

Frekvensstörningar i IEEE 802.11b nätverk

**Richard Envik
Niclas Kullberg
Martin Johansson**

EXAMENSARBETE

Högskolan Trollhättan · Uddevalla
Institutionen för Informatik och Matematik

Uppsats för filosofie kandidat i Datavetenskap

Frekvensstörningar i IEEE 802.11b nätverk

Data- och Systemvetenskap
- med inriktning på nätverk & kommunikation

Richard Envik
Niclas Kullberg
Martin Johansson

Examinator:
Stanislav Belenki, Högskolan Trollhättan/Uddevalla

Handledare:
Mats Lejon, Högskolan Trollhättan/Uddevalla

Trollhättan
2003:D04

DEGREE PROJECT

Frequency Interferences in IEEE 802.11b Network

Richard Envik
Niclas Kullberg
Martin Johansson

Abstract / Summary

This thesis is about IEEE 802.11b-networks, which is the dominating standard for WLAN. In the report we examine the operation of different radio techniques in the same frequency range: 2400 – 2483,5 MHz. Of a vast of interference, which can appear, we limit our examination to investigating what happens when Bluetooth and Draft 802.11g share the same bandwidth as IEEE 802.11b. We also investigate the consequence of the transmission speed, when the distance varies between a laptop and the access point. What affects do the separations of channels have on the net performance?

Four different tests have been done. A file has been downloaded from a FTP Server through the access point to a laptop. In the initial test we measure the throughput speed of IEEE 802.11 b alone, without interference from disturbing nets. In the second, IEEE 802.11 is tested against another IEEE 802.11b net and in the third against a Draft 802.11g net, and finally against a Bluetooth net.

The test results are presented in 12 diagrams. The diagrams show that wireless local area networks are sensitive to interference. This sensitivity results in poor transmission rates. When the distance increases between the units the performance subsides. Channel separation has a great significance when two or more wireless nets operate on the air. Frequency overlapping should be avoided to achieve the best performance.

Publisher:	University of Trollhättan × Uddevalla, Department of Informatics and Mathematics Box 957, S-461 29 Trollhättan, SWEDEN Phone: + 46 520 47 50 00 Fax: + 46 520 47 50 99		
Examiner:	Stanislav Belenki, University of Trollhättan × Uddevalla		
Advisor:	Mats Lejon, University of Trollhättan × Uddevalla		
Subject:	Computer science	Language:	Swedish
Number:	2003:D04	Date:	May 20, 2003
Keywords	WLAN, IEEE 802.11b, Draft 802.11g, Bluetooth, FHSS, DSSS, OFDM, Frequency Interferences		

EXAMENSARBETE

Frekvensstörningar i IEEE 802.11b nätverk

**Richard Envik
Niclas Kullberg
Martin Johansson**

Sammanfattning

Detta examensarbete handlar om IEEE 802.11b-nätverk, vilket är den dominerande standarden för WLAN. I arbetet undersöks om olika radiotekniker kan samsas inom samma frekvensområde, 2400 – 2483,5 MHz. Av ett flertal möjliga störningsmoment, begränsas att undersöka vad som händer när Bluetooth och Draft 802.11g delar bandbredden med 802.11b. Hur påverkas överföringshastigheten när avståndet ökar mellan den bärbara datorn och accesspunkten? Hur påverkar kanalseparationen nätets prestanda?

Fyra olika tester har genomförts där en fil skickas från en FTP-server via accesspunkten till en bärbar dator. I det inledande testet uppmättes vilken överföringshastighet 802.11b erhöll när det kördes ensamt, utan störning från andra nät. Detta nät testas sedan mot ytterligare ett 802.11b-nät, ett 802.11g-nät och slutligen ett Bluetooth nät.

Mätvärdena presenteras i 12 diagram. Diagrammen visar att de trådlösa nätverken är störningskänsliga, vilket resulterar i dålig överföringshastighet. När avståndet ökar mellan enheterna sjunker prestandan. Kanalseparation har stor betydelse när två eller fler nät skall samsas i etern. Frekvensöverlappning bör helst undvikas för att uppnå bästa prestanda.

Utgivare:	Högskolan Trollhättan× Uddevalla, Institutionen för Informatik och Matematik Box 957, 461 29 Trollhättan Tel: 0520-47 50 00 Fax: 0520-47 50 99		
Examinator:	Stanislav Belenki, Högskolan Trollhättan/Uddevalla		
Handledare:	Mats Lejon, Högskolan Trollhättan/Uddevalla		
Huvudämne:	Datavetenskap	Språk:	Svenska
Nivå:	C	Poäng:	10
Rapportnr:	2003:D04	Datum:	2003-05-20
Nyckelord:	WLAN, IEEE 802.11b, Draft 802.11g, Bluetooth, FHSS, DSSS, OFDM, Frekvensstörningar		

Förord

Tankar om ett examensarbete inom frekvensstörningar i trådlösa nätverk uppstod när gruppen arbetade med ett projektarbete i kursen modern informationsteknik. Där granskades olika trådlösa tekniker och vilka problem dessa frambringar. Examensarbetet ger oss nu möjlighet att på ett mer fördjupat sett lära oss ytterligare om trådlösa nät, vilket vi tror är framtiden.

Vi vill tacka Håkan Lindberg från Twoviews, för att vi fick medverka vid SNUS-WLAN-Test 2003. Dessa tester ägde rum på Kungliga tekniska högskolan (KTH) Electrum i Kista.

Ett tack vill vi även rikta till Gunne Andersson och Mattias Ottosson, eI-avdelningen på Högskolan Trollhättan/Uddevalla, för utlåning av lokal.

Slutligen ett stort tack till Mats Lejon, vår handledare, Stanislav Belenki, vår examinator samt Linn Gustavsson för deras support och stöd.

Examensarbetet har sammanställts gemensamt förutom följande punkter, där var och en är ansvarig för nedanstående:

Richard:	3.5 Brus och störningar 3.6 IEEE 802.11b 3.7 Draft 802.11g
Niclas:	3.1 Radiovågornas grunder 3.4 Moduleringstekniken OFDM 3.8 Bluetooth 3.9 Funktionaliteten i ett 802.11-nätverk
Martin:	3.2 Moduleringstekniken DSSS 3.3 Moduleringstekniken FHSS

Högskolan Trollhättan/Uddevalla 2003

Richard Envik
Niclas Kullberg
Martin Johansson

Innehållsförteckning

Abstract / Summary.....	ii
Sammanfattning.....	iii
Förord.....	iv
Nomenklatur.....	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problembeskrivning.....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Mål.....	2
2 Metod.....	2
2.1 Informationsinsamling.....	2
2.2 Egna mätningar.....	3
2.3 Analys av mätdata.....	3
3 Förstudie.....	3
3.1 Radiovågornas grunder.....	3
3.2 Moduleringstekniken DSSS.....	7
3.3 Moduleringstekniken FHSS.....	8
3.4 Moduleringstekniken OFDM.....	8
3.5 Brus och störningar.....	10
3.6 Standarden IEEE 802.11b.....	10
3.7 Draft 802.11g.....	12
3.8 Bluetooth.....	12
3.8.1 Historia.....	12
3.8.2 Tekniken.....	12
3.8.3 Uppkoppling.....	13
3.9 Funktionaliteten i ett 802.11-nätverk.....	14
4 Mätningar.....	15
4.1 Planering av mätningar.....	16
4.1.1 Testbeskrivning.....	16
4.1.2 Utrustning som hanterar IEEE 802.11b.....	16
4.1.3 Utrustning som hanterar Draft 802.11g.....	16
4.1.4 Utrustning som hanterar Bluetooth.....	17
4.1.5 Resterande utrustning.....	17
4.1.6 Genomförande av Test A.....	17
4.1.7 Genomförande av Test B.....	17
4.1.8 Genomförande av Test C.....	18
4.1.9 Genomförande av Test D.....	18
4.1.10 De tre mätpunkterna.....	19
4.2 Våra mätningar.....	19
4.2.1 Test A – 802.11b vid de tre olika mätpunkterna.....	20
4.2.2 Test B – 802.11b mot 802.11b vid MP1.....	20
4.2.3 Test B – 802.11b mot 802.11b vid MP2.....	22
4.2.4 Test B – 802.11b mot 802.11b vid MP3.....	23

4.2.5	Totala genomsnittshastigheten (kBps) – Test B	24
4.2.6	Test C – 802.11b mot 802.11g vid MP1	25
4.2.7	Test C – 802.11b mot 802.11g vid MP2	26
4.2.8	Test C – 802.11b mot 802.11g vid MP3	27
4.2.9	Totala genomsnittshastigheten (kBps) – Test C	28
4.2.10	Test D – 802.11b mot Bluetooth vid MP1.....	29
4.2.11	Test D – 802.11b mot Bluetooth vid MP3.....	30
4.3	<i>Problem som uppstod</i>	31
5	Analys och diskussion.....	31
6	Slutsatser	33
6.1	<i>Rekommendationer till fortsatt arbete</i>	33
7	Källförteckning	35
Bilagor		
Appendix A	- Mätprotokoll	1

Nomenklatur

Nedan ges en redogörelse över de förkortningar och begrepp som nämns i rapporten.

<i>Begrepp</i>	<i>Förkortningens betydelse</i>	<i>Förklaring av begreppet</i>
ACK	Acknowledgement	Kvittens från mottagaren som skickas tillbaka till sändaren
Ad-hoc	Det latinska uttrycker ad-hoc betyder ”lösning för ett specifikt syfte”	Tillfälligt nät över korta avstånd, som skapas då produkter som använder samma protokoll kommer inom räckhåll för varandra. Kommunikation direkt mellan enheter
AP	Accesspunkt (Access Point)	Basstation för ett trådlöst nät
ATM	Asynchronous Transfer Mode	En standard för höghastighetsnätverk
BSS	Basic Service Set	Betecknar ett flertal WLAN-stationer som uppfattas som ett nät, där samtliga enheter är inom radiosignalens räckvidd
CCK	Complimentary Code Keying	Ett grundläggande moduleringsformat för dagens Wi-Fi-system (IEEE 802.11b)
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance	En teknik för att skicka signaler på ett trådlöst nätverk
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	En teknik för att sända signaler på ett trådbaserat nätverk (Ethernet)
CTS	Clear To Send	Klartecken att börja sända som ges till den enhet som skickade en RTS
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying	Moduleringsteknik för 1 Mbit/s överföring
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying	Moduleringsteknik för 2 Mbit/s överföring
Draft	(Draft enligt IEEE)	Ej ännu standardiserad teknik
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Moduleringsteknik för att sprida en signal över en bredare kanal genom överlagring av en pseudoslumpfrekvens
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Moduleringsteknik
FSK	Frequency Shift Keying	Moduleringsteknik
FTP	File Transfer Protocol	Protokoll för filöverföring
Hiperlan	High Performance Radio Local Area Network	Hiperlan är en enklare standard för trådlöst LAN
Hotspot	-	Publika WLAN-anslutningar till Internet. Finns på hotell, flygplatser m.m.
Hz	Hertz	Mått på frekvens. Det antal svängningar/sek som en våg gör per tidsenhet
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers.	Sammanlutning av företag inom elektricitet, elektronik och datorbranschen. Ägnar sig bland annat åt att utarbeta standarder.
IEEE 802	-	IEEE:s standardiseringskommitté för datornät
IEEE 802.11	-	IEEE:s standardiseringskommitté för trådlösa datornät. WLAN
ISM (-bandet)	Industry, Scientific, Medical(-band)	Benämning på frekvensbandet runt 2,4 GHz
kbps	kilo bit per sekund	Mått på överföringshastighet

kBps	kilo Byte per sekund	Mått på överföringshastighet (på 1 Byte går det 8 bitar)
LAN	Local Area Network	Trådbaserat (lokalt) nätverk
MAC	Medium Access Control	MAC adresser används för att adressera på länk nivån
Mbps (Mbit/s)	Megabit per sekund	Mått på överföringshastighet
NAV	Network Allocation Vector	En timer för att allokeras det trådlösa mediet
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Moduleringsteknik i IEEE 802.11a & Draft 802.11g
RTS	Request To Send	Förfrågan att påbörja en sändning från en enhet (se CTS)
SIG	Special Interest Group	En industrisammanslutning som standardiserar Bluetooth
SNUS	Swedish Network Users Society	Förening som bildades år 1990 med syfte att driva IP-utvecklingen i Sverige
SSID	Service Set Identifier	Unikt namn på WLAN:et. Sätts i AP:n
Taskgroup	-	Arbetsgrupp inom IEEE
VCS	Virtual Carrier Sence	Funktion i CSMA/CA för NAV
WEP	Wireless Equivalence Privacy	En krypteringsmetod, ingår i standarden IEEE 802.11. Brister finns
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Märkning för trådlösa persondatornät som är baserade på standarden 802.11 och som är godkända av branschorganisationen Wi-Fi Alliance. Alla Wi-Fi-märkta produkter ska fungera hop, oavsett leverantör och datorns operativsystem
WLAN	Wireless Local Area Network	Trådlöst nätverk. Trådlöst Ethernet

1 Inledning

Våra allt mer flexibla liv i kombination med vårt ökade användande av Internet, har lett till att allt fler använder sig av bärbara datorer. Portabiliteten blir begränsad om man skall behöva förflytta sig med en nätverkssladd runt benen. För att undvika detta har allt fler trådlösa tekniker uppfunnits och de redan befintliga har förbättrats vad det gäller överföringshastighet och säkerhet.

De trådlösa näten, även kallade Wireless Local Area Network (WLAN), sprider sig som en löpeld över världen. Trådlösa uppkopplingspunkter, s.k. "hotspots", finns inte enbart inom kontorsvärden utan även på kaféer, hotell och andra publika inrättningar. Analysföretaget Gartner spår att antalet "hotspots" kommer att öka från 20 000 platser till 120 000 mellan åren 2003 och 2007 (Certification Success, 2003).

Det är dock oklart hur olika nät kommer att påverka varandra i en framtid där allt fler nät tävlar om samma yta. I detta arbete har därför effekten av olika näts konkurrens studerats. Här klargörs först grunderna i radioteknik i en teoretisk del. Vidare beskrivs teknikerna IEEE 802.11b, Draft 802.11g och Bluetooth. Under rubriceringen *Mätningar* förklaras de praktiska testernas upplägg och därefter beskrivs utförandet av testerna i det trådlösa nätet. Dessa presenteras sedan i form av olika diagram. Vid rubriken *Analys & Diskussion*, analyseras och diskuteras slutligen testresultaten.

1.1 Bakgrund

Trådlösa nätverk fanns redan under 1980-talet, men tekniken fungerade inte tillfredsställande. Utrustningen var osmidig och den var dessutom dyr. I slutet av 1990-talet kom en ny standard för WLAN. Först kom IEEE 802.11 som var den första internationella standarden. Två år senare, som en utveckling på 802.11, uppkom 802.11b och 802.11a. Idag räknas användare i miljontals. Även nya användningsområden har uppkommit. Trådlösa nätverk har i dag blivit så billiga att de börjar användas i hemmen (Lindberg 2002, s.13-14, 27).

IEEE 802.11b och märkningen Wi-Fi, som garanterar att utrustningen fungerar med olika fabrikat, är den dominerande standarden för WLAN. Standardiseringen har gett tekniken ett stort genombrott. Nätverket klarar överföringshastigheter på upp till 11 Mbps och figurerar i det licensfria 2,4 GHz-bandet. Det är samma frekvensområde som bl.a. mikrovågsugnar, Bluetooth och trådlösa telefoner arbetar inom. Tack vare licensfriheten, trafikerar en mångfald produkter detta smala frekvensband. Vilket orsakar problem i det trådlösa nätet, bland annat frekvensstörningar. Detta leder till reducerad överföringshastighet och förlust av datapaket i det trådlösa nätverket (Lindberg 2002, s. 13, 66, 94-96).

1.2 Problembeskrivning

De tre radiovågsteknikerna, IEEE 802.11b, Draft 802.11g samt Bluetooth, är intressanta då de samsas inom samma frekvensområde, 2400 – 2483,5 MHz. Problemet är att dessa

ofta parallellt används som överföringsmedie inom en begränsad yta t.ex. ett kontorslandskap. Utgångspunkten för testerna är därför ett IEEE 802.11b-nätverk och utifrån detta kommer frekvensstörningar undersöks, som uppstår när antingen ett annat IEEE 802.11b-nät, ett Draft 802.11g-nät eller ett Bluetooth-nät finns i närheten. Tester kommer att utföras för att se hur kommunikationen påverkas när de olika teknikerna kommer inom varandras sändningsområde. Studien skall också påvisa om avståndet mellan accesspunkten och den bärbara datorn påverkar överföringshastigheten. Vidare skall undersökas hur olika kanalseparationer påverkar överföringen.

1.3 Avgränsningar

Det finns ett flertal olika faktorer som kan påverka ett trådlöst nätverk negativt. Vi avgränsar oss genom att undersöka hur Draft 802.11g samt Bluetooth påverkar ett IEEE 802.11b nät. Detta för att dessa ofta används i samma miljöer. Brus och andra yttre störningsmoment kommer inte att beaktas i våra egna mätningar, då detta kräver avancerad mätutrustning. I förstudien kommer det dock att finnas ett teoretiskt avsnitt om brus och störningar som generellt förklarar innebörden av dessa. Alla tester sker med Wireless Equivalence Privacy (WEP) avslaget. Detta innebär att ingen överföring sker med kryptering. På grund av svårigheten i uppskattning av felkällor har vi valt att enbart testa ett näts påverkan på IEEE 802.11b-nätet åt gången, skulle båda nätens påverkan på IEEE 802.11b-nätverket testas samtidigt skulle det bli svårt att definiera vilket nät som påverkar vad och vilka mätvärden som är korrekta.

