



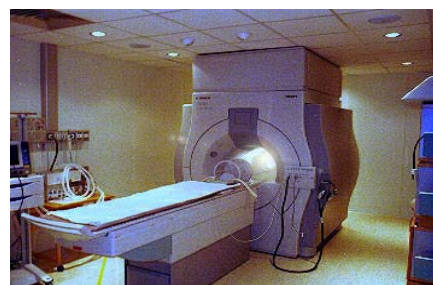
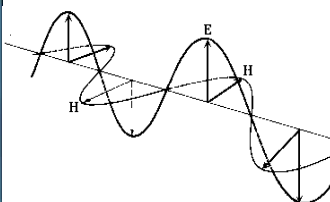
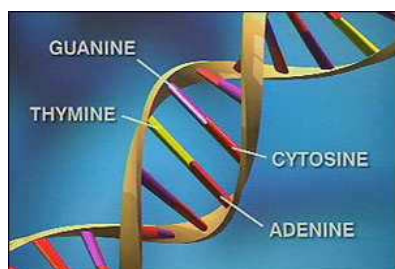
Høgskolen i Bergen

Avdeling for helse-, og sosialfag.  
Radiogradutdanningen.

## Fordypningsoppgave i radiografi:

**Elektromagnetisk RF strålingen og ikke-termisk påvirkning av menneskets celler.**

**Electromagnetic Radio Frequency field and non-thermal effects on humans cells.**



Skrevet av: Jan Henning Holmedal Lustrup, R-01. Radiografhøgskolen, Bergen

Kandidatnummer: 321

Veileder: Mona Øynes

Innleveringsfrist: 13 Mai 2004

Antall ord: 8792



## **FORORD.**

*Arbeidet med denne oppgave har gitt meg mye lærdom og innsikt innen faget radiografi. Jeg har tilegnet meg kunnskaper innen det teoretiske, metodiske og forskningsmessige. Emnet jeg har valgt er svært interessant da den økende bruken av MR og andre former for elektromagnetiskstråling (mobiltelefoni, trådløs datakommunikasjon med mer.) er sterkt økende og problematikken dagsaktuell. Jeg har skaffet til veie og studert forskningsrapporter fra både innland og utland, som danner basis for oppgaven min. og føler resultatet vil være av interesse for fremtidig studenter ved høyskolen.*

*Jeg vil rette en takk til min veileder Mona Øynes for god veiledning og en takk til forsker Anne Bjørnstad ved RF-Akvamiljø for omvisning på deres laboratorium for informasjon om "Comet Assay" metoden innen DNA analyse. Jeg må også få takke høyskolens bibliotek for fremskaffelse av utallige forskningsartikler som er blitt bestilt og gjort tilgjengelig for meg. Også MR avdelingen på SiR skal ha takk for bistand med fremskaffelse av teknisk dokumentasjon og håndbøker for sine MR anlegg.*

*Som aktiv 3. generasjon i en radioamatørfamilie, har jeg i hele mitt 48 årige liv blitt utsatt for elektromagnetisk stråling i HF, VHF, UHF og SHF området, og jeg har nå fått en bedre forståelse for hvilken mulige innvirkninger strålingen har påført meg og mine omgivelser.*

*Bergen 12 Mai, 2004*

*Med hilsen,*

---

*Jan Henning Holmedal Lustrup*

## **ABSTRACT**

### ***Electromagnetic Radio Frequency field and non-thermal effects on humans cells.***

**Question:** Is non-thermal damage to human Deoxyribo Nucleic Acid (DNA) due to pulsed non-ionized electromagnetic RF irradiation under examinations using Nuclear Magnetic Resonance Imaging apparatus (MRI) possible ?

### **Purpose of this paper.**

The purpose of this paper is to search for possible side effects related to DNA caused by electromagnetic RF irradiation used in MRI examinations today and in the near future.

### **Method used.**

I have chosen a qualitative method utilizing literature study.

### **Results.**

I have found numerous articles representing radiation hazards in the electromagnetic spectrum, but not many within the frequencies used by MRI apparatus. There is a great deal of research in the microwave band, but due to the large gap between the microwave band and MRI frequencies I chose to concentrate near and within the relevant VHF band area (around 30-300 MHz). I elected six articles of interest covering human RF exposure, and analyzed these.

### **Conclusion.**

After careful consideration, while keeping in mind the short time our patients are under MRI examinations and being exposed to RF irradiation, I could with comfort state that no known side effects or hazards would hurt our patient or us radiographers with the SAR values used in MRI. I found no records or reports of long-term, non-thermal RF injuries relating to RF irradiation in MRI. While long-term risk is still an open question, and while following the guidelines of "Professional Standards for the Education of Radiographers", we must continue to do research in this area, while always having patient & personnel safety in mind.

# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1.0</b>	<b>INNLEDNING.....</b>	<b>4</b>
1.1	PRESENTASJON AV TEMA OG RELEVANS FOR RADIOGRAFFUNKSJONEN.....	4
1.2	HENSIKTEN MED OPPGAVEN .....	5
1.3	PROBLEMSTILLING.....	6
1.4	PROBLEMSTILLINGS AVGRENSNINGER.....	6
<b>2.0</b>	<b>TEORI.....</b>	<b>8</b>
2.1	ELEKTROMAGNETISKE STRÅLINGSFELT .....	8
2.2	IONISERENDE STRÅLING.....	8
2.3	IKKE-IONISERENDE STRÅLING .....	9
2.4	RF STRÅLENS DANNELSE.....	11
2.5	RF SYSTEMET INNEN MR.....	14
2.6	NASJONALE OG INTERNASJONALE BESTEMMELSER OM RF STRÅLEGRENSER.....	17
2.7	SAR VERDIER INNEN MR UNDERSØKELSER.....	21
2.8	DNA, CELLENES OPPBYGNING OG LIVSSYKLUS .....	22
2.9	DNA OG RF STRÅLING.....	25
<b>3.0</b>	<b>METODE.....</b>	<b>27</b>
3.1	VALG AV METODE.....	27
3.2	KRITIKK AV KILDER OG DENS VALIDITET OG RELIABILITET .....	27
3.3	INNSAMLING AV DATA .....	28
<b>4.0</b>	<b>RESULTATER .....</b>	<b>29</b>
4.1	KREFT FOREKOMSTER SOM FUNKSJON AV AVSTAND.....	31
4.2	SPESIFIKKE KREFT FOREKOMSTER GRUNNET RF STRÅLING.....	35
4.3	RISIKO FOR DNA/GENSKADE.....	37
4.3	BEKYMRING BLANT BEFOLKNINGEN OM RF STRÅLEFARE .....	39
4.4	BEFOLKNINGS EKSPONERING SOM FUNKSJON AV AVSTAND .....	39
4.5	RF NÆRFELT EKSPONERING .....	44
<b>5.0</b>	<b>DISKUSJON OG AVSLUTNING.....</b>	<b>49</b>
5.1	DISKUSJON.....	49
5.2	KONKLUSJON OG AVSLUTNING .....	52
5.3	VIDERE FORSKNING.....	53
	<b>LITTERATURLISTE .....</b>	<b>54</b>

## Vedlegg:

Ord og forkortelser,

Comet Assay's virkemåte,

Naturlig ionisering, en observasjon.

## 1.0 INNLEDNING

Jeg vil gå igjennom presentasjon av tema og relevans for radiograffunksjonen og forklare hensikten med oppgaven.

### 1.1 Presentasjon av tema og relevans for radiograffunksjonen.

Jeg vil i dette kapittel begrunne valg av tema og relevans for radiograffunksjonen..

I arbeid som radiograf vil vi fra tid til annen få spørsmål fra pasienter om strålingen fra utstyret på labbene er farlige. Hvor mye vet vi om bivirkninger av disse? Mye er klarlagt om skade ved ioniserende stråling som røntgenstråler og nukleær isotoper, strålebehandlings maskiner, men hva med andre strålingsfelt vi er omgitt av? "International Society of Radiographers and Radiological Technologists" (ISRRT) har laget et dokument der radiografens rolle innen diagnostisk radiografi, stråleterapi og nukleær medisin i Europa er definert. Ifølge ISRRT var hensikten å utarbeide et dokument som vil klargjøre radiografens rolle og avsvars område som medlem i et helseteam. Dokumentet ble utarbeidet i 1995 av alle medlemsland innen ISRRT og het "Professional Standards for the Education of Radiographers". Inn under avsnitt 5.0 "Adaptations to the role of the MRT in Magnetic Resonance Imaging / Spectroscopy (MRI & MRS)", side 15 står det at radiografen skal kjenne til bruken og teorien av MRI, pasient behandling og sikkerhet. Videre i ISRRT appendix 1 av september 1993, avsnitt 2.2, "Use of Technology", står det at radiografen skal kunne vurdere bruken og spesialiteten av både ioniserende og ikke-ioniserende stråling i sitt arbeid.

ISRRT sier i kapittel 2, 2.7 under "Education and Training" følgende:

*As a professional practitioner an MRT has the duty to update and maintain his practice in line with current developments and to apply proven research results which will benefit patient*

Ifølge ISRRT har radiografen altså plikt å sette seg inn i og holde seg oppdatert om ny viten kommet frem under forskning og benytte seg av anerkjent metoder som gavner sin pasient. Norsk lov om helsepersonell sier i Kap.2, §4, om forsvarlighet, "Helsepersonell skal utføre sitt arbeide i samsvar med de krav til faglig forsvarlighet og omsorgsfull hjelp som kan forventes ut fra helsepersonellens kvalifikasjoner, arbeidets karakter og situasjon for øvrig". I rammeplanen for 1998 har Kirke, Utdannings og Forskningsdepartementet, laget forskrifter

om radiograffunksjonen, som sier blant annet: ”*Studenten skal tilegne seg den basale kunnskapen om prinsippene bak ioniserende og ikke-ioniserende strålers innvirkning på biologiske systemer*” (Norgesnettrådet, 1998, side 39). Rammeplanen sier videre at studenten skal lære om konsekvensen av sitt arbeid, om teknikk, pasientomsorg og strålens nytte og skader på biologiske systemer. Så litt om hensikten med oppgaven min.

## 1.2 Hensikten med oppgaven

Egentlig så var tanken min å utføre et eksperiment med å bestråle kjønnsceller (for eks. spermatozyter) av rotter. Strålekilden skulle være pulset elektromagnetisk RF stråler i flere effekttrinn (fra 0,1 Watt til 1000 Watt) i VHF regionen (50 MHz - 144 MHz), med forskjellige eksponeringstider og pulsbredder, (men alltid under en termisk nivå på 1 grad temperatur stigning), to ganger daglig, i en periode på 5 dager. Så skulle cellene blitt analysert med ”Comet Assay” metoden for eventuelt å finne spor etter enkel/dobbelt tråd brudd eller fragmentering av DNA. Målet mitt var å lete en mulig terskel verdi for ikke-termisk DNA skade. Da dette ikke kunne lot seg gjøre i år, falt valget på å foreta en litteraturstudie og fordype meg innen ikke-termisk RF stråling og dens påvirkning av cellene / DNA, og så relatere dette opp mot strålesikkerhet innen MR undersøkelser. Jeg skal se på tidligere forskning om RF stråling og virkninger på mennesker. Jeg skal se på hvilken strålingseffekter vi utsetter pasienten for, sett i forhold til retningslinjer av både nasjonale og internasjonale enheter som bla. annen:

- *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*
- *National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)*
- *International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC)*
- *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*
- *International Radiation Protection Association (IRPA)*
- *National Radiological Protection Board (NRPB)*
- *American National Standards Institute (ANSI)*
- *U.S. Food & Drug Administration (FDA)*
- *Environmental Protection Agency (EPA)*
- *Statensstrålevern*

### 1.3 Problemstilling

Jeg har valgt følgende problemstilling:

**”Er det fare for ikke-termiske skader på menneskelig molekyler deoksyribonukleinsyrer (DNA) som følge av pulset ikke-ioniserende elektromagnetisk R.F. stråling fra en MR maskinen?”**

MR maskiner kan produsere opp til 33 kW kraftige pulset RF stråler i VHF regionen. Utgjør denne bestrålingen noen risiko for pasienten /radiografen? Vil det kunne forekomme DNA skader ved ikke-ioniserende RF stråling? Jeg vil bruke valgte problemstilling for å belyse disse spørsmål.

Men først må jeg avgrense problemstillingen min.

### 1.4 Problemstillings avgrensninger

Jeg vil nå avgrense problemstillingen min en del. Her er noen mulige skadevirkninger av MR undersøkelser som ligger utenfor min problemstilling som ikke vil utdypes nærmere.

- *Hypertermi*, grunnet termisk RF oppvarming (American Conference og Government Industrial Hygienist, 1996), som påvirker kroppens temperatur reguleringssystem (Brain, Kavet, McCormick, Poole, Silverman, Smith, Valberg, Van Etten, og Weaver, 2003).
- *Akustiske skader* grunnet høye lyder i gradientfasen(Elster & Burdette, 2001, side 301).
- *Kontaktgnist, kontaktstrømmer og overslag* grunnet induerte RF strømmer.(Westbrook & Kaut, 2001, s 243-244) og (Health Physics, 1989, side 498-499)

- **Magnetfelt / elektromagnetfelt skader** på celler, påvirkninger av ion transporten gjennom cellemembranen og effekter av polarisering av cellemembranene (Bernardi et al., 2003).
- **Fysiske skader** av gjenstander påvirket av den kraftige statiske magnetfeltet ved at løse metall gjenstaner kan bli til prosjektiler (Woodward, 2001, side 295).
- **”Quench”**= utløsning av kjølegassen og skader på pasienten av dette.( Westbrook & Kaut 2001, side 246)
- **Graviditet.** Fosterets sikkerhet (Rinck, 2001, side 221).
- **Inplantasjoner** :Pacemaker, klipps, stenter, proteser, metallflis i øyet. (Rinck, 2001, side 214).
- **Psykiske skader** grunnet klaustrofobi, med påfølgende angst og økende blodtrykk m.m (Amersham Health, 2002, side 132).

