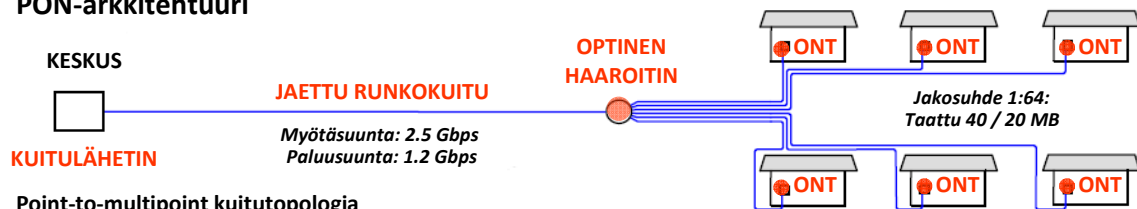
Aktiivisen Ethernet-ratkaisun keskeiset elementit ovat keskuksen tai korttelijakamoon tuleva Ethernet-kytkin ja loppuasiakkaiden valokaapelipäätelaitteet, joille tulee omat kuituyhteydet kytkimeltä (Kuva 3). PON-ratkaisussa keskuksen asennetaan kuitulähetin, joka yhdistää liityntähaaran runkoverkkoon. Keskukselta eteenpäin asennetaan runkokuitu, jonka välittämä PON-järjestelmän kokonaiskapasiteetti jaetaan passiivisella optisella haaroittimella liityntähaaran tilaajille omia kuituja pitkin.

Aktiivinen Ethernet-arkkitehtuuri



Point-to-point kuitutopologia

PON-arkkitehtuuri



Point-to-multipoint kuitutopologia

Kuva 3. Kuitu-kotiin tekniikoiden perusarkkitehtuurit

Ethernet-tekniikka on suorituskykyinen. Taatut symmetriset 100 Mbit/s:n ja 1 Gbit/s:n yhteysnopeudet ovat tekniikalle jo arkipäivää. Tosin 1 Gbit/s Ethernet-tekniikan hintataso on vielä korkea. Kuituyhteydet voivat olla myös pitkiä (10 - 20 km), joten DSL-tekniikoiden kaltaisia rajoituksia ei ole.

Euroopassa käytetyin PON-tekniikka on nykyisin GPON, jonka kokonaiskapasiteetti on 2,5/1,2 Gbit/s. GPON:n tilaajakokona voidaan käyttää 32, 64 tai 128 tilaajaa. Käytetystä jakosuhteesta riippuen tekniikka mahdollistaa taatut 20/10 – 80/40 Mbit/s käyttäjäkohtaiset datanopeudet eri etäisyyksille taulukon 1 mukaisesti. Koska kaikki tilaajat eivät käytä yhteyttä samanaikaisesti, niin myös symmetriset 100 Mbit/s datanopeudet voivat olla ajoittain tilaajien käytettävissä. PON:lle on myös määritelty ns. Extended Reach-laajennusosa (ITU-T G.984.re), jota hyödyntämällä etäisyys voi olla korkeimmillaan 60 kilometriä.

Taulukko 1. GPON:in mahdollistamat taatut käyttäjänopeudet ja verkon ulottuvuus

Jakosuhte	Ulottuvuus	Käyttäjakohtainen taattu kapasiteetti (Mbit/s)
1:32	20 km	80/ 40
1:64	15 km	40 / 20
1:128	1 km	20 / 10

Ethernet- ja PON-ratkaisulla on omat ominaispiirteensä. Ethernet-ratkaisun etuna on tilaaja-kohtaisen kuidun mahdollistama taattu datanopeus. Ethernet-ratkaisu voidaan toteuttaa keskittämällä aktiivilaitteita keskuksiin tai hajauttamalla ne kentälle lähemmäksi tilaajia. Keskitämisen heikkoutena on kasvava kuitujen määrä. Vastaavasti hajautuksessa aktiivilaiden ja laitetilojen määrä kasvaa liittynäverkossa. Nämä vaativat ylläpitoa ja ylläpidon kustannukset (sähkö, jäähditys, ilmastointi, ylläpitotyö, jne.) voivat muodostua merkittäväksi kustannuseräksi pitkällä aikavälillä. Vastaavasti PON-toteutus ei vaadi kentälle aktiivilaitteita, jolloin ylläpidossa saavutetaan kustannussäästöjä. PON-toteutuksen heikkoutena on vuorostaan jaettu datakapasiteetti.

2.3.2 Tulevaisuuden kehitys

Teleoperaattoreista ja laitevalmistajista koostuva FSAN-konsortio kehittää tulevaisuuden viitekehystä optisille liittynäverkoille. FSAN:n yhtenä kandidaattina tulevaisuuden kuitukotiin tekniikaksi on 10G GPON, jonka standardin odotetaan valmistuvan vuoden 2010 aikana. Tavoitteena on kasvattaa teknologian myötä- ja paluusuunnan kapasiteetti 10 Gbit/s:ssa. Näin taatut käyttäjakohtaiset datanopeudet voitaisiin nostaa useampiin satoihin megabitteihin sekunnissa käytetystä jaosta riippuen.

FSAN:n toinen ehdokas kuitukotiin tekniikaksi on WDM-PON, jolla voidaan allokoida jokaiselle tilaajalle oma aallonpituus. Tämä mahdollistaa tilaajakohtaiset taatut ja symmetriset 100 Mbit/s ja 1 Gbit/s yhteydet. PON-tekniikkana WDM-PON hyödyntää myös passiivisia laitteita ja yksinkertaista kuitutopologiaa. Näin WDM-PON yhdistää PON:n ja Ethernetin vahvuudet: alhainen ylläpitotarve ja taattu datanopeus. Teknologian standardointityö on vasta alkanut ja sen odotetaan valmistuvan muutaman vuoden päästä. Tosin ensimmäiset valmistajakohtaiset ratkaisut ovat jo markkinoilla, mutta näiden hintataso tulee olemaan korkea vielä useita vuosia.

FSAN:n tulevaisuuden tavoitteena on nostaa PON-ratkaisuiden etäisyys 100 kilometriin ja jakosuhte 1000. Näin pyritään yksinkertaistamaan operaattorien verkkoa vähentämällä aktiivilaitteiden määrää liittynä- ja keräilyverkoissa sekä keskittämällä kuitulähettämiä alue- ja runkoverkkoihin. Verkossa olevien aktiivilaitteiden vähentyessä operaattorit voivat saavuttaa kustannussäästöjä verkon ylläpidossa. Etäisyyksiä ja jakosuhdetta kasvattamalla pyritään myös optimoimaan kuitulähettimien käyttöasteet ja käyttäjakohtaiset investoinnit.

Ktv-operattoreille kehitetään myös omaa kuitukotiin ratkaisua, joka hyödyntää DOCSIS 3.0- ja PON-tekniikoita. Perusajatuksena on korvata ktv-verkon kentällä olevat aktiivilaitteet sekä tilaajaverkon koaksiaalikaapelit kuiduilla ja passiivisilla haaroittimilla sekä hyödyntää olemassa olevia datapalveluiden keskuspään laitteistoja, taustajärjestelmiä ja Docsis 3.0 -asiakaslaitteita. Näin ktv-operaattorit voisivat säästää asiakaslaitteiden ja kuitulähettimien investoinneissa, jos haluavat tarjota tulevaisuudessa kuitukotiin yhteyksiä.