1.4 Mål

Målet med arbetet är att ta reda på om trådlösa nätverk, i samma frekvensband, stör varandra. Vi vill undersöka om olika kanalinställningar påverkar överföringen. Vad som händer när kanalerna kryper närmare varandra, respektive vad som påverkas när avståndet ökar mellan den bärbara datorn och accesspunkten. Den egna framtagna mätdata ska på ett överskådligt sätt presenteras i diagram. Diagrammen skall sedan ligga till grund för den analys som skall genomföras och slutligen ge ett resultat över olika teknikers påverkan av varandra inom samma frekvensområde.

2 Metod

Nedan beskrivs de olika arbetsmetoder som kommer att användas i detta arbete. Inledningsvis beskrivs vår informationsinsamling som ligger till grund för mätningarna. Även tillvägagångssättet för mätningar och analys beskrivs nedan.

2.1 Informationsinsamling

Information inom området radioteknik införskaffas genom litteratur, även Internet används som informationskälla. Vidare förs en muntlig konversation, samt E-post kontakt med vår handledare Mats Lejon och examinator Stanislav Belenki.

Ett besök på Swedish Network Users Society (SNUS)-WLAN-Test 2003 kommer att ske. Detta äger rum på Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) Electrum i Kista. Där kommer ledande leverantörer av trådlösa nätverk samlas och föredrag inom området kommer att hållas. Seminariets syfte är att öka förståelsen för nya nätverkstekniker och visa hur olika fabrikat fungerar tillsammans.

2.2 Eegna mätningar

Vi har planerat att genomföra fyra olika tester. Först upprättas ett IEEE 802.11b nät. Detta nät används som utgångspunkt i de tre efterföljande testerna. Här genomförs ett antal mätningar på överföringshastighet och överföringstid. Dessa mätningar görs på tre olika mätpunkter. De mätresultat som fås från detta första test skall jämföras med resultat som erhålls när detta nät utsätts för störningar. Det första testets mätvärden kan således användas som ett normalvärde då nätet är opåverkat. Som störningskällor har vi valt att sätta upp ytterligare ett IEEE 802.11b nät, ett Draft 802.11g nät samt ett Bluetooth nät. Dessa tre nät testas var och en enskilt mot det ursprungliga IEEE 802.11b nätet. Vi vill se vad som händer med prestandan på det ursprungliga IEEE 802.11b nätet när trafik körs på någon av de tre störningskällorna. Vi kommer att testa prestanda från tre olika avstånd. Mätningar görs också vid olika kanalseparationer för att se vad detta har för inverkan.

2.3 Analys av mätdata

De mätresultat som kommer att erhållas från testerna, redovisas i tabeller och kommer sedan att sammanställas i diagram. Detta för att enklare kunna överblicka mätresultaten. Diagrammen kommer sedan att analyseras och diskuteras i kapitel 5.

3 Förstudie

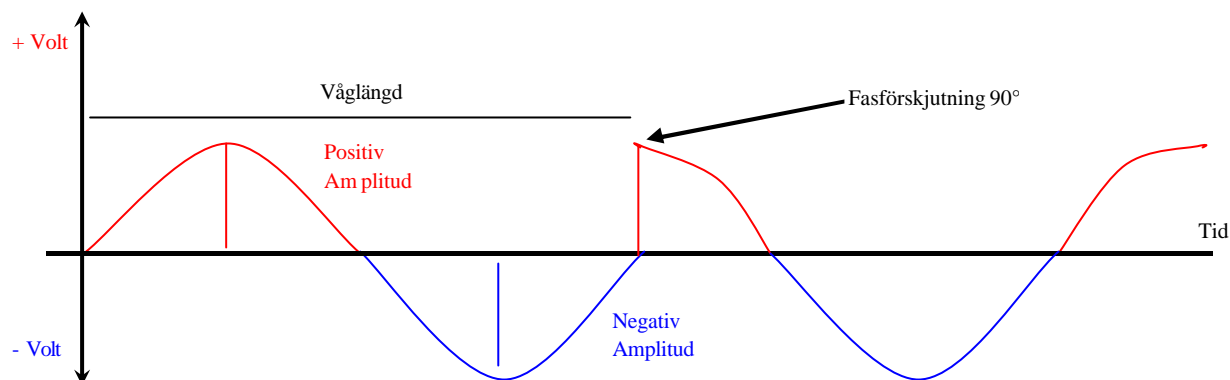
I detta kapitel klargörs grunderna i de trådlösa tekniker som används i detta arbete. Dessutom förklaras radiokodningsteknikerna/moduleringsteknikerna. I slutet av kapitlet finns en fördjupad genomgång av de tre standarder, inom trådlösa nätverk, som granskas i detta examensarbete. Avslutningsvis förklaras funktionaliteten i ett 802.11b nät.

Det SNUS-seminarium som besöktes i Kista gav grundläggande information om hur tester kan genomföras och hur de olika trådlösa teknikerna fungerar.

3.1 Radiovågornas grunder

Runt omkring oss människor sänds det hela tiden ut en mängd vågor av energi, elektromagnetisk strålning. En del av dessa är synliga för ögat, men de flesta är osynliga. Vågorna är skapta på olika sätt. Några, så som ljus och färger som vi ser och de vågor som är formade av solen, är skapta på en naturlig väg. De osynliga vågorna tex mikrovågor, fjärrkontrollens infraröda ljus, TV-signaler och radiovågor är orsakade av människan. Alla vågor av energi går under benämningen, det elektromagnetiska

spektrumet. Vågorna varierar i längd, från 1000 km långa, ner till en mikroskopisk storlek. För att förstå spektrum och strålning måste man känna till begreppen frekvens och våglängd. (Gralla 2001, s. 13).



Figur 3-1: Den elektromagnetiska vågen.

När en signal (radiovåg) och en bärvåg (grundfrekvens) skall överföras via mediet är det tre fysiska storheter som kan förändras (Jensen, Gjelstrup & Berti 2000, s. 124):

- Frekvens
- Amplitud
- Fas

Vågens *frekvens* mäts i Hertz (Hz) och anger svängningar/sekund. Våglängden (svängningar), som är sinuskurvans längd, mäts i meter. Ju högre frekvens, desto kortare är våglängden. (Govanius 2000, s. 34).

Vågens *amplitud* (se figur 3-1) är det samma som förhållandet mellan vågens höjd och djup. Den beskriver hur mycket en våg svänger och anges i volt. Ju större svängningen är (plus och minus i figuren ovan) desto större amplitud har den (Govanius 2000, s. 34).

Vågens *fas* (se figur 3-1) är signalens läge i sidled i förhållande till tidsaxeln och mäts i grader. Den varierar med hjälp av spänning och tid. En fasförändring representeras av spänningsvärdet vid våglängdens starttid. (Govanius 2000, s. 34).

I det elektromagnetiska spektrumet har olika slag av elektromagnetiska vågor olika frekvenser. De har också olika egenskaper och användningsområden. Radiovågorna, vilka kan användas för skilda typer av kommunikation, återfinns i den nedre delen av spektrumet (Ericsson 1997, s. 6).

Radiovågornas utbredning från punkt till punkt, både underlättas och försvåras av de hinder som ligger mellan sändare och mottagare. På sin väg kan radiovågen möta byggnader, vatten, jord och olika skikt i atmosfären. Hur vågorna beter sig vid perforerandet av eller vid reflektion mot dessa hinder är beroende av många faktorer. Följande element och miljöer kan nämnas (Pettersson 1997):

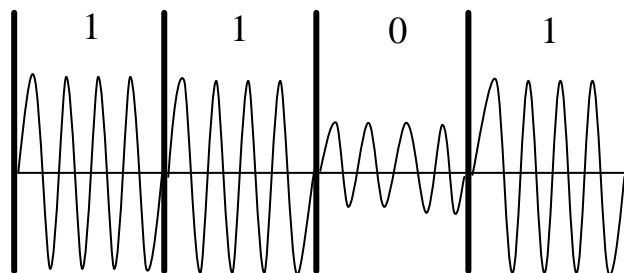
- Sändningsfrekvens (hög/låg frekvens)
- Tidpunkten på dygnet
- Årstiden
- Solens aktivitet
- Markens elektriska egenskaper (skillnad mellan fast mark och sjö/hav)

Höga frekvenser bär mer energi och genomtränger föremål sämre än låga frekvenser. Till exempel blockeras synligt ljus av väggar och andra hinder, låga frekvenser, som radiovågor, går igenom dessa hinder (Gralla, 2001, s. 18). Radiovågor är i likhet med synligt ljus, högfrekventa elektromagnetiska signaler, med frekvenser mellan 3 kHz till 300 GHz. Dessa magnetiska fält sprider sig med ljusets hastighet, vilket är c:a 300 000 km/sek. Radiovågorna moduleras (förändras) när de sänds eller mottas via en antenn (Ericsson 1997, s. 5). Modulering är en benämning för hur en signal anpassas för att kunna spridas med en radiosändare. Modulering är: ”variation av amplitud, frekvens eller fas hos en högfrekvensspänning med hjälp av en lågfrekvensspänning” (Bonniers Compact Lexikon 1995, s. 720). Detta görs för att information skall kunna överföras på den trådlösa länken. Det finns tre olika moduleringstekniker för att förändra digital binär information (ettor och nollor) till analog signal (tex. radio och ljus). Vid moduleringen översätts en bit eller en grupp bitar till snabba tillståndsförändringar (Jensen, Gjelstrup & Berti 2000, s. 89):

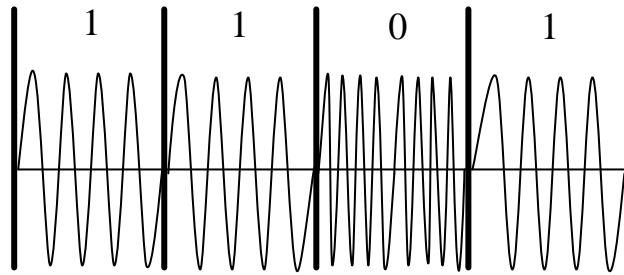
- Amplitudmodulering
- Frekvensmodulering
- Fasmodulering.

Syftet med moduleringen är att öka överföringshastigheten (bitar/sek) på bandbredds-begränsade förbindelser, som till exempel hos ett begränsat frekvensband vid radiokommunikation. Avsikten är att få in så många bitar per svängningar/sekund som möjligt (Att förstå telekommunikation 1996, s. 219).

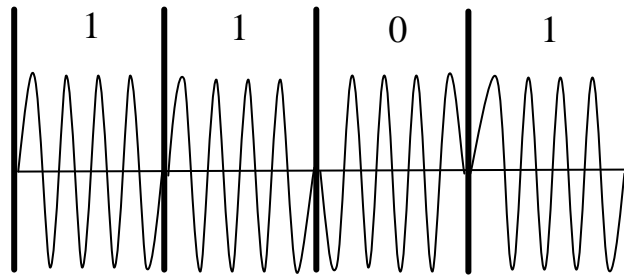
Vid amplitudmodulering (se figur 3-2) låter man en tons styrka visa om det ska vara en etta eller nolla. Vid frekvensmodulering (se figur 3-3) definieras en etta som en ton med en viss frekvens och en nolla som en ton med en annan frekvens. Vid fasmodulering (se figur 3-4) ändras riktningen på vågens fas, t ex 180° för en etta och 0° för en nolla (Hedemalm 1999, s. 187).



Figur 3-2: Amplitudmodulering (Jensen, Gjelstrup & Berti 2000, s. 89).



Figur 3-3: Frekvensmodulering (Jensen, Gjelstrup & Berti 2000, s. 89).



Figur 3-4: Fasmodulering (Jensen, Gjelstrup & Berti 2000, s. 89).

Vid användning av trådlösa överföringar uppstår en rad specifika tillstånd. Dessa kräver särskilda signaleringsmetoder. De speciella tillstånd är:

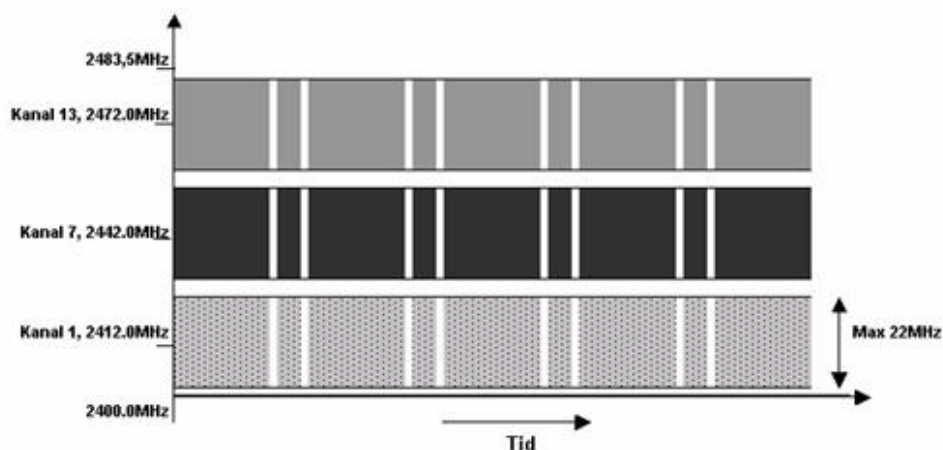
- Litet signalbrusförhållande.
- Begränsad sändarstyrka.
- Avståndet mellan sändare och mottagare varierar och därmed styrkan hos den mottagna signalen.
- Flera enheter sänder på samma frekvensband och stör då den sända signalen.
- Signalen tar ofta olika vägar, den reflekteras mot olika föremål, vilket medför att mottagaren tar emot samma signal vid olika tidpunkter (fädning).

För att motverka ovannämnda tillstånd, har olika kodningstekniker/moduleringstekniker utvecklats. Tanken är att signalen ska spridas på olika frekvenser, på ett sätt som endast mottagaren känner till. På grund av dess spridning kallas dessa tekniker för Spread Spectrum. Genom att sprida signalen över ett större frekvensområde, förhindras störande signaler och brus att ödelägga den sända signalen. De vanligaste teknikerna inom området Spread Spectrum är Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) och Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Dessa moduleringstekniker används av bland annat IEEE 802.11b och Bluetooth. (Jensen, Gjelstrup & Berti 2000, s. 99-100). En annan moduleringsteknik är Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), som används för hög-hastighets överföringar i IEEE 802.11g (Zyren 2002).

3.2 Moduleringstekniken DSSS

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) är en moduleringsteknik och använder ett frekvensområde som är 83,5 MHz stort, mellan 2,4 GHz och 2,4835 GHz. DSSS delar frekvensbandet i 13 kanaler (i USA 11 kanaler) och använder sig av Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK) och Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK)(Leira, s.4). Varje kanal definieras efter sin centerfrekvens. Kanal 1 har sin centerfrekvens på 2,412 MHz, sedan följer de övriga kanalerna med 5 MHz mellanrum upp till kanal 13 (Shoemake, s.6). För att IEEE 802.11 skall kunna hålla en överförings hastighet på 11 Mbit/s behövs upp till 22 MHz av bandbredden. För att upprätthålla bäst möjliga överföringshastighet med så lite störningar som möjligt rekommenderas 30 MHz mellan de sändande kanalerna i Europa. Detta betyder alltså att endast 3 accesspunkter kan sända samtidigt (Schwartz, s.7). Kanalvalet för maximal sändning är i Europa är 1, 7 och 13 (Leira, s.4). Då används ca $22 * 3 = 66$ MHz av ISM bandets 83.5 MHz bandbredd.

I USA används endast 11 kanaler och då är det rekommenderat att använda kanalerna 1, 6 och 11. Detta medför att endast 25 MHz skiljer mellan överförings kanalerna (Shoemake, s.6).



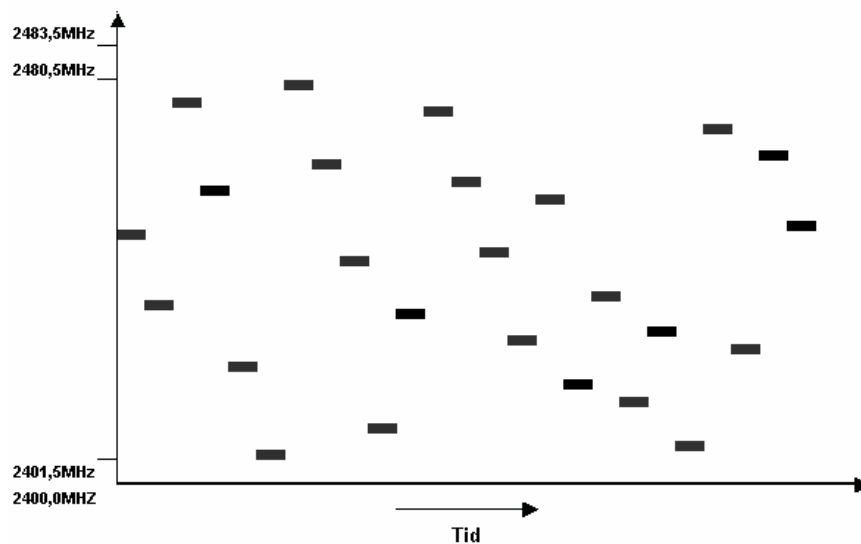
Figur 3-5: Datatrafik över ISM bandet med hjälp av DSSS- tekniken (Shoemake, s.6 omarbetad).