Jeg skal nå gå igjennom teori kapitlet.



## 2.0 TEORI

Dette kapitlet vil inneholde mye tekniske informasjon. Dette er viktig da en må ha klare definisjoner på ord og uttrykk under analyse delen, slik at misforståelser skal unngås. Til dette har lagt ved en ordliste (se vedlegg1).

Så litt om elektromagnetiske strålingsfelt.

### 2.1 Elektromagnetiske strålingsfelt

Først vil jeg gå inn på dannelsesprosessen for elektromagnetisk stråling og hvordan den innvirker på omgivelsene.

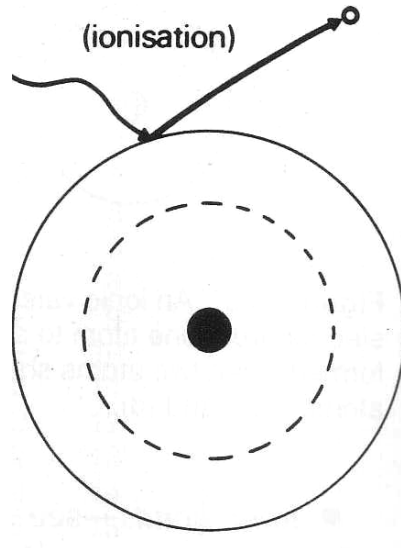
Det er store forskjeller på energinivå og vekselvirkningsprosesser ved forskjellige typer stråling. Det finnes elektromagnetisk stråling med mange forskjellige energinivå (Orr, 1995). Disse kan deles inn i to hovedgrupper som er:

- Ioniserende.
- Ikke-ioniserende stråling.

Jeg vil nå utdype disse to former for stråling nærmere i de neste underkapitler.

### 2.2 Ioniserende stråling

Ioniserende stråling er en felles betegnelse på partikkelstråling med tilstrekkelig energi (mer enn 12 eV pr foton) til å ha evnen til å slå løs elektroner (se figur 1) og vi sier da at strålingen har evnen til å ionisere. (Statens Institutt for Strålehygiene, 1979, side 22) og (Vikterløf, 1975). Ioniserende stråling forekommer både naturlig fra verdensrommet, i form av UV stråler fra solen, og fra jorden selv, som radongass for å nevne noen. Vi kan produsere ioniserende stråling kunstig for eks. i et røntgenrør.



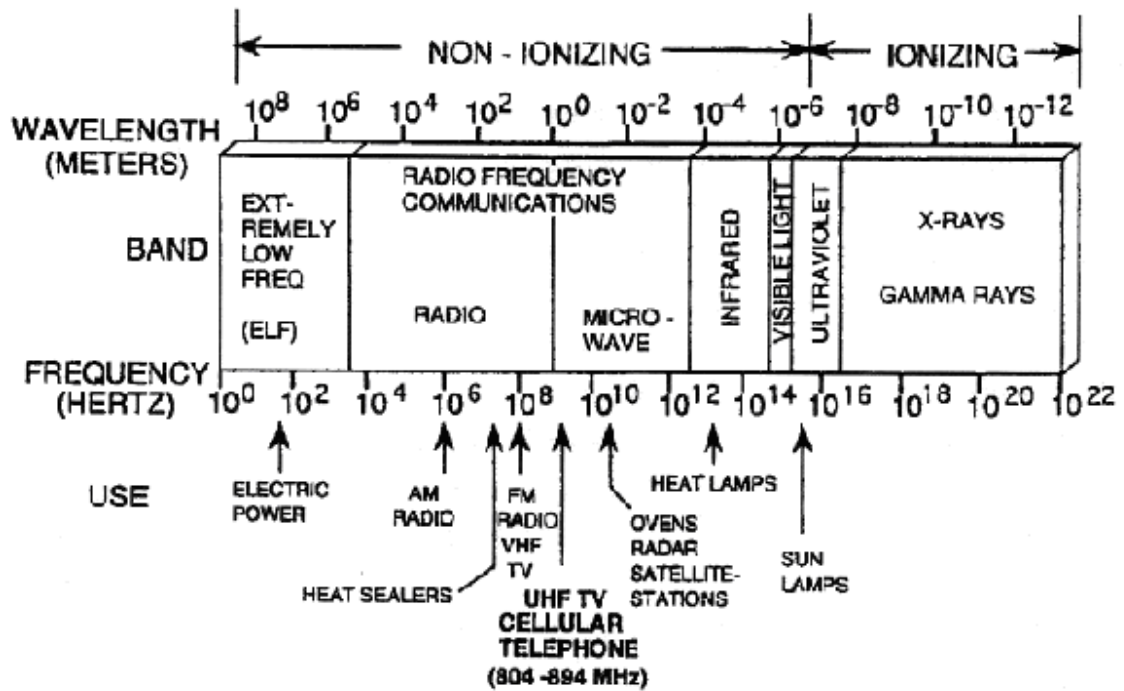
**(Figur 1, Graham, 1999, side 376)**

Ioniserende stråling er ikke aktuelt i MR, og omfattes ikke i min problemstilling, så dette tema utelates videre.

Nå skal vi se på ikke-ioniserende stråling i neste kapitel.

### **2.3 Ikke-ioniserende stråling**

NIR (Non-Ionizing Radiation) eller "Ikke-ioniserende stråling" omfatter all stråling og felter i det elektromagnetiske spektrum som ikke har nok energi til produsere ionisering av materie alene. Den er karakterisert som energi pr. foton mindre enn 12 eV, bølgelender større enn 100nm og frekvenser mindre enn  $3 \times 10^{15}$  Hz. (ICNIRP Guidelines, 1998). RF signalet i MR maskinen kommer inn under denne kategori. Disse energinivåene brukes til radio/TV kommunikasjon (se figur 2), ultralyd undersøkelser, mikrobølge apparater, med mer (se fig 3).



(Figur 2, Elektromagnetisk frekvensspekteret, Orr, 1995, side 170).

En deler opp elektromagnetiskstrålingen i områdene:

**RF stråling kan inndeles i følgende områder:**

- Extremely Low Frequency (ELF), 0.01 Hz - 30kHz
- Very Low Frequency (VLF), 30kHz - 500kHz
- Medium Frequency (MF), 500kHz - 1MHz
- High Frequency (HF), 1MHz - 30MHz
- Very High Frequency (VHF), 30MHz - 300MHz
- Ultra High Frequency (UHF), 300MHz - 3000MHz
- Super High Frequency (SHF), 3000MHz - 30000MHz.
- Microwave /Mikrobølge (MW), 1000MHz - til infrarødt.

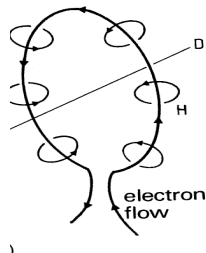
## 2.4 RF strålens dannelse

Jeg skal nå gå igjennom dannelse av elektromagnetisk strålingsfelt.

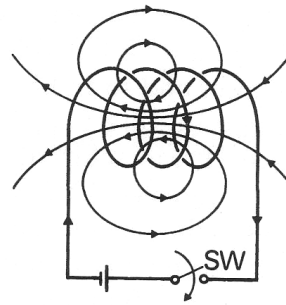
Først noen forkortelse.

<b>Volt pr meter (<math>V m^{-1}</math>)</b>	=	<b>elektrisk felt styrke</b>
<b>Watt pr kvadratmeter (<math>W m^{-2}</math>)</b>	=	<b>power density / effekt tetthet</b>
<b>Ampere pr kvadrat metre (<math>A m^{-2}</math>)</b>	=	<b>strømtetthet (current density)</b>
<b>Watt pr kilogram (<math>W kg^{-1}</math>)</b>	=	<b>specific energy absorption rate (SAR)</b>

Når en likestrøm går gjennom en ledning dannes det et magnetfelt rundt ledningen (se fig. 3). Magnetfeltets styrke er proporsjonal med strømmen og den påtrykket spenning. Dersom vi vikler ledningen til en spole med mange tårn vil magnetfeltet bli større (se fig 4).



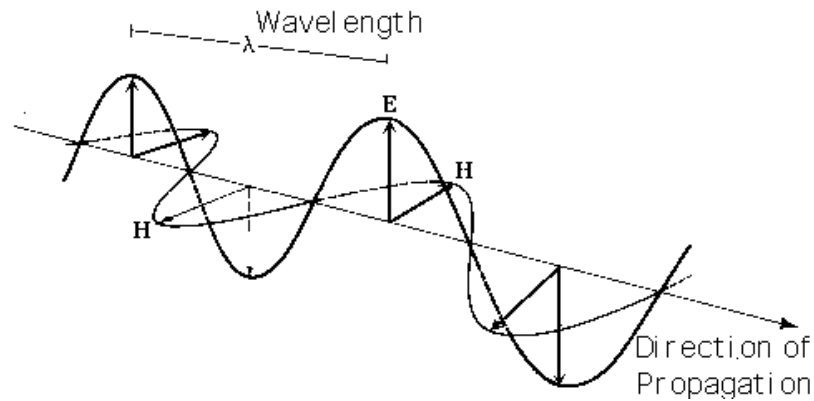
**(Figur. 3, Graham, (1999), side 161)**



**(Figur 4, Graham (1999), side 174)**

Dersom strømmen variere med stryke, men beholder sin polaritet (retning) i ledningen, får vi en varierende feltstyrke av magnetisme rundt ledningen, men magnetpolene forblir det samme hele tiden. Blir likestrømmen erstattet med vekselstrøm får vi en vekslende magnetfelt hvor nordpol og sørpol byter side i takt med vekselstrøms frekvensen. Denne vekslende magnetfelt kalles for en elektromagnetisk felt (Orr, 1995). Styrken på dette magnetfeltet er en produkt av strømstyrken og spennings nivået som er påtrykket. Energien er lagret i feltet for så å returnere til ledningen når strømmen opphører eller endrer retning. Hvis vi plutselig endre

retningen på strømmen i en leder vil de elektriske konstantene for lederen endre seg. Vi vil da få refleksjoner i form av stående bølger langs lederen. Dersom frekvensen økes vil mindre av energien returneres, og blir istedenfor utstrålt til omgivelsene i form av elektromagnetisk RF stråling (se fig 4).



**(Figur 5 RF bølgen med H/E felt, Orr, 1995, side 177).**

Grunnen til dette er at lederen har en motstand som øker ved økende frekvens som kalles for induktans (vekselstrømsmotstand). Vikles lederen til en stor spole vil denne ha en stor induktans, hvor spenningskomponenten og strømkomponenten vil være ute av fase med hverandre, men effekten (produktet av spenning og strøm) er konstant. RF strålingen består av en elektriskbølgefelt og en magnetiskbølgefelt, og de er vinkelrett på hverandre. Bølgelengden måles fra bølgetopp til bølgetopp (se fig 5). RF frekvensen defineres som :

**RF frekvensen forhold til bølgelengde :  $f = c / \lambda$**

$f$	=	frekvens i Hertz
$c$	=	lysets hastighet i vakuum (ca.300000 km / sekund)
$\lambda$	=	bølgelengde i meter

Når en fjerner seg fra en RF strålekilden innen nærfeltet vil ikke intensiteten avta omvent proporsjonalt med kvadratet av avstanden, det skjer først i fjernfeltet (etter noen bølgelengder). Kort fortalt betyr dette at helt inne ved antennen er en energitetthet som er mye større enn det en kan lese ut av verdien for utstrålt effekt. Dette kan kort forklares slik: I

en elektromagnetisk bølge er E og H induserte felt (se figur 6). Bølgen fortsetter ut i rommet selv om kilden slås av, og E og H «skapes» gjensidig etter induksjonsprinsippet. Nær antennen har vi i tillegg det som kan kalles kildefelter. Strømmen i antennen danner et magnetfelt, og ladningsfordelingen langs antennen (spenningen) danner et elektrisk ladningsfelt (Coulombfelt). Disse kildefeltene har kort rekkevidde ( $1/r^2$  og  $1/r^3$ ), og finnes bare like ved antennen. Energien de representerer pendler mellom antennen og rommet rundt antennen (sammenlign oppladning og utladning av en kondensator; reaktive energier). Kildefeltene induserer de feltene som er den egentlige strålingen, dvs den elektromagnetiske RF bølgen som brer seg ut i rommet.

**Avstand fra antennemast til person: ”  $2D^2/\lambda$  ”**

**D** = Antennens fysiske lengde i meter

**$\lambda$**  = Feltes bølgelengde i meter.

Når det gjelder avstand fra sender antenne sier om RF feltets egenskaper rundt en antenne mht. kvadratloven at ved  $2D^2/\lambda$  er man ikke lengre i nær feltet og det elektriske og magnetiske feltet vil heretter avta omvent proporsjonal med kvadratet av avstanden (ICNIRP, 1996, side 588).

Målinger viser at absorpsjonen er frekvensavhengig. Strålingen absorberes best når bølgelengden er av samme størrelsesorden som lengden av den gjenstanden som absorberes strålingen, men det er ingen skarp resonans. En voksen mann absorberer best (helkroppsabsorpsjon) stråling med en frekvens rundt 70 MHz (forutsatt at det elektriske feltet ligger i mannes lengderetning), mens en mus absorberer best rundt 2450 MHz.(Fausa, 2004).

Nå litt om MR systemets RF del.

## 2.5 RF systemet innen MR

Jeg vil nå si litt om MR maskinen RF sender og mottaker enhet, basert på det jeg har lært på MR avdelingen på SiR i vår.

MR maskinen består av en RF sender/mottaker , gradient spoler og en kraftig statisk magnet felt og en datamaskin.

