

Metropolian Ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

Petri Mäkeläinen

IEEE 802.11n -luonnosstandardin toiminnallisuuden mittaaminen

Insinööritö 26.4.2009

Työnohjaaja: yliopettaja Matti Puska

Työnvalvoja: yliopettaja Pasi Lankinen

Tekijä Otsikko	Petri Mäkeläinen IEEE 802.11n luonnosstandardin toiminnallisuuden mittaaminen
Sivumäärä Aika	55 sivua 26.4.2009
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Valvoja	yliopettaja Matti Puska yliopettaja Pasi Lankinen
<p>Insinööriyössä on tutkittu IEEE 802.11n -luonnosstandardin toiminnallisuutta vertailemalla tavoiteltua suorituskkyä mitattuun suorituskkyyn. Insinööriyön tarkastelun kohteena oli erityisesti 802.11n-luonnosstandardin (DraftN) aiheuttama häiriö muille langattomille verkoille, sen maksimi tiedonsiirtonopeus ja tiedonsiirtonopeus hyötykäytössä.</p> <p>802.11n-standardin tiedonsiirtonopeuden tulisi olla 11 kertaa nopeampi kuin 802.11a- ja 802.11g-standardien siirtonopeus. Luonnosstandardi vaiheessa tiedonsiirtonopeus pitäisi olla 300 Mbps, eli noin kuusinkertainen 802.11a/g-standardeihin verrattuna. Luonnosstandardi sisältää pääpiirteittäin lopullisen standardissa käytettävät toiminnallisuudet, mutta kaikki eivät ole loppuun asti viimeisteltyjä.</p> <p>Tärkeimpiä uudistuksia DraftN:ssä on Multiple-Input and Multiple-Output -tekniikka ja kaistanleveyden kaksinkertaistaminen, kumpikin näistä uudistuksista kaksinkertaistaa tiedonsiirtonopeuden. DraftN:ään on päivitetty aiempien standardien ratkaisuja, joiden pitäisi lisätä tiedonsiirtonopeutta noin 50 %. Näitä päivityksiä ovat muun muassa MAC-otsikoiden suhteellinen vähennys ja OFDM-modulaatioon tehdyt parannukset.</p> <p>Mittauksista kävi ilmi, että DraftN-verkko antaa lähistöllä olevalle verkolle toisinaan hyvin tilaa, mutta toisinaan häiriöverkko hidasti huomattavasti mittausverkkojen tiedonsiirtoa. Mitään selvää syytä tähän ei löytynyt. DraftN-verkon siirtonopeuskin jätti toivomisen varaa. Kummassakaan tiedonsiirtonopeus mittauksessa ei päästy lähelle mainostettua tiedonsiirtonopeutta tai saavutettu kuusinkertaista 802.11a/g-siirtonopeutta.</p> <p>Tällä hetkellä DraftN vaikuttaa olevan varsin keskeneräinen, joka ei saavuta tavoitteitaan.</p>	
Hakusanat	IEEE, 802.11, 802.11n, DraftN, MIMO, WLAN

Author	Petri Mäkeläinen
Name of Thesis	Measurement of IEEE 802.11n draft standard's functionality
Pages	55 Pages
Date	26 April 2009
Degree Programme	Information Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Matti Puska, Principal Lecturer Pasi Lankinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to measure IEEE's 802.11n draft standard's functionality by comparing intended performance to the measured. The two focal points in this thesis are DraftN network's maximal throughput, throughput in practical use, and interference to other wireless networks.</p> <p>802.11n standard is supposed to provide improved throughput up to 11 times higher when compared to 802.11a/g standards and also provide longer range. 802.11n is still in draft phase and throughput in the DraftN standard is only half of what the complete standard promises because all techniques are not fully operational but still it is six times better than 802.11a/g standard promises.</p> <p>The greatest improvements that DraftN standard provides are Multiple-Input and Multiple-Output technique, 40 MHz bandwidth and MAC overhead reduction. Both MIMO and 40 MHz bandwidth should double DraftNs throughput and MAC overhead reduction with other minor improvements should produce the remaining +50% to the throughput.</p> <p>The measurements showed that the interference to nearby network is occasionally significant and at other times DraftN cause a minimal amount of interference. There was no clear reason why DraftN behaves this way. DraftN also left plenty to improve in throughput performance measurements. Both throughput measurements produced disappointing results especially in practical throughput.</p> <p>At the moment DraftN seems a bit flawed and incapable of achieving its promises.</p>	
Hakusanat	IEEE, 802.11, 802.11n, DraftN, MIMO, WLAN

Sisällys

	Tiivistelmä	
	Abstract	
1	Johdanto	6
2	Langattomat lähiverkot	7
3	IEEE 802.11 -standardit	7
3.1	Fyysinen kerros	8
3.2	Modulointitekniikat	8
3.3	Medium Access Control	9
4	802.11n -standardin luonnosversio 2 (DraftN v 2.0)	11
4.1	OFDM parannukset	11
4.2	Multiple-Input and Multiple-Output	12
4.3	Kaistanleveys	14
4.4	MCS	14
4.5	802.11n High Throughput MAC -paketti sisältö	16
4.6	Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)	17
4.7	802.11n:n teoreettisen nopeuden laskenta	18
5	Mittaukset	22
5.1	Testitila	22
5.2	Testausmenetelmät ja testilaitteisto	22
5.3	802.11n-verkon aiheuttama häiriö toiseen 802.11 verkkoon	25
5.4	802.11b/g-verkkojen toimivuus usean 802.11n-verkon keskuudessa	43
5.5	802.11n -verkonsiirtonopeus	46
5.6	Muut testit	52
6	Johtopäätökset	52
6.1	DraftN-verkon aiheuttama häiriö	52
6.2	DraftN verkon hyödyt arkikäytössä	53

Liitteet

Liite 1: Häiriömittauksissa käytetyn väestönsuojan pohjakaavio

1 Johdanto

Insinööriyössä oli ajatuksena katsastaa IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) uusimman langattomien lähiverkkojen luonnosstandardin toimivuutta ja vaikutusta jo olemassa oleviin langattomiin lähiverkkoihin.

IEEE 802.11n -luonnosstandardin verkoissa eli DraftN-verkoissa otetaan ensimmäistä kertaa virallisesti käyttöön MIMO -tekniikka (Multiple-Input and Multiple-Output), joka mahdollistaa usean rinnakkaisen tiedonsiirron. Tämän lisäksi DraftN-verkoissa on käytössä 40 MHz:n kaistanleveys, joka on kaksinkertainen aiempiin IEEE:n standardien kaistanleveyteen nähden. Tarkoituksena on tarkkailla kuinka edellä mainitut uudet ominaisuudet häiritsevät ja hidastavat muita langattomia verkkoja.

Insinööriyön toinen selvitettävä asia on DraftN-verkkojen siirtonopeus ja kuinka se aiotaan saavuttaa. Standardi lupaa DraftN -verkoille 300 Mbps:n siirtonopeutta, insinööriyössä on selvitetty, miten DraftN -standardi pyrkii saavuttamaan yli kuusinkertaisen siirtonopeuden 802.11a/g standardeihin verrattuna. Teoreettisen siirtonopeuden lisäksi insinööriyössä mitataan DraftN-verkon maksimisiirtonopeus ja siirtonopeus hyötykäytössä. Siirtonopeusmittaukset suoritetaan myös kahden erilaitevalmistajan DraftN-tuotteilla, joten laitevalmistajien keskinäinen toimivuus tulee myös tutkittua.

2 Langattomat lähiverkot

Langattomat lähiverkot (WLAN, Wireless Local Area Network) ovat nimensä mukaisesti tietoliikenneverkkoja, joissa ei ole johtoja tai kaapeleita, vaan tiedonsiirtoon käytetään radioaaltoja tai infrapuna valoa. Näistä kahdesta yleisimmin käytetään radioaaltoja, koska ne omaavat laajemman kaistanleveyden, pidemmän kantomatkan ja laajemman kattavuuden. Langattomat verkot käyttävät 2,4 GHz ja 5 GHz ISM-radiotaajuuksia (Industrial, Scientific and Medical). ISM on kokoelma radiotaajuuskaistoja, jotka ovat maailmanlaajuisesti tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön. ISM-taajuusalueiden käyttö ei vaadi erillistä lupaa, vaan on kaikkien vapaassa käytössä.

Käytössä olevia langattomia lähiverkko standardeja on kaksi, IEEE:n 802.11- ja ETSI:n (European Telecommunications Standards Institute) HiperLAN-standardi. IEEE 802.11 -standardia käytetään yleisimmin langattomien lähiverkkojen standardina, koska se muistutti enemmän jo olemassa olevia lähiverkkoja ja lähiverkkotuotteiden valmistajat tekivät 802.11 -standardiin pohjautuvia tuotteita selvästi enemmän. Lisäksi ETSI:n päätoimiala on kännykkäverkkostandardit, kun IEEE:n toimintaan kuuluu muun muassa monien eri alojen keskeisten standardien määrittely. IEEE:n 802 työryhmä kehittää standardeja lähi- (LAN) ja kaupunkiverkkoihin (MAN), joista tunnetuimpia ovat Ethernet (IEEE 802.3), Token Ring (IEEE 802.5), WLAN (IEEE 802.11) ja WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, IEEE 802.16). WiMAX on myös langaton verkkostandardi, mutta se kuuluu jo kaupunkiverkkoihin. [1: 2.]

3 IEEE 802.11 -standardit

Kuten edellä jo mainittiin, IEEE:n 802 työryhmä kehittää lähi- ja kaupunkiverkkostandardeja, joista monet ovat jo laajalti käytössä. 802-työryhmän standardit sijoittuvat OSI-mallin (Open Systems Interconnection Reference Model) kerroksille yksi, fyysinen kerros, ja kaksi, siirtoyhteyskerros. 802.11 -standardissa käytetään jo aiemmista standardeista tuttuja ratkaisuja, kuten Logical Link Control (LLC), ja lisäksi luodaan omia uusia ratkaisuja, esimerkiksi fyysisen kerroksen modulaatiot ja MAC-alikerros (Medium Access Control). [3, s.51–58, 469–486: 4: 5, s 7–9.]

3.1 Fyysinen kerros

OSI-mallissa fyysinen kerros kuvaa tietoa siirtävien laitteiden karkean toimintarakenteen ja tiedonsiirtoon käytettävän välittäjän eli mediumin. Fyysinen kerros määrittää, kuinka raakadatasta muodostetaan loogisia paketteja, jotka voidaan lähettää mediumia pitkin toiselle laitteelle. Raakadatan käänöksessä lähetettävään muotoon tarvitaan myös siirtoyhteyserrosta.

802.11 standardissa on kolme elementtiä, joiden avulla raakadata muunnetaan ja lähetetään vastaanottavalle laitteelle: 802.11 MAC, PMD ja PLCP. 802.11 MAC - alikerros on 802 MAC -alikerroksesta jatkokehitetty ja monimutkaisempi osajärjestelmä, jonka toiminta tarkoituksena on laitteen liikennöinnin hallinta. 802.11 MAC toimii OSI-mallin siirtokerroksessa. PMD (Physical Medium Dependent) on suorassa yhteydessä siirtävään mediumiin ja sen toimenkuvaan kuuluu muun muassa pakettien siirtäminen PLCP:ltä mediumille ja mediumilta PLCP:lle, bittiajoitus tiedonsiirrossa ja koodaustaso. PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) prosessi, joka hoitaa MAC-kerrokselta saatavan data paketoimisen lähetettävään muotoon, jonka jälkeen PLCP on yhteydessä PMD alikerrokseen, josta paketit siirretään mediumille. PLCP toimii periaatteessa välittäjänä kerroksien välillä, jotta MAC ja PMD välillä olisi mahdollisimman pieni riippuvuussuhde. [5, s. 7–9.]

3.2 Modulointitekniikat

CCK-tekniikka

Complementary Code Keying (CCK) luo datavuosta 4 tai 8 bitin koodisymboleja, jotka siirretään radiolinjalle nopeudella 1,375 miljoonaa koodisymbolia sekunnissa, joka paransi selvästi siirtonopeutta alkuperäiseen 802.11-standardiin verrattuna, mutta jäi kuitenkin selvästi 802.11a standardin OFDM moduloinnilla saavutetusta siirtonopeudesta. CCK modulointi tekniikka on käytössä vain 802.11b standardissa. [6.]

OFDM-tekniikka

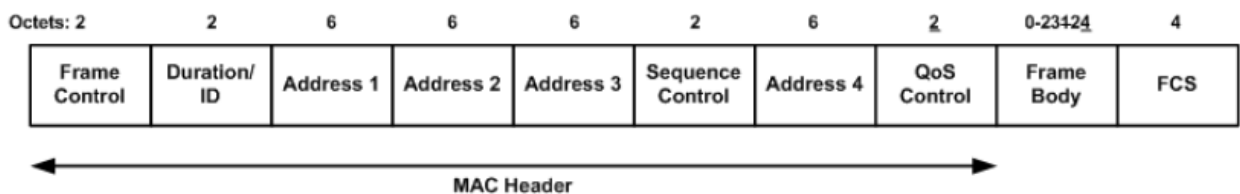
OFDM eli Orthogonal Frequency Division Multiplexing on tekniikka, joka perustuu moduloidun signaalin siirtämiseen usean toisiaan häiritsemättömän taajuuskanavan kautta. OFDM-tekniikka sisältää 52 toisiaan häiritsemätöntä alikaistaa, joista 48 alikaistaa käytetään tiedon siirtämiseen ja loput neljä ovat ohjausalikaistoja. OFDM:n

yhteydessä käytetään vaiheavainnusmodulaatiota (PSK, Phase Shift Keying) tai QAM-modulaatiota (Quadrature Amplitude Modulation). Tämänlainen OFDM tekniikka on käytössä 802.11a ja -g standardeissa, ja suurin siirtonopeus on 54 Mbps. [4, s. 591–636: 5, s.198–213.]

3.3 Medium Access Control

MAC kehys

Kuva 1 esittää MAC-kehystä sen nykymuodossa. Kuva on otettu IEEE:n standardista 802.11-2007, joka on standardipohjan uusin päivitys. Kuvasta on vielä nähtävissä Frame Body -kentän vanha maksimikoko, joka oli 2312 tavua. Standardipäivityksessä Frame Body -kentän kokoa on supistettu 2304 tavuun, ja MAC-kehyykseen on lisätty QoS Control -kenttä (Quality of Service Control, palvelunlaadunhallinta).



Kuva 1 802.11 MAC-kehys (3, s. 60.)

Frame Control -kenttä (kehyyksenhallintakenttä) sisältää tiedot protokollan versiosta, kehyyksen käyttötarkoituksesta, onko ylemmän tason ohjelman tiedot jaettu useaan MAC-kehyykseen, onko kehys uudelleenlähetetty, lähettävän tukiaseman virranhallinta tilasta lähetyksen jälkeen, onko lähettävän aseman puskurissa lisää kehyyksiä vastaanottavalle tukiasemalle, onko Frame Body kenttä suojattu, onko kehysten järjestyksellä väliä sekä tiedon onko kehys tulossa jakelujärjestelmästä (Distribution System, DS) ja siirretäänkö se jakelujärjestelmään.