3 LANGATTOMIEN LAAJAKAISTATEKNIIKOIDEN KEHITYS

Radiotekniikoiden tarjoamaa odotettua datanopeutta ei voi määrittää suoraviivaisesti vain tekniikan ominaisuuksiin tukeutuen. Radiotekniikoiden kapasiteetti on jaettua kapasiteettia, joten yksittäisen käyttäjän verkosta saama kapasiteetti riippuu asiakkaiden kokonaismäärästä ja asiakkaiden siirtämän datan määrästä. Saavutettavaan nopeuteen vaikuttavat myös radio-olosuhteet sekä operaattorin ja käyttäjän laitteistot. Lisäksi radioverkon ulkopuoliset tekijät kuten tukiasemien ja operaattorin runkoverkon välille varattu kapasiteetti voi muodostua pulonkaulaksi.

Tässä luvussa tarkastellaan ensin HSPA- ja LTE-matkaviestintekniikoita, sitten WiMAX ja 450 MHz:n tekniikoita sekä satelliittilaajakaistaa ja WLAN:ia. Tutkimuksessa esitetyt arviot radiotekniikoiden datanopeuksille perustuvat Omnitelen tekemiin käytännön verkkomittauksiin, analyyseihin, simulointituloksiin ja standardeissa määriteltyihin arvoihin. Alla kuvataan tutkimuksessa käytettävät datanopeuksiin liittyvät termit.

Yleisesti radiotekniikoiden markkinoinnissa ja julkisessa keskustelussa käytetään ns. ilmarajapinnan bittinopeutta kuvaamaan tekniikalla saavutettavaa datanopeutta. Tämä on standardeissa määritelty ns. *raakabittinopeuden* maksimiarvo. Raakabittinopeus ei ota kantaa siihen, mitä bittejä siirretään ja merkittävä osa biteistä onkin jotain muuta kuin käyttäjän pyytämää hyötydataa. Kun raakabittinopeudesta, eli ilmarajapinnan bittinopeudesta vähennetään välttämätön virheenkorjauskoodaus, saadaan teoreettinen maksimi käyttäjänopeus. Tämä on suurin mahdollinen hyötykuorma, joka radiotiellä voidaan kuljettaa käyttäjälle. Kyseinen nopeus on saavutettavissa vain äärimmäisen hyvissä radio-olosuhteissa ja asiakkaan ollessa ainoa käyttäjä radioverkon solussa. Käytännössä tämä tarkoittaa laboratorio-olosuhteita.

Keskimääräinen käyttäjänopeus kuvaa käyttäjän tyypillisesti saavuttamaa datanopeutta, jossa on huomioitu solun muu tilaajaliikenne ja radiotien ominaisuudet. Käyttäjien määrällä ja sijoittumisella verkkoon on erittäin suuri vaikutus toteutuneisiin käyttäjänopeuksiin. Täten keskimääräinen käyttäjänopeus on tyypillisesti huomattavasti alhaisempi kuin teoreettinen maksimi käyttäjänopeus. Voidaan myös todeta, että operaattoreille ei ole kannattavaa tehdä verkoja, joissa maksimi käyttäjänopeudet toteutuisivat koko verkossa. Tukiasematiheys ja näin verkkoinvestoinnit kasvaisivat kohtuuttomiksi.

3.1 HSPA ja HSPA Evolved

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
HSPA	High-Speed Packet Access
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
GSA	Global mobile Suppliers Association

Kolmannen sukupolven myötä myös matkaviestintekniikoita voidaan alkaa pitää laajakaistatekniikkoina. UMTS:n perusversiossa datanopeudet ovat vielä vaatimattomia, mutta HSPA:n myötä datanopeudet ovat nousseet merkittävästi.

3.1.1 HSPA

HSPA:n ensimmäinen kehitysaskel oli HSDPA, jossa on otettu käyttöön UMTS:n perusversiota tehokkaammat myötäsuunnan kapasiteettihallinta- ja modulaatiomenetelmät. Näin teoreettinen maksimi käyttäjänopeus voi suurimmillaan olla 12,8 Mbit/s. HSDPA sisältää useita

eri päätelaitekategorioita, joista 7,2 Mbit/s:n teoreettisen käyttäjänopeuden mahdollistavaa kategoriaa voidaan pitää HSDPA:n nykyisenä perustasona. Kategoriaa käytetään yli 60 prosentissa maailman kaikista UMTS-verkoista. Taulukko 2 esittää perus UMTS:n ja nykyisin käytettyjen HSDPA-kategorioiden suorituskykyominaisuudet sekä maailmanlaajuisen levinneisyyden. Suomessa kaikki UMTS-operaattorit hyödyntävät HSDPA:ta nopeimpien myytyjen liittymien ollessa myötäsunnassa 5 Mbit/s.

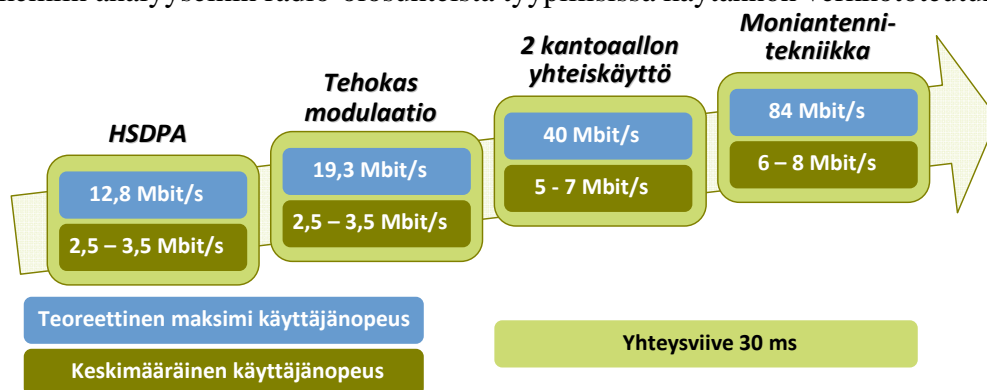
Taulukko 2. Perus UMTS:n ja käytettyjen HSDPA-kategorioiden levinneisyys 9/2009 ja suorituskyky 5 MHz:n taajuuskaistalla (GSA, Omnitele)

	Teoreettinen maksimi käyttäjänopeus (Mbit/s)	Keskimääräinen käyttäjänopeus (Mbit/s)	Kaupallisesti käytössä (operaattorien määrä)
Perus UMTS	0,384	0,2 – 0,38	280+
HSDPA Kategoria 5/6	3,6	1 – 2	220+
HSDPA Kategoria 8	7,2	2 – 2,5	180+
HSDPA Kategoria 10	12,8	2,5 – 3,5	19
HSDPA:n yhteysviive		70 - 85 ms	

HSPA:lle on määritelty myös UMTS:n perusversiota kehittyneempi radiotien yhteyskäytäntö paluusuuntaan, jolla voi nostaa paluusuunnan teoreettisen maksimi käyttäjänopeuden 5 Mbit/s tasolle. Ominaisuudelle on myös useampia kategorioita, joista käytetyin on tällä hetkellä 1,4 Mbit/s kategoria. Todelliset mitatut käyttäjänopeudet näissä verkoissa ovat noin 1 Mbit/s tasolla.

3.1.2 HSPA Evolved

HSPA Evolvedin uusia ominaisuuksia datakapasiteetin nostamiseksi ovat muun muassa HSPA:ta tehokkaampi modulaatiomenetelmä (64QAM), moniantennitekniikat ja kahden kantaallon yhteiskäyttö. Tulevaisuudessa operaattori voi ottaa ominaisuuksia käyttöön laitetuen kehittymisen mukaisesti ja alla oleva (Kuva 4) havainnollistaa yhtä mahdollista polkua HSPA:n datanopeuden kasvulle. Esitetyt keskimääräiset käyttäjänopeudet perustuvat Omniteleen tekemiin analyyseihin radio-olosuhteista tyypillisissä käytännön verkkototeutuksissa.