SiR har 2 to stk Philips 1,5 Tesla maskiner. De bruker en RF generator modul av merke Philips, 53-S21D-64 som er produsert av Ehrhorn.Technological.Operations, INC., (Colorado Springs., USA). Den består av en datastyrt oscillator (syntesizer), en transistorisert forforsterker, en triode rørdriver av type Eimac 3CX850 og sluttrinnet er en triode rørforsterker av type Eimac 3CX5000 i jordet gitter oppstilling ( trinnet er drevet lineært i klasse AB). Driver blir tilført 3,7 kV og sluttrinnet blir tilført 16,8 kV. Det er benyttet lavtaps koaksialkabel av type RG 217 og RG 214 i anlegget for å sikre minimal tap av sendereffekt og tap av den mottatte ekkoet. Den kan kjøre med tre RF effekt nivåer. Lavest nivå (se tabell M &N) er 625 W, mellom nivå er 5 kW og høyest nivå er 25-33 kW. Selv om effektene er høye, så er RF bærebølgen pulset med en kort pulsbredde, noen som gjør at effektiv gjennomsnitts energi bestrålingen pr. sekund blir langt lavere enn i CW (konstant bærebølge) modus. Det er snakk om 50% (500ms) på laveffekt, 10% (15ms) på mellomnivå og 5% (3ms) på høyeste effektnivå. Valget av RF frekvensen er gitt av Lamorfrekvensen (presesjonsfrekvensen):

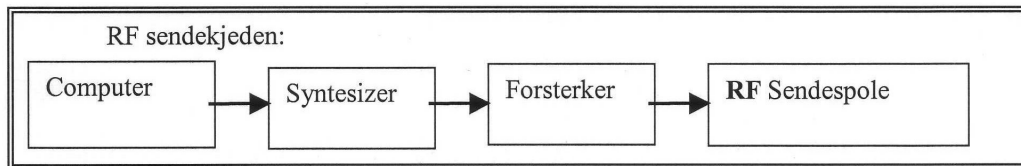
### Lamorfrekvensen $\omega = \gamma * B$

$\omega$  = Larmorfrekvensen.

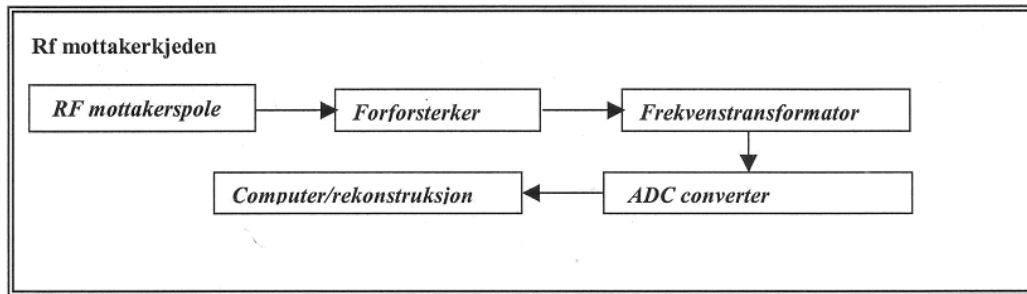
$\gamma$  = Gyrometriskforhold (MHz/T).

$B$  = Magnetfeltet i Tesla.

$T$  = Tesla



**(Figur 6 Blokk diagram av en RF sendekjede).**



**(Figur 7 Blokkdiagram av mottakerdelen).**

Jeg skal gå meget kort igjennom MR maskinens RF sender (figur 6) og mottaker enhet (figur 7).

### **RF systemets sender enhet**

RF senderkjeden består av en pc styrt syntesizer som er en DAC (digital til analog konverter) og en VCO (voltage controlled oscillator) på ca. 63MHz hvor frekvensen kan oppløses i opptil 0,1 Hz, fasen til 1 grad og pulsbredden under 50 nano sekunder. Bestemte undersøkelser krever visse puls-sekvenser (for T1, T2, proton vektning osv.) samtidig som gradientsignalene skal produseres (Elster, 2001, side 59). MR maskinens sender har et stort dynamisk område (> 80dB), og kan levere ut opp til en utgangseffekt på 33 kW. Det keramiske forsterkerretet tåler høy varme og er luftavkjølt av en sentrifugalvifte. Så sendes det et pulstog av RF og en varierende strøm til gradientpolene RF signalet føres ut via en skjermet transmisjonskabel (coaxial kabel) frem til antennespolen (se figur 8), som da stråler ut signalet. Antennen kan ha flere forskjellige former, størrelse og polaritet som er tilpasset undersøkelsen som skal foregå. En del av hydrogen molekylene (de anti parallelle) i pasienten roterer i takt med RF frekvensen (Lamorfrekvensen) og ved opphør av RF pulsen sender de tilbake et svakt ekko.



### RF systemets mottaker enhet (se figur 8)

Det svake mottatte ekkoet ligger i  $\mu\text{V}$  området og må føres fra antennespolen til forforsterkeren via en lavtaps coaxial kabel. Summen av støy og tap i antennespolen, coaxial kabelen og forforsterkeren samlet gir systemets totale SNR (signal til støyforhold). I blandertrinnet (frekvenstransformator) blir signalet delt i to med en referansefrekvens på 1 MHz, som ligger 90 grader i fase forskjell. Vi får nå en kvadrature deteksjons system som gir oss ytterlig støy reduksjon på  $\sqrt{2}$ . Signalet blir så digitalt filtrert og behandlet før den blir konvertert til digitalformat med en 16 bits ADC konverter og så overføres dette til pc'en for videre behandling og bilde fremstilling.

Det kjøres en rekke forskjellige sekvenser alt etter hvilken undersøkelse som skal utredes. RF bestrålingsnivå av pasienten vil da være avhengig av maks effekt, pulsbredde og antall pulser /tid (se tabell A). Ved lav effektnivået vil pulsenergien likevel være høyere grunnet lengre pulsbreddetid (se tabell B).

**(Tabell A. Håndbok: Specifications summery Philip53-S21D-64 , page 4)**

<b>Frequency of operation: 63.870 MHz (1.5Tesla)</b>		
<b>RF power output and gain per mode.</b>		
<u>Mode</u>	<u>gain</u>	<u>Max power</u>
High	74dB +- 1.0dB	25 kilowatt
Mid	67dB +- 1.0dB	5 kilowatt
Low	58 db +- 1.5dB	625 watts

**(Tabell B. Håndbok: Specifications summery Philips 53-S21D-64, side 4)**

<b>Maximum pulse energy:</b>		
<u>Mode</u>	<u>Power level (P) where Pmax=Max power</u>	<u>Pulse energy</u>
High	0.1 Pmax <P<=Pmax	75.0 Jouls
Mid	0.1 Pmax <P<=Pmax	75.0 Jouls
Low	100W <P<= 625W	312.5 Jouls
Low	P<100W	CW operation



**(Figur 8. Hodespole)**

I neste kapitel vil jeg gjennomgå nasjonale og internasjonale bestemmelser om RF strålegrenser.

## **2.6 Nasjonale og internasjonale bestemmelser om RF strålegrenser**

I Norge gjelder det ikke egne bestemmelser, men følger ICNIRP's retningslinjer (ICNIRP Guidelines 1998, s 509).

Statens strålevern sier følgende om RF grenseverdier i Norge:

*Det foreligger ingen nasjonale forskrifter med grenseverdier for radiofrekvente felt i Norge. Internasjonalt er det gitt anbefalte retningslinjer for elektronmagnetiske felt både fra International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP, 1998) og fra European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC, 1995). Retningslinjene skiller mellom yrkes eksponerte og befolkningen generelt og er strengere for befolkningen., (Statens strålevern, rapport 5-2000).*

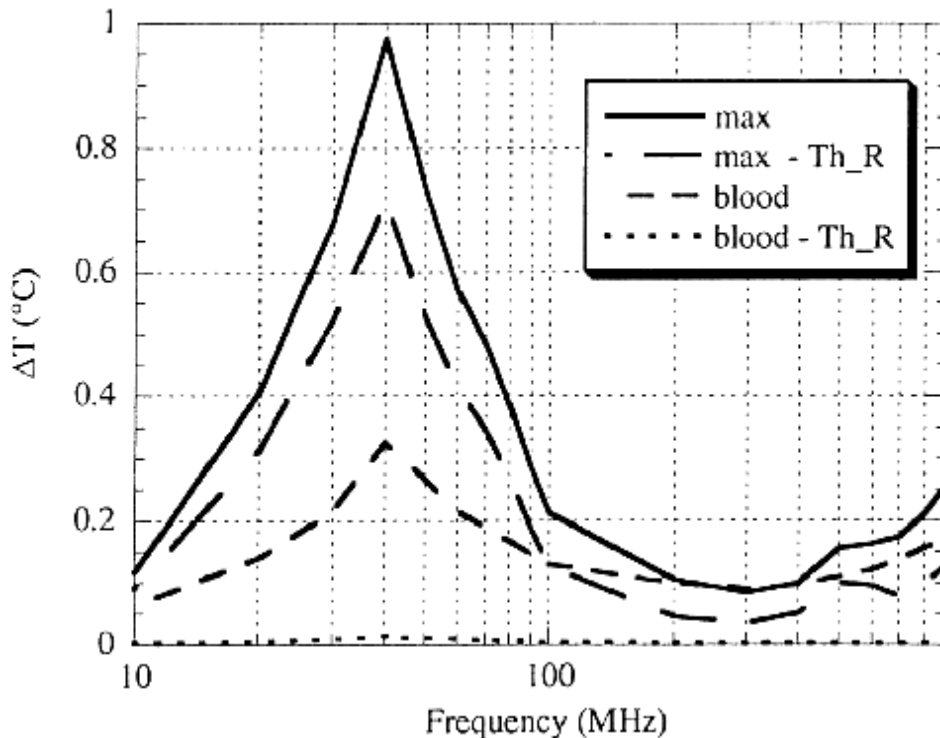
ICNIRP sier at en ikke bør overstige 1 grad Celsius hos normale voksne. Gravide, barn og mennesker med hjerteproblemer bør ikke utsettes for mer en 0,5 grader økning. (Health Physics, 1991, s 925) og (ICNIRP guidelines, 1998, s 504-514). Måleenheten som brukes internasjonalt i dag innen RF elektromagnetisk strålings sikkerhet er SAR (specific energy

absorption rate) og er angitt i Watt/kg. Sammenhengen mellom SAR og elektrisk feltstyrke er:

$$SAR = \sigma \frac{E_i^2}{\rho}$$

- $E_i$  = Elektrisk feltstyrke inne i vevet  
 $\sigma$  = Vevets ledningsevne  
 $\rho$  = Vevets tetthet.

SAR er en dosimetrisk kvantitet som angir den spesifikke absorpsjonsraten som RF stråling utøver på kroppen innen VHF og UHF området og er utviklet av ICNIRP og ANSI / IEEE. Bernardi, et al., (2003) forteller om kroppens egen resonans under absorpsjon av RF (se figur 9). Av kurven ser en at kroppen absorberer mest RF rundt 40 MHz, på grunn av kroppens dielektrisk lengde er en halv bølglengde på ca. 40 MHz. Vi kan se at temperatur stigningen topper der, for så å avta.



(Figur 9 Kurve som viser kroppen RF absorpsjon, Bernardi, et al., (2003), side 301)

Friske personer kan tåle en helkroppss temperaturøkning på 1 °C som svarer til en SAR verdi i området 1-4 W/kg. Dyreforsøk viser adferdsendring ved SAR verdier over 4 W/kg. I følge ANSI/IEEE er verdier for helkroppss bestråling 4 W/kg i gjennomsnitt ( $SAR_{WB}$ ) som er sett på som terskelverdien for uheldig termiske påvirkning av kroppen (Bernardi et al., 2003). Verdien senkes med en sikkerhetsfaktor på 10 (dvs. 0,4 W/kg) for yrkespersonale og en faktor på 50 (dvs. 0,08 W/kg) for befolkningen generelt. Nedenfor ser vi anbefalinger fra ANSI/IEEE (se tabell C). ICNIRP (se tabell D), IRPA (se tabell E) og FDA (se tabell F).

**(Tabell C, anbefalte grense verdier av ANSI/IEEE, 1998).**

Type mennesker	helkroppss verdi	Hode & overkropp	Ekstremiteter
Yrke eksponerte	0,4 W/kg	8 W/kg	20 W/kg
Befolkningen generelt	0,08 W/kg	1,6 W/kg	4 W/kg

*Gjelder frekvenene 100 kHz- 6 GHz for yrkesutøver og 6 – 10 minutter for befolkningen.*

**(Tabell D, anbefalte grense verdier av ICNIRP).**

Type mennesker	helkroppss verdi	Hode & overkropp	Ekstremiteter
Yrkes eksponerte	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
Befolkningen generelt	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

*Gjelder frekvensene 10 MHz –10 GHz i 30 minutter.*

**(Tabell E, IRPA sine anbefalte grense verdier).**

Type mennesker	helkroppss verdi	Hode & overkropp	Ekstremiteter
Yrkes eksponerte	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
Befolkningen generelt	0,08 W/kg	X	X

*\*Alle verdien er midlet over en vilkårlig 6 minutters periode. Unntak er utstyr som sender med effekt < 7 W.*

**(Tabell F, anbefalte grense verdier av FDA.**

Type mennesker	helkroppsv verdi	Hode & overkropp	Ekstremiteter
Yrkes eksponerte	4 W/kg maks 15 min	3 W/kg maks 10 min	8 W/kg maks 5 min

**Internasjonale grenseverdier for radiobølge transmisjon målt i mW/cm<sup>2</sup>:**

Radiofrekvens standarder er uttrykt som "planebølge effekts tetthet", som måles i mW/cm<sup>2</sup> (CENELEC, 1995). Det er utarbeidet grenseverdier som er frekvensavhengige, men en tommelfinger regel er at intensiteten er av størrelsesorden 100 W/m<sup>2</sup>, som tilsvarer en elektrisk feltstyrke på ca 200 V/m.