Duration/ID kentällä on, asetuksesta riippuen, kolme eri sisältöä. Sitä voidaan käyttää Network Allocation Vectorin (NAV) määrittämiseen. NAV-arvo vaihtelee 0 ja 32767 välillä. Toinen merkitys Duration/ID -kentälle on asettaa kilpailuvapaa ajanjakso (Contention-Free Period, CFP), joka arvo on 32768 ja tulkitaan NAV-arvona. Kolmas käyttötarkoitus kentälle on virransäästötilaa käyttävän tukiasema tiedustelupyynnö, onko

muilla tukiasemilla puskuriin säilöttyjä paketteja, jotka ovat tarkoitettu tiedustelu pyynnön lähettäjälle. Virransäästötilassa tukiasema ei voi vastaanottaa paketteja.

Osoite (address) kentät sisältävät aina tiedon alkuperäisen lähettäjän ja lopullisen vastaanottajan MAC-osoitteesta. Useimmiten näiden lisäksi osoite kentissä on BSSID tunnus (Basic Service Set ID, lähiverkon verkkotunnus). Toisinaan BSSID arvon sijasta ilmoitetaan lähettävän ja vastaanottavan langattoman laitteen MAC-osoite.

Sequence Control (järjestyksen hallinta) kenttää käytetään sekä tiedonsiirron eheyden ylläpitämiseen että monistuneiden kehysten hylkäämiseen. Kenttä koostuu kahdesta alikentästä Fragment Number (Sirpaleen järjestysnumero, pituus neljä bittiä) ja Sequence Number (kehyksen järjestysnumero, pituus 12 bittiä). Fragment Number sisältää tiedon, montako kertaa kehys on lähetetty. Ensimmäisessä kehyksessä arvo on 0 ja jokaisen uudelleen lähetyksen yhteydessä arvoa kasvatetaan yhdellä. Sequence Number määrittää kehyksen järjestys numeron ja tämä arvo ei muutu uudelleen lähetyksen yhteydessä.

Quality of Service Control on osa kehyksen palvelulaadun asettava kenttä, joka määrittää muun muassa, mihin tietoliikenneluokkaan tai -vuohon paketti kuuluu.

Frame Body -kenttä sisältää kehyksen hyötydatan MSDU (MAC Service Data Unit), hyötydatan eheyden tarkastusarvo ICV:n (Integrity Check Value) ja verkon suojaukseen käytetyn salausarvon (IV, Initialization Vector).

FCS on koko kehyksen eheyden tarkastusarvo, jonka avulla voidaan määrittää, onko vastaanotettu tiedosto sama kuin se oli lähetettäessä.[4, s. 59–71.]

Siirtotien hallinta

Langattomia verkkojen siirtotien hallintaa varten tuli välttämättömäksi ottaa käyttöön erilainen siirtotien hallintatapa, sillä langaton tiedonsiirto eroaa Ethernetistä hyvin paljon. Ethernetistä jo tuttu CSMA/CD:tä ei ole mahdollista käyttää 802.11 - standardissa, koska se perustuu siirtolinjan kuunteluun ja törmäysten havaitsemiseen. Siirtolinjan samanaikainen lähetys ja kuuntelu eivät ole mahdollista 802.11 - standardissa. Tämän vuoksi 802.11 käyttää CSMA/CA:tä (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance), joka perustuu törmäysten havaitsemisen sijaan

törmäysten välttämiseen varaamalla siirtolinjan itselleen ennen datan lähettämistä. Törmäysten välttämiseksi on käytössä sekä fyysinen että virtuaalinen siirtolinjan havainnointi toiminnallisuus (Carrier Sensing). Fyysinen havainnointi on toimintaperiaatteeltaan samanlainen, kuin Ethernet-verkoissa käytössä oleva. Virtuaalisessa siirtolinjan havainnoinnissa käytetään Network Allocation Vector- eli NAV-arvoa, joka osoittaa, kuinka monta mikrosekuntia lähettävä laite olettaa tarvitsevansa lähetettävänä olevaa dataa varten. NAV-arvo syötetään MAC kehyksen Duration/ID -kenttään.

CSMA/CA:n toimintamalli lähettämisen suhteen on seuraava: ensimmäiseksi tarkistetaan, onko siirtolinja vapaa, mikäli siirtolinja on varattu tai ei vastaanota kuittausviestiä (ACK frame), lähettävä laite odottaa satunnaisen backoff -proseduurin asettaman ajan ennen uudelleenlähetystä. [4:5.]

4 802.11n -standardin luonnosversio 2 (DraftN v 2.0)

802.11n -standardissa pyritään parantamaan langattomien verkkojen tärkeimpiä ominaisuuksia, nimittäin kuuluvuutta, luotettavuutta ja siirtonopeutta. 802.11n esittelee useita uusia parannuksia 802.11-tuoteperheeseen, joista merkittävin on Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO), usean antennin lähetys ja vastaanotto. Muita merkittäviä tekniikoita ovat 40 MHz:n kaistanleveys, MCS (Modulation and Coding Scheme) ja MAC-alikerroksen otsikoiden suhteellinen vähennys kehysten yhdistämisen avulla. 802.11n:n suunnittelussa on otettu myös huomioon taaksepäin yhteensopivuus varhaisimpien 802.11 -standardien kanssa, sillä .11n sisältää modulaatiotekniikat, joita on aiemmin käytetty ja uudistetut OFDM-otsikot sisältävät myös yhteensopivuustilan vanhojen verkkojen kanssa. [7:8.]

4.1 OFDM parannukset

OFDM-menetelmä on ollut käytössä 802.11a- ja .11g -standardeissa, joissa maksimisiirtonopeus on 54 Mbps. 11n-standardiin OFDM-menetelmään on tehty kolme muutosta, jotka parantavat siirtonopeutta 54:stä 72,2:een Mbps, nämä muutokset on parannettu FEC, alikaistojen lisääminen ja lyhennetty Guard Interval. [9.]

Forward Error Correction

Forward Error Correction on tiedonsiirron virnehallintamenetelmä, joka ilmaisee tiedonsiirrossa tapahtuneen virheen ja siten avustaa virheen korjauksessa ilman, että tiedon uudelleen lähetystä. 802.11a/g-standardissa FEC koodaus taso on 3/4, eli kolme databittiä yhtä FEC -korjausbittiä kohden. Täten OFDM -paketista jää 75 % datan siirtoon. 802.11n-standardissa oleva parannettu FEC- koodaustaso on 5/6, jolloin OFDM -paketin hyötykäyttösuhde on 83,3 %.

Subcarriers eli alikaistat

Alikaistojen lukumäärää on kasvatettu 52:sta 56:een, joista 52 alikaistaa on tarkoitettu tiedonsiirtoalikaistoiksi ja 4 on ohjausalikaistoja.

Short Guard Interval

Guard Interval (GI, suomeksi suojaväli) on liitetty lähes jokaisen OFDM-symbolin eteen ja sen tarkoitus on vähentää aiemmin lähetetyn OFDM-symbolin heijastuman aiheuttamaa häiriötä. Varhaisemmissa 802.11-standardeissa GI on kestoaltaan 800 nanosekuntia, 802.11n-standardissa GI voidaan pitää ennallaan tai sitten ottaa käyttöön Short Guard Interval (SGI, suomennos lyhyt turvaväli), joka on kestoaltaan puolet GI:n kestosta eli 400 ns. Tämän tekniikan käyttöönotto parantaa 802.11n suorituskykyä noin 10 %.

4.2 Multiple-Input and Multiple-Output

Usean antennin yhtäaikaisten käyttö tulee 802.11 -standardiin uutena tekniikkana mutta on ollut jo käytössä 802.11g -verkkolaitteiden kanssa laitevalmistajien omina ratkaisuin, jotka eivät ole yhteen sopivia keskenään. 802.11n -standardi tulee esittelemään MIMO ratkaisun, jossa on enintään neljä lähettävää ja neljä vastaanottavaa antennia, mutta DraftN -versioon on määritetty, että siinä tulee olla kaksi lähettävää antennia tukiasemassa ja verkkokortissa voi olla yksi tai kaksi antennia.

MIMO:n yhteydessä käytetään kolmea erilaista signaalien prosessointi tekniikkaa. Tekniikat ovat Spatial Multiplexing (SM), Space-Time Block Coding (STBC) ja Transmit Beamforming (TxBF).

Spatial Multiplexing

Spatial Multiplexing -tekniikassa (SM, suomeksi tilallinen multipleksointi) lähetettävä data jaetaan osiin, jotka lähetetään eri antennien kautta, ja koska paketteja on samaan aikaan liikenteessä useampi, niiden vastaanotto tapahtuu eri antenneissa. Tämän takia paketit joudutaan järjestelemään vastaanottavassa päässä alkuperäiseen järjestykseen. SM -tekniikka parantaa siirtonopeutta huomattavasti, siirtonopeuden kasvu on suoraan verrannollinen Spatial Streamin lukumäärään nähden (kun siirretään kahdella rinnakkaisella vuolla dataa, siirtonopeus on kaksinkertainen). [7:8.]

Space-Time Block Coding

STBC -tekniikan tarkoitus on parantaa langattoman tiedonsiirron luotettavuutta, virheellisten pakettien lukumäärää vastaanottavassa laitteessa. STBC on käyttökelpoinen ratkaisu vain silloin, kun lähetettäviä antenneja on enemmän kuin vastaanottavia, koska STBC perustuu siihen, että se lähettää signaalia radiokaistalle yli tarpeen, jonka ansiosta vastaanottava laite pystyy suuremmalla todennäköisyydellä päättämään alkuperäisen signaalin. STBC parantaa luotettavuuden lisäksi kuuluvuutta ja tiedonsiirtonopeutta pidemmällä etäisyyksillä. STBC -tekniikka vaatii lähettävältä laitteelta huomattavan prosessorin laskutehoa, ellei laitteisiin kehitetä yksilöityä rautapohjaista ratkaisua laskutoimitusten tekemiseen. [7:8.]

Transmit Beamforming (TxBF)

Transmit Beamforming -menetelmän tarkoitus on taata paras mahdollinen signaalin laatu ja siirtonopeus vastaanottokohteeseen. Jotta TxBF voidaan toteuttaa, lähettävällä laitteella tulee olla tieto siitä, miten vastaanottava laite todennäköisimmin saa lähetetyn signaalin vastaanotettua. Tieto voidaan kerätä vastaanottavalta laitteelta, lähettämällä kanavan mittauspaketin, josta vastaanottavalaite laskee kanava matriisin ja vastaa lähettämällä efektiivisen kanavan tai beamforming tulomatriisin. Toinen keino kerätä tieto vastaanottavasta laitteesta on kuulostella vastaanottavan laitteen PPDU paketteja, ja niiden perusteella saatujen tietojen avulla laskea arvioitu Beamforming arvo. Sen jälkeen kun lähettävällä laitteella on tieto kuinka signaalit vastaan otetaan parhaiten, lähettävä laite muuttaa eri antennien lähetysvoimakkuutta ja taajuutta näiden tietojen perusteella. Transmit Beamforming ei ole yleisesti otettu käyttöön 802.11n luonnostelu versioissa. [7:8]

4.3 Kaistanleveys

802.11n -standardissa kaistanleveyksiksi on määritelty aiemmistakin standardeista tuttu 20 MHz, ja tämän lisäksi 40 MHz. Tämän lisäyksen ansiosta siirtonopeus yli kaksinkertaistuu, sillä kaksinkertaistetun kaistanleveyden ansiosta OFDM-menetelmän alikaistojen lukumäärä nousee 52:sta 108:an (katso taulukot 2 ja 3). Kaistanleveyden tuplaaminen aiheuttaa myös samalla sen, että 2,4 GHz:n taajuusalueella voi olla vain yksi päällekkäin menemätön kaista, kun taas 5 GHz:n taajuusalueella päällekkäin menemättömiä kaistoja on yksitoista.

4.4 MCS

Modulation and Coding Scheme tarkoittaa suomeksi modulaatio- ja koodaussuunnitelmaa ja on toiminnaltaan nimensä mukainen. 802.11n -standardi tulee sisältämään 77 erilaista modulaatio- ja koodaussuunnitelmaa, joista 32 ensimmäisellä (MCS0–MCS31) MCS:llä käytetään kaikilla Spatial Streameilla samaa modulaatiota (EQM, Equal Modulation of spatial streams), lopuissa MCS:eissä on vähintään yhdessä Spatial Streamissa eri modulaatio muihin verrattuna (UEQM, Unequal Modulation of spatial streams).

DraftN -versio 2.0 -tuotteissa käytössä on vain 16 ensimmäistä MCS-suunnitelmaa, joka tarkoittaa kumpikin Spatial Stream (vain koodaustasolla MCS-8 – MCS-15) käyttää samaa modulaatiota. Taulukoista nähdään käytettävissä olevat MCS-siirtoasetukset ja tietoa niiden ominaisuuksista. Taulukossa 2 on DraftN:n ominaisuudet ja siirtonopeudet 20 MHz:n kaistanleveydellä, ja taulukossa 3 40 MHz:n kaistanleveydellä. Taulukko 1 on selvennykset taulukkojen 2 ja 3 lyhenteisiin. [7, s.344.]

Taulukko 1. Selvennykset (7, s.344.)

Symboli	Selvennys
Koodausnopeus	FEC konvoluutiosirtonopeus, oletus 1/2. siirtolinajlle laitetaan 2 bittiä jotta saadaan 1 databitti siirrettyä.
NSD	Number of data subcarriers, OFDM-menetelmän data-alikaistojen lukumäärä
NCBPS	Number of coded bits per symbol, bittien lukumäärä OFDM symbolissa
NDBPS	Number of data bits per symbol, data bittien lukumäärä OFDM symbolissa
GI	Guard Interval, kehysten välissä oleva suoja-aika joka estää kehysten sekoittumisen.

Taulukko 2 DraftN ominaisuudet ja siirtonopeudet 20 MHz (7, s.344.)

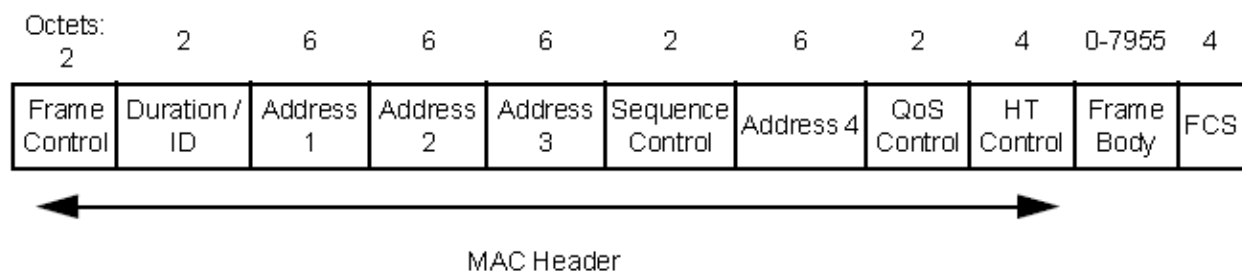
MCS modulaatio suunnitelma	Modulaatio	Koodaus nopeus	Spatial Stream	NSD	NCBPS	NDBPS	Data rate (Mb/s)	
							800 ns GI	400 ns GI
0	BPSK	1/2	1	52	52	26	6.5	7.2
1	QPSK	1/2	1	52	104	52	13.0	14.4
2	QPSK	3/4	1	52	104	78	19.5	21.7
3	16-QAM	1/2	1	52	208	104	26.0	28.9
4	16-QAM	3/4	1	52	208	156	39.0	43.3
5	64-QAM	2/3	1	52	312	208	52.0	57.8
6	64-QAM	3/4	1	52	312	234	58.5	65.0
7	64-QAM	5/6	1	52	312	260	65.0	72.2
8	BPSK	1/2	2	52	104	52	13.0	14.4
9	QPSK	1/2	2	52	208	104	26.0	28.9
10	QPSK	3/4	2	52	208	156	39.0	43.3
11	16-QAM	1/2	2	52	416	208	52.0	57.8
12	16-QAM	3/4	2	52	416	312	78.0	86.7
13	64-QAM	2/3	2	52	624	416	104.0	115.6
14	64-QAM	3/4	2	52	624	468	117.0	130.0
15	64-QAM	5/6	2	52	624	520	130.0	144.4

Taulukko 3 DraftN ominaisuudet ja siirtonopeudet 40 MHz (7, s.347.)