Figur 3-5 visar hur datapaket med efterföljande acknowledgement (ACK) (se kapitel 3.9) skickas över ISM bandet. Acknowledgement är en kvittens som skickas från mottagaren till sändaren som talar om att skickat paket har tagits emot felritt. Den lodräta axeln visar frekvensbandet från 2400 MHz till 2483,5 MHz. Detta band är uppdelat i 13 kanaler i Europa (i USA 11 kanaler). Endast 3 av dessa kanaler kan väljas för att slippa påverkan från varandra. I tabellen har kanalerna 1, 7 och 13 valts för att få 30 MHz mellan de sändande kanalerna.

3.3 Moduleringstekniken FHSS

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) är en moduleringsteknik som utnyttjar sig av samma frekvensband som DSSS. FHSS använder sig av Frequency Shift Keying (FSK) (Leira, s.2). Frekvensbandet delas in i 75-79 kanaler, där den maximala bandbredden är 1 MHz (Shoemake, s.5). FHSS sänder inte på samma kanal hela tiden, som DSSS gör, utan hoppar efter ett känt mönster som både avsändare och mottagare känner till (se figur 3-6). FHSS stannar endast kvar på samma frekvens i maximalt 400ms, även kallad "dwell time" (High-speed wireless ATM and LANs, s.31, Schwartz s.5). Om man vill använda sig av flera accesspunkter inom samma frekvensområde kan man bruka två olika tekniker. En synkron eller icke-synkron hoppfrekvens.

I den icke-synkrona tekniken hoppar de olika accesspunkterna runt bland frekvenserna "okontrollerat" och kollisioner uppstår mellan de olika accesspunkternas dataöverföring. Paketerna måste överföras en gång till med längre överföringstid som följd. När accesspunkterna synkroniseras, så att de inte sänder på samma frekvens, kommer man undan problemet med kollisioner och man kan använda upp till 12 accesspunkter samtidigt (Schwartz, s.12-13).



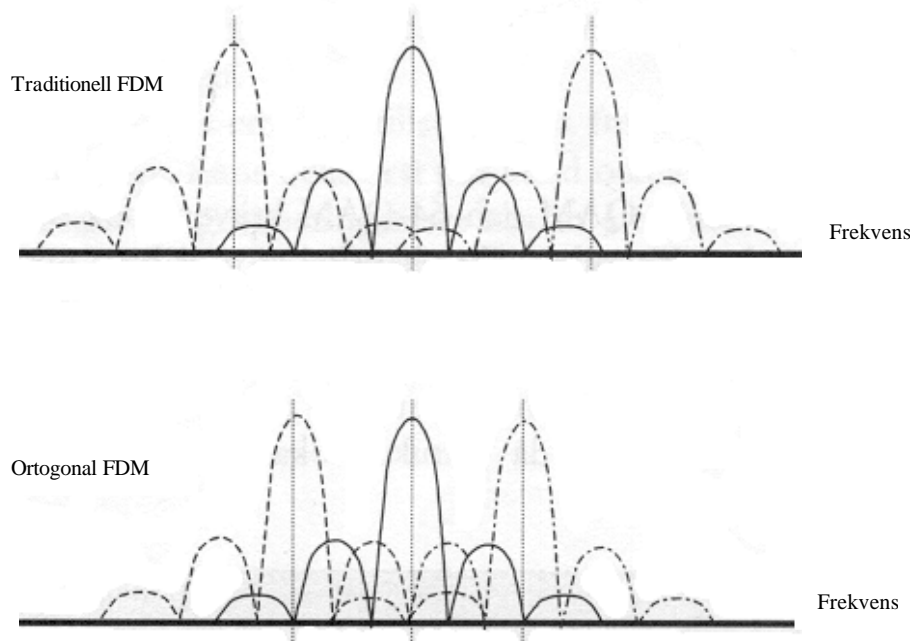
Figur 3-6: Bilden visar hur datatrafiken hoppar mellan de olika kanalerna (Shoemake, s.5 omarbetad).

3.4 Moduleringstekniken OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) är en modulationsteknik som kommer från Hiperlan och används för höghastighetsöverföringar. Metoden är ett tillförlitligt sätt att kunna hantera svårigheter med flervägsutbredning. Med flervägsutbredning åsyftas då en mottagare nås av den direktutsända vågens reflektioner. Detta är delvis en fördel. Det är en av orsakerna till att radiovågor letar sig fram runt hörn. Men då signalen tar flera vägar kan den sammanlagda vågen, som når mottagaren, vara utsläckt eller förstärkt. Detta orsakar många gånger större problem än brus (Lindberg 2002 s.73, 288).

OFDM godkändes i maj 2001 för användning av ISM-bandet (2,4 GHz) och som en nödvändig del av standarden 802.11g. Tekniken används vid högre datahastigheter (>20 Mbit/s) och stödjer datahastigheter upp till 54 Mbit/s. OFDM har stöd för Complimentary Code Keying (CCK) för att säkerställa bakåtkompatibilitet med befintliga radioenheter enligt Wi-Fi (802.11b). CCK/OFDM är en blandning av CCK och OFDM, vilket gör det lättare att använda OFDM-vågformen och samtidigt ges kompatibiliteten bakåt till existerande CCK-enheter. CCK används för att sända paketets inledning/huvud (Preamble/header), medan OFDM används för att sända datadelen. Varje paket med överförd data innehåller följaktligen två huvuddelar, inledning/huvud och datadel (Zyren 2002).

Inledningen/huvudet ger alla radioenheter, som använder en viss kanal, besked om att dataöverföringen börjar. Inledningen består av en känd sekvens av ettor och nollor som ger radioenheterna tid att förbereda sig för att ta emot data (betrakta det som en väckningssignal). När inledningen är klar måste mottagaren vara redo att ta emot data. Huvudet följer direkt efter inledningen och det innehåller flera viktiga informationsbitar som bland annat anger längden (i mikrosekunder) för efterföljande data. Detta är viktigt, eftersom de berättar för alla mottagare som kan avläsa inledningen/huvudet om hur lång överföringen kommer att bli. Andra radioenheter kan då inte sända under denna tid, vilket förhindrar nätverkskollisioner. Datadelen kan variera kraftigt i längd beroende på datahastigheten och hur många byte som ska överföras. Datadelen kan vara mellan 64 byte och 1500 byte lång (Zyren 2002).



Figur 3-7: I OFDM placeras kanalerna tätare (Lindberg 2002 s.289).

En av fördelarna med OFDM är att det är en bandbreddseffektiv metod dvs. man kan överföra en stor mängd information över det tilldelade frekvensbandet (Landström & Åström 1999).

3.5 Brus och störningar

Brus och störningar är en viktig faktor när det gäller trådlös kommunikation. Effekten av dessa faktorer påverkar överföringsprestandan i hög grad. "Om vi levde i en värld fri från brus och störningar skulle problemen vid informationsöverföring vara enkla att hantera och systemen skulle fungera helt i enlighet med de tidigare beskrivna principerna" säger Svärdröm. Bruset och de störningar som uppstår bestämmer tröskeln för den minimala signalnivån som behövs för att överföra data pålitligt till mottagaren/sändaren. Då den önskade signalen drunknar/försvagas pga. brus/störningar så tolkas den helt enkelt fel, vilket härleder till så kallade "bit-errors", dvs. signalen kan inte tolkas varken som en "etta" eller en "nolla". Detta är inte oundvikligt då vi i verkligheten alltid måste räkna med brus och störningar. Vad är då skillnaden mellan brus och störningar? Störningar i allmänhet orsakar vi själva, tex glimtändare i lysrör, till- och frånslag av elektriska motorer, TV-sändningar, mobiltelefoni, diverse radio sändningar osv. I allmänhet påverkar störningar trafik i samma frekvensområde och närliggande kanaler och då i synnerhet WLAN. Brus är ett fenomen som bara "finns". Brus finns i atmosfären och kan delas upp i tre typer. Termiskt brus (eng. thermal noise), hagelbrus (eng. shot noise) och 1/f-brus (f = frekvens, eng. flicker noise). Det är viktigt att inse och ha förståelse för att dessa specifika "hinder" för trådlös överföring existerar (Svärdröm 1998, s. 201-207) (Pozar 2001, s.68).

3.6 Standarden IEEE 802.11b

IEEE 802.11b är en vidareutveckling av IEEE 802.11 standarden. Det som skiljer dem åt är att 802.11b har en snabbare överföringshastighet. I grunden arbetar IEEE 802.11b med DSSS (se kapitel 3.2). Den snabbare överföringshastigheten fås genom en bättre (smartare) moduleringsteknik kallad CCK (Complementary Code Keying). Inom 802.11 används hastigheterna 1 och 2 Mbit/s, i 11b tillåts även hastigheterna 5,5 och 11 Mbit/s. 11b standarden är dock bakåtkompatibel och fungerar med IEEE 802.11. Med de högre hastigheterna blir överföringen känsligare. När avståndet mellan accesspunkten (AP) och PC-kortet överskrider en viss gräns (beroende på störningar, hinder osv.) så växlas hastigheten ner, från 11 till 5,5 Mbit/s, för att till sist arbeta på 2 eller 1 Mbit/s. (Se figur 3-8) (Andren & Webster) (Carney 2002).

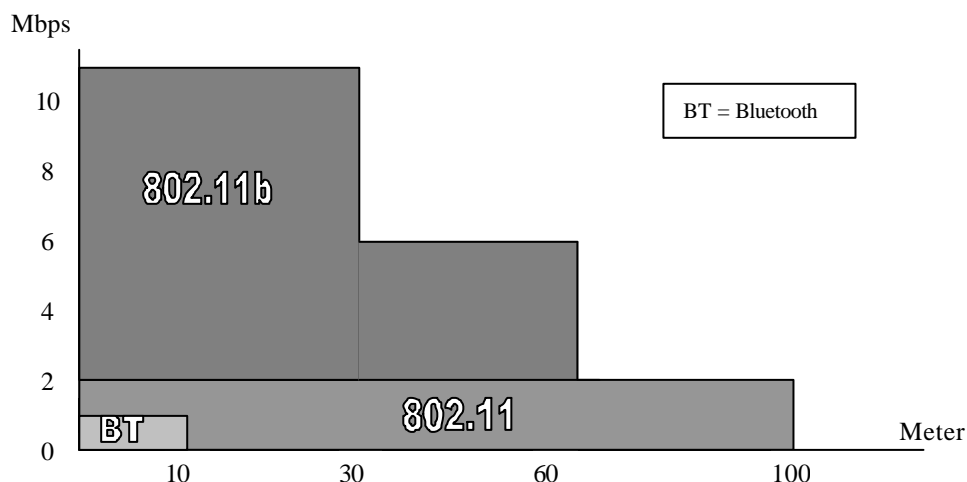
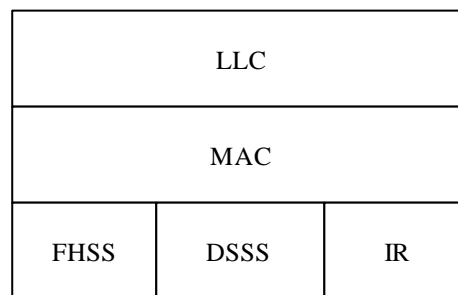


Diagram 3-8: Överföringshastighet och räckvidd för BT, IEEE 802.11 och IEEE 802.11b (Andren & Webster, omarbetad).

IEEE 802.11 standarden har ett eget Medium Access Control lager (MAC). Den primära funktionen hos MAC lagret (se figur 3-9) är att kontrollera access till det trådlösa mediet, men är också ansvarigt för andra funktioner som tex fragmentering, kryptering, strömförsörjning och synkronisering. IEEE 802.11 standarden använder CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). CSMA/CA undviker kollisioner istället för att detektera kollisioner, som CSMA/CD (collision detection) protokollet i IEEE 802.3 (Ethernet) gör. Enligt CSMA/CA protokollet måste en sändare först "lyssna" på mediet (kanalen) innan en sändning kan påbörjas. Om mediet är upptaget väntar sändaren med överföringen. Om mediet är ledigt, enligt DIFS (Distributed Interframe Space, ett värde som bekräftar minsta lediga tid på mediet) är det fritt fram att börja sända. Möjligheten finns att två stationer lyssnar på mediet för att börja sända. Mediet är ledigt och båda börjar sända. Då uppstår en kollision. För att reducera sannolikheten för en kollision används Virtual Carrier Sense (VCS), vilket innebär att när en station är redo att sända måste ett Request-to-send (RTS) paket skickas ut till mottagaren. RTS paketet är ett kontrollpaket som besvaras med ett Clear-to-send (CTS) ifall mediet är ledigt. Om ett CTS erhålls kan stationen som skickade RTS:en börja sin sändning. (Held 2001, s. 240-253) (Geier 1999, s. 111).



Figur 3-9: MAC lagret i IEEE 802.11 hanterar de tre fysiska lagren, FHSS, DSSS & IR (Lindberg 2002 s. 177, omarbetad).

Genom att höja RTS Threshold (tröskelvärde) kommer paket mindre än detta tröskelvärde att skickas utan att använda RTS/CTS mekanismen. Detta ger en teoretiskt sett ökad genomströmning av data, dvs. överföringshastighet, men detta uppnås bara om inga störningar inträffar. Skulle störningar inträffa och paket förloras måste dessa sändas om och detta resulterar i att den totala genomströmningen av data sjunker. Trafik kan även skickas med en metod som kallas Network Allocation Vector (NAV). Denna funktion finns också under VCS. NAV fungerar som en timer. Den sändande stationen allokerar mediet för en viss tid som den beräknar för att sända sina paket. När timern (NAV) till slut blir 0 så skickar VCS ut en signal som indikerar att mediet är ledigt (Gast 2002, s. 23-33).

3.7 Draft 802.11g

Mars år 2000 formade IEEE en grupp som skulle undersöka möjligheterna att ytterligare öka överföringshastigheten på IEEE 802.11b. Denna grupp, kallad Task Group G (TGg) undersökte åtskilliga kodningstekniker för att till sist anta OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) (se kapitel 3.4). Namnet för denna nya blivande "standard" blev 802.11g och antas bli en standard enligt IEEE under mitten av 2003. Den maximala överföringshastigheten som 802.11g kan hantera är 54 Mbit/s. Bakåtkompatibilitet till IEEE 802.11b är inbyggt, då används CCK som modulering. Om ett 802.11b kort associerar med en AP för 802.11g så byter AP:n moduleringsteknik som passar för 11b, till CCK, det vill säga överföringshastighet endast upp till 11Mbit/s. För att kunna köra trafik i 54 Mbit/s krävs att samtliga enheter i det trådlösa nätet är av 802.11g teknik (Carney 2002).

3.8 Bluetooth

Bluetooth är en kabelersättande teknik som är baserad på radio och möjliggör trådlös röst- och dataanslutning med kort räckvidd. Med Bluetoothtekniken kan användaren koppla loss sina digitala enheter och glömma allt trassel med sladdar. Bluetooth huvudsakliga användningsområde är punkt-till-punkt-förbindelser (Lindberg 2002, s 272-273).

3.8.1 Historia

Bluetooth skapades av forskare inom Ericsson i mitten av 1990-talet. Målsättningen var att utveckla en standard för hur elektroniska produkter skulle kunna kommunicera trådlöst med varandra. Tanken från början var att skapa ett billigt radiogränssnitt, med låg batteriförbrukning, att användas för kommunikation mellan en mobiltelefon och dess tillhörande utrustning. 1998 startades ett samarbete mellan bla Ericsson, Intel och Nokia. Det var först då namnet Bluetooth presenterades. Tekniken namngavs efter den danska vikingahövdingen Harald Blåtand. Han var den kung som enade Danmark och Norge till ett kungarike på 900-talet. Detta gemensamma namn på denna trådlösa teknik hade vuxit fram ur alla de olika tillverkarnas versioner. Samtidigt bildades SIG (Special Interest Group). Det är den branschorganisation som övervakar och leder utvecklingen av bluetoothtekniken. Sammanslutningen består idag av över 1000 företag och samarbetet har grund i att många vill ha fram en världsstandard för området. Det är SIG som äger Bluetooth-standarderna och det är de som godkänner nya företag som vill använda Bluetooth i sina produkter. När ett företag är med i SIG får de använda Bluetooth-tekniken i sina produkter (Bergström 2003).