**IRPA** anbefaler følgende grenseverdi for yrkesutøver: "**10mW/cm<sup>2</sup>**".

**ICNIRP (1998)** setter følgende grenseverdier for magnetisk og elektrisk feltstyrke :

- for befolkningen generelt "**100µT**" og "**5kV/m**"
- yrkeseksponerte er grensen "**500µT**" og "**10 kV/m**"

**ANSI / IEEE** setter følgende grenseverdier:

- For yrkesutøver alle typer RF: "**20 mW/cm<sup>2</sup>**" eller "**200 V/m**"
- For GSM mobiltelefoni (1800-2000 MHz) antenner, er bestrålingsverdier til befolkningen generelt gitt som: "**1.2 mW/cm<sup>2</sup>**".
- For analog mobiltelefoni og lavbånds GSM (ca. 900 MHz), er bestrålingsverdier for befolkningen generelt gitt som: "**0.57 mW/cm<sup>2</sup>**".

C.K. Choc sier følgende om vanskeligheten i det om å enes i felles grenseverdier på tvers av landegrensene:

*The large differences in RF safety standards are due to different philosophical approaches to public health standards development, different scientific approaches and interpretations of the scientific data, and different jurisdictions in various countries. The emphases are on the basic problems of why reported biological effects of RF fields are controversial, and how the general public can be misinformed. While there are differences in approaches and methods, science should converge and not diverge in finding the threshold level for exposure to EMF that is not adverse to human health. As the progress in technology continues and human beings are enjoying an increased quality of life, it is essential for scientists to ensure that safety is not compromised. More importantly, it is the responsibility and moral obligation of scientists and the media to bring "verified" information to the public. (Chou, 2003).*

Han sier at grunnet forskjeller i politisk lovverk, filosofiske tilnæringsmetoder og tolkninger er noen grunner til at vi i dag har hatt forskjellige strålings grenseverdier og syn på skadeeffekter fra elektromagnetiske stråling i verden. Han sier at viktigst av alt er det at den vitenskapelige samfunn har en moralsk ansvar å legge frem saklig og valide informasjon til befolkningen.

Så skal vi se litt på SAR verdier innen MR undersøkelser i neste kapitel.

## **2.7 SAR verdier innen MR undersøkelser**

MR undersøkelser består av flere sekvenser som hver gir en bestemt SAR verdi.

Jeg har laget en oversikt av SAR verdier som fremkommer i diverse sekvenser.

Legger vi sammen SAR verdiene og deler på tiden ser en at gjennomsnitts verdiene pr. minutt ligger godt innfor de anbefalte verdier til ICNIRP. Nedenfor (tabell G) er noen eksempler på MR undersøkelse som brukes på SiR.

**(Tabell G, SAR verdier innen 3 MR undersøkelser.)**

<u>Anatomi</u>	<u>Pulssekvens</u>	<u>SAR</u>	<u>Tid</u>
Hofte	Stir/lo	2,2	05:37
:	T2/Dual/TSE	2,3	05:24
:	T1/TSE	3,7	04:31

<u>Anatomi</u>	<u>Pulssekvens</u>	<u>SAR</u>	<u>Tid</u>
Skulder	3D/FFE/SPIR	1,8	05:36
:	T1/TSE	3,3	04:30
:	T2/TSE	3,9	05:40
:	Dual/TSE	2,6	05:15
:	STIR/LO TE	2,2	06:15
:	T2/3D/SPI	3,3	04:55
:	Dual/TSE	3,6	05:05

<u>Anatomi</u>	<u>Pulssekvens</u>	<u>SAR</u>	<u>Tid</u>
Hode	Dual	1,2	10:56
:	T2/park	0,3	06:57
:	3D/T1	1,1	21:55
:	T1/IR	0,5	11:14
:	T2/grase	1,2	05:34
:	3D/FFE/T2	2,2	08:43

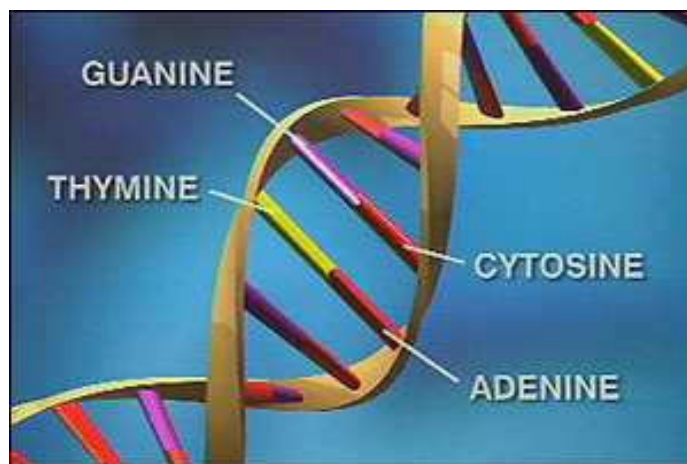
I neste kapitel.vil jeg fortelle om DNA, cellenes oppbygning og livssyklus.

## **2.8 DNA, cellenes oppbygning og livssyklus**

Vi skal nå se på cellenes oppbygning og DNA sammensetningen og for å kunne forstå eventuelle innvirkning på cellene, må vi først se på cellen og dens oppbygning.

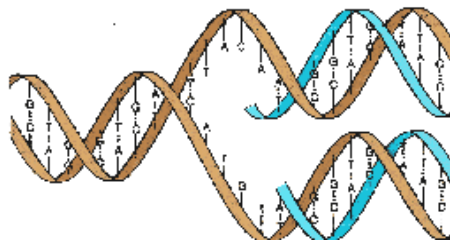
DNA er en deoksyribonukleinsyre og består av en dobbel helix, basepar som utgjør den genetiske kode, og hvor basene er komplementære.

Nukleinsyer er en gruppe stormolekylære forbindelser som er bærer av cellenes genetiske informasjon og ansvarlig for oppbyggingen av proteiner i cellene. DNA molekylet består av to lange, spiralformede vridde kjeder (dobbelthelix), oppbygget av suktermolekyler (deoksyribose) og fosforsyre (fosfat), annen hver gang. De to kjedene er bunnet til hverandre av broer av parvis ordnede nitrogenbasene **A-C-G-T** (Adenin, Cytosin, Guanin og Tymin) som er festet til suktermolekylene (se figur 10).



**(Figur10, DNA spiral. Medisinsk ordbok, s 225. Kunnskapsforlaget, 2001).**

Kromosomen er den DNA holdige struktur som bærer gener som bestemmer de arvelige egenskapene (Sjøberg, 1993). Jeg skal nå gå igjennom delingsfasene. Ved celledeling vil DNA deles denne på langs (se fig.11) og den tape del vil bli nydannet (replikasjon). Det er slik den genetiske materialet føres videre i uforandret form(arv).



**(Figur. 11 Mitose prosessen, RF.Akvamiljø, 2004)**



Jeg skal nå gå igjennom Mitose (celledelings prosessen).

- Interfase.

Dette er stadiet mellom delingene. Her vil hver kromosom foreligge i form av to identiske DNA-tråd kopier som kalles søster-kromatider og er resultatet av en replikasjon. Kromatider ser ut som en dobbeltråd som henger sammen på et punkt som kalles centromer (se fig 10).

- Profasen.

I dette stadiet blir kromosomene kortere og tykkere ved spiralisering. Cellekjernen går nå i oppløsning, men de spiralisererte kromosomene blir nå synlig i mikroskop.

- Metafasen.

Her samler alle kromosomene seg i ett plan midt i cellen i ekvatorplanet. Det dannes da en spindel (proteintråd) mellom centromeren i hver kromosom og to pol-legemer (centrioler).

- Analfasen

Nå forkortes spindeltråden, slik at en kromatide fra hver kromosom draes til hver sin kant. Det er nå blitt dannet to helt identisk og fullstendige sett kromosomer på hver sin side.

- Telofasen.

Tilslutt blir de to separate kromosomsettene samlet i en ny kjerne, og det dannes en membran mellom de to cellehalvdelen. Før neste celledeling kan finne sted må vi igjennom en ny DNA replikasjon (interfase). Hvis en celledeling tar 24 timer, vil interfase ta 23 timer og selve delingen bare en time.

## 2.9 DNA og RF stråling

Vi skal nå se litt om DNA og RF strålings innvirkning.

Dersom strålingen har høy nok energi og vekselvirker med materie vil en kunne få:

- Dannelse av hurtige elektroner
- Dannelse av ione-radikaler
- Dannelse av frie radikaler
- Enkelt og dobbelt trådbrudd i DNA

Ionene som produseres inne i cellene er elektrisk ladde og kjemiske aktive. Disse kjemiske aktive ioner har en tendens til hurtig å vekselvirke med de omkringliggende atomer / molekyler og vil derved kunne endre cellestrukturer eller produsere kjemiske frie radikaler. Følgende er induksjon av enkel og dobbelt trådbrudd, hvor reparasjon, feil reparasjon eller fiksering av DNA skade er alle mulige resultater (Sjøberg, 1993). Reparasjon er begrenset til raten (dvs antall skader pr. tid som repareres) og kapasitet. De gjenværende DNA skader vil kunne forårsake så pass skade at cellen ikke reproducerer seg normalt (mutant) eller apoptose (programert celledød), der cellen går til grunne uten forbruk av energi (Plaats, 1980).

Men, energinivået for elektromagnetisk RF stråling er under  $10^{-5}$  eV, og nivået for kunne bryte en DNA tråd er 10eV ( som er en million ganger større). Basert på dette, påstår (Fujikawa, 1992) og (Jeng, 1987) at RF stråling ikke kan bryte DNA tråd. Eventuelle skadevirkninger må derfor forekomme på annet vis. ICNIRP (2001) sier at det ikke kan bevises at sykdom kan knyttes opp mot RF stråling pr i dag.

”Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health, ICNIRP, 2001, side 930” sier:

*In the absence of evidence from cellular or animal studies, and given the methodological uncertainties and in many cases inconsistencies of the existing epidemiologic literature, there is no chronic disease outcome for which an etiological relation to EMF exposure can be regarded as established.*

De celler som er mest følsomme for RF stråling ifølge (Lebovitz et al. 1987) er:

- spermatocytter (mest følsomme)
- Spermatidsceller
- spermatogonia,
- stamceller og
- interstitialeceller

Når det av en eller annen grunn oppstår en skade på DNA strukturen, vil den rette opp skaden selv i de fleste tilfellene selv. Men dersom skadene er omfattende (om man får brudd på en eller begge trådene), vil nødvendigvis ikke DNA overleve eller vi kan få en mutasjon og derved en endring i kromosomene / arveegenskapene (Rojas, et al. 1999). Virkemekanismen for eventuelle ikke termiske RF relaterte skader er ukjent og at det pr i dag ikke foreligger konkret bevis for at RF stråling alene kan gi ikke termiske skader (Stråleverns Rapport 2000-10).

Nå kommer metode valg begrunnelse.

### **3.0 METODE**

I dette kapittel vil jeg legge frem metoden som er valgt og begrunne det. Jeg vil også skrive om kritikk av kilder og innsamling av data.

#### **3.1 Valg av metode**

Jeg velger å benytte meg av kvalitativt litteraturstudie for å løse problemstillingen min. Metoden går på å beskrive innholdet uten å gjøre egne tolkninger (Downe & Wambolt, 1992). Fordelen med denne metoden er at jeg kan analysere og sammenligne flere forskjellige artikler av ulike forfattere for å finne relevante fakta som svarer til problemstillingen. Dette vil være mitt basisgrunnlag for diskusjonsdelen og besvarelsen av problemstillingen min.

Dalland sier: *"En metode er en fremgangsmåte, ett middel til å løse problemer og komme fram til ny kunnskap"*. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med i arsenalet av metoder" (Dalland, 2000, side71).

Jeg skal nå fortelle litt om kritikk av kilder og dens validitet og reliabilitet

#### **3.2 Kritikk av kilder og dens validitet og reliabilitet**

Jeg vil i dette avsnittet diskutere den kvalitative metoden og belyse fordeler og ulemper med dokumentanalyse.

En skaffer seg data gjennom å analysere forelagt kildemateriale. Dette gjør en svært avhengig de kilder som finnes. Og hva med de kildene en ikke har funnet? En skal alltid spørre seg om en har funnet frem til bred nok spekter av kilder som belyser ens problemstilling tilstrekkelig. Ved å studere kildene til informasjonen en samler inn, kan det føre til at datasamlingen til suppleres med ny data. Under analyse av innsamlet materiale vil en komme over mye

urelevant stoff. Dette må lukes vekk, og fokusere heller på relevant informasjon. Den russiske forskeren Chou sier følgende om forsknings resultater og feilkilder:

*“-scientists must conduct well-designed studies and to report the results in a clear and detailed manner, so other independent investigators can repeat the study or explore further. Mistakes must be minimized and stopped at the first level of scientific research.” (Chou, 2003).*

Ettersom ”bakgrunnskunnskap” og ”teorier” som fokuserer, filtrerer ut, og fortolker virkeligheten vil variere mellom forskerne, må en kartlegge så godt som mulig de regler og prinsipper som legges til grunn for vitenskaplig konklusjoner (Troye, 1994). For å sikre etterprøvnbarhet må alle påstander underbygges og dokumenteres, resultater så vel som kilder. Validiteten må opprettholdes med å benytte så nye data som mulig. Reliabiliteten beskyttes ved å bruke godkjente og seriøse kilder /institutter (for eks. Medline og PubMed).

I neste kapitel se vi på innsamlingen av data som er gjort.

### **3.3 Innsamling av data**

Jeg har primært innhentet fag artikler og tidligere forskning via Internett som datagrunnlag for analysen og bestrebet meg å bruke primær kilder der det har vært mulig. Til dette har jeg benyttet Internett, (Bibsys og Medline), publiserte forskningsartikler fremskaffet av skolebiblioteket, samt resurs forelesninger her på skolen. Manuell søkning av primærkilder er gjort via artiklenes referanselister. Dette er supplert med kvalitetssikrete fagbøker på skolebiblioteket, diverse forelesninger og materiell fra radiologisk avd. på Sentralsykehuset i Rogaland. Søkeord brukt på internett er : DNA, MRI, RF hazard, rf radiation and health risk, comet assay. Jeg har brukt disse ord både alene og i kombinasjon for å avgrense søket. Det er blitt innhentet stoff fra befarng hos Akvamiljø/Rogalandsforskning i Stavanger.