MCS modulaatio kaava	Modulaatio	Koodaus nopeus	Spatial Stream	NSD	NCBPS	NDBPS	Data rate (Mb/s)	
							800 ns GI	400 ns GI
0	BPSK	1/2	1	108	108	54	13.5	15.0
1	QPSK	1/2	1	108	216	108	27.0	30.0
2	QPSK	3/4	1	108	216	162	40.5	45.0
3	16-QAM	1/2	1	108	432	216	54.0	60.0
4	16-QAM	3/4	1	108	432	324	81.0	90.0
5	64-QAM	2/3	1	108	648	432	108.0	120.0
6	64-QAM	3/4	1	108	648	486	121.5	135.0
7	64-QAM	5/6	1	108	648	540	135.0	150.0
8	BPSK	1/2	2	108	216	108	27.0	30.0
9	QPSK	1/2	2	108	432	216	54.0	60.0
10	QPSK	3/4	2	108	432	324	81.0	90.0
11	16-QAM	1/2	2	108	864	432	108.0	120.0
12	16-QAM	3/4	2	108	864	648	162.0	180.0
13	64-QAM	2/3	2	108	1296	864	216.0	240.0
14	64-QAM	3/4	2	108	1296	972	243.0	270.0
15	64-QAM	5/6	2	108	1296	1080	270.0	300.0

4.5 802.11n High Throughput MAC -paketti sisältö

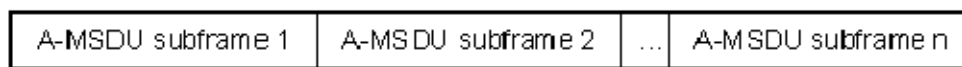
802.11n -standardiin luotu uusi MAC-kehys (Kuva 2), jonka tunnistaa etuliitteestä High Throughput ja sen eroavaisuudet aiempaan MAC-kehykseen ovat lisätty HT Control (High Throughput Control, korkean suoritusstehon hallinta) -kenttä ja Frame Body kentän muuttunut koko, aiemmin sen koko oli suurimmillaan 2312 tavua (ennen vuoden 2007 standardipäivitystä) ja uudessa se on 2304 tai 7955 tavua.



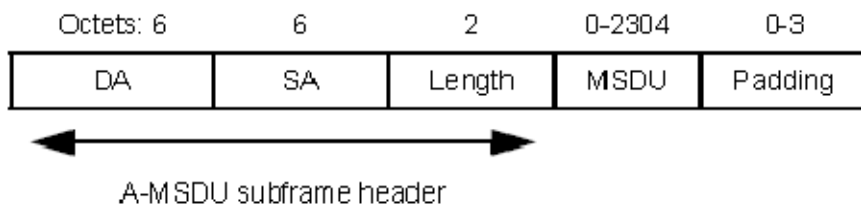
Kuva 2 High-Throughput MAC-kehys (7, s.13.)

MAC-kehysten Frame Body -kenttä sisältää vähintään yhden Aggregate MAC Service Data Unit (A-MSDU, kuva 3) alikehysten. A-MSDU -alikehysten lukumäärällä ei ole ylärajaa, kunhan niiden yhteen laskettu pituus on 7955 tavua tai vähemmän. A-MSDU

alikehys (Kuva 4) sisältää viisi eri kenttää: DA-, SA-, Length- eli pituus-, MSDU- ja Padding- eli täytekenttä. DA, SA ja Length ovat A-MSDU -alikehysten etutunnistekenttiä. Lähdeosoite- (SA) ja kohdeosoitekenttien (DA) arvot periytyvät HT-MAC-kehysten Address 1- ja Address 2 -arvoista, joten kaikki HT-MAC-kehysten A-MSDU -alikehysten ovat lähtöisin samasta kohteesta ja ne tullaan kaikki vastaan ottamaan yhdessä paikassa. Length -kenttä sisältää tiedon MSDU -paketin koosta. Padding-kentän koko määräytyy sen MSDU-kentän koon mukaan, sillä A-MSDU -alikehysten koko tulee olla neljällä jaollinen.[7, s. 13.]



Kuva 3. HT MAC-kehysten Frame Body:n sisältö (7, s.38.)



Kuva 4. A-MSDU alikehysten sisältö(7, s.38.)

4.6 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

802.11n -standardiin on jouduttu kehittämään uudenlainen fyysisen kerroksen ohjausdatapaketti ratkaisuksi PLCP Protocol Data Unitin (PPDU) yhteydessä. PPDU vaihtoehdot Non-HT PPDU, HT-mixed format PPDU ja HT-greenfield format PPDU. Taulukossa 4 kuvataan formaattien sisällöt lyhyesti. Uusien PPDU -formaattien lisättyjen pakettien nimet on määritelty taulukossa

Taulukko 5. [7, s242.]

Taulukko 4. PPDU formaatit (Tiedot kerätty IEEE:n 802.11n -luonnosstandardista. [7.]

Non-HT PPDU	Sama PPDU -formaati, joka on käytössä jo aiemmissa 802.11 ratkaisuisissa. Tämän PPDU:n kanssa ei voi käyttää mitään 802.11n -standardin tuomia päivitys ratkaisuja.
HT-greenfield PPDU	Täysin uusi PPDU-ratkaisu, jonka etutunnisteessa käytetään päivitettyjä versioita kaikista PLCP -paketeista. Toimii vain 802.11n -standardia tukevissa laitteissa.
HT-mixed PPDU	HT-mixed omaa sekä uuden että vanhan PPDU-headrin PLCP-paketit, toimien täten yhteensopivuustilana uusien ja vanhojen verkkoratkaisujen välillä.

Taulukko 5. HT PLCP paketit (7.)

Paketin nimi	Kuvaus (ja kehyksen kesto + GI)	Käytössä		
		Non-HT	Mixed	GF
L-STF	Non-HT Short Training Field (8 μ s)	X	X	
L-LTF	Non-HT Long Training Field (8 μ s)	X	X	
L-SIG	Non-HT SIGNAL Field (4 μ s)	X	X	
HT-SIG	HT SIGNAL Field (8 μ s)		X	X
HT-STF	HT Short Training Field (4 μ s)		X	
HT-GF-STF	HT-greenfield Short Training Field (8 μ s)			X
HT-LTF1	Ensimmäinen HT Long Training Field (Data HT-LTF)* (8 μ s)		X	X
Data HT-LTF	Lisätyt Data HT-LTF paketit (4 μ s)		X	X
Laajennettu HT-LTF	Extension HT-LTF (4 μ s)		X	X
Data	Sisältää PSDUn, service-kentän, tail bitit ja täyte-kentän (4 μ s)		X	X
	*HT-Greenfield formaatissa ensimmäinen Data HT-LTF on erillään lopuista HT-LTF paketeista.			

4.7 802.11n:n teoreettisen nopeuden laskenta

Teoreettisen maksiminopeuden määrittämiseksi käytin HT-greenfield PPDU -formaattia, yhdistettynä SGI-ratkaisuun ja 40 MHz:n kaistanleveyteen, koska nämä asetukset tarjoavat parhaimman siirtonopeuden kaikista eri vaihtoehdoista.

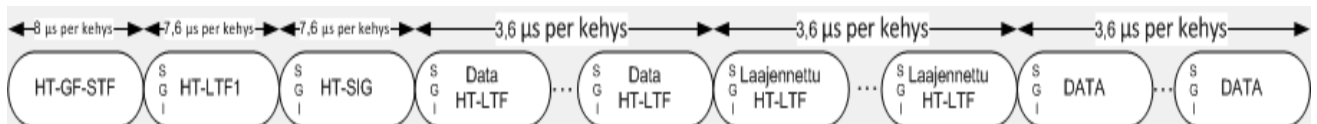
Laskennassa ei huomioida ratkaisuja jotka voivat hidastaa siirtonopeutta.

Laskutoimituksia tulee olemaan kolme kappaletta, jotta saadaan selville:

- suurin mahdollinen siirtonopeus kahden päätelaitteen välillä (siirtonopeus MCS-15)

- suurin siirtonopeus, kun käytössä myös Ethernet → MSDU:n maksimi koko 1500 tavua (siirtonopeus MCS-150029)
- siirtonopeus, kun käytössä myös Ethernet MCS-13 siirtonopeudella (tarpeellinen tulos kappaleen 5 testimittaustuloksia vertailtaessa).

Kuvassa 5 on havainnollisesti esitetty fyysisen kerroksen siirrossa käytettävä PPDU formaatti.



Kuva 5. HT-greenfield PPDU kehyks SGI:n kanssa

HT-LTF pakettien määrät vaihtelevat riippuen kaistanleveydestä ja modulaatio kaavasta. Taulukkoon 6 on kerätty tiedot HT-LTF-pakettien määrästä. Taulukon tiedoista katsottuna kaikissa mittauksissa tulee olemaan neljä Data HT-LTF-pakettia ja kaksi Lisä HT-LTF-pakettia. Näillä tiedoilla voidaan määrittellä jo PLCP-headerin kesto. Datapakettien lukumäärä riippuu PSDU:n koosta (maksimi 65535 tavua) ja MCS-suunnitelmasta. Kaava 1:ssä on lueteltu mitä OFDM-datasymboleihin sisältyy. Kaavoissa 2 ja 3 on laskettu OFDM-datasymbolien määrät MCS-13 ja MCS-15-suunnitelmille PSDU:n maksimikoolla

$$OFDM - \text{datasymbolien määrä} = \frac{SERVICEbit + DATA* + Tail\ bit + \text{täyte bit}}{N_{DBPS}**} \quad (1)$$

*Datakentän maksimikoko 65535 tavua

**arvo otettu taulukosta 3

$$OFDM - \text{datasymbolien määrä}_{MCS13} = \frac{16bit + 8 \cdot 65535bit + 1 \cdot 6bit}{864bit/sym} \approx 607\ symbolia \quad (2)$$

$$OFDM - \text{datasymbolien määrä}_{MCS15} = \frac{16bit + 8 \cdot 65535bit + 1 \cdot 6bit}{1080bit/sym} \approx 486\ symbolia \quad (3)$$

Lisäksi kehysten välillä on omat odotusajat, jotka on määritelty taulukossa 7, nämä odotusajat periytyvät 802.11a- ja .11g-standardeista.

Taulukko 6 HT-LTF pakettien määrät eri MCS kaavoilla (7.)

Kaistanleveys	Modulaatio kaava	Data LTF:n Määrä	Lisä LTF:n Määrä
20 MHz	MCS0 - 7	2	1
	MCS8-15	4	1
40 MHz	MCS0 - 7	2	1
	MCS8-15	4	2

Taulukko 7 Kehysten väliset odotusajat (7.)

DIFS	Distributed Interframe Space, tämä kehysten välinen tauko osoittaa että tiedonsiirto on suoritettu ja että kaistaa on turvallista käyttää.	
SIFS	Short Interframe Space, lyhyt tauko Data kehysten ja vastaanoton kuittauksen välissä.	
SlotTime		9 μ s
SIFS		10 μ s (2,4GHz)
		16 μ s(5GHz)
DIFS	SIFS + 2·SlotTime	28 μ s(2,4GHz)
		34 μ s(5GHz)

Edellä mainittujen tietojen lisäksi vaaditaan vielä PSDU-paketin sisältämä varsinainen data. Laskut on tehty siten että PSDU:n sisällä on vain kokonaisia HT-MAC-kehymiä. Datan määrä mittauksessa kahden päätelaitteen välillä on 64 716 tavua. Tulokseen päädyttiin MSDU-kehysten (kuva 3) koko on 2302 tavua, jolloin ei tarvita täyte bittejä ja vain täysiä MSDU-kehymiä. Laskenta suoritetaan 2,4GHz:n -taajuusalueen Interframe Space viiveaikoja käyttäen. Taulukossa 8 on lueteltu kaikkiin eri toimenpiteisiin kuluvat ajat.

Taulukko 8. Maksimikokoisen PSDU-kehysten siirtoaika

	TCP Data	TCP ACK
DIFS	28 μ s	28 μ s
802.11 Data	41,6 μ s + 607 sym * 3.6 μ s/ sym + 6 μ s = 2232,8 μ s	41,6 μ s + 1 sym * 3.6 μ s/ sym + 6 μ s = 51,2 μ s
SIFS	10 μ s	10 μ s
802.11 ACK	41,6 μ s + 1 sym * 3.6 μ s/ sym + 6 μ s = 51,2 μ s	41,6 μ s + 1 sym * 3.6 μ s/ sym + 6 μ s = 51,2 μ s
Frame exchange total	2322 μ s	140,4 μ s
Total	2462,4 μs	

Kun yhden PSDUn siirtämiseen menee 2462,4 μ s, pystytään yhden sekunnin aikana siirtämään 406 kehystä MCS-15 asetuksella. Taulukkoon 9 on kasattu kaikkien kolmen laskennan tärkeimmät tiedot (OFDM symbolien määrä ja PSDU:n sisältämän datan määrä) ja tulokset.

Taulukko 9. Teoreettinen siirtonopeus

Asetukset	Pakettia per sekunti	Datan määrä		Siirtonopeus
		tavuina	bitteinä	
MCS 15, MSDU 2304	493,388	64726	517808	243,64 Mbps
MCS 15, MSDU 1500	493,388	64558	516464	243,01 Mbps
MCS 13, MSDU 1500	406,108	64558	516464	200,02 Mbps

MCS-15-asetuksien välillä ei ole suurta eroa, koska A-MSDU alikehyksissä hukkaan menevien bittien määrä on suhteellisen pieni. MCS-15:n mainostetaan kykenevän 300 Mbps:n siirtonopeuksiin, mutta tästä tuloksesta jäädään noin 57 Mbps. Tulos on huomattavasti parempi kuin aiemmin 802.11-standardien yhteydessä mainostetut siirtonopeudet ovat tyypillisesti kaksi kertaa suuremmat kuin käytännön siirtonopeudet, esimerkiksi 802.11g siirtonopeudeksi mainostetaan 54 Mbps, kun todellinen siirtonopeus on 27,3 Mbps. [7.]

5 Mittaukset

5.1 Testitila

Mittaukset suoritettiin TietoEnatorin Kilo2:n väestönsuojassa. Paikka valittiin siitä syystä, että siellä ei ollut muita langattomia verkkoja häiritsemässä testien suorittamista, tosin kyseistä tilaa käytettiin myös arkistointiin ja siitä syystä huoneessa oli paljon metallisia arkistokaappeja, jotka saattoivat vaikuttaa hieman mittaustuloksiin. Testit suoritettiin kahden vakiopaikan välillä, tukiasema ja langattoman verkkokortin/-sovittimen omaava tietokone oli joka testissä samassa paikassa. Etäisyyttä tietokoneilta tukiasemalle oli 9,0 metristä 9,5 metriin. Liitteessä 1 on mittauspaikan pohjakaavio.

Pohjakaaviossa on ilmoitettu testilaitteiden paikat.