Kuva 4. HSPA Evolved –tekniikan menetelmät kapasiteetin kasvattamiseen ja suorituskyky myötäsunnassa

GSA:n mukaan 21 ulkomaista operattoria hyödyntää tällä hetkellä tehokasta modulaatiomenetelmää, joka mahdollistaa 19 Mbit/s teoreettisen käyttäjänopeuden. Tehokkaan modulaatiomenetelmän seurauksena tekniikan häiriösiETOisuus myös laskee, jolloin korkeat datanopeudet on saavutettavissa vain ihanteellisissa radio-olosuhteissa. Tämä käytännössä edellyttää käyttäjän sijaintia hyvin lähellä tukiasemaa. Näin tehokkaan modulaation edut jäänevät

rajallisiksi keskimääräisissä käyttäjänopeuksissa ja edut ovat saavutettavissa lähinnä keskusta-alueilla, missä tukiasematiheys on tyypillisesti suuri.

Kahden kantoaallon yhteiskäyttö saattaa tulla seuraavaksi verkkoihin ja päätelaitteisiin. Tekniikkaa tukevista päätelaitteista ei ole vielä julkista tietoa, mutta tekniikkaa tukevien päätelaitesirujen odotetaan tulevan saataville lähiaikoina. Kahden kantoaallon yhteiskäytöllä käyttäjä voi hyödyntää samalta tukiasemalta tulevaa kahta kantoaaltoa. Teoriassa ominaisuudella voidaan kaksinkertaistaa tietyn radiotekniikan bittinopeudet, jolloin tehokkaan modulaation ja kahden kantoaallon yhteiskäytön soveltamisella teoreettinen maksimi käyttäjänopeus nousee 40 Mbit/s:iin.

Moniantennitekniikan hyödyntäminen HSPA:n kanssa sisältää tällä hetkellä eräitä teknisiä haasteita, joten menetelmän käyttöönotto on todennäköisesti mahdollista myöhemmin kuin kahden kantoaallon yhteiskäyttö. Moniantennitekniikka perustuu kahden liikennöintikanavan hyödyntämiseen tukiasemaan ja päätelaitteeseen tulevien kahden antennin välillä ja sillä voidaan kaksinkertaistaa tehokkaan modulaation ja kantoaaltojen yhteiskäytön teoreettinen käyttäjänopeus 84 Mbit/s:ssa. Tällä hetkellä HSPA:n jatkokehityskohteena on myös neljän kantoaallon yhteiskäyttö, jolla teoreettinen maksiminopeus voitaisiin nostaa jo 168 Mbit/s tasolle.

3.2 LTE-tekniikat

LTE	Long Term Evolution
------------	---------------------

LTE on mobiilikommunikaation seuraava merkittävä kehitysaskel. Myös LTE:n seuraavan sukupolven, jota kutsutaan LTE Advanced:ksi, kehitystyö on jo käynnissä.

3.2.1 LTE

LTE esittelee monia suorituskykyä parantavia ominaisuuksia. Muun muassa tekniikan taajuuskäyttöä, modulaatioita ja moniantennitekniikoita on kehitetty. LTE:n taajuuskaista voi olla leveimmillään 20 MHz, joka antaa nelinkertaisen kapasiteettiparannuksen 5 MHz:n UMTS-tekniikoihin verrattuna. Lisäksi taajuuksien käyttö on joustavaa. Operaattori voi määrittellä kaistoja 1,4 - 20 MHz:n leveyksillä 700 – 2600 MHz:n taajuusalueille. LTE:ssä moniantennitekniikkaa on kehitetty tukemaan neljän liikennöintikanavan käyttöä. Toisaalta neljän antennin mahdollistaminen kännykkätyyppisiin päätelaitteisiin tulee olemaan haasteellista ja vasta tulevaisuuden laiteratkaisut näyttävät toiminnallisuuden käyttömahdollisuudet. Potentiaalinen sovelluskohde on kuitenkin kiinteiden pisteiden suunta-antennit, joita voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tilaajayhteyden toteuttamiseen haja-asutusalueilla.

Seuraavan sivun taulukko (Taulukko 3) esittää LTE:n myötäsunnan suorituskykyä 5 ja 20 MHz:n taajuuskaistoja sovellettaessa eri moniantenniratkaisuiden kanssa. Teoreettiset maksimi käyttäjänopeudet voisivat olla näillä parametreilla 30 – 300 Mbit/s välillä, mutta käytännön verkkototeutuksissa teoreettisista luvuista jäädyään kuitenkin merkittävästi. LTE:n paluusuunnalle on myös määritelty tehokkaampi modulointimenetelmä ja moniantennitekniikoita, jotka mahdollistavat korkeimmillaan 75,4 Mbit/s teoreettisen maksimi käyttäjänopeuden.

Taulukko 3. LTE:n suorituskyky 5 ja 20 MHz:n taajuuskoistalla ja kahden (2x2 MIMO) ja neljän (4x4 MIMO) antennin tekniikoilla⁵

	Teoreettinen maksimi käyttäjänopeus (Mbit/s)	Keskimääräinen käyttäjänopeus (Mbit/s)
LTE 5 MHz 2x2 MIMO	36,7	4 - 6
LTE 5 MHz 4x4 MIMO	73,4	8 - 12
LTE 20 MHz 2x2 MIMO	149,8	14 - 24
LTE 20 MHz 4x4 MIMO	300	28 - 48
Yhteysviive	20 ms	

Ensimmäisiä LTE-terminaaleja odotetaan markkinoille vuoden 2010 lopussa, jonka jälkeen LTE:n kaupallinen käyttö voi käynnistyä. Todennäköisin LTE:n toteutusskenaario Suomessa on edeltävän taulukon kolmannella rivillä esitetty 150 Mbit/s teoreettisen käyttäjänopeuden mahdollistava versio.

3.2.2 LTE Advanced

3GPP aloitti LTE Advanced -kehityksen 2008 maaliskuussa ja standardin odotetaan valmistuvan muutaman vuoden päästä. 3GPP kehittää LTE Advancedia vastatakseen IMT-Advanced -projektin asettamiin 4G-tekniikoiden suorituskykyvaatimuksiin, jotka ovat korkeat:

- 1 Gbit/s datanopeus hotspot-kohteisiin
- 100 Mbit/s datanopeus mobiilikäyttöön
- Alle 10 ms viiveet

LTE Advancedille on suunnitteilla useita suorituskykyä parantavia ominaisuuksia, joista keskeinen on taajuuskaistan maksimileveyden kasvattaminen 20 MHz:stä 100 MHz:iin. Tosin näin leveiden taajuuskaistojen allokoiminen operaattoreille nykyisestä taajuuslohkosta tulee olemaan haasteellista. Myös moniantennitekniikkaa tullaan kehittämään hyödyntäen useampia antennia.

3.3 WiMAX-tekniikat

3.3.1 Kiinteä Wimax

WiMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access

Suomen nykyiset WiMAX-verkot perustuvat ns. kiinteään WiMAXiin, jolla tyypillisesti saavutetaan 10 Mbit/s solukohtainen kapasiteetti. Tekniikalla tarjottavat datanopeudet ovat melko alhaisia: 1 - 4 Mbit/s myötäsuuntaan ja 0,5 - 1 Mbit/s paluusuuntaan. WiMAXin datanopeutta voi kasvattaa rakentamalla tukiasemaverkko tiheäksi, mutta tällaisten verkkototeutusten liiketaloudellinen kannattavuus on todettu haasteelliseksi.