Nå skal jeg gå igjennom resultatene i neste kapittel.

## 4.0 RESULTATER

Jeg vil her presentere resultatene fra artiklene som er valgt ut. Artiklene er analysert med hjelp av en kvalitativ litteraturstudie metode.

Et stort antall artikler (n=39 ) på til sammen 720 antall sider ble innhentet og lest igjennom. Under dette arbeidet ble artikler som omhandlet RF stråling i HF og VHF området plukket ut for videre analyse. Område av interesse ligger i eller nær VHF området, da dette innbefatter både 1,5 Tesla og 3 Tesla MR maskiner.

Følgende artikler ble valgt ut for litteraturstudie:

- I. Dolk, H., Shaddick, H., Walls, P., Grundy, C., Thakrar, B., Kleinschmidt, I. & Elliot, P. (1997a). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part I. Sutton Coldfield Transmitter. Am J. Epidemiol. 145, 1-9.
- II. Dolk, H., Elliot, P., Shaddick, G., Walls, P., Grundy, C., Thakrar, B., (1997b). :Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part II. All high power transmitters. Am J. Epidemiol. 145, 10-17.
- III. Kristensen, P., Jacobsen, K., Skyberg, K., (2000). Medfødte misdannelser blant barn med fedre som hadde tjeneste på KNM Kvikk. STAMI-rapport:3, ISSN: 1502-0932
- IV. Tell, R., & Mantiply, E., (1980). Population Exposure to VHF and UHF Broadcast Radiation in the United States. Proceedings of the IEEE, vol 68, no.1, 6-11
- V. Bini, M., Checcucci, A., Ignesti, A., Millanta, L., Olmi, R., Rubino, N., & Vanni, R., (1986). Exposure of Workers to Intense RF Electric Fields that Leak from Plastic Sealers. J. Microwave Power, 21,1, 33-40
- VI. Conover, D., Murray, W., Fpley, E., Lary, J., & Parr, W., (1980). Measurements of Electric- and Magnetic-Field Strengths from Industrial Radio-Frequency (6-38 MHz) Plastic Sealers, Proceedings of the IEEE, 68,1,17-20

Tabell H viser en oversikt på av forfattere, type studier, metoder, momenter og funn for disse seks artikler.

(Tabell H, Oversikt av forfatter, type studie, metode, momenter og funn)

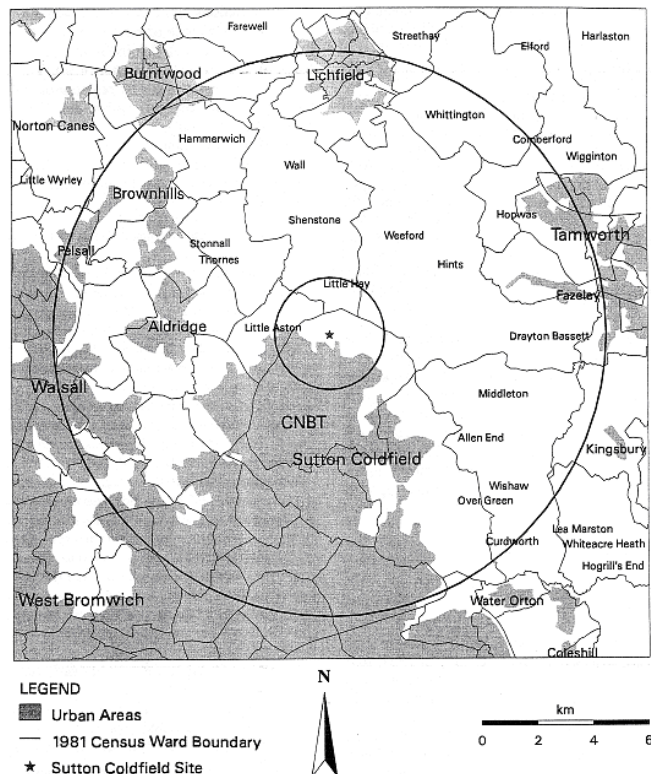
Forfatter	Type studie	Metode	Momenter	Funn
Dolk, H., (1997a)	Kvalitativ	Hypoteseprøvende statistikk ved hjelp av database analyse for å sammenligne registrerte forekomster opp mot beregnet sannsynlighet (stratifisert utvalg).	Kreft forekomster som funksjon av avstand.  Spesifikke kreft forekomster i nærheten av radio/tv sendere?  Bekymring for strålefare blant befolkningen.	Non-positiv, en lokal opphopning kunne ikke bevislig knyttes til ikke-termisk RF eksponering bare basert på et enkelt lokalt område. Kreft forekomster avtok med avstand innen 10 km radius fra radio/tv senderen.
Dolk, H., (1997b)	Kvalitativ	Hypoteseprøvende statistikk ved hjelp av database analyse for å sammenligne registrerte forekomster opp mot beregnet sannsynlighet (stratifisert utvalg).	Kreft forekomster som funksjon av avstand.  Spesifikke kreft forekomster i nærheten av radio/tv sendere?  Bekymring for strålefare blant befolkningen.	Negativ, fant ikke vitenskaplig bevis for hypotesen om at kreft forekomster avtar med økende avstand fra RF kilde.  Befolknings eksponering målt i flere byer i England innenfor en 10 km radius
Kristensen et al. (2000)	Kvalitativ	Litteraturstudie	Risiko for DNA / genskade grunnet RF eksponering.  Liten avstand til RF kilde + kraftig RF nærfelt	Non positiv, men kunne heller ikke utelukke RF stråling som årsak til misdannelser hos barn født av fedre om "KNM Kvikk"
Tell & Mantiply, (1980)	Kvantitativ	Målinger i feltet	Befolknings RF eksponering som funksjon av avstand	99% av befolkningen eksponeres under $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Bini et al. (1986)	Kvantitativ	Målinger i feltet	Bekymring for strålefare blant befolkningen.  Biologiske effekter  Liten avstand + kraftig RF nærfelt	Flere registrerte brudd på strålegrense + 3 non positiv funn
Conover et al. (1980)	Kvantitativ	Målinger i feltet	Liten avstand + kraftig RF nærfelt	Flere registrerte brudd på strålegrense

Jeg skal i de neste underkapitler granske disse forskjellige momenter som går igjen i disse artikler.

- Kreft forekomster som funksjon av avstand.
- Spesifikke kreft forekomster grunnet RF stråling.
- Risiko for DNA/genskade.
- Bekymring blant befolkningen om RF strålefare.
- Befolknings eksponering som funksjon av avstand
- Nærfelt eksponering

#### 4.1 Kreft forekomster som funksjon av avstand

Rapport 1 av Dolk et al.(1997a) analyser ubekreftede tilfeller av opphopning av leukemier og lymfomer nær ”Sutton Coldfield” FM radio/TV kringkaster i West Midlands, England.

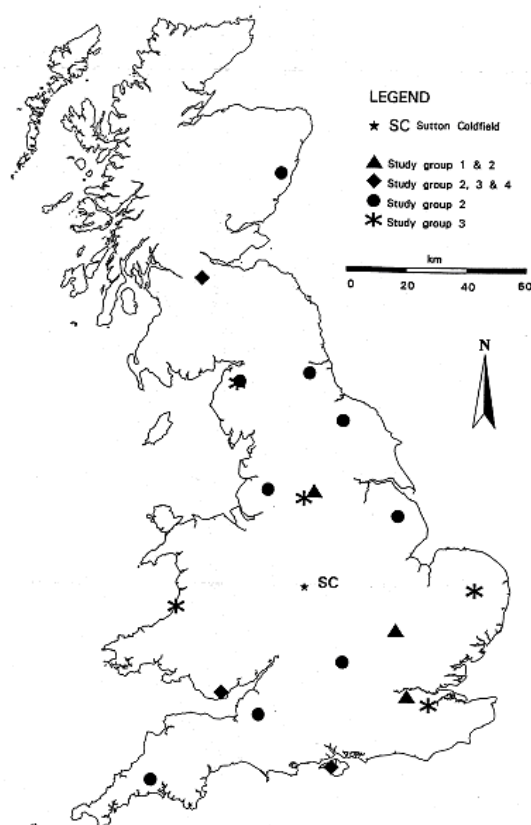


**(Figur 12. Oversikt av Sulton Coldfield, England.)**



Kringkasteren omfatter flere FM radio kanaler (hver på 250 kW) og en UHF TV sender (1MW) fra en 240m høy mast i nordlig del av Birmingham (se fig 12). Masten ligger på den høyeste punket i området. Grunnet bekymring fra befolkningen på grunn av rykter om en opphopning av leukemi og lymfom, grunnet RF stråling i nærheten av kringkasteren, ble "Small Area Health Statistics Unit in the United Kingdom" (SAHSU), bedt om å foreta innhenting av opplysninger om forekomster av utvalgte kreft typer i området. SAHSU undersøkte forekomster i perioden 1974-1986, innenfor en sirkel med radius på 10 km (inndelt i lameller med forskjellige radius), og om fattet utvalgte typer kreft: Blod-, lymfe-, hjerne-, hud-, øye-, bryst-, lunge-, tykktarm-, mage-, prostata-, og blærekreft. Sykdoms data ble tatt ut fra 1981 folketellingen.

Rapport 2 av Dolk et al. (1997b) analyser alle former for leukemi (3.305 tilfeller) hos de 3,39 millioner beboere over 15 års alderen i tidsrommet 1974 – 1986 i spredt utover blant de sterkeste FM-radio/ fjernsyn kringkasterne i England (se fig 13).



**(Figur 13. Fordelingen av undersøkelses steder i England)**

Teorien til forfatterne var at antall kreft forekomster vil avta ved økende avstand fra senderne, dersom RF stråling er årsak til kreft forekomstene. Dataene er hentet fra kreftregister databasene hos helsemyndighetene. Funnene sett opp mot en viss avstand fra 20 radio/tv sendere med beboere i følgende avstander som bånd av sirkler med radius: 0-0,5 km,

0,5-1 km, 1-2 km, 2-3 km, 3-4,9 km, 4,9-6,3 km, 6,3-7,4 km, 7,4-8 km, 8,3-9,2 km og 9,2-10 km. Senderne omfatter både FM-radio og fjernsyn. Kringkasterens styrke er oppgitt i erp Watt (effektiv utstrålteffekt i Watt) og er i størrelses orden 500 kW-1000 kW for tv sendere og ca. 250 kW for FM radio. RF intensiteten hos hele befolkningen som undersøkelsen omfatter ligger under ICNIRP's anbefalte nivåer for ikke termiske påvirkning på 0,08 W/kg. Felles for begge rapporter er at de har følgende hypotese: *"Dersom RF ståling er årsak til kreft forekomstene i undersøkelsen, så vil hyppigheten avta med økene avstand fra radio/tv senderen"*.

**(Tabell I, Hudkreft forekomster og forventete forekomster i undersøkelsen)**

Forekomst av Hudkreft				
Avstand fra RF kilde	O(Observert)	F(Forventet)	O/F	O/F(akkumulert)
0,0 - 0,5 km	0	0,09	0,00	0,00
0,5 - 1,0 km	2	2,02	0,99	0,95
1,0 - 2,0 km	11	6,99	1,57	1,43
2,0 - 3,0 km	12	5,03	2,39	1,77
3,0 - 4,9 km	16	16,16	0,99	1,35
4,9 - 6,3 km	26	28,77	0,90	1,13
6,3 - 7,4 km	28	27,93	1,00	1,09
7,4 - 8,3 km	32	30,90	1,04	1,08
8,3 - 9,2 km	28	35,66	0,79	1,01
9,2 - 10 km	34	43,08	0,79	0,96

Tabell I viser de 10 inndelte avstander, antall registrerte tilfeller av kreft (O), statistisk forventete forekomster (F), avvik fra gjennomsnittet (O/F), og en kolonne med akkumulerte gjennomsnitts avvik (O/F(akkumulert)). Tabell J viser det samme om forekomster av blærekreft.

**(Tabell J, Blærekreft forekomster)**

Forekomst av Blærekreft				
Avstand O/F(akkumulert)		O(Observert)	F(Forventet)	O/F
0,0 - 0,5 km	0	0,24	0,00	0,00
0,5 - 1,0 km	4	5,96	0,67	0,65
1,0 - 2,0 km	39	22,17	1,76	1,52
2,0 - 3,0 km	11	11,94	0,92	1,34
3,0 - 4,9 km	43	45,27	0,95	1,13
4,9 - 6,3 km	119	100,31	1,19	1,16
6,3 - 7,4 km	131	114,85	1,14	1,15
7,4 - 8,3 km	117	120,64	0,97	1,10
8,3 - 9,2 km	169	140,13	1,21	1,13
9,2 - 10 km	155	167,45	0,93	1,08

**(Tabell K, forholdet på kreftforekomster kontra avstand)**

Avstand O/F(akkumulert)		O(Observert)	F(Forventet)	O/F
0,0 - 0,5 km	2	2,3	0,87	0,87
0,5 - 1,0 km	12	13,8	0,87	0,87
1,0 - 2,0 km	65	65,5	0,99	0,97
2,0 - 3,0 km	155	135,3	1,15	1,08
3,0 - 4,9 km	539	494,1	1,09	1,09
4,9 - 6,3 km	623	589,7	1,06	1,07
6,3 - 7,4 km	547	518,0	1,05	1,07
7,4 - 8,3 km	434	453,4	0,96	1,05
8,3 - 9,2 km	497	493,5	1,01	1,04
9,2 - 10 km	431	427,9	1,01	1,03

Tabell K viser Dolk et al. (1997b) forholdet på alle typer kreft forekomster kontra avstand i undersøkelsen. Tabellen viser alle senderne i undersøkelsen samlet under ett og alle typer kreft i hos befolkningen som bodde innefor en radius av 0 - 10 km for hver sender.