1. Häiriöverkon päätelaite(lukujen 5.2 ja 5.3 mittauksissa), kaksi häiriöverkon tukiasema (vain luvun 5.4 mittauksessa)
2. Mittausverkon tietokone, Lifebook
3. Mittausverkon tietokone, Pöytäkone
4. Häiriöverkon päätelaite (vain luvun 5.4 mittauksessa)
5. Häiriöverkon tukiasema (vain luvun 5.4 mittauksessa)
6. Mittausverkon tukiasema, häiriöverkon tukiasema (häiriöverkon tukiasema vain luvun 5.4 mittauksessa)

5.2 Testausmenetelmät ja testilaitteisto

Siirtonopeuden määrittämiseen käytettiin Dos-pohjaista Iperf-ohjelmaa. Päädyin käyttämään kyseistä ohjelmaa siitä syystä, että se on maineeltaan yksinkertainen ja toimiva sekä ilmaisohjelmista käytetyin ja tunnetuin tiedonsiirtonopeuksien mittauksessa käytetty ohjelma. Iperfin siirtonopeus on hieman riippuvainen tietokoneesta, joten sen takia mittaukset tehtiin joka kerta kahden saman koneen välillä kumpaankin suuntaan ja useaan kertaan. DraftN-verkon kuormitukseen käytin useaa samanaikaista ping-komentoa.

Testilaitteistona käytin ZyXEL Communicationin tukiasemia ja langattomiaverkkokortteja/-sovittimia. Varhaisempien IEEE 802.11 -verkkojen (802.11a/b/g) mittaamiseen käytössä oli kaksi G570U-tukiasemaa ja yksi AG220-

verkkosovitin. DraftN -verkkojen mittaamiseen ja häiriöverkkojen luontiin käytössä oli viisi NWA-570N-tukiasemaa, yksi NWD-310N-verkkokortti ja yksi NWD-210N-verkkosovitin. Lisäksi suurimman mahdollisen siirtonopeuden määrittämiseksi sain käyttööni ZyXEL NBG-460N -reititinmodeemin, jonka suurin ero tukiasemiin verrattuna on Gigabit-Ethernet-verkkokortti. ZyXELin tarjoamien tuotteiden lisäksi käytössä oli toisessa mittauskoneessa integroitu Intelin langaton verkkokortti, joka tukee myös DraftN -standardia.

Mittaustietokoneina käytin pöytäkonetta (käytetyt verkkolaitteet: 10/100/1000 verkkokortti, ZyXEL NWD310N) ja kannettava tietokone FujitsuSiemensComputers Lifebook S6410 (käytetyt verkkolaitteet: 10/100/1000 verkkokortti, Intel Wireless WiFi Link 4965 AGN, ZyXEL NWD210N) ja häiriöverkon simuloidun tiedonsiirron luomiseen FujitsuSiemensComputers Amilo K7610W -kannettavaa tietokonetta.

Mittaustulokset on ilmoitettu kummastakin koneesta, ensimmäisenä mainittu tietokone oli testin aloittajana eli client-tilassa ja jälkimmäisenä mainittu tietokone oli vastaanottajana eli server-tilassa. Tietokoneiden yläpuolella on mainittu laite, jolla kyseinen mittaus on suoritettu. Kaikissa testeissä tehdyt mittaukset on ilmoitettu megabittiä per sekunnissa (Mbps).

5.2.1 Häiriöverkkojen mittauksessa käytetyt referenssi arvot

Tiedonsiirtonopeusmittauksien taulukoissa on ilmoitettu laitteet, joilla mittaukset on tehty sekä mahdollisesti hieman lisätietoa mittauksen toteutuksesta. Mittauksen aloittanut langaton sovitin ja tietokone on mainittu ensimmäisenä ja palvelinkoneena ja sovittimena toimivat laitteen jälkimmäisenä.

DraftN -verkon tiedonsiirronmittaukset tehtiin testipaikkojen 3 ja 6 välillä. Mittaukset suoritettiin vain siirtonopeudella MCS-7, jonka teoreettinen maksimisiirtonopeus on 150 Mbps, ja MCS-15, jonka teoreettinen maksimisiirtonopeus on 300 Mbps. Mittaukset on tehty TCP-protokollaa käyttäen ja Iperfin oletus asetuksilla, mikä tarkoittaa yksisuuntaista mittausta 8 kilotavun TCP -kehyskoolla.

Mitatut nopeudet jäivät selvästi alle standardin ilmoittaman teoreettisen maksimisiirtonopeuden. MCS-15 -tiedonsiirtonopeudella suoritettujen mittauksen tulos (**Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**) oli selvästi heikompi kuin MCS-7 -

siirtonopeudella suoritettu mittaustulos (**Virhe. Kirjanmerkin viittaus itseensä ei kelpaa.**). Ongelmia oli myös eri laitevalmistajien välisessä siirtonopeus mittauksessa (Taulukko 12). Tukiasemaan määritettäessä tiedonsiirtonopeus MCS-8 tai suurempi Intelin DraftN-verkkokortti menettää yhteyden langattomaan verkkoon, vaikka se havaitsee langattoman verkon niin se tunnista verkkoa lainkaan. Intelin sovitin ja ZyXELin tukiasema kumpikin tukevat kahta rinnakkaista siirtokanavaa, mutta laitevalmistajien välillä olevien yhteensopivuusongelmien takia jouduin jättämään kahden siirtokanavan mittaukset väliin.

Taulukko 10. DraftN-verkon referenssiirtonopeus MCS-7 tiedonsiirtonopeudella

NWA570N	→	NWD310N (MCS7)	NWD310N	→	NWA570N
Lifebook	→	Pöytäkone	Pöytäkone	→	Lifebook
29,7		29,7	40		40,1
29,4		29,4	39,8		39,9
29		29	40,3		40,4
29,2		29,2	40,9		41
30,2		30,2	39,9		40
29,3		29,3	39,8		39,8
29,4667			40,1583		
		34,8125			

Taulukko 11 DraftN-verkon referenssiirtonopeus MCS-15 tiedonsiirtonopeudella

NWA570N	→	NWD310N (MCS15)	NWD310N	→	NWA570N
Lifebook	→	Pöytäkone	Pöytäkone	→	Lifebook
16,3		16,3	37,3		37,3
16,4		16,4	37		37
16,1		16,1	34,4		34,4
16,3		16,3	34,4		34,4
16,5		16,5	34,5		34,6
16,5		16,5	34,3		34,3
16,35			35,325		
		25,8375			

Taulukko 12. Siirtonopeus eri laitevalmistajien tuotteiden välillä

NWA570N	→	Intel	(MCS7)	Intel	→	NWA570N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
29,5		29,6		30,8		30,8
29,7		29,7		30		30
29,5		29,6		30,4		30,3
29,5		29,5		30,7		30,7
29,7		29,7		30,7		30,7
29,4		29,4		30		30
29,5667				30,4250		
			29,9958			

Tiedonsiirrossa ilmeni kahden ZyXELin laitteen välillä suuriakin eroavaisuuksia (taulukot 10 ja 11), pöytäkoneen aloittama mittaus sai selvästi parempia tuloksia. Mitään varmaa syytä en löytänyt, miksi MCS 7 siirtonopeusero oli näinkin suuri. Todennäköisin syy tähän on se, että sovitin ei vastaanottanut tiedonsiirtonopeus määrittystä. MCS-15-siirtonopeuden vaatimattoman mittaustuloksen syyksi epäilen johtuneen tukiasemien viimeistelemättömyydestä, sillä saavutin parempia mittaustuloksia MCS-13 siirtonopeudella. Sen sijaan erilaitevalmistajien välisessä mittauksessa ei ilmennyt tiedonsiirtonopeudessa suuria eroavaisuuksia. Siirtonopeus tukiasemalta Intelin langattomaan verkkokorttiin on samansuuruinen kuin aiemmin suoritettussa testissä (taulukko 10), joten siirtonopeus eri valmistajan tuotteiden välillä ei näillä siirtonopeuksilla ole vähentynyt lainkaan. Sen sijaan Intelin aloittama tiedonsiirto oli selvästi (noin 10 Mbps) heikompi kuin saatiin vastaavasta testistä kahden ZyXELin tuotteen väliltä. Koska siirtonopeus ero eri suuntiin oli hyvin minimaalinen, uskon että Intelin verkkokortti oli vastaanottanut siirtonopeusasetuksen.

5.3 802.11n-verkon aiheuttama häiriö toiseen 802.11 verkkoon

DraftN-verkon aiheuttama häiriö 2,4 GHz:n taajuudella mitataan kolme kertaa käyttäen eri kanavaa mittausverkossa. 11b- ja 11g-verkoissa on käytössä 20 MHz:n kaistanleveys tiedonsiirtoon, jolloin standardin mukaan saadaan kolme kaistanleveyttä, jotka eivät mene toistensa päälle. Nämä kaistanleveydet on numeroitu kanaviksi 1, 7 ja 13. 802.11n-standardi käyttää sen sijaan 40 MHz:n kaistanleveyttä, jolloin samassa tilassa olevat kaksi 802.11n-verkkoa ovat vähintäänkin osittain päällekkäin.

DraftN-häiriöverkko on kaikissa testeissä kanavalla 1, kun mittausverkon kanava on testistä riippuen 1, 7 tai 13. Useamman kanavan mittaukseen päädyin siitä syystä, että halusin selville, vaikuttaako DraftN-verkon liikenne oman kaistanleveytensä ulkopuolellakin 802.11b/g-verkkoihin, onko häiriötä enemmän tai vähemmän niin sanotulla lisäkaistanleveydellä (kanava 7) ja kuinka osittain päällekkäiset DraftN-verkot vaikuttavat toisiinsa. DraftN-verkkojen keskinäistä häiriötä mitattaessa tarkkailin myös vaikuttaako eri laitevalmistajien tuotteet siirtonopeuteen. Jokaisella kanavalla tehdään siis kahdella eri laitekoonpanolla tarvittavat DraftN-verkkojen tiedonsiirtomittaukset: ZyXEL-tukiasema (NWA-570N) – ZyXEL-verkkosovitin (NWD-310N) ja ZyXEL-tukiasema (NWA-570N) – Intel-verkkosovitin (Wireless WiFi Link 4965 AGN).

Kaikki testit suoritettiin kahteen kertaan siitä syystä, että halusin tutkia, kuinka DraftN-verkon (häiriöverkon) kaksi rinnakkaista lähetysvuota vaikuttaa muihin langattomiin verkkoihin. Häiriöverkon tiedonsiirtonopeuksiksi valittiin MCS-7 ja MCS-15, samat nopeudet joita käytettiin DraftN-verkon siirtonopeuden mittauksessa. Mittaukset ilmoitetaan kanavaryhmittäin. Mittausten aikana häiriöverkossa ilmeni ongelmia pitää simuloitua tiedonsiirtoa yllä verkkolaitteiden välillä MCS-15-tiedonsiirtonopeudella. Jouduin siirtämään häiriöverkon tukiaseman paikasta kuusi, paikkaan kolme (liite 1).

Jotta kyettäisiin toteamaan DraftN-verkon aiheuttama häiriö, tulee ensin mitata häiriöttömässä tilassa 802.11b- (Taulukko 13) ja 802.11g-verkkojen (Taulukko 14) siirtonopeudet. Kaikissa 802.11b-verkon mittauksissa siirtonopeudeksi määritetään 11 Mbps ja 802.11g-verkoissa käytetään 54 Mbps siirtonopeutta.

Taulukko 13. 802.11b Referenssimittaus

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
5,2		5,2		5,14		5,14
5,25		5,26		5,2		5,2
5,29		5,29		5,14		5,14
5,26		5,26		5,27		5,27
5,34		5,34		5,2		5,2
5,29		5,29		5,2		5,2
5,29		5,3		5,19		5,19
5,31		5,3		5,2		5,2
5,31		5,31		5,18		5,18
5,27		5,27		5,24		5,24
5,2815				5,196		
Keskiarvo		5,2388				
Mediaani		5,25				

Taulukko 14. 802.11g referenssimittaus

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
22,9		22,8		23,7		23,8
22,9		22,9		23,8		23,8
22,9		22,9		24,5		24,5
22,9		22,9		23,3		23,3
22,9		22,9		24,4		24,5
22,9		22,9		23,1		23,1
22,8917				23,8167		
Keskiarvo		23,3542				
Mediaani		23,00				

5.3.1802.11n-verkon häiriö kanavalla 13

Kanavalla 13 DraftN-verkon ei tulisi häiritä 802.11b/g-verkkoja, mutta pientä tiedonsiirron alenemista tulee olemaan toisen DraftN-verkon kanssa.

802.11b

Taulukko 15. 802.11b ch.13 (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
4,64		4,63		4,91		4,91
4,56		4,56		4,81		4,81
5,06		5,05		4,85		4,85
5,06		5,06		4,75		4,76
5,02		5,03		4,91		4,91
4,98		4,98		4,8		4,8
4,8858				4,8392		
Keskiarvo		4,8625				
Mediaani		4,88				

Taulukko 16. 802.11b ch.13 (MCS-15)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
5,08		5,09		4,83		4,83
4,92		4,92		4,79		4,78
4,87		4,87		4,78		4,78
4,8		4,81		4,81		4,82
4,93		4,93		4,88		4,88
4,96		4,96		4,83		4,83
4,9283				4,8200		
Keskiarvo		4,8742				
Mediaani		4,85				

Taulukko 15 ja Taulukko 16 näkee, että DraftN-verkon ollessa päällä siirtonopeus on hieman pienempi kuin häiriöttömässä tilassa mitattu (Taulukko 13). Siirtonopeus on suurimmillaankin vain 7,2 % pienempi kuin referenssimittauksessa.

802.11g

Taulukko 17. 802.11g ch.13 (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
23,7		23,8		22,6		22,6
23,8		23,8		22,8		22,8
23,4		23,4		22,4		22,4
23,7		23,7		22,9		22,9
23,7		23,7		22,1		22,1
23,8		23,8		22,5		22,5
23,6917				22,5500		
Keskiarvo		23,1208				
Mediaani		23,15				

Taulukko 18. 802.11g ch.13 (MCS-15)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
22,9		23,0		22,9		22,9
23,2		23,2		22,7		22,8
23,1		23,1		23,0		23,0
23,3		23,3		23,1		23,1
23,4		23,4		23,2		23,2
23,2		23,2		22,7		22,7
23,1917				22,9417		
Keskiarvo		23,0667				
Mediaani		23,10				

802.11g-verkko ei häiriintynyt lainkaan, sillä mittausten perusteella siirtonopeuden laskua on tapahtunut 1,0 % (Taulukko 17) ja 1,2 % (Taulukko 18). Mitatut siirtonopeudet kuuluvat normaalin siirtonopeudenvaihtelun piiriin.