Nykyisin WiMAX-radioluvan haltijoita on Suomessa 35 eri puolilla maata, mutta suurin osa luvanhaltijoista ei ole rakentanut verkkoja. Olemassa olevia WiMAX-verkkojakin voi luonnehtia paikallisiksi ja verkoissa on muutamia tuhansia käyttäjiä. Koko maan kattavaa verkkoa

⁵ Taulukossa esitetyt keskimääräiset käyttäjänopeudet perustuvat Omnitelen tekemiin analyyseihin radioolosuhteista tyypillisissä operaattorien verkkototeutuksissa.

ei ole näköpiirissä. Tämän hetken standardikehityksen pohjalta kiinteän WiMAXin suorituskyky ei myöskään kasva jatkossa, sillä kehitystyö kohdistuu pääasiassa mobiili WiMAXiin.

3.3.2 Mobiili Wimax

Mobiili WiMAXia on pidetty vaihtoehtona mobiililaajakaistan toteuttamiseksi HSPA- ja LTE-matkaviestintekniikoiden sijasta. Standardikehityksen perusteella mobiili WiMAX on suorituskyvyltään kilpailukyinen, sillä tekniikalle on määritelty kehityspolku yli 300 Mbit/s teoreettisiin käyttäjänopeuksiin kuten matkaviestintekniikoille. Mobiili WiMAX ja matkaviestintekniikat ovatkin radorajapinnan ominaisuuksiltaan hyvin samantyyppisiä, joten niillä ei ole merkittävää eroa käyttäjänopeuksissa taajuuskaistan ja liikennemallin ollessa sama. Myös seuraavan sukupolven mobiili WiMAX, joka perustuu IEEE:n 802.16m – radioteknologiaan, on kehitystyön alla. Spesifikaatiolla on tarkoitus vastata IMT-Advanced projektin asettamiin 4G-tekniikoiden suorituskykyvaatimuksiin kuten LTE Advancedilla. Mobiili WiMAX ei siis tuo ainakaan merkittävää suorituskykyetua tulevaisuudessa matkaviestintekniikoihin verrattuna.

UMTS-operaattoreilla on tuskin motiiveja investoida mobiili WiMAX-verkkoihin. Mobiili WiMAX ei ole yhteensopiva 3G-verkkojen kanssa, joten operaattorit eivät voisi tarjota mobiili WiMAXilla kaikkialla saumattomasti toimivaa puhelupalvelua, eivätkä periaatteessa saisi puhepalveluiden tuottoja. Lisäksi HSPA- ja LTE-tekniikoilla on puolellaan suurempi volyyymi, joka antaa selvän edun tekniikoiden kehitykselle ja laitehintojen laskulle. Esimerkiksi HSPA-tilaajia on nykyisin 150 miljoonaa ja mobiili Wimax-tilaajia on vain muutamia miljoonia⁶. Vastaavasti vuonna 2013 mobiili ja kiinteän WiMAXin kokonaistilaajamäärän enustetaan olevan 103 miljoonaa, kun samaan aikaan 3G-tilaajia olisi kaikkiaan jo 1,6 miljardia⁷. Erot ovat siis merkittävät. Myös kaikki keskeiset laitevalmistajat keskittyvät tällä hetkellä HSPA- ja LTE-tuotteiden valmistamiseen ja 22:sta maailman suurimmasta Wimax-operaattorista lähes puolet on ilmoittanut harkitsevansa LTE-verkon rakentamista⁸. Tällä hetkellä markkinaindikaatiot viittaavatkin siihen, että mobiili Wimax jää huomattavasti vähäisempään rooliin kuin HSPA- ja LTE-tekniikat.

3.4 450 MHz:n Flash-OFDM tekniikka

Flash-OFDM	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff Orthogonal Frequency Division Multiplexing
-------------------	--

450 MHz:n taajuusalue vapautui langattoman laajakaistan käyttöön, kun NMT 450-matkapuhelinverkko lopetettiin. Suomessa on yksi valtakunnallinen verkkotoimilupa, jonka valtioneuvosto myönsi Digita Oy:lle. Digita avasi @450-verkon 2007 ja Digitan tavoitteena on laajentaa verkko koko maan kattavaksi 2009 loppuun mennessä. 450 MHz:n tekniikoiden erityinen etu onkin verkkopeiton rakentamisen edullisuus. Alhaisella 450 MHz:n taajuudella signaalin eteneminen paranee ja maaseutu ympäristössä saavutettava solusäde voi olla noin 25 - 30 kilometriä. Tämä pienentää tarvittavien tukiasemien määrää huomattavasti.

Digita käyttää 450 MHz-taajuudella Flash-OFDM -teknologiaa, jonka keskeisiä etuja ovat mobiliteetti ja pienet yhteysviiveet. Datayhteys säilyy suurissakin nopeuksissa, myös liikuttaessa tukiasemien välillä. Vasteajat ovat keskimäärin 50 ms, joka mahdollistaa VoIP:n ja mui-

⁶ GSA & WiMAX Forum

⁷ Informa Telecoms & Media 3/2009

⁸ Maradevis 2009

ta viiveherkkiä palveluja. Teknologian heikkoutena on kuitenkin pienestä kaistanleveydestä johtuva vaatimaton kapasiteetti. Flash-OFDM-tekniikan yhden 1,25 MHz:n kanavan teoreettinen maksimikapasiteetti on myötäsuuntaan 5,8 Mbit/s, mutta käytännössä käyttäjän saavuttama enimmäisnopeus on 1 Mbit/s. Digita arvioi 450-liittymien nopeuksien nousevan lähiaikoina Viestintävirastolta 2008 saamansa uuden taajuuskanavan myötä, mutta taajuuslisäyksestä huolimatta liittymänopeudet pysyvät edelleen matalina (2 Mbit/s). Alhaisten nopeuksien lisäksi Flash-OFDM:n heikkous on sen valmistajakohtaisuus⁹, mikä voi näkyä laitteiden hinnoissa. Standardin puuttuessa Flash-OFDM:llä ei myöskään ole selkeää tulevaisuuden kehityspolkua, joka parantaisi tekniikan suorituskykyä.

3.5 Muut langattomat tekniikat

3.5.1 Satelliittilaajakaista

Satelliittitekniikan keskeinen vahvuus on suuri verkon peitto, jolla voidaan kattaa laajoja alueita ja tavoitella suuria käyttäjämääriä. Satelliittilaajakaistan hyödyntämismahdollisuuksia ovat rajanneet teknologian kalleus, heikko signaalin laatu sekä rajallisesta kaistaleveydestä johtuva matala yhteysnopeus. Näihin ongelmakohtiin on sittemmin kehitetty teknisiä ratkaisuja, joiden avulla voitaneen toteuttaa jo liiketaloudellisesti järkeviä laajakaistayhteyksiä yksittäisille käyttäjille¹⁰.

Satelliittitekniikan ongelma on pitkästä välimatkasta satelliitin ja loppukäyttäjän välillä johtuva yhteysviive. Vasteajat voivatkin olla ongelmallisen hitaita (500 – 600 ms), joten viiveherkkien sovelluksien käyttäminen ei tekniikalla onnistu. Lisäksi paluusuunnan toteutus on haasteellinen ja tekniikan mahdollisuuksia rajoittavat satelliittiantennien sijoittelu- ja suunnatusvaatimukset sekä Suomen epäsuotuisa asema suhteessa satelliitteihin.