Undersøkelsen baserte seg på befolkning på 15 år eller eldre av begge kjønn i tidsrommet 1974 til 1986. Dolk et al. (1997b) konkludere negativ funn, da fant de ikke fant vitenskaplig signifikante bevis for hypotesen om at ”*kreft forekommer avtar med økende avstand fra RF kilden*”.

## 4.2 Spesifikke kreft forekomster grunnet RF stråling

Både Dolk et al.(1997a) og Dolk et al. (1997b) ser på muligheten for en sammenheng mellom visse typer kreft og nærheten fra RF kilden (radio /tv sender). Forventete kreft forekomster ble beregnet ved indirekte standardisering ved stratifisering med et lokal sosial/økonomisk indeks. Her ser forfatterne etter tegn på om enkelte typer kreft skiller seg ut.

Så har Dolk et al. (1997b) sett på O/F forholdet ved de enkelte typer kreft hos befolkningen mellom 1974 til 1986 for alle over 15 år. Undersøkelsen omfattet følgende typer leukemi og kategoriseres slik: akutt leukemi, akutt myeloid, akutt lymphatic, kronisk myeloid, kronisk lymphatic, hud kreft og blære kreft. Så er inndelingen gjort videre med følgende avstander: 0-2 km, 2-4,9 km, 4,9-7,4 km og 7,4-10 km (se tabell L nedenfor).

**(Tabell L, Forholdet type kreft / avstand)**

Type kreft	Avstand	0 - 2,0 km		2 - 4,9 km		4,9 - 7,4 km		7,4 - 10 km	
		O	O/F	O	O/F	O	O/F	O	O/F
-----									
--									
Akutt leukemi		34	0,94	302	1,12	494	1,06	585	1,03
Akutt myeloid		20	0,77	227	1,17	347	1,04	424	1,04
Akutt lymphatic		5	0,90	42	1,04	66	0,95	89	1,04
Kronisk myeloid		7	0,63	82	0,96	177	1,16	179	0,92
Kronisk lymphatic		27	1,20	208	1,13	323	0,99	401	0,97
Hud kreft		51	1,11	297	0,86	508	0,86	673	0,94
Blære kreft		204	1,08	1620	1,08	2815	1,06	3603	1,10

Av denne analysen kunne en se en maksimal økning ved 2 - 4,9 km for akutt leukemi, akutt myeloid og akutt lymphatic. Kronisk lymphatic og hudkreft hadde sine maksimale

forekomster ved 0-2 km området. Blærekreft og kronisk myeloid forekom hyppigst ved henholdsvis 7,4-10 km og 4,9-7,4 km grensen.

I undersøkelsen er befolkningen delt opp i undergrupper etter beliggenhet, noen er blitt undersøkt uavhengig og andre i sammen i felles grupper. Områdene er: Crystal Palace, Wenvoe, Rowidge, gruppe 1, gruppe 2, gruppe 3 og gruppe 4 (se fig. 14). Resultatene av disse undersøkelser samsvarer med Tabell M med kun små avvik. Tendensene i samtlige gruppeundersøkelser viser en økning fra 0 km og opp til området 2-3 km, for deretter å avta i varierende grad frem til 10 km avstanden. Ser en på kreftforekomster av barn i alderen 0- 14 år i området inndelt i gruppene: Ved alle typer leukemi, hjernetumor malign/benign, og hjernetumor, kun malign, får en følgende verdier: (se tabell M)

**(Tabell M, Forholdet type kreft / avstand)**

Type kreft	Avstand fra sender 0 – 2 km				Avstand fra sender 0 - 10 km			
	O	F	O/F	95% CI	O	F	O/F	95% CI
Alle leukemi	10	8,94	1,12	0,61-2,06	317	326,82	0,97	0,87-1,08
Hjerne tumor: Malignant & benign	4	6,48	0,62	0,17-1,59	244	230,70	1,06	0,93-1,20
Kun malignant	3	5,99	0,50	0,10-1,46	220	213,41	1,03	0,90-1,18

Her viser tallene at alle typer leukemi er O/F verdien større enn forventet (O/F=1,12) innenfor en to km radius, mens innfor hele 10 km radiusen er O/F verdien mindre enn forventet (0,97). For hjernekreft viser tallene en større O/F verdi utenfor 2 km radiusen.

Forfatteren finner ingen sammenheng mellom noen enkel kreft type grunnet RF stråling i undersøkelsen. Dolk et al. (1997b) konkluderer med negativ funn, da fant de ikke fant vitenskaplig signifikante bevis for at spesielle typer kreft forekommer oftere i nærheten av senderne”.

### 4.3 Risiko for DNA/genskade

Våren 1999 ga Forsvarsdepartementet Statens arbeidsmiljøinstitutt oppdraget å gjennomgå KNM Kvikksaken, hvor en gruppe menn som hadde tjenestegjort ombord på MTB-fartøyet KNM Kvikk (se figur 14) hadde fått 13 barn med medfødte misdannelser. Målet for rapporten var å vurdere en hypotese om at RF eksponering kunne være årsak til barnas helseskader, og om disse kunne knyttes til RF strålingen ombord på KNM Kvikk. De 13 barna hadde ikke identiske problemer, men et spekter av forskjellig helseskader. Stami analyserte barnas problemer som én gruppe og lette etter fellestrekk. Det var tre barn med klumpfot (talipes equinovarus), to barn med tommelmisdannelser, tre barn med epilepsi eller strukturell hjerneskade og tre barn med forsinket utvikling eller atferdsproblemer, men rapporten fastslår at det er en klar overhyppighet av klumpfot (pes equinovarus).



**(Figur 14 "KNM Kvikk", [fysikk.hfk.vgs.no/elektrom.htm](http://fysikk.hfk.vgs.no/elektrom.htm))**

De etablert et samarbeid med *Medisinsk fødselsregister* og *Statens strålevern* som ble formalisert høsten 1999 og samme år ble det opprettet samarbeid med *Senter for medisinsk genetikk og molekylærmedisin, Haukeland sykehus*, og med to internasjonale eksperter, *dr. Dian Donnai* og *dr. J David Erickson*.

Dr. Donnai ved St.Mary's Hospital i Manchester er ekspert på dysmorfologi og samarbeidet med Senter for medisinsk genetikk og molekylærmedisin om utredningen av familiene og Dr. Erickson ved Centers for Disease Control and Prevention (CDC) i Atlanta, USA, er ekspert på perinatal epidemiologi og clusterutredning, som gjennomførte en samlet årsaksvurdering i samarbeid med eksperter fra Medisinsk fødselsregister, Statens strålevern, Senter for medisinsk genetikk og molekylærmedisin. Eksponeringsnivåene lå i snitt godt under SAR 0,4 W/kg, også ved worst-case situasjoner. Det ble også sett på andre faktorer som

kamuflasje malingen som ble brukt om bord og om denne kunne ha hatt en innvirkning, men ingen sammenheng kunne påvises, men heller ikke utelukkes.

Statens arbeidsmiljøinstitutt sier tilslutt i rapporten:

*Det skal bemerkes at i nesten alle studier av mistenkt farsmedierte misdannelser ville det være lite sannsynlig at man skulle finne slik sammenheng dersom den var reell, og var knyttet til de eksponeringsnivåene for RF-felt som har forekommet på KNM Kvikk.*

Konklusjonen til STAMI blir derfor nonpositiv (ikke-konklusiv); det er ikke direkte dokumentasjon som støtter hypotesen om at barnas helseskader skyldes eksponeringsfaktorer om bord på KNM Kvikk, men vi kan heller ikke avvise hypotesen.

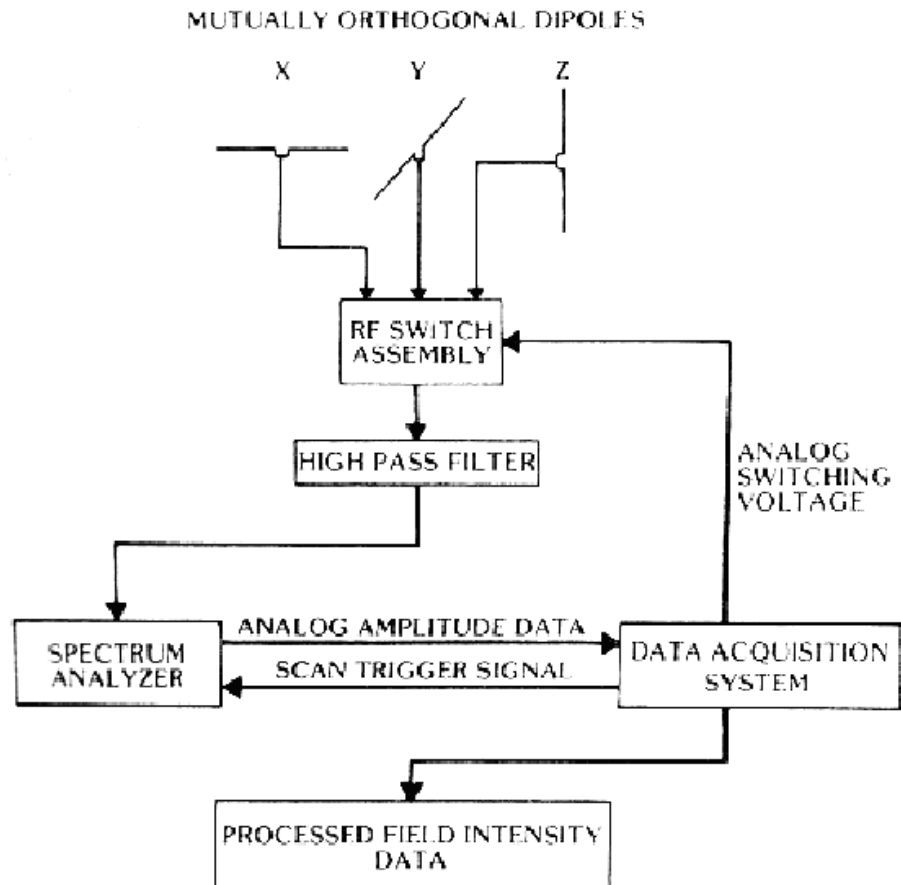
### **4.3 Bekymring blant befolkningen om RF strålefare**

Rapporten til Dolk et al. (1997a) forteller at det har vært stor bekymring blant befolkningen og mye vitenskaplig debatt omkring mulig helsefare vedrørende RF strålefeltet fra radio/tv senderen i Sutton Coldfield området etter en uvanlig opphopning av leukemi og lymfomer på stedet. Kristensen et al. (2000) har sett på "NKM Kvikk" saken, etter mye engstelse blant familiene til mannskapet om bord etter flere tilfeller av misdannelse hos barna. Det ble opprettet en interessegruppe for familiene til mannskapet. Tell & Mantiply (1980) foretok målinger av eksponerings verdier blant befolkningen i USA på oppdrag av The U.S. Environmental Protection Agency (EPA), som så den økende antall radio/tv sendere i landet som en mulig helse fare for innbyggerne.

### **4.4 Befolknings eksponering som funksjon av avstand**

Tell, & Mantiply, (1980), så på befolknings eksponering som funksjon av avstand. Denne rapporten tar for seg måleverdier av RF stråling grunnet radio og TV sendinger i 15 forskjellige byer i USA. Målingene er bestilt av The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) og forgikk over tre år. Frekvensområdene i undersøkelsen er fra 54 MHz til over 806 MHz, men jeg tar bare for meg relevante frekvenser : VHF Bånd I(54 MHz – 88 MHz) og FM (88 MHz –108 MHz) i min analyse. Byene involverte er: Boston, Atlanta, Miami, Philadelphia, New York, Chicago, Washington, Las Vegas, San Diego, Portland, Houston, Los Angeles, Denver, Seattle og San Francisco. Metoden for innsamling var å finne og avgrense bestemte befolknings fortenings områder og måle stråleverdier innfor disse områdene. Folketellingen 1970 ble benyttet for å avgrense områdene som ble kalt for Census Enumeration Districts (CED). Det er 257.000 slike i hele USA. Måleutstyret som ble benyttet var en spektrumsanalysator med en orthogonal dipolar bredbåndsantenne. En blokk diagram av spektrumsanalyse systemet sees nedenfor (fig 15).