802.11n

Taulukko 19. 802.11n ZyXEL ch.13 (MCS-7)

NWD310N	→	NWA570N		NWA570N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
25,4		25,4		23,5		23,5
23,9		23,9		24,3		24,4
26,9		26,9		24,8		24,8
25,8		25,8		23,7		23,7
24,7		24,7		23,8		23,8
26,7		26,8		24,6		24,6
25,575				24,125		
Keskiarvo		24,8500				
Mediaani		24,65				

Taulukko 20. 802.11n ZyXEL ch.13 (MCS-15)

NWD310N	→	NWA570N		NWA570N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
34,0		34,0		30,9		30,9
34,4		34,5		31,8		31,8
34,8		34,9		31,5		31,5
35,2		35,2		32,4		32,4
34,6		34,6		30,1		30,1
36,0		36,0		31,2		31,2
34,85				31,31666667		
Keskiarvo		33,0833				
Mediaani		33,20				

Ensimmäisenä DraftN-verkkojen mittauksista suoritettiin kahden ZyXELin tuotteen välinen siirtonopeusmittaus häiriöverkon ollessa siirtonopeudella MCS-7 (Taulukko 19). Mittausverkon tiedonsiirtokyky on laskenut selvästi verrattuna häiriöttömässä tilassa tehtyyn mittaukseen (Mitatut nopeudet jäivät selvästi alle standardin ilmoittaman teoreettisen maksimisiirtonopeuden. MCS-15 -tiedonsiirtonopeudella suoritettun mittauksen tulos (**Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**) oli selvästi heikompi kuin MCS-7 -siirtonopeudella suoritettu mittaustulos (**Virhe. Kirjanmerkin viittaus itseensä ei kelpaa.**). Ongelmia oli myös eri laitevalmistajien välisessä siirtonopeus mittauksessa (Taulukko 12). Tukiasemaan määritettäessä tiedonsiirtonopeus MCS-8 tai suurempi Intelin DraftN-verkkokortti menettää yhteyden langattomaan verkkoon, vaikka se havaitsee langattoman verkon niin se tunnista verkkoa lainkaan. Intelin

sovitin ja ZyXELin tukiasema kumpikin tukevat kahta rinnakkaista siirtokanavaa, mutta laitevalmistajien välillä olevien yhteensopivuusongelmien takia jouduin jättämään kahden siirtokanavan mittaukset väliin.

Taulukko 10), tiedonsiirron laskua on lähes kymmenen megabittiä per sekunti ja prosentuaalisesti laskua tullut 28,6 %. Samaan aikaan häiriöverkossa oli pieni lasku ilmoitetussa siirtonopeudessa mutta simuloitu tiedonsiirto ei kärsinyt lainkaan mittauksen aikana, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, jolloin ilmoitettu nopeus pysyi korkealla ja aikakatkaisuja esiintyi runsaasti.

Häiriöverkon ollessa siirtonopeudella MCS-15 (Taulukko 20) oli huomattavasti lähempänä referenssimittauksen keskiarvoa. Laskua referenssimittauksen tiedonsiirtonopeuteen verrattuna on vajaa kaksi megabittiä per sekunti eli laskua on 5 %. Mittausverkon tiedonsiirto siis pysyi melko lähellä häiriöttömän tilan mittausta, eikä häiriöverkon tiedonsiirto häiriintynyt pahasti.

Taulukko 21. 802.11n Intel ch.13 (MCS-7)

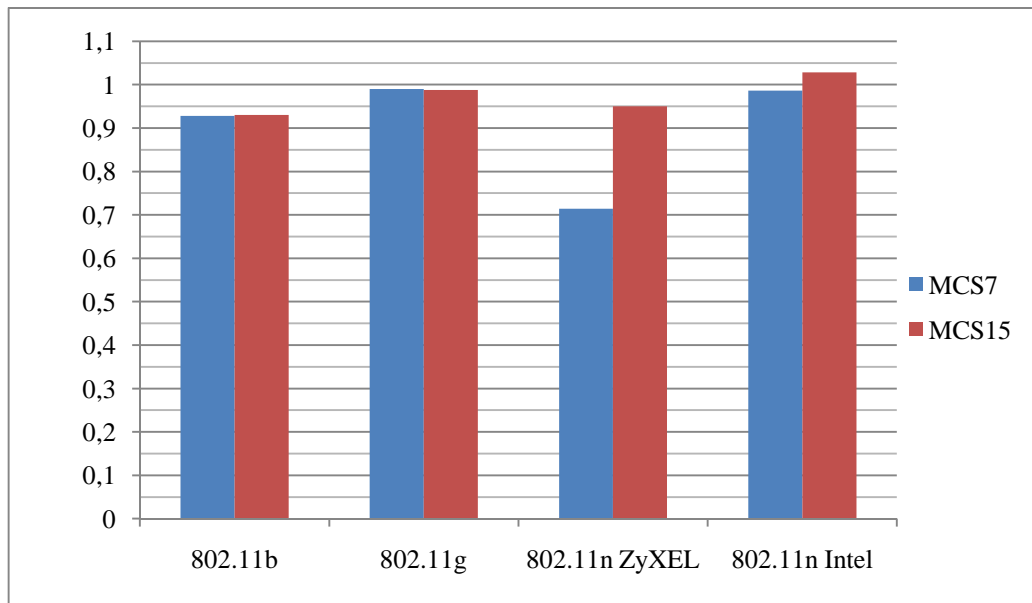
NWA570N	→	Intel		Intel	→	NWA570N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
27,2		27,2		31,0		31,0
27,1		27,1		33,2		33,2
27,3		27,3		30,9		30,9
27,3		27,3		31,5		31,5
27,3		27,3		33,4		33,4
27,4		27,4		31,4		31,4
27,2667				31,9		
Keskiarvo		29,5833				
Mediaani		29,15				

Taulukko 22. 802.11n Intel ch.13 (MCS-15)

NWA570N	→	Intel		Intel	→	NWA570N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
28,0		28,0		31,9		31,9
28,6		28,6		34,6		34,6
28,5		28,5		34,6		34,6
27,8		27,8		33,8		33,8
28,2		28,2		32,5		32,6
28,1		28,1		33,5		33,5
28,2				33,4917		
Keskiarvo		30,8458				
Mediaani		30,25				

Intelin ja ZyXELin laitteiden välisissä DraftN-verkkojen mittauksissa (taulukot 21 ja 22) siirtonopeudet ylsivät referenssimittauksen tasolle (taulukko 12) ja häiriöverkon ollessa tiedonsiirtonopeustasolla MCS-15 tiedonsiirtonopeus oli parempi kuin referenssimittauksessa. Häiriöverkossa oli havaittavissa pientä tiedonsiirron laskua ja ilmoitetun siirtonopeuden nopeuden pudotusta. Häiriöverkon tiedonsiirtonopeudella ei ollut mitään merkittävää vaikutusta näiden mittausten kannalta. Kummassakin mittauksessa tulokset olivat hyvät ja samankaltaiset. Häiriöverkon toiminta oli kummassakin testissä samankaltainen.

Yhteenveto kanavan 13 mittauksista



Kaavio 1. Kanavan 13 suhteutettu taulukko

Kaaviossa 1 on ilmaistu pylväsdiagrammina kanavasta 13 tehdyt mittaukset suhteutettuna häiriöttömän tilan tiedonsiirtoon nähden. Taulukosta on selvästi nähtävissä, että DraftN-häiriöverkko, joka on kanavalla 1, ei häirinyt suuresti kanavan 13 tiedonsiirtoa. Yksi poikkeus tosin joukkoonkin mahtui, sillä ZyXELin verkkosovittimella tehty mittaustulos jäi selvästi referenssimittauksen tuloksesta. Vastaava mittaus Intelin sovitimella ei tuottanut vastaavanlaista tulosta. Heikon tuloksen syynä on osittain se, että häiriöverkko ei havainnut mittausverkon tiedonsiirtoa ja siksi pyrki lähetti täydellä teholla omaa sanomaansa. Mutta tämäkään ei täysin selitä sitä, miksi mittaustulos jäi näin alhaiseksi, sillä nekin mittauskerrat, jolloin häiriöverkko alensi tiedonsiirron ilmoitettua siirtonopeuttaan, jäi mittaus verkon tiedonsiirtonopeus noin 8 Mbps (25 %) pienemmäksi kuin vastaavilla laitteilla mittaus eri häiriöverkon tiedonsiirtotasolla (taulukot 19 ja 20).

5.3.2 802.11n-verkon häiriö kanavalla7

802.11b

Taulukko 23. 802.11b ch.7 (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
3,19		3,19		1,33		1,33
3,43		3,43		1,71		1,71
3,49		3,49		1,23		1,26
3,24		3,25		0,908		0,908
3,22		3,22		1,52		1,52
3,1		3,1		1,94		1,94
3,2792				1,4422		
Keskiarvo		2,3607				
Mediaani		2,52				

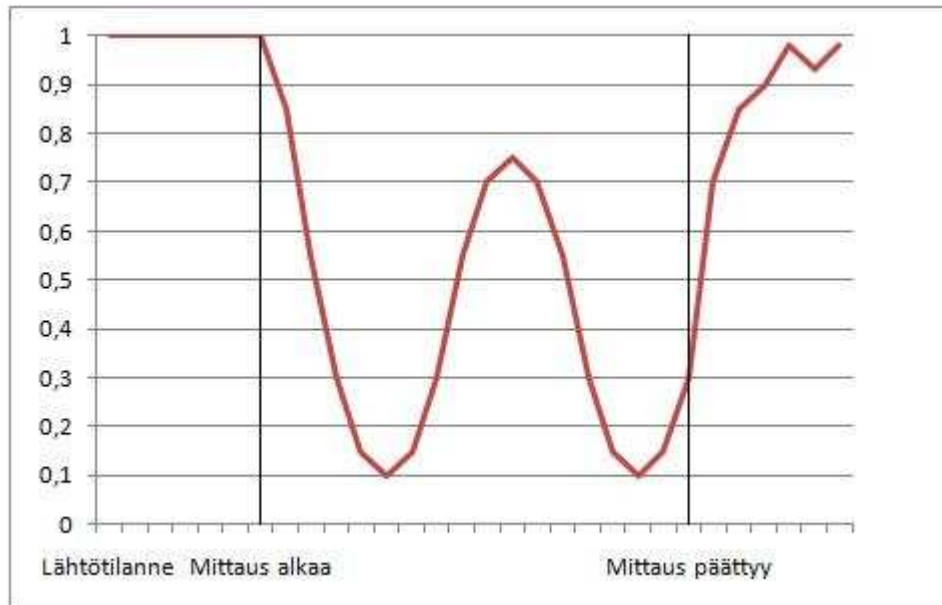
Taulukko 24. 802.11b ch.7 (MCS-15)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
5,36		5,36		4,73		4,73
5,36		5,37		4,89		4,89
5,27		5,27		5,06		5,06
5,28		5,28		4,84		4,84
5,23		5,23		5		5,01
5,16		5,17		4,98		4,99
5,2783				4,9183		
Keskiarvo		5,0983				
Mediaani		5,11				

Taulukko 23 nähdään selvä pudotus tiedonsiirtonopeuksissa. Ensimmäisenä mittauksena suoritetun Lifebook → pöytäkone mittaustulos oli huomattavan hidas, 72.5 % hitaampi kuin referenssimittauksen tulos. Mittauksen aikana DraftN-verkon tiedonsiirto hidastui huomattavasti, mutta ZyXELin ohjelmien ilmoittama siirtonopeus ei laskenut.

Häiriöverkon ollessa tiedonsiirtonopeudella MCS-15 (Taulukko 24) mittaustulokset ovat hyvin lähellä referenssimittauksen tuloksia, eroa mittausten keskiarvojen välillä oli 0,14 Mbps. Häiriöverkon tiedonsiirto hidastui heti mittausten alettua ja kun mittaukset olivat ohi, häiriöverkon tiedonsiirto palautui nopeasti takaisin normaalinopeuteensa. Havaitsin mittauksen aikana, että häiriöverkon tiedonsiirto oli hyvin ”aaltoilevaa”, eli

tiedonsiirto laski nopeasti lähelle 0 Mbps, jonka jälkeen nousi lähelle normaalia siirtonopeutta ja tämän jälkeen laski taas hyvin alas. Tämänkaltaista tiedonsiirtonopeuden vaihtelua jatkui niin kauan kuin mittaustiedonsiirto oli käynnissä, mittauksen päätyttyä tiedonsiirto palautui nopeasti lähelle lähtötilannetta. Kuva 6 esittää viitteellisesti kuinka tiedonsiirto häiriöverkossa vaihteli mittauksen aikana.



Kuva 6. Viitteellinen kuva tiedonsiirron aaltoilusta

802.11g

Taulukko 25. 802.11g ch.7 (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
20,3		20,3		21,6		21,6
20,9		20,9		19,3		19,3
21,4		21,5		17,6		17,6
20,7		20,7		17,4		17,5
20,5		20,5		17,6		17,6
21,4		21,4		18,4		18,4
20,8750				18,6583		
Keskiarvo		19,7667				
Mediaani		20,40				

Taulukko 26. 802.11g ch.7 (MCS 15)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
21,5		21,5		20,4		20,4
21,5		21,5		18,8		18,8
22,9		22,9		20,4		20,3
19,7		19,7		19,2		19,1
22,2		22,2		20,1		20,1
21		21,1		21,1		21
21,4750				19,9750		
Keskiarvo		20,7250				
Mediaani		20,70				

Kun siirryttiin mittaamaan 802.11g:n siirtonopeutta kanavalla 7, huomasi siirtonopeuden hieman hidastuneen referenssimittaukseen verrattuna. DraftN-häiriöverkon ollessa siirtonopeudella MCS-7 802.11g:n tiedonsiirto pieneni 15,4 % (Taulukko 25). DraftN-häiriöverkossa oli selvästi havaittavissa tiedonsiirron vähenemistä, mikä johtui ping-komentojen aikakatkaisuista ja verkon tiedonsiirtonopeuden alentamisesta.

MCS-15 tiedonsiirtonopeudella 802.11g-verkon tiedonsiirto oli 11,3 % (Taulukko 26) hitaampaa kuin referenssimittauksessa.

802.11n

Taulukko 27. 802.11n ch.7 ZyXEL (MCS-7)

NWD310N	→	NWA570N		NWA570N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
13,1		13,2		9,51		9,52
12,0		12,0		13,3		13,3
12,2		12,2		9,06		9,07
10,7		10,7		8,55		5,55
13,7		13,7		8,10		8,09
12,7		12,7		8,20		8,21
12,4083				9,205		
Keskiarvo		10,8067				
Mediaani		11,35				

Taulukko 28. 802.11n ch.7 ZyXEL (MCS-15)

NWD310N	→	NWA570N		NWA570N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
18,9		18,9		18,2		18,2
18,4		18,4		19,1		19,1
17,5		17,5		18,2		18,2
19,7		19,8		11,7		11,7
17,7		17,7		19,3		19,3
16,2		16,2		20,1		20,1
18,075				17,7667		
Keskiarvo		17,9208				
Mediaani		18,30				

Taulukko 27 mittauksien aikana sekä mittausverkon että häiriöverkon ilmoitettusiirtonopeus aleni huomattavasti (270 Mbps → 40 Mbps/27 Mbps/13 Mbps). Häiriöverkon simuloitussa tiedonsiirrossa oli huomattavasti enemmän aikakatkaisuja kuin minkään muun mittauksen aikana.

Taulukko 28 mittauksen aikana DraftN-verkkojen keskinäinen häiriö oli suuri, ja se kohdistui enemmän häiriöverkon suuntaan, joka käytti MCS-15-tiedonsiirtonopeutta. Häiriöverkon tiedonsiirto aleni mittauksien aikana huomattavasti ja välillä pysähtyi kokonaan, kun taas mittausverkossa ei ollut havaittavissa muuta kuin pieni ilmoitetun siirtonopeuden aleneminen.