3.5.2 WLAN

WLAN-tekniikka mahdollistaa korkeat solukohtaiset datanopeudet, mutta korkeasta taajuudesta johtuen signaali vaimenee nopeasti: maksiminopeudet saavutetaan tyypillisesti muutamien kymmenien metrien säteellä tukiasemasta. Tekniikan rooli onkin jäänyt marginaaliseksi kuluttajien laajakaistaratkaisuna¹¹.

Viime vuosien aikana WLAN-tekniikalle on muodostunut kolme tärkeää sovelluskohdetta:

- Alkuperäinen rooli eli langattoman lähiverkon mahdollistaminen sisätiloissa
- Niin sanotut HotSpot-toteutukset julkisissa sisä- tai ulkotiloissa
- Kulutuselektronikan laitteet

WLANin käyttö näissä kaikissa sovelluskohteissa on kasvussa ja tekniikan standardointi suorituskyvyn parantamiseksi jatkuu.

⁹ Flash-OFDM on alunperin Flarionin ja nykyisin Qualcommin kehittämä teknologia.

¹⁰ Esimerkiksi SkyDSL tarjoaa useisiin Euroopan ja Pohjois-Afrikan maihin mm. 60 euron kuukausihintaan 6 Mbit/s laajakaistayhteyksiä, joita kuluttaja voi tarvittaessa käyttää 12 Mbit/s tai 36 Mbit/s yhteysnopeuksilla lisähintaa (1,5 ct/MB). Asiakkaan tulee hankkia pc-kortti 89 eurolla. Satelliittiantenni on ilmainen. Liittymässä ei ole paluukanavaa.

¹¹ 2009 kesällä WLAN-laajakaistaliittymiä tarjottiin viidellä eri paikkakunnalla hyvin rajatuilla alueilla.

4 LAAJAKAISTEKNIKOIDEN SOVELTUVUUS TILAAJAYHTEYDEN RATKAISUKSI

Tässä luvussa arvioidaan vaihtoehtoisten laajakaistatekniikoiden soveltuvuutta tilaajayhteyden ratkaisuksi keskusta-, taajama-, ja haja-asutusalueilla. Tarkastelun pääpaino on haja-asutusalueissa, koska taajamissa ja kaupungeissa laajakaistayhteyksien tarjonta kehittyy markkinaehtoisesti ja niin, että vaihtoehtoisia tekniikoita ja palveluntarjoajia on saatavilla jopa useita. Sen sijaan haja-asutusalueilla vaihtoehtoja ei useinkaan ole valittavaksi asti.

Hallituksen laajakaistahankkeen tavoitteen mukaan vuonna 2015 kotitalouksien ja yritysten tulee olla korkeintaan kahden kilometrin päässä 100 Mbit/s:n yhteyden tarjoavasta valokuitu- tai kaapeliverkosta. Käytännössä kyse voi olla esimerkiksi alueverkosta. Varsinaiseen yhteysnopeuteen tavoitteessa ei oteta kantaa ja siten tässä arvioidaan, miten vaihtoehtoiset laajakaistatekniikat korkeintaan kahden kilometrin pituisen tilaajayhteyden ratkaisuna selviävät. Koska kiinteiden laajakaistatekniikoiden mahdollistamien liityntänopeuksien arviointi on melko suoraviivaista, aloitetaan niistä. Ne myös toimivat ikään kuin vertailutasona radiotekniikoille.

4.1 Kiinteät laajakaistatekniikat

Kiinteistä tekniikoista tämän tarkastelun kannalta kiinnostavia ovat dsl-tekniikat, kaapelimodeemitekniikat ja kuitutekniikat. Käytännössä kiinteiden laajakaistaverkkojen kehitys tarkoittaa useimmiten perinteisten tekniikoiden ja kuitutekniikoiden soveltamista yhtä aikaa: kuitu viehdään koko ajan lähemmäksi tilaajia, mikä mahdollista kehittyneemmät dsl- ja /tai kaapelimodeemipalvelut. Voidaan myös sanoa, että kehitys kulkee lähes vääjäämättä kohti kuituverkkoja ja kyse on vain siitä, minkälaisen välivaiheiden kautta kuituverkkoihin päädytään. Olemassa olevien kupari- ja kaapeliverkkojen hyödyntäminen mahdollistaa vähittäisen etenemisen kohti kuituverkkoja, mikä vähentää investointien riskejä.

Kuten luvussa 2 nähtiin, uudet dsl-tekniikat antavat mahdollisuuden nostaa yhteysnopeuksia jopa kymmeneen megabitteihin sekunnissa. Tähän liittyy kuitenkin kaksi ehtoa:

1. Kupariverkossa on oltava solmupisteitä lähellä tilaajia
2. Tilaajayhteyksien on oltava lyhyitä

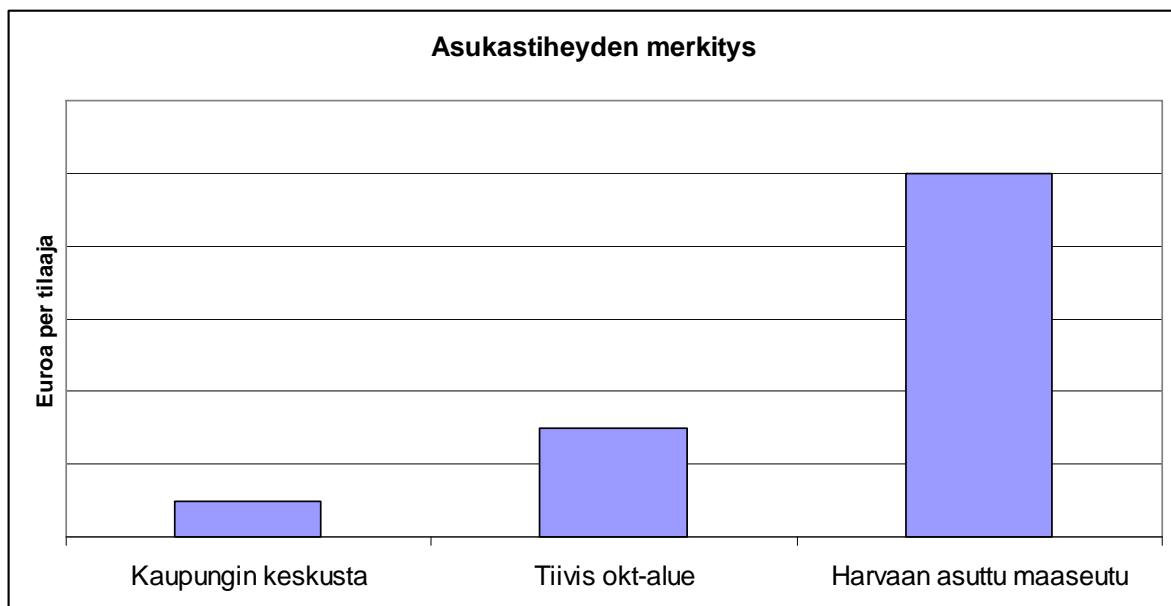
Laajakaistaverkon solmupisteeksi käy esimerkiksi kupariverkon jakokaappi, kunhan tästä pisteestä kotitalouksille verkko on tähtimäinen. Kun siirretään DSL-keskitin puhelinverkon keskittimeltä tähän solmupisteeseen, tilaajayhteydet lyhenevät ja uusien dsl-tekniikoiden hyödyntäminen tulee mahdolliseksi. Tilaajayhteyksien on kuitenkin oltava selvästi alle kahden kilometrin pituisia, jotta uusista dsl-tekniikoista olisi hyötyä. 20 Mbit/s on vielä kohtuudella saavutettavissa esimerkiksi 1,5 kilometrin yhteyspituudella ja ADSL2+ -tekniikalla, mutta suuremmat nopeudet edellyttävät VDSL2-tekniikkaa ja korkeintaan kilometrin yhteyspituuksia. Vektoroidulla VDSL2-tekniikalla päästään noin 50 Mbit/s:n nopeuksiin, kun tilaajayhteys on korkeintaan kilometrin pituinen. Uusien dsl-tekniikoiden kannalta kahden kilometrin etäisyys alueverkosta on siten jo liikaa.