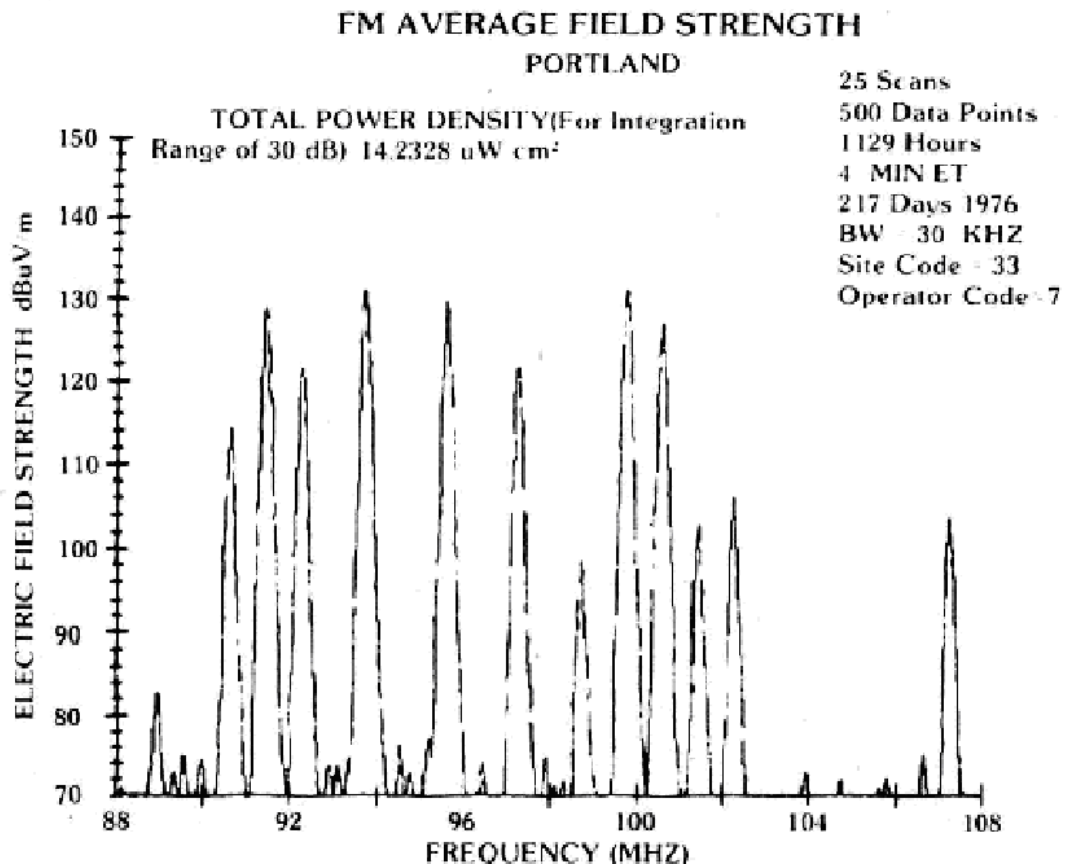




**(Figur 15 Blokk diagram over test oppsettet.)**

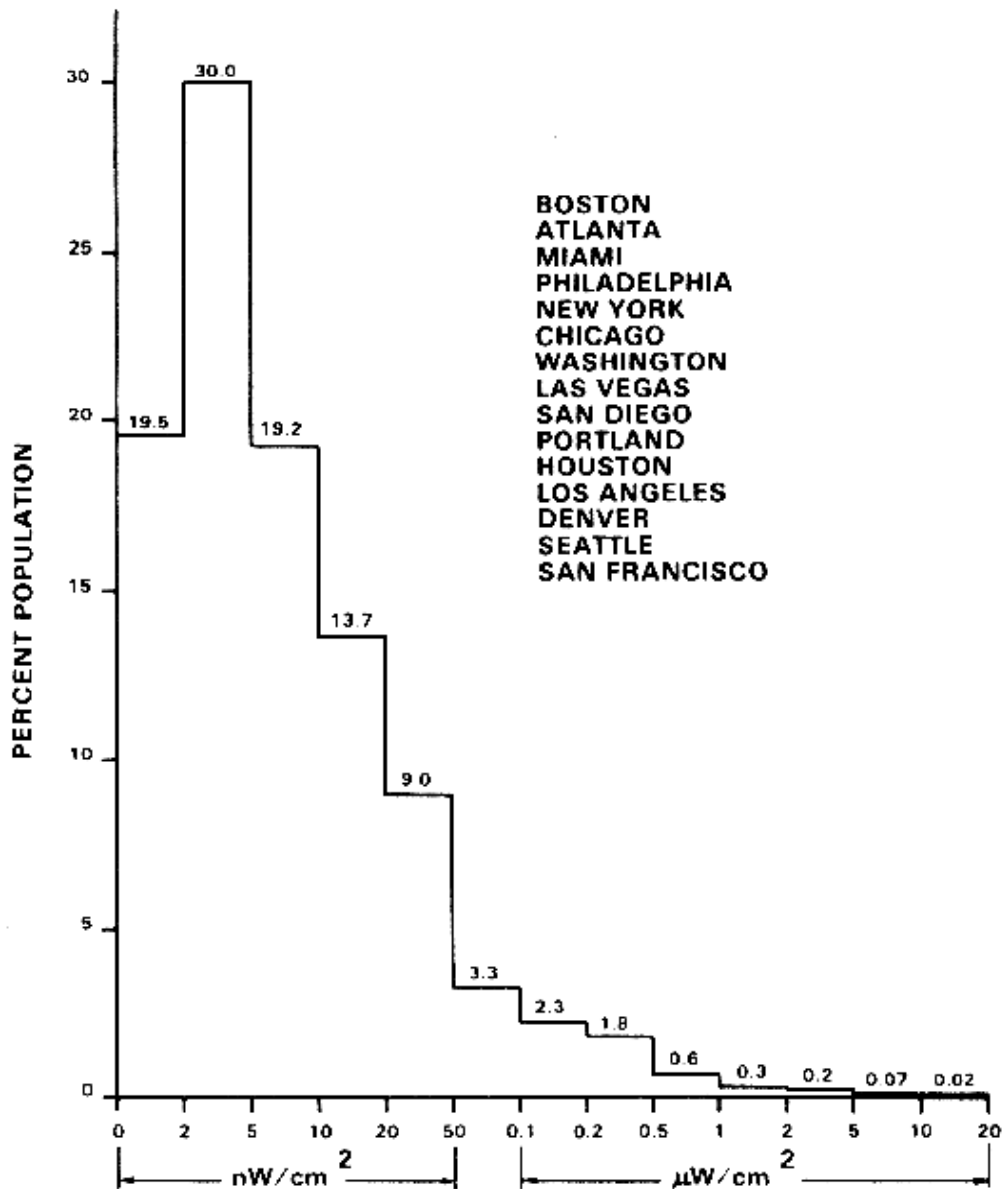
En typisk spektrumanalyse sees nedenfor (se figur 16) og angir antall sendere, frekvens og relativ styrke samt den totale integrerte effekttettheten i  $\mu\text{V}/\text{cm}^2$ . Vi ser 13 fm sendere fordelt fra 88 MHz til 108 MHz.

## EXAMPLE OF MEASUREMENT DATA



(Figur 16 En spekralbilde i Portland, Or)

Undersøkelsen omfatter 46.789 CED områder fordelt på 15 byer med totalt 44.125.176 innbyggere, noe som gir en gjennomsnittlig antall innbygger pr. CED på 934 personer. Det ble målt over 14.000 signaler fra 486 forskjellige steder. I undersøkelsen ble det målt 245 FM og 34 VHF Bånd I sendere.



**(Figur 17 Resultat av undersøkelsen.)**

Resultatet av målinger sees i figur 17. Her ser vi at 30% av befolkningen får en eksponering mellom 2 og 5  $nW/cm^2$ . Tabell N viser også samme fordelingen. Bare 2,02 prosent av befolkningen ble utsatt for de sterkeste feltene på 10-20  $\mu W/cm^2$ , men det store flertallet (ca. 95%) fikk mindre enn 50  $nW/cm^2$ . Doseberegninger ble utført med en metode laget av T.W.Athey (Athey et al, 1978) som kalkulerer signalintensitet fra senderen i forhold til avstand fra et gitt(e) referanse måling(er).

(Tabell N, Fordelingen innen CED)

Prosent av CED		Måleverdier på stedet.	
-----			
19,5	%	=	< 2 nW/cm <sup>2</sup> ,
30	%	=	2 - 5 nW/cm <sup>2</sup> .
19,2	%	=	5 - 10 nW/cm <sup>2</sup> ,
13,7	%	=	10 - 20 nW/cm <sup>2</sup> ,
9	%	=	20 - 50 nW/cm <sup>2</sup> ,
3,3	%	=	50-100 nW/cm <sup>2</sup> ,
2,3	%	=	0,1-0,2 μW/cm <sup>2</sup> ,
1,8	%	=	0,2-0,5 μW/cm <sup>2</sup> ,
0,6	%	=	0,5-1 μW/cm <sup>2</sup> ,
0,3	%	=	1-2 μW/cm <sup>2</sup> ,
0,2	%	=	2-5 μW/cm <sup>2</sup> ,
0,07	%	=	5-10 μW/cm <sup>2</sup> ,
0,02	%	=	10-20 μW/cm <sup>2</sup> .

Resultatet på undersøkelsen : Det ble ikke målt noen overskridelse av nasjonale eller internasjonale strålegrenser.

## 4.5 RF nærfelt eksponering

Kristensen et al. (2000) var bekymret for nærfelt eksponering kunne forårsaket genskade med misdannede barn som følge.

Rapportene til Bini et al. (1986) viste måleresultater fra RF felt som arbeidere ble utsatt for når de som drev med RF forming og liming av plast produkter, ved 12 forskjellige anlegg og omfatter 82 RF kilder. Det ble foretatt 1075 målinger.

Conover et al. (1980) dokumenterte stråleverdier fra disse maskiner (se tabell O). Disse RF smelteovner kan i prinsippet kan benyttes med ubegrenset sendereffekt da frekvensene som er brukt er beregnet til industri (ISM). Frekvensene er 13.56 MHz, 27.12 MHz og 40,68 MHz. Målingene ble utført innefor en meter av RF smelteovnene, der arbeidere jobbet. Måleprober ble plassert på operatøren i høyde med øyne, nakke, brystkasse, gonader, knær og ankler. RF kildene varierte fra 250W til 6,5KW. Grenseverdier gitt av ANSI (1974) sier 200V/m og 0,5A/m. Og en ser en klar overvekt av brudd på grense verdier, spesielt nakke 67,5% og øyne 65,5%.

(Tabell O Måleresultater av Conover et al. (1980))

Anatomisk mål	Prosentvis % overskridelse totalt V/m	Prosentvis % overskridelse totalt A/m	Gjennomsnittlig elektriske feltstyrker V/m	Gjennomsnittlig magnetisk feltstyrker A/m
<b>Øyne</b>	65,5%	44,7%	461 V/m	0,70 A/m
<b>Nakke</b>	67,4%	55,0%	591 V/m	0,81 A/m
<b>Thorax</b>	59,3%	48,4%	388 V/m	1,04 A/m
<b>Abdomen</b>	57,4%	50,7%	520 V/m	0,65 A/m
<b>Gonader</b>	31,7%	37,5%	156 V/m	0,77 A/m
<b>Knær</b>	31,5%	32,1%	356 V/m	0,53 A/m
<b>Ankel</b>	11,7%	48,3%	113 V/m	0,60 A/m

Bini et al. (1986) i sin rapport foretatt målinger av strålefelt til hode, hender og abdomen (se tabell P). De største verdier var på 1000 V/m til hode, 3730 V/m til hendene og 1100 V/m til abdomen. Alle disse verdier overskrider anbefalte grense på 200 V/m.

(Tabell P , Måleresultater fra Bini et al. (1986))

<b>RF sveiser nr.</b>	<b>RF frekvensen under bruk</b>	<b>Absorbert RF effekt</b>	<b>Felt til Hode</b>	<b>Felt til Hendene</b>	<b>Felt til Abdomen</b>
1	26,7MHz	2,5 kW	245 V/m	Ikke målt	240 V/m
2	26,8 MHz	2,5 kW	800 V/m	Ikke målt	400 V/m
3	24 MHz	2,5 kW	400 V/m	Ikke målt	300 V/m
4	Ikke målt	2,5 kW	120 V/m	Ikke målt	100 V/m
5	28 MHz	2,5 kW	400 V/m	3730 V/m	<100 V/m
6	28 MHz	2,5 kW	220 V/m	1190 V/m	100 V/m
7	Ikke målt	2,5 kW	420 V/m	Ikke målt	400 V/m
8	29 MHz	2,5 kW	440 V/m	900 V/m	<100 V/m
9	23 MHz	4 kW	700 V/m	400 V/m	550 V/m
10	26,3 MHz	6 kW	1000 V/m	Ikke målt	800 V/m
11	30 MHz	6 kW	1090 V/m	1300 V/m	1100 V/m
12	25 MHz	6 kW	350 V/m	1100 V/m	Ikke målt
13	27 MHz	6 kW	400 V/m	710 V/m	340 V/m
14	25,5 MHz	10 kW	>1000 V/m	Ikke målt	>1000 V/m
15	28 MHz	10 kW	600 V/m	Ikke målt	300 V/m
16	25 MHz	10 kW	780 V/m	2130 V/m	1980 V/m
17	27 MHz	12 kW	520 V/m	420 V/m	340 V/m
18	28 MHz	12 kW	200 V/m	220 V/m	100 V/m
19	20 MHz	18 kW	440 V/m	1000 V/m	840 V/m
20	20 MHz	30 kW	600 V/m	710 V/m	400 V/m
21	24,8 MHz	15 kW	200 V/m	Ikke målt	220 V/m
22	18,5 MHz	30 kW	155 V/m	Ikke målt	95 V/m
23	13 MHz	50 kW	660 V/m	160 V/m	160 V/m
24	21,5 MHz	50 kW	660 V/m	160 V/m	100 V/m
25	27 MHz	90 kW	<100 V/m	<100 V/m	<100 V/m

Bini et al. (1986) kunne rapportere uforklarlig symptom hos de ansatte som jobbet i nærfeltet på plastsveise utstyret. De undersøkte 63 ansatte, og delte dem inn i tre grupper,

- 30 stk eksponerte
- 11 delvis eksponerte
- 22 i en kontrollgruppe

Av de 30 eksponerte (som bestod av bare kvinner, gjennomsnittlig alder og sivilstatus, arbeids tid), kom det frem en statistisk signifikant forekomst av;

- Øye irritasjoner
- Øvre ekstremitets paralyse
- Vitreousbody disorganization (skader på øyets corpus vitreum)

Grundig helseundersøkelser av de eksponerte (øyner, sentral nervesystemet og perifer blod systemet) viste ingen nevrologiske årsaker. Undersøkelse av samtlige viste en homogen helse samhörighet i gruppene. Bini et al. (1980) konkluderte med at de fleste RF sveiserne hadde større eksponerings verdier enn tillatt. Verst utsatt er hendene, hode, og abdomen grunnet arbeids stilling i forhold til utstyret. Men tilfellet av skade på øyets corpus vitreum (glass legeme) var statistisk signifikant.. "Vitreousbody disorganization" var kjent fra andre undersøkelser foretatt av Boschi et al. (1980), og hadde forekommet hos forsknings personell innen RF felter. Men årsaks mekanismen er ukjent.