Taulukko 29. 802.1In ch.7 Intel (MCS-7)

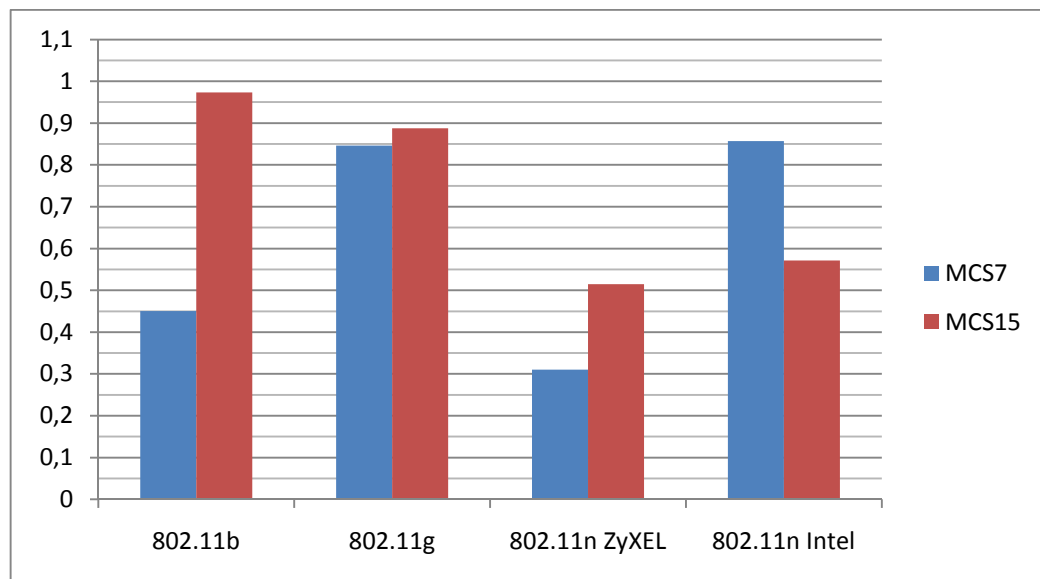
NWA570N	→ Intel	Intel	→ NWA570N
Pöytäkone	→ Lifebook	Lifebook	→ Pöytäkone
26,6	26,7	20,5	20,5
20,3	20,3	22,2	22,2
27,4	27,4	26,7	26,7
21,3	21,4	26,0	26,0
26,9	26,9	28,4	28,4
26,4	26,4	28,5	28,5
24,3	24,3	30,0	30,0
24,4417		26,9667	
Keskiarvo	25,7042		
Mediaani	26,55		

Taulukko 30. 802.1In ch.7 Intel (MCS-15)

NWA570N	→ Intel	Intel	→ NWA570N
Pöytäkone	→ Lifebook	Lifebook	→ Pöytäkone
6,96	6,96	18,3	18,3
15,9	15,9	17,8	17,8
15,8	15,8	15,1	15,1
14,4	14,4	18,2	18,2
14,4	14,4	20,1	20,1
15,0	15,0	24,0	24,0
15,8	15,8		
15,2167		19,04	
Keskiarvo	17,1283		
Mediaani	15,85		

Myös Intelin sovittimella tehdyt mittaukset jäivät selvästi referenssimittauksista (taulukot 29 ja 30). Mittauksien aikana oli havaittavissa samoja ongelmia kuin taulukoissa 27 ja 28 mittausten aikana. Häiriöverkon ollessa siirtonopeudella MCS-7 häiriöverkon tiedonsiirto oli hyvin katkonaista, ja se myös näkyy mittaustuloksessa. Puolestaan MCS-15-mittauksessa häiriöverkko laski nopeuttaan vähemmän ja sen tiedonsiirto takkusikin enemmän, jäi taulukon 30 mittaustulos selvästi taulukon 29 mittaustuloksesta.

Yhteenveto kanavan 7 mittauksista



Kaavio 2. Kanavan 7 suhteutettu taulukko

Kanavalla 7 tehtyjä testejä on vaikeata summata millään tavalla, sillä neljä testiryhmää kahdeksasta suoriutui ainakin kohtalaisen hyvin mittauksista, mittaustulos yli 84 % suhteessa referenssiarvoon, ja loput neljä mittausta jäivät alle 60 % referenssiarvosta (Kaavio 2). Ennen kaikkea 802.11n ZyXEL/Intel-mittaustulokset ovat hieman hämmentäviä, sillä ZyXEL-sovitinta käyttäen parempi mittaustulos saavutetaan häiriöverkon ollessa MCS-15-nopeudella kun Intelin sovitimella tehdyssä testissä parempi tulos saavutettiin häiriöverkon ollessa MCS-7-nopeudella.

5.3.3 802.11n-verkon häiriö kanavalla1

802.11b

Taulukko 31. 802.11b ch.1 (MCS-7)

G570U	→	AG220	AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook	Lifebook	→	Pöytäkone
3,67		3,69	3,53		3,52
3,64		3,64	3,59		3,59
3,69		3,7	3,72		3,72
3,93		3,94	3,49		3,49
3,42		3,42	3,53		3,53
3,65		3,66	3,43		3,43
3,6708			3,5475		
Keskiarvo		3,6092			
Mediaani		3,62			

Taulukko 32. 802.11b ch.1 (MCS-15)

G570U	→	AG220	AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook	Lifebook	→	Pöytäkone
3,76		3,76	4,14		4,14
3,77		3,78	4,12		4,12
3,46		3,46	4,06		4,06
3,95		3,96	3,99		4
3,8		3,8	4,23		4,24
4		4	4,14		4,14
3,7917			4,115		
Keskiarvo		3,9533			
Mediaani		4,00			

Kun 802.11b-verkon siirtonopeutta mitattiin samalla kanavalla (Taulukko 31) kuin DraftN-häiröverkolla, siirtonopeus oli suurempi kuin edellisessä testissä. Tähän syynä oli se että DraftN-häiriöverkko havaitsi mittaus verkon liikenteen ja hidasti omaa siirtonopeuttaan huomattavasti. Siirtonopeus kävi alimmillaan 54 Mbps:n siirtonopeudessa, eli verkko lasi siirtonopeutensa 11g-standardin siirtonopeuteen. Referenssimittaukseen verrattuna siirtonopeus on 31,1 % pienempi.

Häiriöverkon ollessa MCS-15-nopeudella (Taulukko 32) siirtonopeus on vain aavistuksen verran nopeampi kuin siirtonopeudella MCS-7 (Taulukko 31). Verrattaessa siirtonopeutta referenssimittauksen siirtonopeuteen jäädyän tämän mittauksen aikana siitä 24,5 %. Kasvua siis taulukon 23 mittauksiin verrattuna tuli 6,6 prosenttiyksikköä.

Erikoisinta tämän mittauksen aikana oli se, että DraftN-häiriöverkko ei reagoanut lainkaan mittauksen suorittamiseen. DraftN-häiriöverkon siirtonopeus, ilmoitettu ja todellinen siirtonopeus, ei laskenut lainkaan. Häiriöverkko ei näyttänyt lainkaan havaitsevan mittausverkon läsnäoloa.

802.11g

Taulukko 33. 802.11g ch.1 (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
20,8		20,8		18,9		18,9
20,4		20,4		19,2		19,2
20,0		20,0		19,4		19,5
20,2		20,2		19,2		19,2
20,5		20,5		19,0		19,0
19,8		19,8		19,7		19,7
20,2833				19,2417		
Keskiarvo		19,7625				
Mediaani		19,75				

Taulukko 34. 802.11g ch1 (MCS-15)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
14,5		14,5		14,5		14,5
15,9		15,9		16,3		16,4
16,1		16,1		16,2		16,3
14,1		14,1		15,3		15,3
14,9		14,9		15,8		15,8
16,4		16,4		17,6		17,6
15,3167				15,9667		
Keskiarvo		15,6417				
Mediaani		15,85				

Kun 802.11g-verkon siirtonopeutta mitattiin kanavalla, häiriöverkko ei näyttänyt reagoivan uuteen verkkoliikenteeseen mitenkään. Häiriöverkon ilmoitettu siirtonopeus laski hieman mutta pysyi silti huomattavan korkeana, alimmillaan 210 Mbps, kun 802.11b – mittauksissa (taulukko 31) häiriöverkon siirtonopeus laski 54Mbps. Kummankin mittauksen (Taulukko 33 ja Taulukko 34) aikana ilmeni häiriöverkossa aikakatkoja, eteenkin MCS-7-siirtonopeudella. Häiriöverkon ollessa MCS-15-

nopeudella siirtonopeus laski hieman, mutta tiputus oli pienempi kuin MCS-7-nopeudella mitatussa. Tästä johtui taulukon 34 heikompi siirtonopeus.

802.11n

Taulukko 35. 802.11n ch.1 ZyXEL (MCS-7)

NWD310N	→	NWA570N		NWA570N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
33,1		33,2		24,5		24,6
32,8		32,8		24,6		24,6
33,4		33,4		26,2		26,2
33,4		33,4		24,5		24,5
32,9		32,9		24,8		24,8
34,0		34,0		7,00		25,8
33,275				25,0091		
Keskiarvo		29,1420				
Mediaani		32,80				

Taulukko 36. 802.11n ch.1 ZyXEL (MCS-15)

NWD310N	→	NWA570N		NWA570N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
33,2		33,2		26,3		26,3
33,9		33,9		25,8		25,8
33,2		33,3		23,2		23,2
34,0		34,1		24,7		24,7
31,8		31,8		23,9		23,9
29,5		29,5		26,2		26,3
32,6167				25,025		
Keskiarvo		28,8208				
Mediaani		27,90				

DraftN-verkkojen ollessa kanavalla 1 mittaustulokset (taulukot 35 ja 36) kohenivat selvästi verrattuna edelliseen vastaavaan mittaukseen (taulukot 29 ja 30).

Siirtonopeudessa jäätin 16,3 % (MCS-7) ja 17,2 % (MCS-15) referenssimittauksen tuloksesta, mutta keskinäinen häiriö verkkojen välillä oli huomattavasti pienempi kuin edellisissä mittauksissa. Häiriöverkon tiedonsiirto pysyi mittausten aikana lähes ennallaan, ja ilmoitettu siirtonopeus aleni selvästi, mutta pysyi vakaasti samassa arvossa koko mittausten ajan ilman jatkuvaa vaihtelua. Häiriöstä on tosin mainittava se että mittausten loppu puolella ilmeni häiriötila Iperfin toiminnassa, taulukon 35 mittauksessa client-tilassa ollut Lifebook jatkoi mittaamistaan, vaikka pöytäkone oli jo

lopettanut. Manuaalisen keskeytyksen jälkeen kumpikin laite ilmoitti siirtäneen saman määrän informaatiota, eli todennäköisin virhe on se, ettei Lifebook saanut pöytäkoneelta lopetussignaalia. Aiemmin mittauksen aikana tämänkaltaista virhettä ei ole tapahtunut. Toistin mittauksia useamman kerran vielä, ja samankaltaisia virheitä ilmeni jatkossakin, eli kyseessä ei ollut kertaluontoinen virhe. Sama virhe mittausohjelmassa toistui myös pöytäkoneen ollessa client -tilassa, mistä voisi päätellä, että tämän virheen aiheuttajana olisi mahdollisesti kahden DraftN-verkon välinen häiriö.

Taulukko 37. 802.11n ch.1 Intel (MCS-7)

NWA570N	→	Intel		Intel	→	NWA570N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
24,1		24,1		19,6		19,6
25,6		25,6		23,6		23,6
24,7		24,7		24,3		24,3
25,5		25,5		23,3		23,3
25,2		25,2		21,9		21,9
24,8		24,8		23,9		23,9
		24,9833		22,7667		
Keskiarvo		23,8750				
Mediaani		24,20				

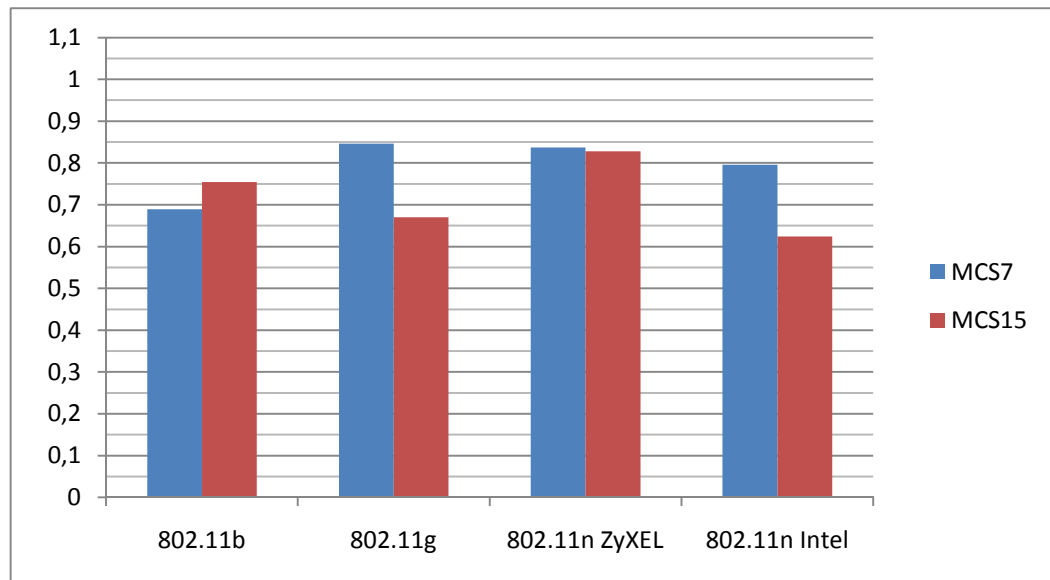
Taulukko 38. 802.11n ch.1 Intel (MCS-15)

NWA570N	→	Intel		Intel	→	NWA570N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
20,0		20,0		19,1		19,1
21,2		21,2		12,5		12,5
21,1		21,1		16,2		16,2
20,0		20,0		17,1		17,1
20,9		20,9		16,9		16,9
23,1		23,1		16,4		16,5
		21,05		16,375		
Keskiarvo		18,7125				
Mediaani		19,55				

Intelin sovittimella tehdyissä kanavalla 1 olevien DraftN-verkkojen siirtonopeusmittausten tulokset (taulukot 37 ja 38) eivät yltäneet samalle tasolle kuin ZyXELin sovittimella tehdyt mittaustulokset, mutta havaittavissa oli kuitenkin, että DraftN-verkot eivät häirinneet toisiaan yhtä pahasti kuin aiemmissa testeissä. Syy siihen, miksi Intelin sovittimella mitatut tulokset olivat heikommat, on

todennäköisimmin se, että häiriöverkon ilmoitettu siirtonopeus oli keskimäärin kaksinkertainen (162 Mbps) kuin ZyXELin sovitimella mitattujen tulosten aikana, eli häiriöverkko ei laskenut siirtonopeuttaan niin paljoa.

Yhteenveto kanavan 1 mittauksista



Kaavio 3. Kanavan 1 suhteutettu taulukko

Kokonaisuutena kanavalla 1 tehdyt mittaukset osoittivat, että muut langattomat verkot toimivat paremmin samalla kanavalla kuin osittain päällekkäisellä kanavalla (kanava 7) DraftN-verkkoon nähden. Häiriö oli selvästi pienempi molemmin puolin kuin kanavan 7 mittauksissa. Mittausten aikana häiriöverkko laski ilmoitettua siirtonopeuttaan vähemmän ja säilytti ilmoitetun siirtonopeuden tasaisemmin kuin aiempien mittausten aikana, eteenkin häiriöverkon ollessa siirtonopeus luokassa MCS-15.