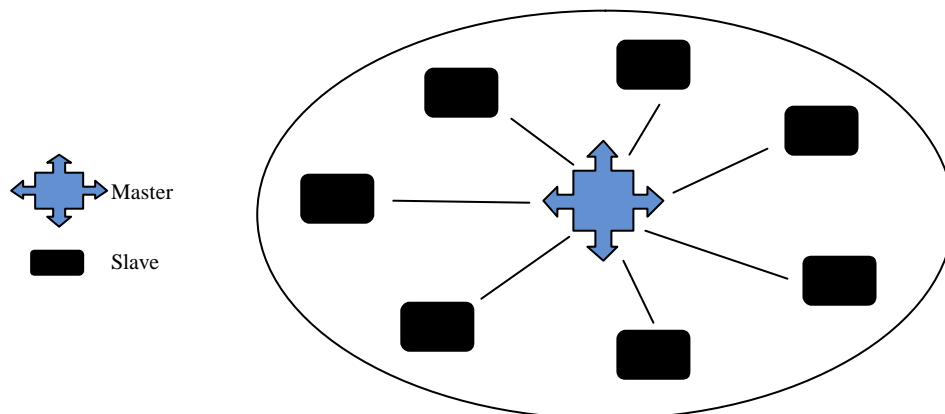
3.8.2 Tekniken

Bluetooth utnyttjar det licensfria frekvensbandet 2,4 GHz, vilket även WLAN arbetar i. För att Bluetooth ska kunna erbjuda kraftfulla nät på ett strömsnålt sätt, använder tekniken snabba frekvenshopp. Detta görs på de 79 kanaler som finns att tillgå och det

sker över hela frekvensspektrumet 2,400 till 2,4835 GHz. Maximal bandbredd för Bluetooth beror på om sändningen sker synkront (kretskopplat) eller asynkront (paketförmedlat). Synkron överföring används vid sändning av ljud och asynkron överföring vid sändning av data. Vid synkron överföring kan 3 kanaler á 64 kbit/s erhållas. Vid asynkron symmetrisk överföring kan 2 x 434 kbit/s erhållas och vid asynkron asymmetrisk överföring kan tjänsten med 723/56 kbit/s användas (Lindberg 2002, s.271-273).

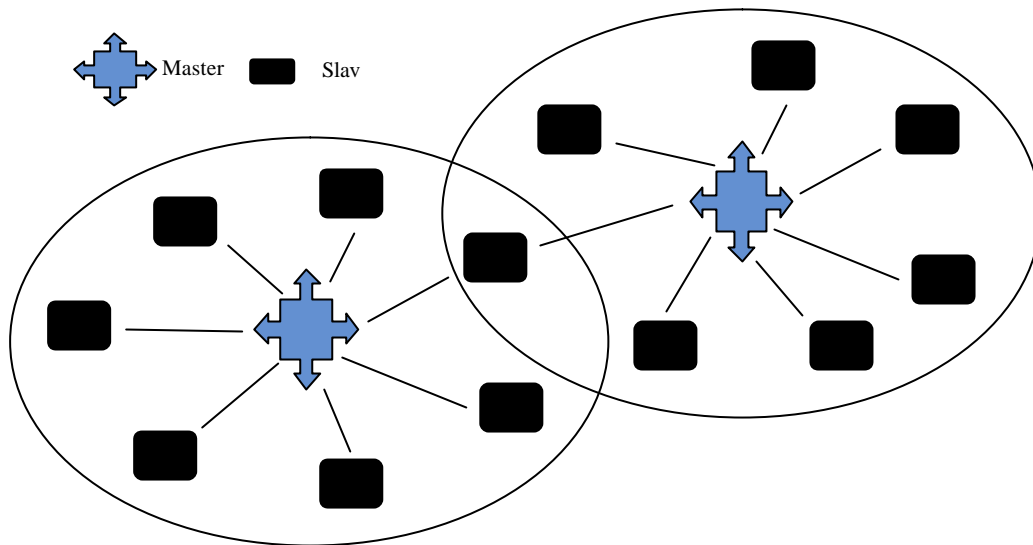
3.8.3 Uppkoppling

Varje bluetooth-enhet har ett mikrochip inmonterat, som kan sända och ta emot radiosignaler. Inuti chipet finns en programvara, link controller. Denna funktion identifierar andra Bluetooth-enheter och skickar och tar emot data. Chipet är en kombinerad sändare och mottagare och ligger kontinuerligt och lyssnar efter andra Bluetooth-chip inom området. När två chip får kontakt, etableras en förbindelse. Då skapas ett litet nät/område som kallas ett Piconet (se figur 3-10). Här kan upp till 8 enheter kommunicera med varandra på samma gång. Bluetooth använder moduleringstekniken FHSS (se kapitel 3.3). Vilket innebär att frekvensen konstant ändras 1600 gånger/sekund. På detta sätt blir störningarna väldigt få. Men om en störning uppkommer, händer det bara under en bråkdel av en sekund. (Gralla 2001, s. 124-125).



Figur 3-10: En master och upp till sju slavar bildar ett Piconet.

Ett Piconet består av minst en master och en slav. När fler Piconet kopplas ihop till ett större nätverk, bildas ett Scatternet (se figur 3-11). Slaven kan då tillhöra ett flertal olika Piconet men kan endast vara aktiv i ett nät åt gången. Den enhet som påbörjar en uppkoppling blir master i nätverket. Alla Bluetooth enheter har möjlighet att starta en uppkoppling och har således chansen att bli master. En enhet kan växla mellan master- och slavläge om de andra enheterna i uppkopplingen tillåter det. Mastern's uppgift är att samordna slavenheterna i nätverket genom det gemensamma hoppningschemat. Genom den snabba och delvis slumpmässiga frekvenshoppningstekniken är Bluetooth svår att avlyssna (Gralla 2001, s.123-125).



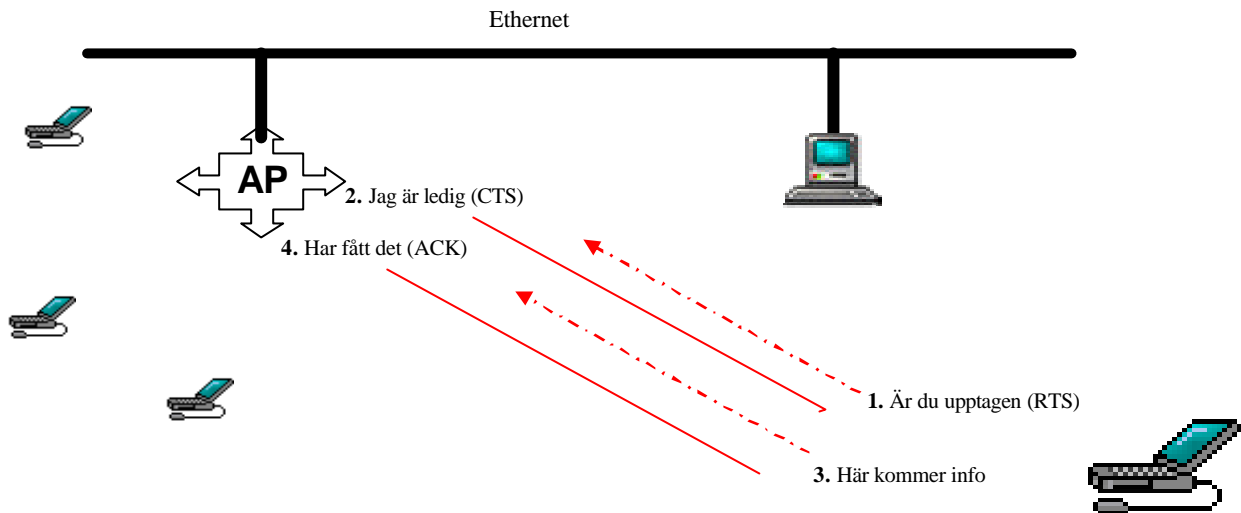
Figur 3-11: Två eller fler Piconet bildar ett Scatternet.

3.9 Funktionaliteten i ett 802.11-nätverk

Accesspunkten är den centrala delen i ett 802.11-nätverk. Den består av en radiosändare och en mottagare. Kan även bestå av ett interface mot ett kablat nätverk, så som Ethernet. Accesspunkten fungerar som en basstation och brygga mellan det trådlösa nätverket och det trådbundna nätet. 802.11 standarden tillåter också att enheter kommunicerar direkt med varandra, utan förbindelse med en accesspunkt. Denna anslutning kallas peer-to-peer nätverk. Om en bärbar dator ska bli en del av ett nätverk, måste den utrustas med ett trådlöst 802.11-kompatibelt nätverkskort. Detta för att den bärbara datorn ska kunna kommunicera med accesspunkten. Ett stort antal enheter kan stå i förbindelse med en accesspunkt och går då under beteckningen BSS som står för Basic Service Set och beskriver flera enheter som uppfattas som ett nät, där samtliga enheter är inom radiosignalens räckvidd (Lindberg 2002 s. 101)(Gralla 2001, s. 126-127).

De bärbara datorerna kommunicerar med accesspunkterna genom metoden CSMA/CA. Metoden kontrollerar om det finns andra enheter som kommunicerar med accesspunkten. Om någon står i förbindelse med AP:n, avvaktas en slumpmässig tid, innan informationen sänds över nätet (Gralla 2001, s. 126). CSMA/CA är en variant på den vanligaste återkomstmetoden i lokala nätverk som går under benämningen CSMA/CD. "Collision Avoidance innebär att man försöker förhindra kollisioner genom att reservera användning av det gemensamma mediet" (Lindberg 2002 s.96).

För att ytterligare försäkra sig om att inga kollisioner ska inträffa kan även två kontrollpaket används RTS/CTS. Kontrollpaketen tar prestanda och minskar nätets överföringshastighet och kan därför stängas av (Lindberg 2002 s.97-98, 159). Användningen av RTS/CTS fungerar på följande sätt:



Figur 3-12: En mobil enhet sänder till en accesspunkt.

Innan den bärbara datorn sänder iväg sin information eller förfrågan till AP:n, skickas ett paket med information kallad *RTS* (se figur 3-12). Här finner man bland annat uppgifter om avsändaren, om mottagaren och hur lång tid sändningen tar. Om accesspunkten är tillgänglig, skickas ett paket med information tillbaka till den bärbara datorn. Detta paket kallas *CTS*. Här talas om att AP:N är redo att ta emot informationen. Sändaren skickar alltså ut *RTS* och mottagaren skickar ut *CTS*. När paketet med information är skickat, sänder AP:n tillbaka en *ACK* för att tala om att paketet kommit fram. Om inte *ACK*-paketet är skickat, omsänds paketen tills den bärbara datorn får ett *ACK* meddelande tillbaka (Gralla 2001, s. 126).

4 Mätningar

I följande kapitel presenteras ett antal mätningar. Inledningsvis följer en beskrivning av de tester som utförts, där klargörs val av utrustning och hur testerna har genomförts. Därefter kommer en sammanställning av mätresultaten (se Appendix A).

Fyra tester har genomförts och uppvisas i 12 diagram. Följande mätvärden för dessa diagram är framtagna vid sex olika mätomgångar och vid tre olika mätpunkter. Det första testet som utfördes (benämns Test A), presenteras i varje grafisk figur och representeras då utav den övre linjen. Denna linje visar *grundnätets* överförings-hastighet när IEEE 802.11b körs separat på kanal 1 och utan störningar. De övriga linjerna i diagrammen presenterar *grundnätet* vid störningar.

I kapitlet åskådliggörs även diagram (se Diagram 4-5 & 4-9) som visar summan av de parallella nätens totala genomsnittshastighet. Här observeras vad som händer med hastigheten vid olika kanalseparationer.

Förberedelsen för testen tog fyra dagar. Här ingick konfiguration och inställning av diverse utrustning. Själva testen tog 5 dagar att genomföra och det utfördes 342 mätningar totalt, vid 3 olika mätpunkter.

4.1 Planering av mätningar

Våra egna mätningar kommer att genomföras i en av Högskolan Trollhättan – Uddevallas (HTU) lokaler. Lokalen har en storlek på c:a 4x7 meter (se figur 4-3). Ett WLAN upprättas enligt standarden IEEE 802.11b, två bärbara datorer med PC-kort och accesspunkter (AP) kommer att användas. Testerna går ut på att överföra filer från AP:n till den bärbara datorn. Dessa överföringstider samt snitthastigheter noteras, för att sedan kunna jämföras med samma filöverföring under olika störningsmoment.

4.1.1 Testbeskrivning

En förutbestämd fil på 40 000 kB kommer att hämtas med en bärbar dator från en FTP-server. På den bärbara datorn kommer FTP-överföringen att ske genom kommandotolken. Överföringstiden för filen loggas på FTP-servern och skrivs även ut i kommandotolken när överföringen är klar. Informationen dokumenteras från FTP-servern på grund av tydlig och detaljerad log. Filen kommer att transfereras 6 ggr. Ett medelvärde räknas sedan ut och dokumenteras. All utrustning kommer att köras i default-mode, förutom att Service Set Identifier (SSID) och kanaler ändras på Accesspunkterna. Säkerhetsinställningar kommer att vara avstängda. Alla accesspunkter samt PC-kort körs i infrastructure mode. Detta betyder att PC-korten skall associera till en AP och inte till ett annat PC-kort.

4.1.2 Utrustning som hanterar IEEE 802.11b

Accesspunkten i samtliga test är en D-Link DWL-1000AP. PC-kortet som används benämns D-Link DWL-650 och kommer att sitta i en bärbar dator av fabrikat Dell Latitude Cpi D266XT med Windows 2000 Professional installerat. Denna utrustning utgör det *grundnät* som kommer att användas i samtliga test. All annan utrustning kommer att testas mot detta nät som härnäst kommer att benämnas *grundnät*.

Den andra AP:n som endast används i Test B är en D-Link DWL-6000AP, en kombinerad produkt för både 802.11b och 802.11a. Men vi kommer bara att använda oss av 802.11b funktionen. Den bärbara datorn som nyttjas är en Dell Latitude CPt med ett PC-kort från Lucent Technologies (WaveLan Silver).

4.1.3 Utrustning som hanterar Draft 802.11g

Accesspunkten är av Linksys fabrikat och har benämningen WAP54G-EU. Den körs under testen endast i G-only mode, men kan även arbeta i mixed-mode, vilket innebär att den associerar både till 802.11b och 802.11g. PC-kortet är av samma fabrikat och med beteckningen WPC54G. Kortet kommer att köras på en bärbar dator av märket Dell Latitude CPt med Windows XP Professional med Service Pack 1 installerat.

4.1.4 Utrustning som hanterar Bluetooth

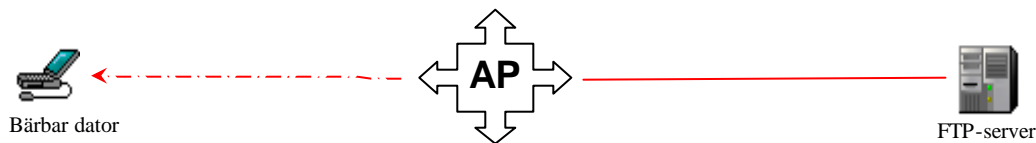
För testerna med Bluetooth används accesspunkten AXIS 9010. Den bärbara datorn (Dell Latitude CPt) utrustas med TDK:s Bluetooth Adaptor.

4.1.5 Resterande utrustning

FTP-server applikationen är Bulletproof FTP Server vers. 2.15 (även känd som Gene6 FTP Server) och är installerad på en dator som kör Windows 2000 Professional. Vidare används också en router/switch av märke och modell D-Link Di-804.

4.1.6 Genomförande av Test A

I första testet, här kallad Test A, undersöks endast IEEE 802.11b separat på kanal 1. Detta test är till grund för övriga mätningar och det visar överföringshastigheten utan störningar från andra trådlösa nät. En fil på 40 000 kB överförs från FTP-servern via AP:n över det trådlösa mediet till den bärbara datorn (se figur 4-1). Detta kommer att ske 6ggr från var och en av de tre mätpunkterna, mätpunkt 1, 2 och 3 (se figur 4-3). Sammanlagt kommer det att göras 18 överföringar i test A. Överföringstider och snitthastighet kommer att dokumenteras. Accesspunkten befinner sig 135 cm över golvet i testrummet.

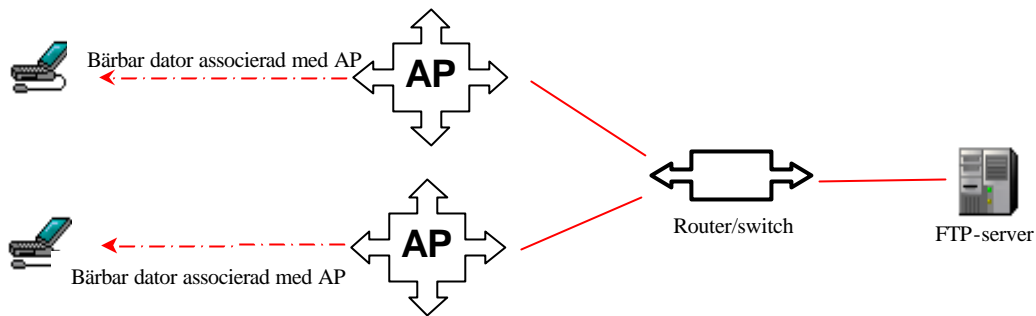


Figur 4-1: Grafisk beskrivning över filöverföring i test A.

4.1.7 Genomförande av Test B

I Test B kommer två accesspunkter av standarden IEEE 802.11b att användas (se figur 4-2). De kommer att vara placerade i testrummet på 135 cm höjd. De bärbara datorernas wlan-kort är associerade med sin AP. En fil på 40 000 kB kommer hämtas 6 ggr vardera av de två bärbara datorerna placerade först på mätpunkt 1, sedan mätpunkt 2 och 3 (se figur 4-3).

Olika kanaler kommer att användas vid filöverföringarna. Först en stor kanalseparation, kanal 8 på ena AP:n (*grundnätet*) och kanal 13 på andra (D-Link DWL-6000AP). Sedan stegas kanalerna tätare och tätare ihop, kanal 9 respektive 12, kanal 10 respektive 11. Detta görs för att orsaka mer och mer störningar. Slutligen körs båda Accesspunkterna på kanal 10. Totalt kommer 144 mätningar att göras i detta test (se Appendix A, Test B).