Olemassa olevien kupariverkkojen topologian optimointi ei ole suinkaan aina käytännössä mahdollista. Verkkojen topologia voi perustua pitkiin kaapelivetoihin keskukselta ilman tähtipisteitä tai jos tähtipisteitä on, ne voivat olla uusia dsl-tekniikoita ajatellen liian kaukana tilaajista. Tällöin olemassa oleva kuparinen tilaajaverkko menettää käyttökelpoisuutensa: tilaa-

javerkko jouduttaisiin rakentamaan uudelleen eikä uutta verkkoa kannata enää rakentaa kuparilla. Olemassa olevan topologian rajoitteet voivat tulla vastaan yhtä hyvin maaseudulla kuin kaupungeissakin, mutta kaupunkien kerrostalokohteissa ongelma on kuitenkin helpompi ratkaista. Viemällä kuitu ja dsl-keskitin kerrostalon talojakamoon kupariyhteys rajoittuu sisäverkkoihin, mikä mahdollistaa jopa VDSL2-tekniikan hyödyntämisen ja sadan megabitin yhteydet. VDSL2 ja vektoroitu VDSL2 tulevatkin todennäköisimmin käyttöön osana kaupunkien kuitu kiinteistöön –toteutuksia. Verkon operoinnin kannalta toteutus on tosin melko vaikea, koska aktiivilaitetiloja tulee paljon. Toteutus muuttuu yksinkertaisemmaksi, jos sisäverkko on toteutettu Cat5/6-kaapeloinnilla, koska tällöin sadan megan yhteydet voidaan sisäverkossa toteuttaa ilman dsl-laitteita. Kerrostalokohteissa suurimmaksi nopeiden yhteyksien esteeksi ovatkin nousemassa sisäverkkojen heikko laatu.

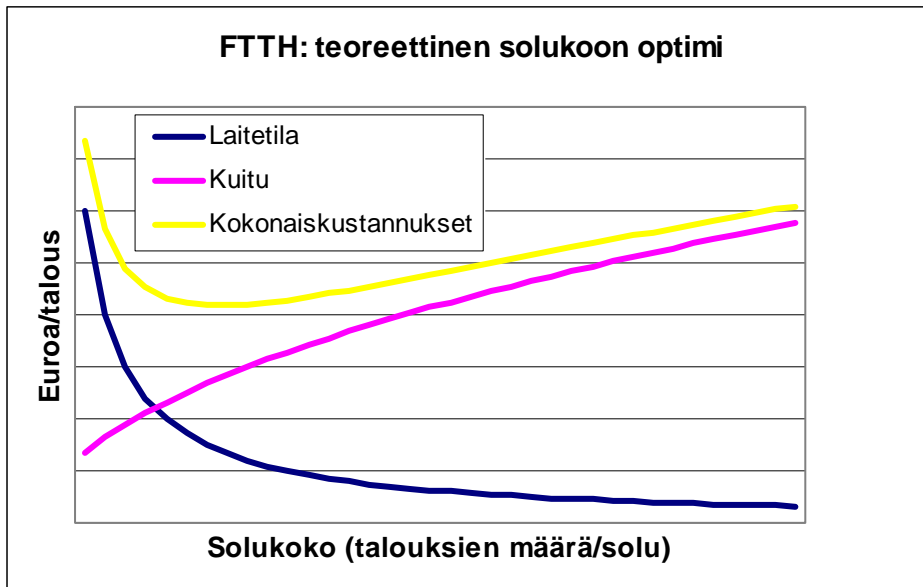
Kaapelimodeemipalvelu on lähtökohtaisesti taajamien ja kaupunkien palvelu. Docsis 3.0 tarjoaa kymmenien megabittien nopeuksia, mutta erityisesti symmetrisiä palveluja ajatellen verkon solujen on oltava pieniä. Siten haasteet ovat hyvin samankaltaisia kuin kupariverkonkin hyödyntämisessä: jos olemassa olevan verkon topologia ei solujen pienentämistä tue, uusien tekniikoiden hyödyntäminen on vaikeaa. Kerrostalokohteissa myös kaapeliverkkoa voidaan kehittää viemällä kuitu kiinteistöön ja hyödyntämällä talon sisäistä koaksiaaliverkkoa.

Kuitu kotiin –toteutus on fyysisen verkon tasolla varma ratkaisu. Kuitu siirtotienä tarjoaa lähes rajattoman tiedonsiirtokapasiteetin ja nykyisillekin liityntäverkon laitteille symmetrinen 100 Mbit/s on arkipäivää. Koko liityntäverkko on kuitenkin rakennettava uudelleen ja harvaan asutuilla alueilla talouskohtaiset kustannukset nousevat korkeiksi. Suurimmat kustannukset aiheutuvat kaivutyöstä ja harvaan asutuilla alueilla talouskohtainen kaivutyö voi olla satoja metrejä ja kokonaiskustannus taloutta kohti nousee helposti tuhansiin euroihin. Kuten seuraavasta kuvasta havaitaan, kuiturakentamisen tilaajakohtainen kustannus voi maaseudulla olla jopa kymmenkertainen kerrostalokohteisiin verrattuna.



Kuva 5. Asukastiheyden vaikutus kuiturakentamisen kustannuksiin.

Kuten edellä todettiin, kaivukustannus on kuiturakentamisen suurin yksittäinen kustannuserä eikä siitä käytännössä pääse eroon edes verkon topologiaa muuttamalla. Topologian optimoinnilla voidaan kuitenkin vaikuttaa laite- ja ylläpitokustannuksiin, jotka pitkällä aikavälillä ovat myös merkittäviä. Kuituverkon optimaalisen topologian ja solukoon voi määrittää toisaalta keskitinrakennuksesta (laitetilasta) ja toisaalta itse kuiduista aiheutuvien kustannusten perusteella: keskitinrakennuksesta aiheutuvat kustannukset puoltavat suuria soluja, kun taas kuiduista aiheutuvat kustannukset puoltavat pieniä soluja. Solukoon optimointia havainnollistaa seuraava kuva (Kuva 6).



Kuva 6. Kuituverkon solukoon optimointi.

Vaikka optimi voidaan hakea yksinkertaisella matematiikalla, optimi on määritettävä aina tapauskohtaisesti. Perussääntönä voidaan kuitenkin todeta, että kuituverkon solut kannattaa usein rakentaa selvästi isommiksi kuin perinteisen kupariverkon solut tai kehittyneille dsl-tekniikoille optimoidut solut. Kuitutekniikoiden näköpiirissä oleva kehitys edelleen tukee siirtymistä suuriin soluihin: esimerkiksi LG-Nortelin nykyisessä WDM PON-tekniikassa etäisyys kuitukeskittimen ja päätelaitteen välillä voi olla jopa 40 kilometriä ja ns. NG PON-tekniikassa tavoitellaan jopa sadan kilometrin yhteyspituuksia. Kuitutekniikoiden kehityspolussa verkon ulottuvuuden kasvattaminen onkin yksi keskeisimmistä tavoitteista, mikä kannattaa ottaa huomioon myös kansallisen laajakaistahankkeen toteutuksessa.