5.4 802.11b/g-verkkojen toimivuus usean 802.11n-verkon keskuudessa

Tässä mittauksessa oli tarkoituksena selvittää kuinka paljon kaksi samassa tilassa olevaa DraftN-verkkoa häiritsee 802.11b- ja 802.11g-verkkoja. Testi suoritettiin siten, että DraftN-verkot asetettiin toimimaan kanavilla 1 ja 13 ja 802.11b/g-verkko on kanavalla 7. Häiriöverkot on nimetty kanavanumeronsa mukaan, häiriöverkko 1 ja häiriöverkko 13. Näin oletettavasti saadaan suurin mahdollinen häiriö kanavalle 7 ja pystytään selvittämään, tuleeko DraftN-verkot estämään kokonaan muiden langattomien verkkojen toiminnan. Laitteet oli sijoitettu niin, että häiriöverkon tietokone (Amilo) on sijoitettu paikkaan 4 ja sovitimena siinä on NWD-210N-verkkosovitin ja NWA-570N-

tukiasema, wireless client -tilassa. Rajoitetun tilan ja sähkösaannin vuoksi häiriöverkkojen tukiasemat oli jouduttu sijoittamaan samaan pisteeseen, missä mittaussivon tukiasema on, paikkaan 6, ja toiset tukiasemat lähelle mittaustietokoneita paikkaan 1.

5.4.1802.11b

Taulukko 39. Kaksi DraftN-verkkoa, 802.11b (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
5,22		5,22		3,62		3,63
5,11		5,11		4,97		4,98
5,21		5,21		5,02		5,03
5,11		5,11		5,18		5,18
5,26		5,26		4,95		4,95
5,15		5,16		4,94		4,93
5,1775				4,7817		
Keskiarvo		4,9796				
Mediaani		5,11				

Jo ennen mittausten aloitusta DraftN-verkot käyttivät pienempää siirtonopeutta, ilmoitettu siirtonopeus oli kummassakin häiriöverkossa korkeimmillaan 140 Mbps ja aikakatkaisuja ilmenee hieman. Mittausten (taulukko 39) alettua häiriöverkot alensivat ilmoitettua siirtonopeuttaan entisestään, ja tiedonsiirto pysyi jatkuvana, mutta suurta vaihtelua ilmeni siirtonopeudessa. Samanlaista vaihtelua siirtonopeudessa ilmeni luvun 5.3.2 802.11b -mittauksissa. Yllättäen 802.11b verkon tiedonsiirtonopeus oli erittäin lähellä referenssimittauksen tulosta. MCS-15-tiedonsiirtonopeuden mittausta ei voinut suorittaa, sillä häiriöverkot toimivat hyvin epävakaisesti, ja heti kun mittaushjelma käynnistettiin, häiriöverkkojen tiedonsiirto katkesi.

5.4.2802.11g

Taulukko 40. Kaksi DraftN-verkkoa, 802.11g (MCS-7)

G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
23,5		23,5		17,8		17,8
23,3		23,3		19,5		19,5
23,7		23,7		20,5		20,5
23,7		23,7		20,6		20,6
23,5		23,5		19,6		19,6
23,7		23,7		21,1		21,2
23,5667				19,8583		
Keskiarvo		21,7125				
Mediaani		22,25				

Taulukko 41. Kaksi DraftN-verkkoa, 802.11g (MCS-15)

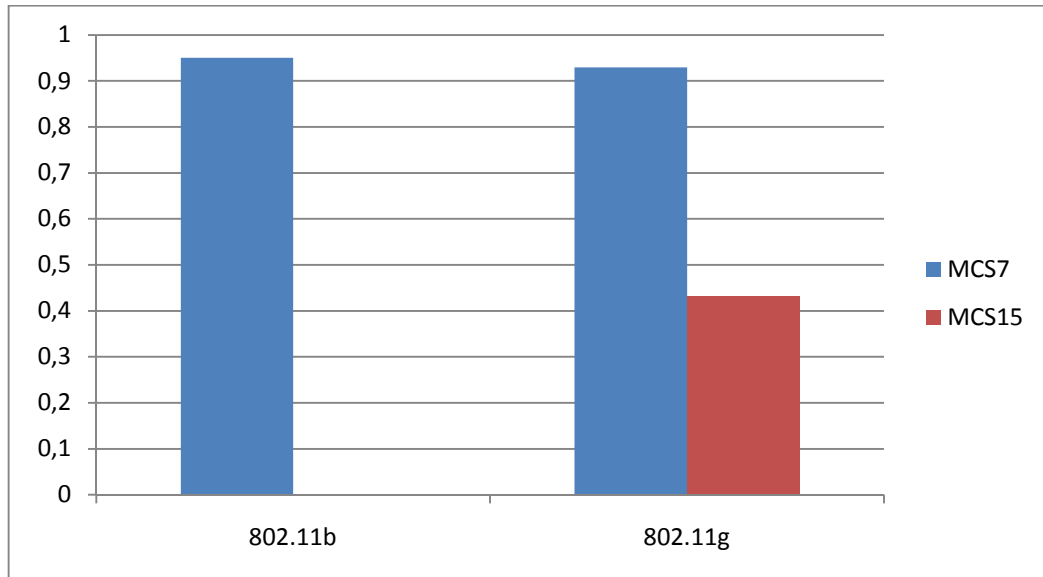
G570U	→	AG220		AG220	→	G570U
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
11,9		11,9		8,01		8,01
11,9		11,9		8,09		8,09
12,1		12,1		8,43		8,45
12,0		12,0		8,07		8,09
12,0		12,0		8,64		8,65
11,5		11,5		20,0		20,0
				22,1		22,1
				22,0		22,0
11,9				8,253		
Keskiarvo		10,0765				
Mediaani		11,50				

Lähtötilanne 802.11g-verkon mittauksiin (taulukot 40 ja 41) oli sama kuin aiemmassa vastaavassa testissä. 802.11g-verkon tiedonsiirto saavutti myös hyvän tuloksen mutta DraftN-verkkojen toiminta oli hieman erilainen kuin 802.11b-verkon mittauksessa. Mittausten alettua häiriöverkon 1 tiedonsiirto laski enemmän kuin häiriöverkon 13 tai pysähtyi kokonaan. Häiriöverkko 13 toimi aivan samalla siirtonopeudella kuin ennen mittausten alkua.

Kun häiriöverkkojen siirtonopeutta nostettiin MCS-15-siirtonopeudelle (Taulukko 41), häiriöverkkojen keskinäinen häiriö oli niin huomattava että kummankin verkon ilmoitettu siirtonopeus vaihteli välillä 43–86 Mbps, ja suurin osa ping-komennoista aikakatkaistiin jo ennen mittausten aloittamista. Mittausten alettua lähes kaikki pingit

aikakatkaistiin, mutta kun mittaus oli ohi, häiriöverkkojen tiedonsiirto parantui hieman. Kun mittaustulokset ylsivät yli 20 Mbps (merkitty taulukossa 41 vihreällä), häiriöverkkojen tiedonsiirto oli kokonaan poikki ja osaan tukiasemista ei saanut langattomasti edes yhteyttä. Häiriöverkon kuormitus oli liikaa tukiasemille.

5.4.3 Yhteenveto kahden DraftN-verkon mittauksista



Kaavio 4. Kahden DraftN-verkon suhteutettu taulukko

Kaavioista päätellen kaksi DraftN-verkkoa aiheutti riittävästi häiriötä toistensa verkkoihin (siirtonopeudella MCS-7), jotta kumpikin verkko vältti kanavan 7 taajuuksia ja mittausten aikana 802.11b- ja 802.11g-verkot pääsivät lähelle normaali siirtonopeuksiaan. Kun DraftN-verkot havaitsivat kolmannen langattoman verkon alueella, ne todennäköisesti vähensivät kaistanleveyttään 20MHz:n, ja sallivat mittausten paremman kuuluvuuden. MCS-15 -mittauksista ensinnä suoritettu 802.11g jäi myös ainoaksi mittaukseksi, sillä tukiasemiin ei saanut mittausten jälkeen millään yhteyttä langattomasti. Syy, miksi MCS-15-siirtonopeuden mittauksen aikana moni tukiasemista kaatui, johtui todennäköisesti siitä, että tukiasemien prosessorit joutuivat liian koville joutuessaan tarkkailemaan kaikkia ympärillään olevia langattomia verkkoja, laskemaan siirtonopeuden alennuksia ja vastaamaan ping-komentoihin.

5.5 802.11n -verkonsiirtonopeus

Häiriötesteissä tehdyt mittaukset jäivät huomattavan paljon standardissa ilmoitetusta siirtonopeudesta. Suurimman mahdollisen tiedonsiirtonopeuden saavuttamiseksi

suoritin mittauksia iperf-ohjelmalla muuttaen oletusasetuksia hieman.

Tiedonsiirtonopeus parani selvästi, kun käytin joko UDP-protokollaa, laajennettua TCP-kehystä tai useaa rinnakkaista TCP-mittausta.

5.5.1 Teoreettisen nopeuden vertailu

Tämän luvun mittauksissa on käytetty MCS-13 siirtonopeusasetusta, koska teoreettisesti suurin siirtonopeusasetus (MCS-15) ei toiminut odotetulla tavalla. Tarkemmat tiedot MCS-13:sta ja MCS-15:sta mittaustuloksista luvussa 5.6.

Maksiminopeuden mittaukset on suoritettu esteettömässä ja häiriöttömässä tilassa, etäisyyttä langattomien laitteiden välillä oli kaksi metriä. Taulukossa 42 on mittaustulokset, kun käytössä oli Iperfin Parallel -mittaustoiminto joka suorittaa monta samanaikaista rinnakkaismittausta. Taulukossa 43 tulokset mittauksesta, kun Iperfin TCP -kehyskokoa kasvatettiin.

Taulukko 42. Maksimi siirtonopeus Parallel-mittauksella

NWA570N	→	NWD210N	Parallel 12	NWD210N	→	NWA570N	Parallel 20
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone	
93,5		93,3		94,2		93,9	
93,6		93,5		93,9		93,5	
94,3		94,2		94,2		93,7	
93		92,9		94,2		93,8	
91,5		91,4		93,6		93,3	
94,2		94,2		94,2		93,9	
93,3				93,86666667			
				93,58333333			

Taulukko 43. Maksimi siirtonopeus TCP-kehyskokoa kasvattamalla

NWA570N	→	NWD210N		NWD210N	→	NWA570N	TCP kehyskoko
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone	256 k
94,4		94,4		84		84	
94,4		94,4		93,6		93,6	
94,3		94,3		92,4		92,5	
94,3		94,4		85,3		85,3	
94,3		94,3		94,5		94,5	
94,3		94,4		83,3		83,3	
94,35				88,85833333			
		91,60416667					

Maksimisiirtonopeusmittaukset osoittivat huomattavan parannuksen siirtonopeudessa verrattuna aiempiin DraftN-verkkojen siirtonopeus mittauksiin, joissa saavutettiin vain toiseen suuntaan 40 Mbps (taulukko 12, NWD-310 → NWA-570N), useaa rinnakkaista mittausta käytettäessä saavutettiin tasaisesti 93 Mbps:n siirtonopeuksia molempiin suuntiin ja laajennetulla kehyskoolla päästiin siirtämään tasaisesti toiseen suuntaan 94,3 Mbps. Mittauksen tulokset olivat mielestäni liian samankaltaiset ollakseen langattoman verkon maksimisiirtonopeus. Tarkistettuani asian ZyXEL:ltä sain tietooni, että häiriömittauksissa käyttämäni NWA-570N Access Pointit on varustettu 10/100-verkkokorteilla, eli Ethernet-verkko rajoitti mittauksia. Vaikkakaan NWA-570N AP:illa ei päässyt DraftN-verkon maksimi siirtonopeuteen, havaitsin testeistä sen, että usean rinnakkaisen mittauksen samanaikainen suorittaminen ei toimi toivotulla tavalla; osa mittauksen lopetuskomennosta saapuu Client-työasemalle pienellä viiveellä siten hidastaen siirtonopeusmittausta, tai ei saavu lainkaan perille.

DraftN-verkon maksimisiirtonopeuden määrittämiseen sain ZyXEL:ltä käyttöön NBG-460N-reitittimen, joka on varustettu Gigabit Ethernet-verkkokortilla. Reitittimellä suoritin maksimisiirtonopeuden mittaukset sekä TCP- (taulukot 44 ja 45) että UDP-protokollalla (taulukko 46). TCP-protokollan mittauksissa käytin laajennettua kehyskokoa. Mittauksista on mainittu vain parhaimman siirtonopeuden saavuttanut mittauseräasetusten tulokset.

Taulukko 44. Maksimi siirtonopeus TCP-protokollalla 256 kilotavun kehyskoolla

NWD310N	→	NBG460N		NBG460N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
108		109		112		112
116		116		112		112
109		109		112		112
109		109		111		111
109		109		113		113
109		109		114		114
110,0833				112,3333		
111,2083						

Taulukko 45. siirtonopeus TCP-protokollalla 512 kilotavun kehyskoolla

NWD310N	→	NBG460N		NBG460N	→	NWD310N
Pöytäkone	→	Lifebook		Lifebook	→	Pöytäkone
115		115		107		107
115		115		107		107
116		116		107		107
110		110		106		107
115		115		108		108
115		115		106		106
114,3333				106,9167		
110,625						

NBG-460N-reitittimellä tehdyt mittaukset paranivat selvästi NWA-570N-tukiasemalla tehtyihin mittauksiin nähden, mutta reitittimen heikkous oli suppeammissa säätömahdollisuuksissa, MCS-asetusta ei päässyt itse manuaalisesti muuttamaan. ZyXEL:n ohjelmat ilmoittivat siirtonopeuden olevan 300 Mbps, kun ei ollut tiedonsiirtoa, ja tiedonsiirron aikana ilmoitettu siirtonopeus saattoi vaihdella niin suuresti, ettei MCS-asetusta voinut siitäkään päätellä.

Taulukko 46. Maksimisiirtonopeus UDP-protokollalla

UDP				
NBG460N	→	NWD310N		
Lifebook	→	Pöytäkone		
Ilmoitettu kaistanleveys		Saavutettu kaistanleveys	Viiveen vaihtelu	Kadonneet paketit (%)
100		75,2	1,054	0,25
100		86,0	0,212	0,22
110		96,8	0,199	0,39
110		49,1	1,54	0,66
110		71,2	0,525	0,25
120		91,5	0,186	0,38
120		50,7	1,308	0,61

UDP-mittaustulokset (Taulukko 46) jäivät hyvin vaatimattomiksi ja olivat selvästi huonommat kuin TCP mittaustulokset. Syynä tähän oli iperf mittausohjelman virheellinen toiminta. Iperf antoi 100Mbps Fast Ethernet-verkon siirtonopeudeksi parhaimmillaan 58,1 Mbps.

5.5.2 Pitkäaikainen mittaus hyötykäytössä

Todellisessa kotikäyttöympäristössä on useimmiten lähistöllä useita langattomia verkkoja eikä langattomien laitteiden välillä ole suoraa linjaa vaan siinä on esteitä. Mittauksen suoritin siten, että asetin tietokoneissa Iperfin mittaamaan 10 minuutin ajan, yhden sekunnin mittausvälillä, siirtonopeutta TCP-protokollalla 256 kilotavun kehyskoolla. Etäisyyttä laitteiden välillä mittauksen aikana on noin kymmenen metriä ja välissä on kolme sisäseinää. Tämänkertaisissa mittauksissa mitään langattomia laitteita, kuten hiiri, näppäimistö ja bluetooth, ei kytketty pois päältä vaan kaikki laitteet jotka normaalisti olisivat käytössä, pidettiin käyttövalmiudessa, myöskään mitään ylimääräisiä häiriötekijöitä ei myöskään mittauspaikalle lisätty. Häiriötä aiheuttivat tietenkin myös muut langattomat verkot, joita mittauksen aikana havaittiin viisi, voimakkuuksien ja verkkotunnusten perusteella kolme verkoista oli 25 metrin sisällä mittauslaitteista. Kotiympäristössä siirtonopeuteen vaikuttaa myös aika, jolloin mittaus on tehty, siitä syystä mittaus suoritettiin neljään eri kellonaikaan. Ajat jotka valitsin tähän mittaukseen ovat 12.00, 16.00, 18.00 ja 20.00. Lähtöoletukset kotiympäristön mittauksiin ovat seuraavat:

- Mittaukset suoritettiin arkipäivänä, joten kello 12 suoritettujen mittauksien pitäisi saavuttaa parhaimman mahdollisen siirtonopeuden, mitä tässä tilassa DraftN-verkko pystyy saavuttamaan.
- Kello neljältä voisi kuvitella siirtonopeuden laskevan hieman.
- Suurin pudotus siirtonopeuteen tulisi kello kuuden ja kahdeksan mittausten aikana.
- Keskiarvo voi helposti vääristyä korkeiden häiriö- tai häiriöttömien hetkien vaikutuksesta, siksi tämän mittauksen mittausaika on nostettu kymmenestä sekuntista kymmeneen minuuttiin ja mittaustuloksista on laskettu mediaani.