Figur 4-2: Grafisk beskrivning över test B, C och D.

4.1.8 Genomförande av Test C

Två AP kommer att användas. Den ena av standard IEEE 802.11b (*grundnätet*) och den andra av Draft 802.11g (Linksys WAP54G-EU). De kommer att vara placerade i testrummet på 135 cm höjd. De bärbara datorernas wlan-kort är associerade med sin AP (se figur 4-2). En fil på 40 000 kB kommer att hämtas 6 ggr vardera av de två bärbara datorerna som är placerade först på mätpunkt 1, sedan mätpunkt 2 och 3 (se figur 4-3).

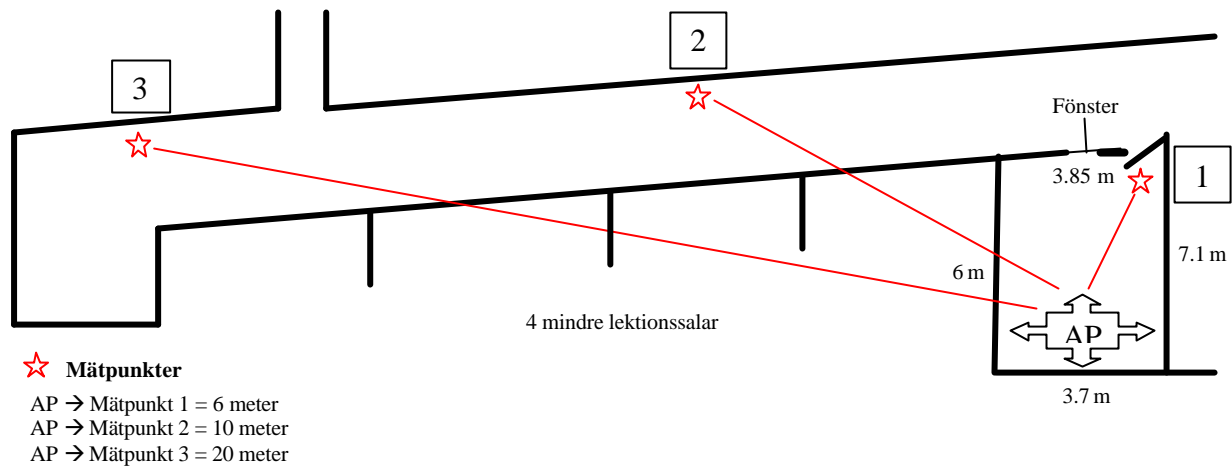
Olika kanaler kommer att användas vid filöverföringarna. Först en stor kanalseparation, kanal 8 på ena AP:n (*grundnätet*) och kanal 13 på andra (Linksys). Sedan stegas kanalerna tätare och tätare ihop, kanal 9 respektive 12, kanal 10 respektive 11. Detta görs för att orsaka mer och mer störningar. Slutligen körs båda Accesspunkterna på kanal 10. Totalt kommer 144 mätningar att göras i detta test. (se Appendix A, Test C)

4.1.9 Genomförande av Test D

Vid Test D används *grundnätets* AP på kanal 1 samt en Bluetooth AP (AXIS). En fil på 40 000 kB överförs från FTP-servern genom en router/switch, via AP:n över det trådlösa mediet till den bärbara datorn (se figur 4-2). Detta kommer att ske 6ggr från var och en av de tre mätpunkterna, mätpunkt 1, 2 och 3 (se figur 4-3). Sammanlagt kommer det att göras 36 överföringar i test D. Överföringstider och snitthastighet kommer att dokumenteras. Accesspunkterna befinner sig 135 cm över golvet i testrummet.

4.1.10 De tre mätpunkterna

Här följer en presentation över det område där testerna är utförda och var utrustningen är placerad i förhållande till varandra. En förklarande text till figuren och de tre mätpunkterna kommer därefter.



Figur 4-3: Testlokal med omnejd.

1. Den första mätpunkten är i samma lokal som accesspunkten (se figur 4-3). Mellan accesspunkt och bärbar dator är avståndet 6 meter, i lokalen finns inga föremål som kan skymma överföringen.
2. Mätpunkt två finns utanför den lokal som accesspunkten är uppsatt i. Avståndet är 10 meter (se figur 4-3). Väggarna i rummet består av gips. Mot korridoren finns ett fönster. Rummets dörr kommer att stå öppen under testen.
3. Sista mätpunkten är belägen på 20 meters avstånd från accesspunkten (se figur 4-3), med ett flertal väggar mellan accesspunkt och bärbar dator. Rummets dörr kommer att stå öppen under testen.

4.2 Våra mätningar

I diagrammen som följer visas endast *grundnätets* värden vid sex olika mätomgångar. Observera att linjerna endast förtydligar punkternas samhörighet och ej ett tidsförlopp.

4.2.1 Test A – 802.11b vid de tre olika mätpunkterna

Diagrammet visar en sammanställning av Test A:s mätvärden (se Appendix A, Test A). Linjerna representerar mätpunkt 1, mätpunkt 2 och mätpunkt 3, när *grundnätet* körs ensamt på kanal 1.

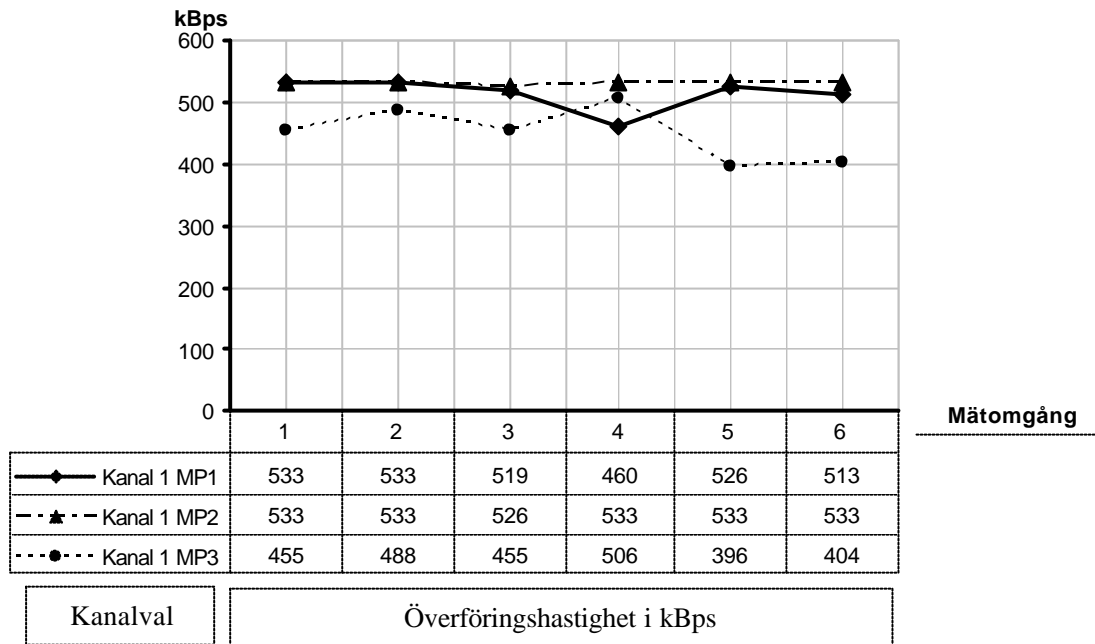


Diagram 4-1: Diagrammet presenterar endast mätvärden från *grundnätet* (802.11b).

När mätningar gjordes vid MP1, 6 meter från AP, uppmättes en genomsnittlig överföringshastighet på 514 kbps. Som diagrammet visar ligger *grundnätets* överföringshastighet utan större förändringar utom vid fjärde mätomgången, då hastigheten sjunker något.

Då *grundnätet* kördes ensamt vid mätpunkt 2 var den genomsnittliga överföringshastigheten 532 kbps, lite snabbare än vid mätpunkt 1. Mätpunkt 2 befann sig 10 meter ifrån AP (se figur 4-3).

Avslutningsvis, med den bärbara datorn vid MP3 och 20 meter till AP:n, sjönk den genomsnittliga överföringshastigheten till 451 kbps. Här upptäcks en större variation på överföringshastigheten, med ett toppvärde på 506 kbps och ett bottenvärde på 396 kbps, jämfört med de två andra mätpunkterna, MP1 och MP2.

4.2.2 Test B – 802.11b mot 802.11b vid MP1

Vid mätningar med bara *grundnätet* på kanal 1 (se Diagram 4-1) uppmättes en genomsnittlig överföringshastighet på 514 kbps (se Appendix A, Test A). Som diagrammet visar ligger *grundnätets* överföringshastighet utan större förändringar utom vid fjärde

mätomgången, då hastigheten sjunker något. Ytterligare ett IEEE 802.11b nätverk upprättades. Grundnätets AP lades om till kanal 8 och det nya upprättade nätet på kanal 13. FTP nedladdningen startades samtidigt från de bärbara datorerna. Den genomsnittliga överföringshastigheten sjönk lite, till 429 kbps. Observera att diagrammet *endast* visar *grundnätets* överföringshastighet. Då endast detta näts mätdata är relevant, för att se vad som händer när det utsätts för störningar.

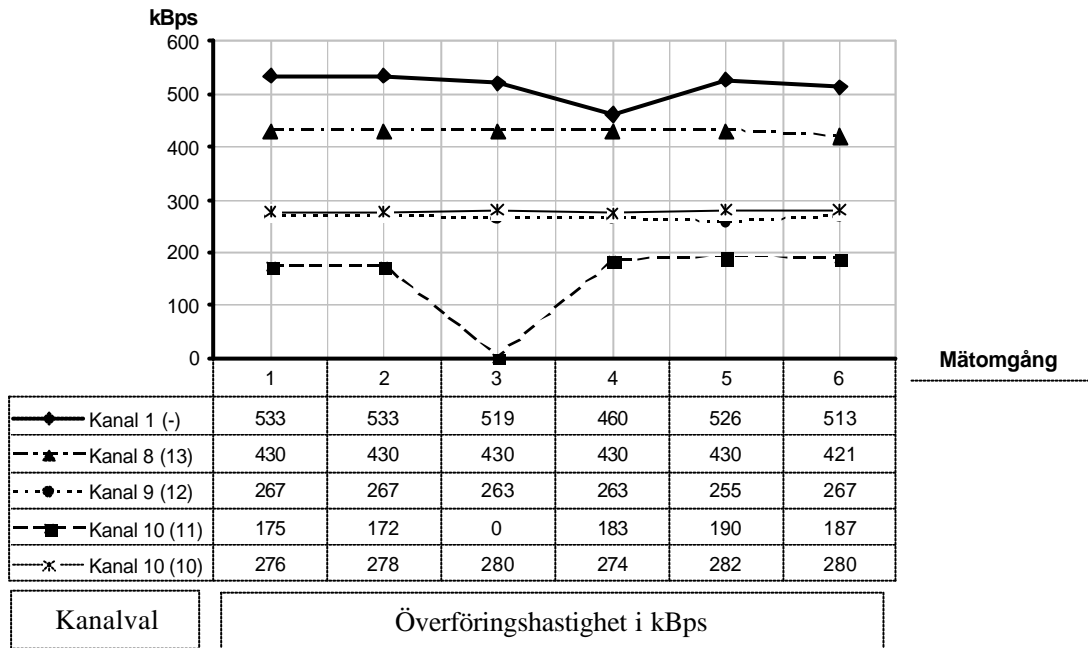


Diagram 4-2: Diagrammet presenterar endast värden från grundnätet (802.11b). Siffrorna i kolumnen kanalval visar den valda kanalen för grundnätet och inom parantes visas kanalen för det samkörda nätet.

Grundnätets AP läggs om på kanal 9 och den andra på kanal 12. Vid överföringen sjönk genomsnittshastigheten till ca 260 kbps. Då sändes data med endast 2 kanalers separation, det vill säga 15 MHz mellan de sändande kanalerna. Vilket innebar att viss kanalöverlappning skedde med ökade störningar som följde.

Vidare sattes *grundnätets* AP till kanal 10 och den störande AP:n till 11. Vid mätomgång 3 förlorade den bärbara datorn kontakten med *grundnätets* AP, då överfördes endast 18 196 kB av filens totala storlek (40 000 kB).

Genomsnittsoverföringen mättes upp till 181 kbps (mätning 3 frånräknad, förlorade uppkopplingen). För de övriga mätningarna sjönk genomsnittshastigheten till ca 65 % jämfört med när *grundnätet* kördes separat. När båda accesspunkterna låg på kanal 10 ökade genomsnittshastigheten till 278 kbps.

4.2.3 Test B – 802.11b mot 802.11b vid MP2

Då *grundnätet* kördes ensamt vid mätpunkt 2 var den genomsnittliga överföringshastigheten 532 kbps, lite snabbare än vid mätpunkt 1. Mätpunkt 2 befann sig 10 meter ifrån AP (se figur 4-3). Den andra AP:n kopplades in och kanal 13 valdes. *Grundnätets* accesspunkt ställdes in på kanal 8. Störningar kunde nu observeras och genomsnittshastigheten sjönk till 415 kbps. Alla mätvärden låg nu inom en liten hastighetsvariation.

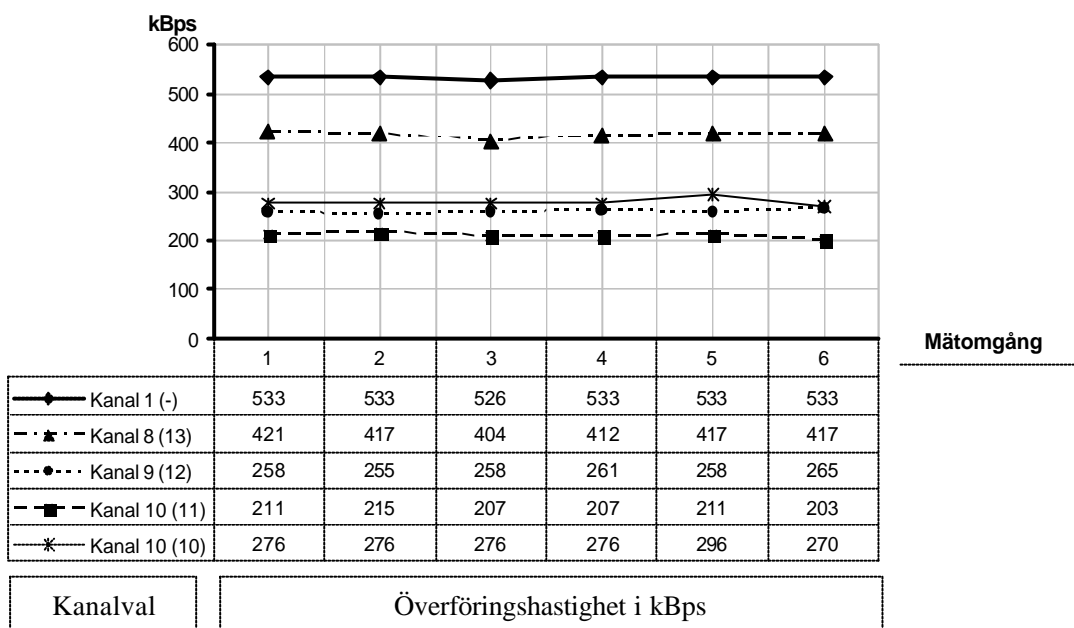


Diagram 4-3: Diagrammet presenterar endast värden från grundnätet (802.11b). Siffrorna i kolumnen kanalval visar den valda kanalen för grundnätet och inom parentes visas kanalen för det samkörda nätet.

Kanal 9 valdes på *grundnätets* AP och kanal 12 valdes på den andra AP:n. Genomsnittshastigheten sjönk drastiskt till 259 kbps och låg på samma jämna nivå under alla sex mätomgångarna.

Kanalbyte skedde, 10 på *grundnätets* AP och 11 på den störande AP:n. Genomsnittshastigheten låg på 209 kbps och sjönk med 50 kbps jämfört med då kanal 9 var vald på *grundnätet*.

Båda AP sattes till att köra trafik på kanal 10. Hastigheten vid varje mätomgång steg till att ligga mellan intervallet 270 – 296 kbps. Genomsnittet blev 278 kbps.

Alla mätningar vid mätpunkt 2 låg väldigt stabilt. Inga större variationer i hastighet iakttoogs.

4.2.4 Test B – 802.11b mot 802.11b vid MP3

De båda bärbara datorerna med PC-kort av standarden 802.11b, var placerade på mätpunkt 3 med 20 meter till accesspunkterna (se figur 4-3). Mätresultaten där endast *grundnätet* visades var nu lite mer varierande jämfört med tidigare mätpunkter. Högsta resultatet var 506 kbps och minsta resultatet var 396 kbps med ett medelresultat på 451 kbps. När *grundnätets* accesspunkt var inställt på kanal 8 och det störande nätets AP var inställt på kanal 13 fick vi en plan linje. Det skiljde endast 17 kbps mellan det största och det minsta mätvärdet. Den störande accesspunkten hade en viss påverkan på *grundnätet* detta medförde att den genomsnittliga överföringshastigheten sjönk med 136 kbps.