Kuituverkon optimaalinen topologia ei useinkaan vastaa kehittyneiden dsl- tai kaapelimo-deemiverkkojen topologiaa. Koska kuitu itsessään ei ole kovin kallista eikä suorituskyky käytännössä heikkene tilaajayhteyden pituuden kasvaessa, kuituverkon solut voivat olla isoja ja tilaajayhteydet pitkiä. Kuituverkon solmuja ei todennäköisesti kannatakaan rakentaa tiheästi eikä kahden kilometrin rajassa kannata pitäytyä. Tarkasteluun kannattaa ottaa suurempia alueita kerrallaan ja arvioida, miten verkko voitaisiin erilaisilla kuitutekniikoilla toteuttaa.

4.2 Matkaviestintekniikat

Kuten operaattoreiden verkkojen nykytilasta ja rakentamissuunnitelmistakin voi päätellä, kehittyneimmät matkaviestintekniikat tulevat käyttöön ensimmäisenä kaupungeissa ja taajamissa. Suuri asiakaspotentiaali houkuttelee kaikkia operaattoreita ja kilpailuedun tavoittelemisen tarjoaa operaattoreille motiivin uusien tekniikoiden käyttöönottoon. Siksi tämän tarkastelun ja kansallisen laajakaistahankkeen kannalta haja-asutusalueet ovat kiinnostavampia kohteita: miten matkaviestintekniikat pystyvät vastaamaan laajakaistahankkeessa asetettuihin vaatimuksiin haja-asutusalueilla.

Tässä tarkastelussa keskitytään HSPA- ja LTE-tekniikoihin, koska edellisen luvun analyysien perusteella ne pystyvät radiotekniikoista parhaiten vastaamaan kasvaviin nopeusvaatimuksiin. 450 MHz:n Flash-OFDM-tekniikka olisi matalan taajuutensa puolesta mitä sopivin maaseudun ratkaisuksi, mutta taajuuksien vähyden ja tekniikan rajoitteiden vuoksi se jäänee muita täydentäväksi tekniikaksi. Wimaxin tuleva asema Suomessa alkanee selvitä tulevan taajuushuutokaupan jälkeen, mutta HSPA-/LTE-tekniikoihin verrattuna sen odotetaan jäävän selvästi vähäisempään rooliin. WLAN on löytänyt paikkansa sisätilojen verkkona eikä siitä enää odotetakaan varsinaista liityntäyhteyden ratkaisua.

HSPA- ja LTE-tekniikoiden tarjoamien teoreettisten datanopeuksien odotetaan nousevan merkittävästi, mutta käyttäjäkohtaisissa nopeuksissa näistä jäädään huomattavasti. Korkeat datanopeudet edellyttävät voimakasta signaalitasoa, joten jo kahden kilometrin etäisyydellä datanopeudet jäävät merkittävästi nimellisiä nopeuksia alhaisemmiksi. Seuraava taulukko (Taulukko 4) havainnollistaa nykyisellä HSPA-tekniikalla ja odotettavan HSPA-/LTE-evoluution mukaisilla tekniikoilla saavutettavia yhteysnopeuksia vuoteen 2015 mennessä.

Taulukko 4. Matkaviestintekniikoilta odotettavia datanopeuksia⁽¹⁾.

Saatavuus	2009	2010	2011	2012	2015
Tekniikka	HSPA 5 MHz (R6)	HSPA+ 5 MHz (R7)	HSPA+ 5 MHz (R8)	LTE 20 MHz	LTE 10 MHz
Taajuuskaista	900 MHz	900 MHz	900 MHz	1800 MHz	900 MHz
Kuvaus	Nykyinen de facto HSPA	R6 + 15 lähetykoodia, 64QAM	R7 + MIMO	Baseline LTE	Baseline LTE
Teoreettinen max bittinopeus Mbit/s	7,2	19,3	42,2	149,8	73,7
Yhden käyttäjän bittinopeus Mbit/s @ 2 km	4,9	6,3	9,4	15,6	23,8
Käyttäjänopeus verkossa Mbit/s	3,8	4,9	7,3	12,1	18,5

⁽¹⁾ Tekniikoiden peittoa ja signaalivoimakkuuksia voitaisiin parantaa kiinteillä ulkoantenneilla, joita hyödyntämällä taulukon käyttäjänopeudet voivat kasvaa 20 – 50 prosenttia tapauksesta riippuen.

Kiinnostavin tieto löytyy taulukon viimeiseltä riviltä, jossa on arvio käyttäjäkohtaisesti saavutettavissa olevista datanopeuksista. Kuten havaitaan, lähivuosina voidaan realistisesti odottaa 5 – 10 Mbit/s:n käyttäjäkohtaisia nopeuksia. Haja-asutusalueilla 900 MHz:n taajuus on signaalin paremman etenemisen takia selvästi kiinnostavampi kuin 1800 MHz. Taulukon mukaan lupaavin vaihtoehto on LTE 900 MHz:n taajuudella ja 10 MHz:n kaistanleveydellä,

jolla voidaan haja-asutusalueillakin ylittää lähes 20 megabitin käyttäjäkohtaisiin nopeuksiin. On kuitenkin huomattava, että HSPA-tekniikoilla yllettäisiin lähes samoihin nopeuksiin, jos kaistaa oletettaisiin olevan käytössä 10 MHz taulukossa olevan 5 MHz:n sijaan.

Haja-asutusalueilla matkaviestintekniikoiden hyödyntämisen merkittävin este liittyy käyttökelpoisten taajuuksien vähäiseen määrään. 900 MHz:n taajuusalueella operaattoreilla on käytössään vain noin 10 MHz:n kaista, joka sekin on käytännössä varattu GSM:lle. Taajuus ei riitä edes HSPA:n eikä varsinkaan LTE:n täysimääräiseen (2 x 20 MHz) hyödyntämiseen. Esimerkiksi 20 MHz:n kaistanleveyttä hyödyntämällä voitaisiin LTE:n 900 MHz:n taajuudella ja 10 MHz:n kaistanleveydellä mahdollistamat käyttäjänopeudet periaatteessa kaksinkertaistaa noin 40 Mbit/s tasolla. Edes kymmenen megahertsin allokointi HSPA:lle tai LTE:lle on mahdollista vasta, kun GSM:n käyttö loppuu eli mahdollisesti vuoden 2015 tienoilla. Taajuusylijäämän myötä mahdollisuudet laajakaistaisiin palveluihin kohenevat jonkin verran, kun 72 MHz:n *Digitaalinen laajakaistainen 800 matkaviestinverkko* otetaan käyttöön.

Kaupungeissa ja taajamissa radioverkon solut ovat tyypillisesti pienempiä kuin maaseudulla ja siksi myös korkeammat taajuudet ovat käyttökelpoisia. Onkin todennäköistä, että marraskuussa huutokaupattavat 2,5 GHz:n taajuudet otetaan käyttöön ensimmäisenä kaupungeissa ja LTE-tekniikalla. Lisätaajuuksia on saatavilla jopa 50 MHz operaattoria kohti. Kolme pääoperaattoria saivat jo aikaisemmin tänä vuonna lisätaajuuksia 1800 MHz:n kaistalla, joten kaupunki- ja taajamakohteita ajatellen operaattoreiden tuotantoedellytykset ovat ainakin taajuuksien puolesta melko hyvin turvattuja.