Taulukko 47. Pitkäaikaisen mittauksen tulokset

Mittausaika	Keskiarvo	Mediaani	Maksimi	Minimi
12.00-12.10	75,63	78,50	84,80	38,30
16.02-16.12	78,82	79,70	89,60	53,60
18.00-18.10	60,84	60,45	82,50	32,30
20.01-20.11	45,05	45,50	54,50	31,00

DraftN-verkon siirtonopeus saavutti parhaimmillaan siirtonopeuden 89,6 Mbps ja siirtonopeuden keskiarvon 79,7 Mbps (taulukko 47, kello 16:n mittaus), joka on hieman yli 3 kertaa suurempi kuin 802.11g verkon siirtonopeus (Taulukko 14).

Pienimmilläänkin siirtonopeus oli 31,0 megabittiä per sekunti, yli 802.11g, ja keskiarvo oli 45,05 megabittiä (taulukko 47, kello 20:n mittaus), eli noin kaksinkertainen 802.11g-standardin maksimisiirtonopeuteen verrattuna.

Mittauksen aikana havaitsin eroavaisuuden DraftN-verkon toiminnassa verrattuna maksimisiirtonopeus mittauksiin, kotiympäristössä DraftN-verkolla meni viidestä yhdeksään sekuntia ennen kuin se saavutti keskiarvosiirtonopeuden.

Maksimisiirtonopeuden testeissä tiedonsiirto oli ensimmäisistä sekunneista asti vähintään 60–75 Mbps tuntumissa, kun kotiympäristössä saattoi mennä viisi sekuntia ennen kuin siirtonopeus ylitti 30 Mbps:n (taulukko 47, kello 16:n mittaus) siirtonopeuden. Tämä osoitti että DraftN-verkko tarkkaili ympäristössä olevaa langatonta liikennöintiä ennen kuin aloitti maksimitiedonsiirron. ZyXELin ohjelmiston mukaan kaikissa mittauksissa lähtötilanne ilmoitetun tiedonsiirtonopeuden suhteen oli 300 Mbps, joka laskee alimmillaan 90Mbps (kello 20:n mittaus) ja pysyi parhaimmillaan 213 Mbps siirtonopeustasolla (kello 12:n ja 16:n mittaus).

5.6 Muut testit

Kävin läpi kaikki MCS-siirtonopeus asetukset (taulukko Taulukko 48). MCS-15 (300Mbps) siirtonopeus tulisi olla kaikkein nopein DraftN v.2-verkoista mutta siirtonopeudessa se jää jälkeksi siirtonopeus MCS-13:sta (240 Mbps).

Maksimisiirtonopeus mittauksia suorittaessani tämä näkyi erittäin selvästi, kun MCS-15 sai vajaan 50 % MCS-13 saavuttamasta siirtonopeudesta, joita rajoitti NWA570N-tukiaseman Ethernet verkkokortti. Syystä miksi MCS-15 siirtonopeus on varsin heikko, ei suoranaisesti löytynyt. Syynä voi olla standardin viimeisteleminen, laitteen tekninen vika tai mittaushjelman yhteensopimattomuus laitteiden kanssa.

Taulukko 48. Siirtonopeus eri asetuksilla

Siirtonopeus	Mittaukset (Mbps)		
.11g 54M	21,3	27,1	24,7
MCS-0	5,36	5,33	5,36
MCS-1	9,58	9,61	9,58
MCS-2	13,4	13,3	13,6
MCS-3	17,0	16,8	16,9
MCS-4	22,2	22,3	22,3
MCS-5	25,9	25,1	26,0
MCS-6	27,5	27,4	27,7
MCS-7	29,7	29,8	29,5
MCS-8	10,6	10,8	10,0
MCS-9	19,0	18,9	18,9
MCS-10	27,4	27,9	27,8
MCS-11	26,9	30,1	32,5
MCS-12	26,8	26,9	26,1
MCS-13	34,4	22,0	30,9
MCS-14	18,3	27,5	22,8
MCS-15	18,6	17,6	17,8

6 Johtopäätökset

6.1 DraftN-verkon aiheuttama häiriö

DraftN-verkkojen aiheuttama häiriö ympäröiville langattomille verkoille pysyy kohtuullisena, kunhan DraftN-tukiasema havaitsee läheisyydessä olevan lähettävän verkkolaitteen. Ongelmaksi välillä osoittautui DraftN-tukiaseman muiden verkkojen havainnointi, välillä tukiasema ei reagoinut mitenkään läheisen verkon olemassa oloon ja toisinaan reagoiti läheisen verkon tiedonsiirtoon, lähes samoissa olosuhteissa, oli

välitön. Tämänkaltaisesta tilanteesta on havaittavissa taulukon 23 tuloksista. Tiedonsiirtonopeusero vastakkaisiin suuntiin oli huomattava, ja ero johtui juuri siitä että tukiasema ei havainnut Lifebook-koneesta käynnistettyä tiedonsiirtonopeuden mittausta.

DraftN-verkon aiheuttama häiriö riippui myös modulaatiotasosta ja kanavasta. Kanavilla 13 ja 7 (kanavalla 13 häiriö vaikutti vain DraftN-verkkojen mittauksiin) MCS-7-modulaatiotaso aiheutti enemmän häiriötä, poikkeuksena kanavan 7 ”802.11n Intel” -mittaus. Kanavalla 1 MCS-15-modulaatiotaso aiheutti enemmän häiriötä, poikkeuksena tässä on 802.11b -mittaus. Mitään yhteneväisyyttä ei havaittu siinä, milloin DraftN-verkko ei havaitse lähettyvillä olevia lähettäviä tukiasemia.

Kahden DraftN-verkon samanaikainen simuloitutiedonsiirto osittain samalla kanavalla osoittautui täydeksi katastrofiksi. Kumpikin tukiasema pyrki kaiken aikaa siirtämään tietoa täydellä tiedonsiirtonopeudella aiheuttaen sen, että kummankin verkon tiedonsiirto oli hyvin aaltomaista. Tämän mittauksen tarkoitus oli selvittää, kuinka aiempi 802.11 standardi pärjäisi tämän kaltaisessa tilassa ja tuloksista voisi päätellä että varsin hyvin. MCS-7-siirtonopeudella 11b ja 11g pääsivät lähelle normaalia tiedonsiirtonopeutta, mutta valitettavasti tämän mittauksen tuloksiin ei voi kovin luottaa, sillä DraftN-verkon suhtautuminen simuloituun tiedonsiirtoon jätti pienen epäilyksen toimiko DraftN-verkko oletetulla tavalla. Kanavan 13 DraftN siirtonopeusmittaus (taulukot 19 ja 20) ei aiheuttanut vastaavaa häiriötä keskenään. Näiden mittausten jälkeen voisin sanoa, että simuloitutiedonsiirto pakottaa tukiasemaa pitämään siirtonopeutta korkeana, luoden siten ylimääräistä häiriötä.

6.2 DraftN verkon hyödyt arkikäytössä

Mitatun- ja saavutetunsiirtotuloksen (taulukot 9 ja 45) välillä on niin suuri ero, että joko laskutoimitus on väärin tai sitten standardia ei ole vielä riittävän valmis, että kaikkea kapasiteettiä voitaisiin käyttää. Itse epäilen syyksi standardin luonnosvaiheessa olemista, sillä 2007 vuonna tehdyssä mittauksessa maksimisiirtonopeudet lähietäisyydeltä vaihtelivat 36 ja 81 megabittia per sekunnin välillä. 802.11n-verkkolaitteet ovat vielä kehityksen alla ja siirtonopeudet ovat parantuneet ensimmäisinä esitellyistä luonnosmalleista. [10.]

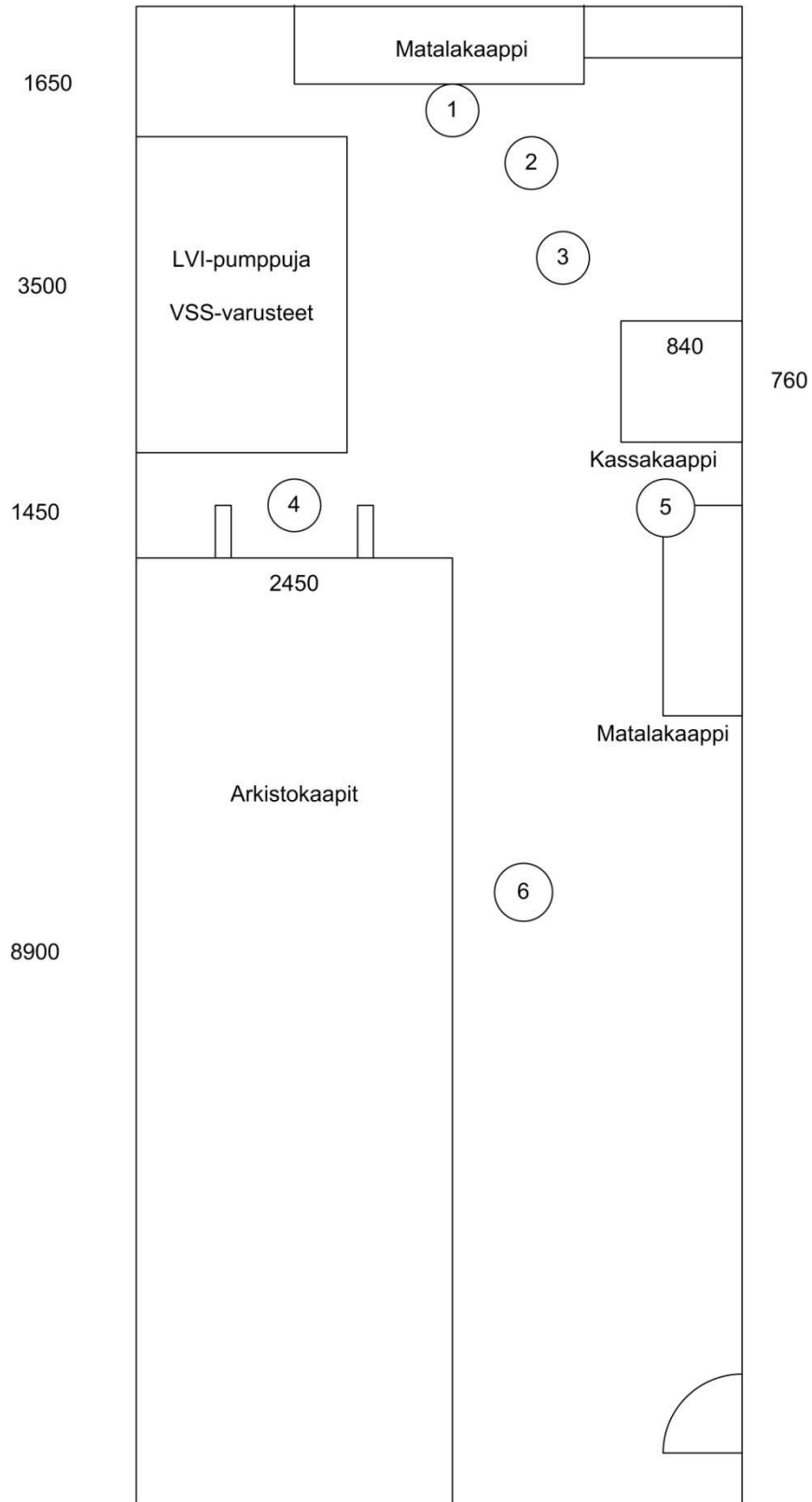
DraftN-verkon siirtonopeus nykyiselläänkin on jo monta kertaa nopeampi verrattuna 802.11a/g-verkkojen nopeuteen, joten se soveltuu hyvin suurien tiedostojen siirtämiseen. DraftN-verkkoa voi varauksin suositella myös reaaliaikaisen High Definition -videokuvan lähettämiseen ja pelaamiseen, sillä kyseessä kuitenkin on langaton verkko, joka reagoi ympärillä olevaan häiriöön. Häiriömittauksissa (taulukot 27 ja 28) havaitsin kahteen otteeseen siirtonopeuden laskevan alle puoleen normaalisiirtonopeudesta ja pitkäaikaisen mittauksen yhteydessä (taulukko 47) havaitsin, kuinka DraftN-verkko reagoi todellisiin (ei-simuloituihin) ympäröiviin verkkoihin, mikäli DraftN-verkon siirtonopeus vaihtelee 32 – 82 Mbps (taulukko 38, kello 18.00 mittaus maksimi- ja minimiarvot) välillä saattaa se hyvinkin näkyä kuvan nykimisenä.

DraftN-verkkojen suurin etu aiempiin standardeihin verrattuna on mielestäni sen parempi kuuluvuus, koska useimmiten langattomissa verkoissa tärkein asia ei ole siirtonopeus vaan liikkuvuuden vapaus. Liikutettavuutta rajoittavat kantomatka ja esteiden aiheuttama kuuluvuuden heikentyminen. DraftN-verkot parantavat kumpaakin osa-aluetta MIMO-tekniikan avulla.

Lähteet:

- 1 WLAN – Wikipedia (
verkossa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/WLAN>
Luettu 8.6.2008.
- 2 IEEE 802.11 – Wikipedia (WWW-dokumentti)
verkossa: http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
Luettu 8.6.2008.
- 3 The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Std 802.11™-2007
(Revision of IEEE Std 802.11-1999) Piscataway, NJ USA: IEEE Standards
Association 2007
- 4 Wireless LANs (FWL) kurssi materiaali, Cisco Systems, Inc.
<http://www.cisco.com/web/learning/netacad/index.html>
Luettu 15.9.2008.
- 5 Matthew S. Gast, 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. Copyright
© O'Reilly & Associates, Inc. 2002
- 6 Complementary Code Keying – Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Complementary_code_keying
Luettu 15.3.2009.
- 7 The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE P802.11n™/D5.0
IEEE Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput. Piscataway, NJ
USA: IEEE Standards Association 2008
- 8 802.11n Primer, Whitepaper. AirMagnet Inc. 5.8.2008
- 9 How does 802.11n get to 600Mbps? (WWW-dokumentti)
verkossa: <http://www.wirevolution.com/2007/09/07/how-does-80211n-get-to-600mbps/>
Luettu 3.3.2009.
- 10 A need for speed: 802.11n router roundup - Ars Technica (WWW-dokumentti)
verkossa: <http://arstechnica.com/hardware/reviews/2007/11/802-11n-router-roundup.ars>
Luettu 2.4.2009.

Liite 1: Häiriömittauksissa käytetyn väestönsuojan pohjakaavio



(Mittayksikkönä millimetri)