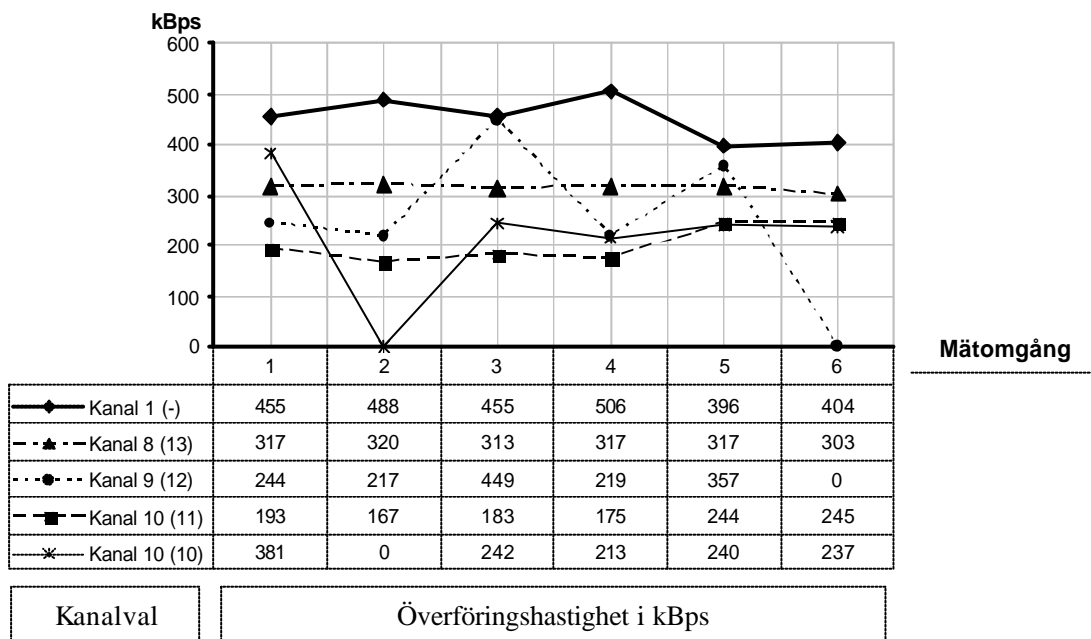


Diagram 44: Diagrammet presenterar endast värden från grundnätet (802.11b). Siffrorna i kolumnen kanalval visar den valda kanalen för grundnätet och inom parentes visas kanalen för det samkörda nätet.

När *grundnätets* accesspunkt stod på kanal 9 erhöles en klart större spridning på mätresultaten. Allt mellan 449 kbps och till att den bärbara datorn helt tappade kontakten med accesspunkten. Den bärbara datorn förlorade uppkopplingen vid mätning 6 efter att hämtat 37 576 kB. De två höga mätvärdena vid mätning 3 och 5 berodde på att den störande accesspunkten tappade kontakten med sin bärbara dator och *grundnätet* kunde sedan skicka sina paket ostört. Vid mätning 3 stannade störningsnätet efter ha hämtat 580 kB och vid mätpunkt 5 stannade det vid 10 288 hämtade kB. Kontakten med AP:n förlorades (se Appendix A, Test B). Båda PC-korten skannade efter kanaler med bättre signalnivå. PC-kortet som var associerat med *grundnätet* var mer frekvent i sitt skannande. När filnedladdningen började hade *grundnätets* AP störst överföringshastighet medan det störande nätet nästan var nere på 0 kbps. Detta ändrades efter ca 20 – 40 sekunder, då accesspunkterna tävlade om vem som skulle ha störst bandbredd.

Kanalerna stegades närmare så att de låg alldeles bredvid varandra, *grundnätet* på kanal 10. Då erhöles åter en rakare linje utan större värdeskillnader. Genomsnittshastigheten för mätningarna blev 201 kbps.

Då de båda accesspunkterna var ställda på samma kanal steg genomsnittet till 262 kbps. Men vid mätomgång 2 förlorades kontakten mellan bärbar dator och AP. Endast 1 732 kB överfördes.

4.2.5 Totala genomsnittshastigheten (kbps) – Test B

De mönstrade staplarna visar ett teoretiskt värde på *grundnätet* (Test A). Värdet har beräknats på följande sätt: Genomsnittet för Test A * 2. Detta för att erhålla värdet när två *grundnät* körs samtidigt, med så pass stor kanalseparation att de inte stör varandra.

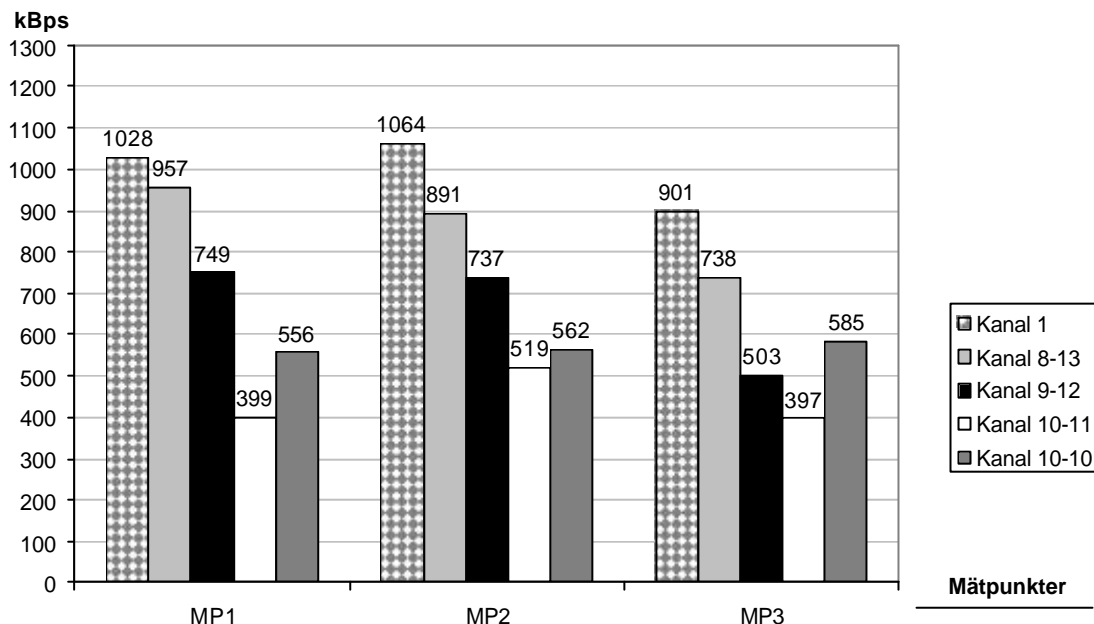


Diagram 4-5: De mönstrade staplarna beskriver ett teoretiskt värde, *grundnätet* * 2, när det inte utsätts för störningar. Resterande staplar beskriver det totala genomsnittet på *grundnätet* och det störande nätet, vid de tre mätpunkterna. Här observeras vad som händer med hastigheten vid olika kanalseparationer.

Resterande staplar visar *grundnätet* plus det störande nätets sammanlagda genomsnitt (se Appendix A, Test B). Resultatet för dessa genomsnitt tillsammans benämns *totalsumma*.

Exempel: *Totalsumman* för den första ljusgrå stapeln vid MP1 blir $428,60 + 528,75 \sim 957$ kbps.

De ljusgrå staplarna visar *totalsumman* då *grundnätet* är inställt på kanal 8 och 802.11b nätet är inställt på 13.

De svarta staplarna visar *totalsumman* för genomsnittsvärdena när accesspunkterna var inställda på kanal 9 respektive 12.

De vita staplarna visar *totalsumman* när kanalvalen är 10 och 11.

De mörkgrå staplarna visar *totalsumman* för de två genomsnitten när båda access-punkterna är inställda på kanal 10.

4.2.6 Test C – 802.11b mot 802.11g vid MP1

Den övre linjen i diagrammet visar *grundnätets* överföringshastighet, när tekniken körs separat på kanal 1 och utan störningar från andra trådlösa nät. Diagrammet visar att denna överföringshastighet ligger på en jämn nivå, (519-533 kbps), fast med en sänkning vid fjärde mätomgången (460 kbps). De övriga linjerna representerar *grundnätets* testvärde, när det samkörs med ett IEEE 802.11g-nätverk (Test C). De bärbara datorerna placeras här vid mätpunkt 1, med 6 meter till accesspunkten (se figur 4-3).

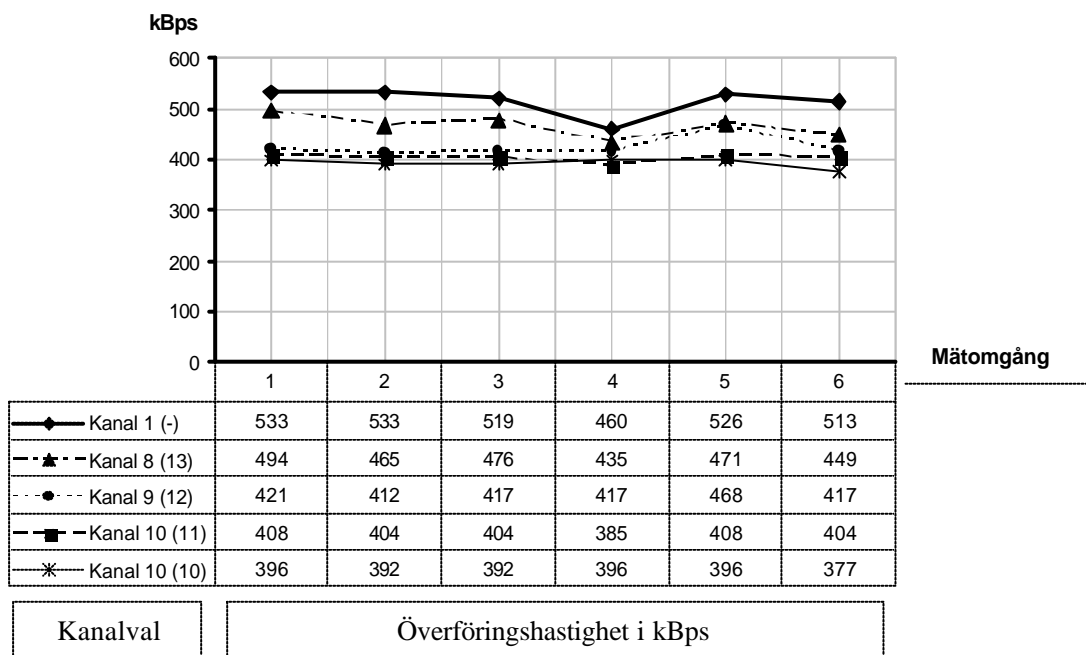


Diagram 4-6: Diagrammet samtliga linjer visar endast värden från *grundnätet* (802.11b). Siffrorna i kolumnen *kanalval* visar den valda kanalen för *grundnätet* och inom parantes visas kanalen för det samkörda nätet.

Vidare ställdes *grundnätets* AP in på kanal 8 och det samkörda nätet AP (802.11g) på kanal 13. Nedladdning av den förutbestämda filen startades samtidigt från de två bärbara datorerna. Vid en jämförelse med *grundnätets* kurva, där 802.11b körs separat, sjönk här den genomsnittliga överföringshastigheten med 10.5% (se Appendix A). Detta vid en kanalseparation på 4 kanaler.

Vid nästa steg i testet ändrades *grundnätets* kanal från 8 till 9 och 802.11g:s kanal från 13 till 12. Här observerades en ytterligare prestandaförlust (17%), när data sändes med endast 2 kanalers separation, det vill säga 15 MHz mellan de sändande kanalerna. Vilket innebar att en viss kanalöverlappning skedde, med ökade störningar som följd.

Nästa steg blev att modifiera *grundnätets* kanalinställning till 10 och det samkörda nätets kanalinställning till 11. Nu låg kanalerna strax intill varandra och prestandaförlusten sjönk med 22%, jämfört med den övre kurvan (*grundnätet*).

Avslutningsvis, när båda accesspunkterna låg på kanal 10, uppvisades en jämn kurva på överföringshastigheten och den genomsnittliga överföringshastigheten sjönk något, ner till 391 kbps (24%), jämfört med *grundnätet*.

4.2.7 Test C – 802.11b mot 802.11g vid MP2

Grundnätets medelöverföringshastighet var 532 kbps när testfilen överfördes utan störningar från andra nät. När vi skickade filen med påverkan från en 802.11g AP sjönk medelöverföringshastigheten till 484 kbps. Kanalerna var nu satta till 8 på *grundnätets* AP och 13 på det störande nätets AP. Vid mätomgång 1, 3, 4 och 5 bröts överföringen på 802.11g nätverket. Transmissionen översteg aldrig 150 kB vid dessa mätomgångar. Därav fick *grundnätet* tämligen hög överföringshastighet pga. att nätet fick jobba störningsfritt större delen av överföringen.

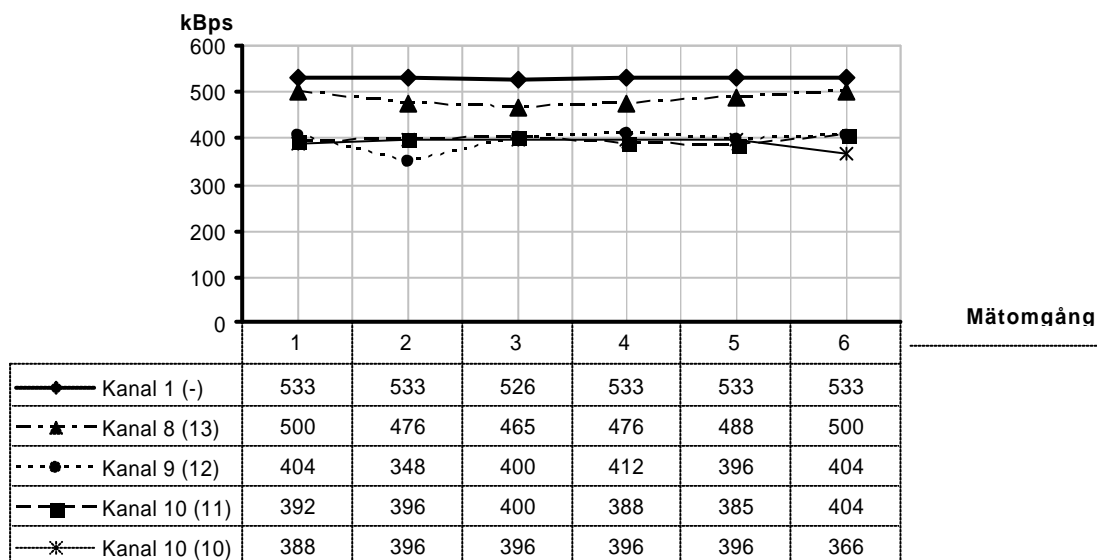


Diagram 47: Diagrammet presenterar endast värden från *grundnätet* (802.11b). Siffrorna i kolumnen *kanalval* visar den valda kanalen för *grundnätet* och inom parantes visas kanalen för det samkörda nätet.

När kanal 9 är inställd på *grundnätets* AP och 802.11g nätets AP stod på kanal 12 uppmättes en medelhastighet på 394kbps. Det enda anmärkningsvärda för överföringen

på kanal 9 är att mätomgång 2 och 6 har en liten försämring mot de övriga mätomgångarna.

Vid mätningarna då *grundnätets* AP stod på kanal 10 och det störande nätets AP stod på kanal 11 var de endast små förändringar mellan de olika mätomgångarna. Den mätomgång med högst mätvärde var omgång 6 med 404 kbps och den minsta var omgång 5 med 385 kbps.

Då båda accesspunkterna var inställda på kanal 10 hamnade medelöverföringshastigheten på 390 kbps. Ingen av mätomgångarna skiljde sig nämnvärt från de övriga, intervallet var 366- 396 kbps.

4.2.8 Test C – 802.11b mot 802.11g vid MP3

Mätningarna vid 20 meter från *grundnätets* AP, då denna var inställd på kanal 1, erhöles en medelöverföringshastighet på 451kbps. När sedan mätningar gjordes med *grundnätet* på kanal 8 och 802.11g nätet på kanal 13 sjönk medelhastigheten med 56 kbps.

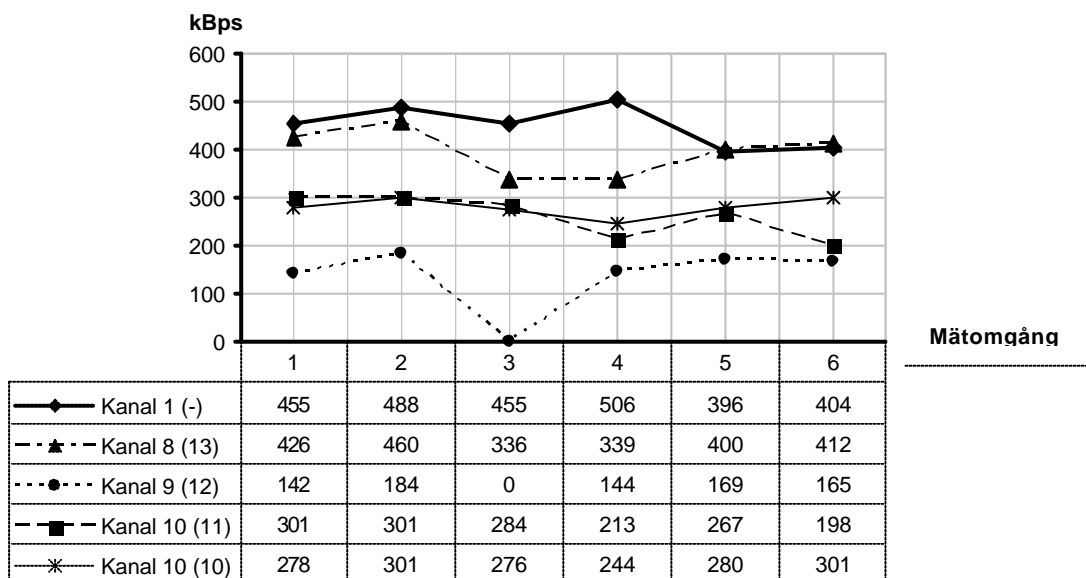


Diagram 48: Diagrammet presenterar endast värden från *grundnätet* (802.11b). Siffrorna i kolumnen *kanalval* visar den valda kanalen för *grundnätet* och inom parantes visas kanalen för det samkörda nätet.