Taulukon tuloksista on myös huomattava, että liikennetyypiksi oletettiin tavallinen www-liikenne eli Internetin selaaminen. Tämä liikennetyyppi on verkon kannalta vähiten vaativaa. Jos liikenne oletettaisiin esimerkiksi videoiden tai television katseluksi tai muuksi viiveherkäksi liikenteeksi, eivät tulokset olisi enää miltään osin päteviä. Kapasiteettia ei yhtä monelle käyttäjälle riittäisi ja arviointi olisi tehtävä kokonaan uudelleen.

Radioverkoissa saavutettavien datanopeuksien arvioimiseksi on tehtävä joukko oletuksia radiotien ominaisuuksista, käyttäjämääristä ja liikenteestä. Edellä olevassa taulukossa esitettävien datanopeuksien taustalla on seuraavat keskeiset oletukset:

- Yhteysvälivaimennus 2 kilometrin etäisyydellä tukiasemasta: 900 taajuuksille 115dB, 1800-taajuuksille 121dB. Tukiasemien kokoonpanojen oletetaan vastaavan tyypillisiä haja-asutusalueiden ratkaisuja.
- Yhden käyttäjän bittinopeus 2 kilometrin päässä tukiasemasta on radiopeiton puolesta yhdelle käyttäjälle saatavilla oleva nopeus. Jos saman tukiaseman alueella on useampia käyttäjiä, nopeus jaetaan kaikkien käyttäjien kesken.
- Käyttäjänopeus verkossa on laskettu seuraavin oletuksin:
 - 30 käyttäjää/solu
 - Keskimääräisen käyttäjän datakäyttö on noin 4 GB/kk
 - Liikenne on tyypillistä www-liikennettä (ei ahneita p2p-sovelluksia tms.)
 - Dedikoitu HSPA-kantoaalto ilman puheliikennettä, ei transmissiorajoituksia.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin vaihtoehtoisten kiinteiden ja langattomien laajakaistatekniikoiden odotettu kehitys sekä tekniikoiden soveltuvuus kahden kilometrin tilaajayhteyden toteuttamiseen. Selvityksen aikajänne ulottui vuodesta 2009 vuoteen 2015 ja koski Suomen kulluttajamarkkinoita.

Uudet DSL-tekniikat mahdollistavat tulevaisuudessa yli sadan megabitin symmetriset liittymänopeudet, mutta nämä saavutetaan vain hyvin lyhyillä etäisyyksillä, lähinnä osana kerrostalojen kuitu kiinteistöön –toteutuksia. Kerrostalokohteissa nopeiden yhteyksien esteeksi ovat kuitenkin nousemassa sisäverkkojen heikko laatu. Uusilla DSL-tekniikoilla on saavutettavissa etua korkeintaan kilometrin etäisyydelle, joten ne tulevat todennäköisimmin käyttöön kaupungeissa ja taajamissa. Kaapelimodeemi on lähtökohtaisesti taajamien ja kaupunkien tekniikka. Kaapelimodeemilla voidaan mahdollistaa yli sadan megabitin datanopeudet myötäsunnassa, mutta symmetristen palveluiden toteutus on haasteellinen.

Kuitu-kotiin tekniikka on suorituskyvyltään ylivoimainen muihin tekniikoihin verrattuna, mutta sen yleistymistä hidastaa vaatimus kokonaan uuden liittytieverkon rakentamiselle. Uudisrakennusalueiden lisäksi potentiaalisimmat kuitu-kotiin kohteet ovatkin lähivuosina lähinnä keskusta- ja taajama-alueiden kerrostalot, jotka tarjoavat mittakaavaetuja. Vastaavasti harvaan asutuilla alueilla kuitu-kotiin toteutus on haasteellinen talouskohtaisten kustannuksien noustessa korkeiksi. Kuitu-kotiin toteutuksien hitaasta yleistymisestä huolimatta kiinteiden laajakaistaverkkojen kehitys kulkee lähes väijäämättä kohti kuituverkkoja, sillä DSL- ja kaapelimodeemitekniikoiden täysimittainen hyödyntäminen edellyttää kuidun viemistä koko ajan lähemmäksi tilaajia.

Selvityksen perusteella uskomme, että HSPA- ja LTE-matkaviestintekniikoilla pystytään langattomista tekniikoista parhaiten vastaamaan kasvaviin suorituskykyvaatimuksiin. Tekniikoilla on standardoitu ja teletoimialan vahvasti tukema kehityspolku korkeisiin käyttäjänopeuksiin. Mobiili WiMAXilla on myös kehityspolku matkaviestintekniikoiden tasoiseen suorituskykyyn, mutta kaupalliset tekijät heikentävät sen asemaa. Tekniikan odotetaan jäävän huomattavasti vähäisempään rooliin kuin matkaviestintekniikat. Kiinteää WiMAXia voidaan pitää väistyvänä tekniikkana, sillä se mahdollistaa vaatimattomat datanopeudet, eikä sen suorituskykyä kehitetä eteenpäin. Myös 450 MHz:n Flash-OFDM-tekniikan datanopeudet ovat alhaiset, joten se jäänee muuta täydentäväksi tekniikaksi tulevaisuudessa. WLAN on löytänyt omat sovelluskohteensa eikä siitä enää odotetakaan varsinaista liittyttyyhteyden ratkaisua. Satelliittilaajakaistan tekniset haasteet rajoittavat sen hyödyntämistä liittyttyyhteyden toteuttamiseen.

Uudet matkaviestintekniikat tulevat käyttöön ensimmäisenä kaupungeissa ja taajamissa, joita varten operaattoreiden tuotantoedellytykset ovat nykyisten taajuusjakosuunnitelmien puolesta hyvät. Haja-asutusalueilla matkaviestintekniikoiden hyödyntämisen keskeinen haaste on alhaisten ja hyvin etenevien taajuuksien vähäinen määrä. Käytettävissä olevilla 900 MHz:n taajuuksilla operaattorit voivat mahdollistaa maaseudulla jo käyttökelpoiset tilaajayhteydenratkaisut, mutta taajuudet eivät riitä matkaviestintekniikoiden täysimääräiseen hyödyntämiseen. Taajuusylijäämän myötä matkaviestintekniikoiden mahdollisuudet haja-asutusalueilla kohe-nevat jonkin verran, joten se olisi hyvä saada käyttöön lähivuosina.

6 LÄHTEET

Kirjalliset lähteet ja Internet

GSA, www.gsacom.com

Informa Telecoms & Media 3/2009, Global 3G+ subscribers forecast by technology family

Liikenne- ja viestintäministeriön kysely teleyrityksille 2009: Laajakaistaliittymien tarjonta kotitalouksille 1.1.2009.

Maradevis 2009, The Top 22: Operators Who Will Make or Break WiMAX.

Wimax Forum, www.wimaxforum.org

Haastattelut

Draka, Harri Väättäminen 14.9.2009

K&K Active, Harri Rätty 15.9.2009

Ericsson, Esko Pienimaa 23.9.2009

Cisco, Timo Perttula 23.9.2009

Nokia Siemens Network, Mika Uusitalo ja Mika Aalto 29.9.2009

Nokia, Timo Ali-Vehmas 1.10.2009

Nokia Siemens Network, Pekka Viirola 8.10.2009

Nokia Siemens Network, Harri Holma 14.10.2009