Mätningarna på kanal 8 utfördes huvudsakligen utan störningar. Detta berodde på att det störande nätverkets överföring upphörde någonstans mellan 16 och 32 kB i alla mätomgångarna (se Appendix A, Test C).

En dramatisk sänkning av medelhastigheten inträffade när *grundnätet* låg på kanal 9 och 802.11g nätet på kanal 12. Medelvärde för fem av de sex omgångarna, hamnade på 161

kBps. Den tredje testomgången upphörde efter 20 388 kB:s överföring. Denna räknas inte med i medelvärdet.

Då kanalerna ställdes om till 10 respektive 11, ökade åter medelhastigheten anmärkningsvärt till 260 kBps. Båda nätens överföringar fullföljdes utan avbrott.

Båda accesspunkterna ställdes in på kanal 10. Då erhöles en kurva vars högsta värde mättes upp till 301 kBps och ett lägsta värde på 244 kBps.

4.2.9 Totala genomsnittshastigheten (kBps) – Test C

De mönstrade staplarna visar ett teoretiskt värde på *grundnätet* (Test A). Värdet har beräknats på följande sätt: Genomsnittet för Test A * 2. Detta för att erhålla värdet när två *grundnät* körs samtidigt, med så pass stor kanalseparation att de inte stör varandra.

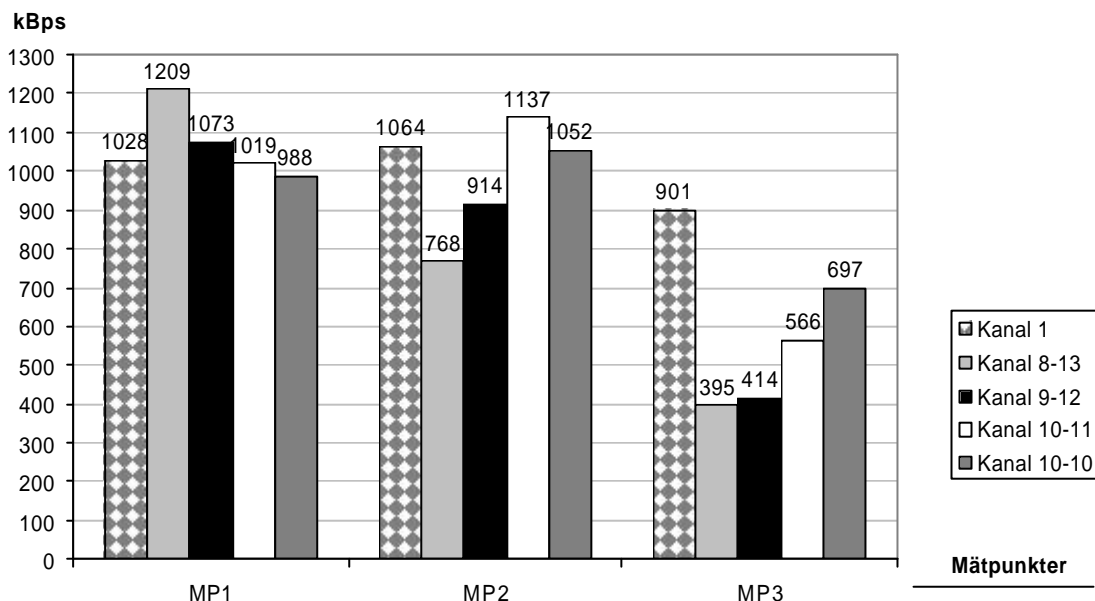


Diagram 49: De mönstrade staplarna beskriver ett teoretiskt värde, *grundnätet* * 2, när det inte utsätts för störningar. Resterande staplar beskriver det totala genomsnittet på *grundnätet* och det störande nätet, vid de tre mätpunkterna. Här observeras vad som händer med hastigheten vid olika kanalseparationer.

Resterande staplar visar *grundnätet* plus det störande nätets sammanlagda genomsnitt (se Appendix A, Test C). Resultatet för dessa genomsnitt tillsammans benämns *totalsumma*.

Exempel: *Totalsumman* för den första ljusgrå stapeln vid MP1 blir $464.99 + 744.455 \sim 1209$ kBps.

De ljusgrå staplarna visar *totalsumman* då *grundnätet* är inställt på kanal 8 och 802.11g nätet är inställt på 13.

De svarta staplarna visar *totalsumman* för genomsnittsvärdena när accesspunkterna var inställda på kanal 9 respektive 12.

De vita staplarna visar *totalsumman* när kanalvalen är 10 och 11. De mörkgrå staplarna visar *totalsumman* för de två genomsnitten när båda accesspunkterna är inställda på kanal 10

4.2.10 Test D – 802.11b mot Bluetooth vid MP1

I test D mäts hur *grundnätet* påverkas av Bluetooth. Det första testet med BT var på 6 meters avstånd. Överst i diagrammet visas *grundnätets* överföringshastighet utan störningar med ett genomsnitt på 514 kBps. Mätomgång 4 hade ett lite lägre mätvärde än de övrig i intervallet.

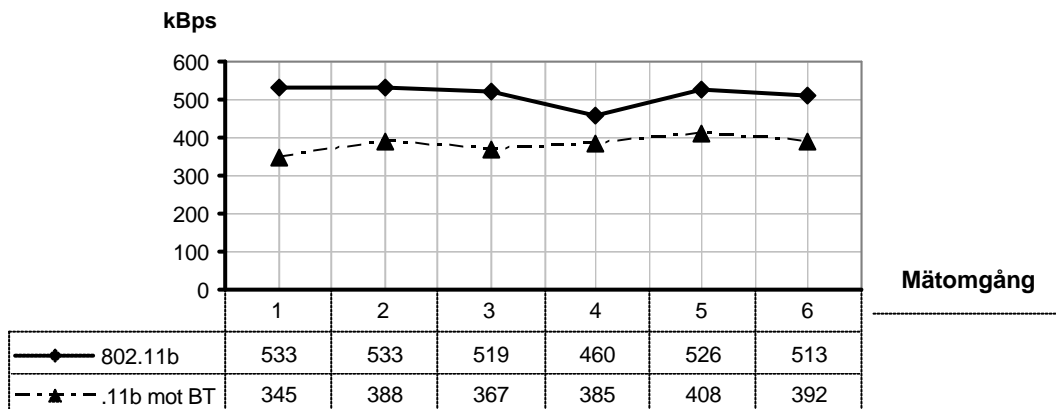


Diagram 4-10: Diagrammet presenterar endast värden från *grundnätet* (802.11b).

Ett störande BT nät upprättades som sände parallellt med *grundnätet*. Medelhastigheten sjönk då till 381 kBps på *grundnätet*. Det högsta uppmätta värdet 408 kBps var vid mätomgång 5. Lägst hamnade mätning 1 med en hastighet på 345 kBps.

1.1.1 Test D – 802.11b mot Bluetooth vid MP2

Vid mätpunkt två erhöles en högre medelhastighet än vid mätpunkt ett. Detta var på *grundnätet*, utan störningar från andra testnät. Medelhastigheten hamnade på 532 kBps.

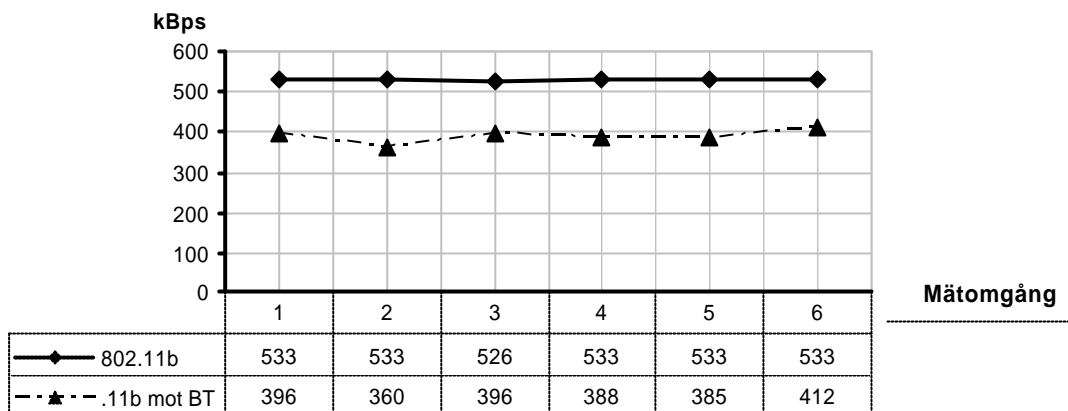


Diagram 4-11: Diagrammet presenterar endast värden från *grundnätet* (802.11b).

När Bluetooth utrustningen kopplades på och samma tester utfördes, sjönk medelhastigheten påtagligt. Resultatet för medelhastigheten blev nu 390 kbps. Det enda anmärkningsvärda i detta diagram är den lilla hastighetssvacka vid mätomgång 2, då resultatet blev 360 kbps. För övrigt följer mätvärdena en plan linje.

Anmärkningsvärt: När vi gjorde ett litet test med endas BT vid samma mätpunkt erhöles en överföringshastighet på 40-50 kbps. När vi sedan började sända parallellt med *grundnätet* sjönk BT hastigheten till mellan 6-8 kbps.

4.2.11 Test D – 802.11b mot Bluetooth vid MP3

För IEEE 802.11b vid mätpunkt 3 blev mätningarna en aning oregelbundna, jämfört med MP2. Mätningarna hade ett intervall från 396 kbps till 506 kbps. Genomsnittet hamnade på 451 kbps för de sex mätomgångarna.

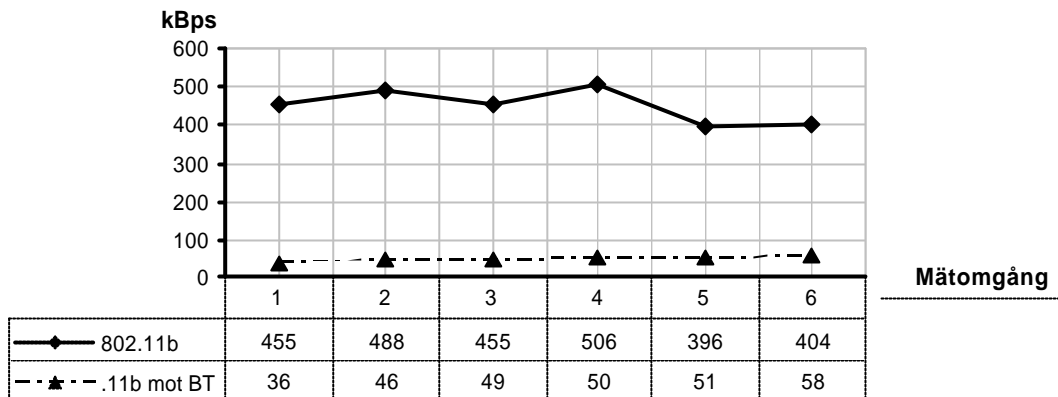


Diagram 4-12: Diagrammet presenterar endast värden från grundnätet (802.11b).

När överföring parallellt med Bluetooth nätet gjordes, sjönk genomsnittshastigheten dramatiskt. Mätresultaten penklade mellan låga 36 kbps till 58 kbps. Bluetooth utrustningen höll en konstant överföringshastighet på 2 kbps, detta kan jämföras med Bluetooth's teoretiska överföringshastighet som är 90 kbps.

4.3 Problem som uppstod

Att finna en lämplig lokal att utföra testerna i var till en början lite svårt. Vi ville låna en lokal där utrustningen kunde få vara ifred och inte behövdes plockas ner under natten. Detta löste personalen på e-avdelningen som ordnade en utmärkt lokal. Nästa problem att handskas med var att samla ihop den utrustning som skulle ingå i de olika testerna. 802.11g-utrustningen var svårt att få tag på. Den hade nyligen släppts på den svenska marknaden och leveranstiden var oklar. Detta löstes och efter två veckor hade vi utrustningen till förfogande.

Vissa problem uppstod när drivrutiner till TDK Bluetooth Adaptor skulle installeras på Windows XP. Detta löstes genom att ladda hem den senaste drivrutinen från TDK's webbsida. Själva testerna fortlöpte sedan utan större problem.

5 Analys och diskussion

TEST A

Den teoretiska hastigheten i ett IEEE 802.11b nät är 11 Mbit/s. Denna hastighet uppnås aldrig i praktiken. Vid Test A då *grundnätet* kördes ensamt blev det högsta mätvärdet 4,3 Mbit/s (533,333 kbps). Detta kan bero på att de kontrollpaket där RTS och CTS ingår skickas med barker kod i en hastighet av 1 eller 2 Mbit/s. När själva datapaketet skickas sker det med CCK modulation och då med en hastighet av 5,5 eller 11 Mbit/s beroende på signalstyrka. De mätvärden som dokumenterats är den *genomsnittliga* överföringshastigheten. Vid samtliga tester på mätpunkt 1, 2 och 3 var det inga större avvikelser på hastigheterna. Det som kan uppmärksammas är dock att mätningarna vid mätpunkt 2 fick ett högre genomsnittsvärde än vid mätpunkt 1. Troligen var mätpunkt 2

en gynnsammare placering för mottagning. En möjlig orsak till den lägre genomsnittshastigheten vid mätpunkt 1 kan vara ofördelaktiga reflektioner i testrummet.

TEST B

Ju närmare kanalerna kommer varandra desto mer överlappning erhålls. Större överlappning medför ökade störningar och fler omsända paket. När överföring sker på samma kanal kan båda PC-korten och accesspunkterna uppfatta varandras RTS och CTS paket. Annars uppfattas de bara som störningar.

I flertalet mätningar hade *grundnätet* en sämre genomsnittshastighet än det störande nätet. Detta beror troligtvis på en bättre arkitektur hos PC-kortet från Lucent som användes på det störande nätet. Lucent-kortet har väldigt bra mätvärden i oberoende tester speciellt när det gäller antennstyrka och filtrering av signal. Vid mätpunkt 3 så förlorade dock Lucent-kortet uppkopplingen 4 ggr och överföringen avbröts. Även grundnätets PC-kort (D-Link) förlorade sin uppkoppling 2 ggr.

När folk gick i korridoren, där mätpunkterna 2 och 3 befanns sig, påverkades överföringen negativt. Detta kunde observeras på FTP-servern där överföringshastigheten visades i realtid. Denna observation gäller för samtliga tester. Enligt de program som visade PC-kortets aktivitet så skannade båda korten efter en bättre kanal. Detta görs troligen när signalstyrkan sjunker under ett visst värde. Skanningen sker emellan varje mottaget paket, det vill säga, PC-kortet tar emot ett paket. Skannar efter en bättre kanal. Går sedan tillbaks till ursprungskanalen, tar emot ytterligare ett paket. Skannar efter kanal osv.

Då avståndet ökar mellan accesspunkt och mottagare blir signalen svagare och svårare att tolka. Till slut kan inte signalen urskiljas från bruset och överföringen bryts.

Diagrammet (se diagram 4-4) som visar den sammanlagda gemensamma hastigheten visar klart och tydligt att mest störningar uppstår när kanalseparationen är liten. Då får accesspunkterna skicka om de paketen som har krockat. I och med detta sjunker den totala genomsnittshastigheten. När accesspunkterna sänder på samma kanal uppfattas inte trafiken som störningar utan då delar accesspunkterna på mediet och genomsnittshastigheten stiger.

TEST C

I Test C används produkter (Draft 802.11g) som inte är standardiserade och är där med helt nya på marknaden. Grunden kommer från IEEE 802.11b, men den använder sig av en ny modulerings teknik för att få upp överföringshastigheten. Dessa produkter är inte WI-FI märkta och interoperabiliteten är inte garanterad. Anledningen till att produkterna är med i testet är att framtiden anses vara ljus för just 802.11g i och med att de arbetar på samma frekvens och skall vara bakåtkompatibla med IEEE 802.11b. Överföringarna med IEEE 802.11b lyckas bra. Det som är anmärkningsvärt är att Draft 802.11g förlorar sin uppkoppling mot AP:n i ett flertal fall just vid en kanalseparation på 25 MHz. Detta inträffade vid mätpunkt 2 och 3.

Vid en analys av testresultaten i Diagram 4-9 och Appendix A, Test C, visar att 802.11g har problem med överföringarna när kanalseparationen är stor (dvs.25 MHz).

Flertalet överföringar bryts vid mätpunkt 2 och 3. Om detta beteende är specifikt för fabrikatet eller 802.11g i allmänhet är svårt att avgöra. När det inte finns någon specifikation över standarden från IEEE har många tillverkare egna lösningar på sina produkter.

TEST D

Bluetooth och IEEE 802.11b påverkar varandra negativt, speciellt vid mätpunkt 3. Där den genomsnittliga överföringshastigheten endast är 0,4 Mbit/s för IEEE 802.11b och 0,016 Mbit/s för Bluetooth. De inverkar på varandra för att de använder olika modulerings tekniker. När de olika teknikerna nyttjar samma del av ISM-bandet stör de ut varandra och detta medför längre överföringstider.

Enligt våra tester genererar Bluetooth AP:n mycket störningar och passar inte in i en miljö med 802.11b utrustning. För att få ut bästa möjliga prestanda ur ett IEEE 802.11b nätverk bör det finnas så få störningskällor som möjligt, detta gäller generellt sett för alla WLAN.

6 Slutsatser

Våra mätningar visar att trådlösa nätverk är störningskänsliga. Detta resulterar i dålig överföringshastighet. Ett trådlöst nätverk lämpar sig inte i dagsläget för stora överföringsmängder. Dock är det utmärkt i flexibla miljöer med lägre krav på hastighet, såsom generell användning i kontorsmiljöer.

Vid upprättning av flera trådlösa nät är det viktigt att tänka på valet av kanal. Detta är speciellt viktigt när man upprättar flera accesspunkter inom ett begränsat område, på grund av att frekvensöverlappning medför sänkt prestanda. Man bör göra noggranna mätningar innan ett trådlöst nätverk installeras, för att få bästa möjliga täckning där uppkopplingar mot nätverket kommer att ske.

Det som kan ställa till med problem är användandet av produkter från olika fabrikat. Fördelaktligen bör produkter med Wi-Fi märkning användas, för att garantera operabilitet.

Tillförlitligheten i ett trådlöst nätverk är inte 100%. En AP är en single-point-of-failure, och slås/störs den ut så ligger hela nätet nere. Man bör alltså inte bygga upp sitt nät med endast en AP utan redundans krävs. När paket sänds på ett trådbaserat nätverk kan man nästan alltid förlita sig på att mottagaren erhåller sina paket korrekt. När sändning sker på en radiolänk är det annorlunda, speciellt på ett licensfritt frekvensband, som ISM-bandet. Här måste man räkna med att störningar finns.

6.1 Rekommendationer till fortsatt arbete

Efter det att mätningarna har gjorts och resultaten har analyserats har ett flertal frågor kommit upp som går att arbeta vidare med.

Det varit intressant att se hur många paket som förloras vid olika störningsmoment. Det hade även varit intressant att med en spektrumanalysator mäta radiovågornas styrka/utbredning vid de olika mätpunkterna. I och med att de blir olika fördröjningar när data skickas över det trådlösa mediet hade det varit intressant att se hur det fungerar med IP-telefoni, videokonferenser och andra realtids applikationer.

Intressant att undersöka är också hur överföringshastigheten påverkas när den är krypterad. De mätomgångar som gjorts har varit under en begränsad tid. Det hade varit intressant att göra mätningar under en längre tidsperiod samt fler mätomgångar för att få ett mer exakt genomsnittsvärde.

7 Källförteckning

Andren, Carl & Webster, Mark. *CCK Modulation Delivers 11Mbps for High Rate IEEE 802.11 Extension*. [Elektronisk].

Tillgänglig:

http://www.intersil.com/design/prism/papers/CCK_Mod_Delivers_11Mbps.htm

[2003-05-12]

Att förstå telekommunikation. Del 1 (1996).

Lund, Studentlitteratur.

Bergström, Joakim (2003). *Äntligen kan ditt hem bli sladdlöst*.
PC för alla. Nr 4, s. 80-81.

Bing, Benny (2000). *High-speed wireless ATM and LAN:s*.

Norwood: Artech house.

Bonniers Compact Lexikon (1995).

Bonniers Lexikon AB.

Carney, William (2002). *The Future of Wireless LANs will be Multimode*. [Elektronisk]

Tillgänglig:

http://focus.ti.com/pdfs/vf/bband/80211_wp_multimode.pdf

[2003-05-12]

Certification Success (2003). *02/17/03: Gartner views and predictions for WLAN and Bluetooth* [Elektronisk].

Tillgänglig:

<http://www.certificationsuccess.com/index.cfm?pageid=333&siteid=1>

[2003-05-07]

Originally published by Gartner, November 18, 2002.

Ericsson (1997). *Hälsa och säkerhet inom mobiltelefoni*. [Elektronisk].

Tillgänglig:

<http://www.ericsson.com/health/statement/halsasakerhet.pdf>

[2003-04-03]

Gast, Matthew S (2002). *802.11 Wireless Networks, The Definitive Guide*
USA, O'Reilly.

Geier, Jim (1999). *Wireless LANs, Implementing Interoperable Networks*.

USA, Macmillan Technical Publishing.

Govanius, Gary (2000). *TCP/IP 24sju*.

Sundbyberg: Pagina.

Gralla, Preston (2001). *How Wireless Works*.
Indianapolis: Que.

Hedemalm, Gunvald (1999). *Nätverk och kommunikation från grunden*.
Sundbyberg: Pagina.

Held, Gil (2001). *Data over Wireless Networks, Bluetooth, WAP & Wireless LANs*.
New York, McGraw-Hill.

Jensen, Stig, Gjelstrup, Arne & Berti, Valentino (2000). *Data kommunikation*.
Stockholm: Liber.

Landström, Daniel & Åström, Magnus (1999). *DFT och filterdesign i ett kommunikationssystem*.

Tillgänglig:

http://www.es.lth.se/ugradcourses/tks-e/lab_2.pdf

[2003-05-13]

Lund: Lunds universitet.

Leira, Jardar (2003). *IEEE 802.11*. Forskningsnätet i Norge. [Elektronisk].

Tillgänglig:

<http://www.uninett.no/wlan/ieee80211.html>

[2003-04-28].

Lindberg, Håkan (2002). *Trådlösa nätverk – WLAN, WEP och Wi-fi*.

Lund, Studentlitteratur.

Petersson, Janne (1997). *Radiovågors utbredning*. Scoutradiogruppen. [Elektronisk].

Tillgänglig:

<http://hem.passagen.se/sk0rg/cept/vagutbr1.html>

[2003-04-20]

Pozar, David M (2001). *Microwave and RF Design of Wireless Systems*.

New York: Wiley.

Schwartz, Sorin M (2001). *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) vs. Direct sequence Spread Spectrum (DSSS) in the broadband wireless access and WLAN arenas*. [Elektronisk].

Tillgänglig:

[http://www.alvarion-](http://www.alvarion-usa.com/RunTime/Materials/KnowledgePoolFiles/C3_freq_hop_vs_direct_seq.pdf)

[usa.com/RunTime/Materials/KnowledgePoolFiles/C3_freq_hop_vs_direct_seq.pdf](http://www.alvarion-usa.com/RunTime/Materials/KnowledgePoolFiles/C3_freq_hop_vs_direct_seq.pdf)

[2003-04-28].

Shoemake, Matthew B (2001). *Wi-Fi (IEEE 802.11b) and Bluetooth*.

Texas Instruments. [Elektronisk].

Tillgänglig:

<http://www.csiesr.jussieu.fr/ssr/systeme/sansfil/coexistence-bluetooth.pdf>

[2003-04-28].

Svärdström, Anders (1998). *Modulation och teleteknik*
Lund: Studentlitteratur.

Zyren, Jim (2002). *IEEE802.11g ny höghastighetsstandard*. [Elektronisk].
Tillgänglig:
<http://www.edtnscandinavia.com/tek/OEG20020614S0035>
[2003-05-03].

Övriga källor:

Bilder i figur 3-12, 4-1 och 4-2 är hämtade från: <http://www.iconbazaar.com/>

Figur 3-7 är hämtad från boken *Trådlösa nätverk*, med tillstånd av Håkan Lindberg (Lindberg, 2002, s. 289).

Övriga bilder och figurer är egenhändigt gjorda.

Appendix A - Mätprotokoll

Här nedan presenteras de fullständiga mätresultaten.

Test A

Tabellen visar 802.11b:s (*grundnätet*) sex olika testresultat vid tre olika mätpunkter, när trafik körs ensamt på kanal 1. D-Link's programvara visar en länkhastighet på 11 Mbit/s vid samtliga mätpunkter.

Presentation av mätvärde enligt följande: **sek/kBps**.

TEST A	802.11b	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6	Genomsnitt
		MP1	75/533,333	75/533,333	77/519,481	87/459,770	76/526,316	78/512,812	78/514,174
		MP2	75/533,333	75/533,333	76/526,316	75/533,333	75/533,333	75/533,333	75.2/532,163
		MP3	88/454,545	82/487,805	88/454,545	79/506,329	101/396,040	99/404,040	89,5/450,551

Test B

Tabellen visar IEEE 802.11b:s (*grundnätet*) sex olika testresultat, vid tre olika mätpunkter mot IEEE 802.11b (Lucent).

Presentation av mätvärde enligt följande: **sek/kBps**.

	Kanal	Märke	1	2	3	4	5	6	Genomsnitt
MP 1	8	D-Link	93/430,108	93/430,108	93/430,108	93/430,108	93/430,108	95/421,053	93,3/428,60
	13	Lucent	78/512,821	76/526,316	75/533,333	75/533,333	75/533,333	75/533,333	75,7/528,7451
	9	D-Link	150/266,667	150/266,667	152/263,158	152/263,158	157/254,777	150/266,667	151,8/259,016
	12	Lucent	77/519,481	77/519,481	81/493,827	79/506,329	104/384,615	78/512,821	82,7/489,526
	10	D-Link	229/174,672	232/172,414	(1)	219/182,648	211/189,573	214/186,916	221/181,245
	11	Lucent	203/197,044	214/186,916	166/240,964	186/215,054	168/238,095	175/228,571	185,3/217,774
	10	D-Link	145/275,862	144/277,778	143/279,720	146/273,973	142/281,690	143/279,720	143,8/278,124
		Lucent	137/291,971	138/289,855	138/289,855	135/296,296	134/298,507	133/300,752	135,8/277,878
MP 2	8	D-Link	95/421,053	96/416,667	99/404,040	97/412,371	96/416,667	96/416,667	96,5/414,578
	13	Lucent	76/526,316	104/384,615	88/454,545	89/449,438	78/512,821	75/533,333	85/476,845
	9	D-Link	155/258,065	157/254,777	155/258,065	153/261,438	155/258,065	151/264,901	154,3/259,219
	12	Lucent	82/487,805	88/454,545	91/439,560	82/487,805	83/481,928	78/512,821	84/477,411
	10	D-Link	190/210,526	186/215,054	193/207,254	193/207,254	190/210,526	197/203,046	191,5/208,943
	11	Lucent	128/312,500	123/325,203	132/303,030	132/303,030	125/320,0	135/296,296	129,2/310,01
	10	D-Link	145/275,862	145/275,862	145/275,862	145/275,862	135/296,296	148/270,270	143,8/278,336
		Lucent	140/285,714	137/291,971	138/289,855	137/291,971	151/264,901	144/277,778	141,2/283,703
MP 3	8	D-Link	126/317,460	125/320,0	128/312,500	126/317,460	126/317,460	132/303,030	127,2/314,652
	13	Lucent	112/357,143	88/454,545	88/454,545	100/400,0	92/434,783	91/439,560	95,2/423,43
	9	D-Link	164/243,902	184/217,391	89/449,483	183/218,579	112/357,143	(2)	146,4/297,3
	12	Lucent	196/204,082	226/176,991	(3)	184/217,391	(4)	177/225,989	195,8/206,113
	10	D-Link	207/193,237	239/167,364	218/183,486	228/175,439	164/243,902	163/245,399	203,2/201,471
	11	Lucent	238/168,067	212/188,679	164/243,902	212/188,679	210/190,476	(5)	207,2/195,961
	10	D-Link	105/380,952	(6)	165/242,424	188/212,766	167/239,521	169/236,686	158,8/262,47
		Lucent	(7)	132/303,030	123/325,203	121/330,579	120/333,333	124/322,581	124/322,945

Kommentarer till tabellen:

Följande siffror visar:

sek/kBps – den hämtade filens storlek, när uppkopplingen gick förlorad:

- (1) 177/102,802 kB/s – hämtat 18196 kB
- (2) 151/248,848 kB/s – hämtat 37576 kB
- (3) 80/7,250 kB/s – hämtat 580 kB
- (4) 64/160,750 kB/s – hämtat 10288 kB
- (5) 129/163,845 kB/s – hämtat 21136 kB
- (6) 198/140,828 kB/s – hämtat 27884 kB
- (7) 25/69,280 kB/s – hämtat 1732 kB

Test C

Tabellen visar IEEE 802.11b:s (*grundnätet*) sex olika testresultat, vid tre olika mätpunkter mot 802.11g (Link sys).

Presentation av mätvärde enligt följande: **sek/kBps**.

TEST C	MP 1	Kanal	Märke	1	2	3	4	5	6	Genomsnitt
		8	D-Link	81/493,827	86/465,116	84/476,190	92/434,783	85/470,588	89/449,438	86,2/464,99
		13	Linksys	42/952,381	71/563,380	70/571,429	52/769,231	46/869,565	54/740,741	55,8/744,455
		9	D-Link	95/421,053	97/412,371	96/416,667	96/416,667	98/468,163	96/416,667	96,3/425,265
		12	Linksys	64/625,0	58/689,655	60/666,667	58/689,655	69/579,710	63/634,921	62/647,601
		10	D-Link	98/408,163	99/404,040	99/404,040	104/384,615	98/408,163	99/404,040	99,5/402,177
		11	Linksys	66/606,061	59/677,966	69/579,710	80/500,0	58/689,655	62/645,161	65,7/616,426
		10	D-Link	101/396,040	102/392,157	102/392,157	101/396,040	101/396,040	106/377,358	102,2/391,63
			Linksys	82/487,805	71/563,380	60/666,667	67/597,015	60/666,667	67/597,015	67,8/596,425
		MP 2	8	D-Link	80/500,0	84/476,190	86/465,116	84/476,190	82/487,805	80/500,0
13	Linksys		(1)	143/279,720	(2)	(3)	(4)	139/287,770	141/283,745	
9	D-Link		99/404,040	115/347,826	100/400,0	97/412,371	101/396,040	99/404,040	101,8/394,05	
12	Linksys		62/645,161	94/425,532	74/540,541	72/555,556	84/476,190	84/476,190	78,3/519,862	
10	D-Link		102/392,157	101/396,040	100/400,0	103/388,350	104/384,615	99/404,040	101,5/394,20	
11	Linksys		54/740,741	54/740,741	54/740,741	53/754,717	52/769,231	56/714,286	53,8/743,41	
10	D-Link		103/388,350	101/396,040	101/396,040	101/396,040	101/396,040	109/366,972	102,7/389,91	
	Linksys		75/533,333	61/655,738	59/677,966	58/689,655	55/727,273	58/689,655	61/662,27	
MP 3	8	D-Link	94/425,532	87/459,770	119/336,134	118/338,983	100/400,0	97/412,371	102,5/395,47	
	13	Linksys	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	-	
	9	D-Link	282/141,844	217/184,332	(11)	277/144,040	237/168,776	242/165,289	251/160,856	
	12	Linksys	272/147,059	77/519,481	180/222,222	288/138,889	154/259,740	173/231,241	190,7/253,11	
	10	D-Link	133/300,752	133/300,752	141/283,688	188/212,766	150/266,667	202/198,020	157,9/260,44	
	11	Linksys	113/353,982	115/347,826	126/317,460	162/246,914	121/330,579	170/235,294	134,5/305,35	
	10	D-Link	144/277,778	133/300,752	145/275,862	164/243,902	143/279,720	133/300,752	143,7/279,8	
		Linksys	88/454,545	91/439,560	95/421,053	112/357,143	98/408,163	95/421,053	96,5/416,92	

Kommentarer till tabellen:

Följande siffror visar:

sek/kBps – den hämtade filens storlek, när uppkopplingen gick förlorad:

- | | | | |
|------|------------------------------------|------|-------------------------------|
| (1) | 84/0,524 kB/s – hämtat 44 kB | (2) | 94/1,404 kB/s – hämtat 132 kB |
| (3) | 80/0,500 kB/s – hämtat 40 kB | (4) | 56/2,071 kB/s – hämtat 116 kB |
| (5) | 64/0,188 kB/s – hämtat 12 kB | (6) | 64/0,250 kB/s – hämtat 16 kB |
| (7) | 61/0,197 kB/s – hämtat 12 kB | (8) | 69/0,232 kB/s – hämtat 16 kB |
| (9) | 61/0,525 kB/s – hämtat 32 kB | (10) | 64/0,250 kB/s – hämtat 16 kB |
| (11) | 199/102,452 kB/s – hämtat 20388 kB | | |

Test D

Tabellen visar IEEE 802.11b (*grundnätet*) mot Bluetooth.

Presentation av mätvärde enligt följande: **sek/kBps**.

TEST D	802.11b mot Bluetooth	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6	Genomsnitt
		MP1	116/344,828	103/388,350	109/366,972	104/384,615	98/408,163	102/392,157	105,3/380,71
		MP2	101/396,040	111/360,360	101/396,040	103/388,350	104/384,615	97/412,371	102,8/389,63
		MP3	1105/36,199	859/46,566	818/48,900	806/49,628	785/50,955	691/57,887	844/48,356

Kommentar till tabellen:

Bluetooth värden är ej redovisade pga. den långsamma överföringstiden och att dessa värden ej är väsentliga för testet.