Kristensen et al. (2000) så på målinger og eksponeringsverdier flere steder ombord. Spesielt rundt kortbølge antennemasten, der mange av mannskapet oppholdt seg i lange perioder og fant kun enkelte plasser der målinger viste verdier over grenseverdien på SAR 0,4 W/kg .

RF utstyret om bord KNM Kvik som utstråle RF:

- Navigasjonsradar, frekvens 9,4 GHz, med en pulseffekt på 25kW (pulsbredder 0,05µs/3000 Hz, 0,25 µs/1650 Hz, 1,0 µs/825 Hz),
- Tori Search våpenradar, frekvens 8,5-9,6 GHz, pulseffekt 200 kW (pulsbredder 0,45 µs/1900 Hz, 0,22 µs/2850 Hz),
- IFF-transponder, frekvens 1090 MHz, nominell effekt 500W pulset,

- 2 UHF sendere, frekvenser 225-400 MHz, effekt 25W/75W,
- 1 VHF-sender, frekvens 155-165 MHz, effekt 25W,
- 1 håndholdt VHF-sender 5 W,
- HF B (Babord sender, Sunair), frekvens 2-30 MHz, effekt 100W,
- HF S (Styrbord sender, Skanti), frekvens 2-30 MHz, effekt 250W,
- HF A (Akre sender, Skanti), frekvens 2-30 MHz, effekt 750W.

En 8 meters piskantenne til 750W HF A – senderen var montert på en 1,9 meter høy pidestall som var sveiset fast i 8 punkter til dekket like aktenfor nedgangen til akre befalsmesse, bysse / mannskapsmesse og maskinistlugaren. Resten av antennene og radarene var plassert rundt toppdekket på overbygget bak bro: HF B og HF S på hver sin side av overbygget, radarene i en mast montert midt på toppdekket, UHF og VHF antenner i forkant, og en UHF-antenne og mottakerantennen på en mast i bakkant av toppdekket. Under tokt ble sendingene både CW og AM-modulert. HF-senderne kunne teknisk sende i frekvensområdet 2 – 30 MHz, men 98% av sendetiden var mellom 2 og 8 MHz, mens sending på 8 – 12 MHz pågikk 1,5% av tiden, og 12 – 16 MHz sendinger utgjorde 0,5% av tiden. HF-senderne sendte vanligvis ikke med frekvenser over 16 MHz. Eksponeringsnivåene lå i snitt godt under SAR 0,4 W/kg, også ved worst-case situasjoner. Eksponeringsnivåene var meget avhengig av senderfrekvens, med høyere nivåer for mer høyfrekvente sendinger (15,5 MHz og over), dvs. frekvensområder som nesten ikke ble bruk om bord. Ved målinger hvor alt HF-utstyret sto på, ble det målt overskridelser av normene i frekvensområdene som ble brukt under sendinger på KNM Kvikk i noen få områder av fartøyet. Det ble målt tre overskridelser av elektrisk feltstyrke i frekvensområdet 8 – 12 MHz. Dette var overskridelse med 55% bak i båten like foran pidestallen til 750W HF A senderen, overskridelse med 55% i nedre tverrskipskøye langs akterveggen av offisersmessa i overbygget. Rapporten slår fast at sannsynlig årsak til dette er at festet til aktermasten som kom i resonans ved sendinger på 12 MHz pga at syv av åtte sveisepunkter var løsnet på antennemasten. En overskridelse på 25% ble funnet i hodeenden av overkøya på skipssjefens lugar, med en SAR verdi på rundt 0,6 W/kg som høyeste målt verdi. Båtens search-radar kunne tippe forover grunnet en feil på det hydrauliske festet enkelte ganger, og at den ble slått av når dette oppstod. Området på akterdekket mellom pidestallen til 750W HF A antennen og nedgangen til bysse/akre befalsmesse var et populært tilholdssted for mange av fedrene når været var godt. Stedet lå godt i ly, og det var populært å ta seg pauser, sole seg, eller ta en kopp kaffe og en røyk etter middag. Radiofrekvente felt og reproduksjonsskadelige løsemidler i kamuflasjemalinger er de eneste registrerte eksponeringsagens om bord på KNM Kvikk som er vurdert å være



relevante. Det ble gjennomført omfattende eksponeringsmålinger som viste at feltstyrkene fra HF-senderne gjennomgående lå godt under nivåer som ville gi en absorpsjon (SAR) på 0,4 W/kg, selv under målebetingelser som anga "worst-case" situasjoner. Rapporten sier at de målte feltstyrkene vil svare til maksimalt SAR 0,6 W/kg på tre steder om bord:

- Ved siden av 750W HF A antenneanlegget ved akterskipet,
- I en av køyene i fremre offisersmesse i overbygget,
- I øvre køye i skipssjefens lugar.

Disse nivåene ble målt ved frekvenser (8 – 12 MHz) som ble brukt i 1,5% av sendetiden. Absorpsjon vil vesentlig være konsentrert til hals, armer og ben, men at nivåene lå godt unna det termiske området. Rapporten sier ingenting om eksponering eller målte verdier i VHF området.

## 5.0 DISKUSJON OG AVSLUTNING.

### 5.1 Diskusjon

Kristensen, P. et al. (2000), sier

*-det er biologisk plausibelt at misdannelser, som vi i dag ikke kjenner årsakene til, kan skyldes forstyrrelser i nedarvet genuttrykk fra far. Slike skader kan gjennom såkalt genomisk imprinting og arves fra foreldrene uten at foreldrenes arvestoff er direkte skadet.*

Kunnskapsgrunnlaget for spinkelt idag til å si om dette er tilfelle, og i så fall om slike mekanismer vil påvirkes av radiofrekvente felt eller andre miljøeksponeringer eller kanskje en blanding av flere årsaker? RF-felt i termiske nivåer til drektige dyr forsterker virkningen av enkelte kjemiske og fysiske agens som glykoleter med samme teratogene effekt (2-etoksietylacetat, 2-EEA ble brukt om bord KNM "Kvikk" en periode.) har teratogen virkning, (Nelson *et al* , 1991), men kan ikke bevises under ikke-termiske RF nivåer. Det er ukjent om mutagenic agenter eller om en spesielle klasse mutagenisk agenter kan være årsaken til øket kopiering av molekylær G-A-C-S sekvenser under RF bestråling (Ramel, 1989). For å avklare om dette kan ha innvirkning på menneskelig DNA må det forskes videre med tema.

Rapporten sier vider:

*Alle de 14 fedrene har vesentlig oppholdt seg i området rundt bro og akterdekk, og i akterdelen og operasjonsrommet under dekk. Dette innebærer at de har hatt opphold i sonene hvor de høyeste RF-feltene ble målt.*

Det står ikke noe om hvor lenge de oppholdt seg i de sonene om gangen eller hvor ofte. Den enkeltes dose er jo direkte avhengig både av intensitet og eksponeringstid. Stress om bord ble nevnt. Hva med den kombinerte effekten av stress under tokt og elektromagnetisk stråling? Ifølge (Ramel, 1989) vil stress kunne forsterke mutasjoner ved reproduksjon av DNA segmenter i den "non-coding repeat" sekvenser. Målte verdier er tatt en bestemt avstander fra antennepisken om bord. Grunnen er antakelsen om at all stråling går ut i fra den. Er denne antagelsen riktig? Hadde antennen vært en vertikal halvbølget dipol som stråler ut i alle retninger i horisontalplanet rundt den vertikale aksene i antennepisken, så ville beregninger

lett kunne gjøres da all stråling ville forplante seg som en "smultring" omkring antennen (Jordan, 1950). Men antennepisken er ikke hele antennen i seg selv. Den er  $\frac{1}{4}$  bølgelengde radiator og kun en halvpart av antennen. Den andre halvparten (motvekten) er selv skroget i båten. Skroget og antennen danner til sammen en antenne hvor skroget også er en radiator og stråler like mye ut som selve antennepisken, men intensiteten er jo fordelt på en større flate 360 grader rundt (Orr, 1995). For å kunne måle riktige verdier må en ta hensyn til dette ved valg av plassering av måledetektoren. I hvilken avstand fra skroget ble målingen tatt? Dette sier rapporten ingenting om.

Det ble skrevet av mannskapet ofte satt eller lå og solte seg på dekk under fri vakter. En kan lett tenke seg eksponeringsverdier måtte bli høy for spesielt mannens testikler i sittende stilling direkte på dekk, med bare 1-2 mm avstand fra "motpolen til antennen" (dvs. selve dekket om bord), selv om mann følte seg i trygg avstand med hensyn til utstråling fra antennepisken.

Environmental Protection Agency, (1984) og Elders J. & Canill D., (1984), rapportere at under visse forhold kan signifikante biologiske effekter oppstå selv under INIRCP's anbefalte nivåer. Tidligere forskning er usikre om RF strålings påvirkning av foster (ICNIRP, 2001). I "Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health, ICNIRP, 2001, side 914" sier de:

*Some data suggest that one potentially important period of exposure for childhood cancer is during the parental period. However, etiologically relevant time windows for most cancer or other chronic diseases in adults are poorly understood. Even though other time periods (such as preconception period, or perhaps an interval in early infancy) may also be etiologically important, there are only very limited data implicating any agents in these time periods in the etiology of childhood cancer or other childhood chronic diseases.*

Jeg finner ingen bevis om at RF stråling eller andre forhold alene kan ha ført til klumpfot hos disse barna.

Heller ikke Dolk. Et al. (1997a) og Dolk. Et al.(1997b) er det kommet frem konkret bevis for stråleskader hos befolkningen. Selv om første artikkelen indikerer en opphopning i enkelte områder (med maksimum først etter 2 km fra senderen), så følger forekomstene ikke teorien

om ”avtagende risiko med økende avstand fra sender” videre utover. Det kan ikke bevises noen direkte sammenheng mellom RF stråling og sykdommene.

Tell & Mantiply, (1980) viser at hele befolkningen i undersøkelsen har lavere eksponeringsverdier enn anbefalingene til INIRCP. Men det må taes med i betraktningen at befolknings eksponering for FM radio skjer hele døgnet, men kun en del TV stasjoner går av luften for natten. Dolk. Et al. (1997b) benyttet ”Stratifisert utvalg” dvs. randomisert utvalg, men prosentvis forholdet menn/kvinner er beholdt.(Patel & Davidson, 1995, s 80). Dette er bra da en beholder de respektive forhold om sykdommer som skiller mann og kvinne (for eks prosentvis brystkreft for kvinner og testikkelkreft for menn).

Bimi et al. (1986) skriver i sin rapport at brukerne er i nærfeltet og at spredt stråling er ikke problematisk grunnet rask avtakende feltstyrker. Dette er i samsvar med Orr, (1995). De sier også de muligheten til å foreta en deterministisk evaluering vanskeliggjøres grunnet den mengde stråling som stammer fra nærliggende RF sveisere og at frekvens målinger er vanskelig av samme grunn.. Det samme forteller Kristiansen et al. (2000) om ”KNM Kvikk” det var ”et virvar av strålingsfelt” når alle senderne var i drift samtidig, slik som var tilfelle under tokt.

Conover et al. (1979) sier Største elektriske eksponerings felt var over abdomen område, men at også målte verdier i kne område var høye. Gjennomsnittlig maksimal magnetfelt verdier fantes i thorax regionen, mens maksimal elektriskfelt verdier var størst i nakkeregionen. Dette samsvare med Bimi et al. (1986) sine observasjoner. Bimi et al. (1986) påstår at for å måle eksponeringsverdier må en basere seg både av elektriskfelt og magnetfelt verdier. De sier videre at ev veldig signifikante verdier kan forekommer uten å la seg måle med ”power density” utstyr. Jeg tror at dersom dette er korrekt, så vil en hel del av målinger som er foretatt verden over måtte revurderes på nytt, nå en skal finne nye grense verdier innen RF eksponering i ikke termiske nivå neste gang.

## 5.2 Konklusjon og avslutning

Jeg finner ikke beviser for at RF stråling innenfor ikke-termiske verdier kan bevislig føre til skade på menneskelig DNA med de frekvensene som brukes av dagens MR maskiner. En del av artiklene er av nyere dato og hever validiteten på oppgaven. Noen artikler er av eldre karakter, og kan senke validiteten noe, selv om de fysiske lover er det sammen i dag som før. Selv om noen forsknings rapporter forteller om påvirknings av celler og DNA, er dette storsett utført på dyr og kan ikke direkte relateres til mennesker.

Virkningsmekanismene er hittil ukjent, og inntil forskningen kommer med nye funn som kan forklares, må en anse RF eksponering innen SAR grenseverdier som forholdsvis trygt. Men en må vise aktsomhet og "førre var" prinsippet ovenfor det som i dag kan være ukjent, man kjenne enda ikke langtids effekter av RF nærfelt stråling. Det beste en kan gjøre er å begrense den tiden en er utsatt for denne type stråling.

For en pasient innen MR, så er det snakk om kort tid og som regel få ganger en blir undersøkt i løpet av sitt liv, Jeg føler at jeg vil trygt kunne fortelle mine pasienter at MR undersøkelsen ikke medfører noen RF strålefare for dem.

Så svaret på mitt problemstilling må bli: Det pr. i dag finnes ingen bevis på at ikke-termisk pulset elektromagnetisk RF stråling kan ha skadevirkninger på menneskelig molekylær nukleinsyrer (DNA) i MR undersøkelser.

### 5.3 Videre forskning

MR maskinparken i Norge øker for hvert år med stadig høyere Telsa styrker og derved også høyere RF frekvenser. Vi utsettes i dag for mange type RF stråling, kanskje spesielt mobil telefoni, som brukes helt inntil caput, i flere sitter timevis om gangen. Jeg vil oppfordre til videre forskning på RF stråling og dens innvirkning på mennesket. Det kan virke som om RF eksponering har en viss effekt i sammen med toksiske agenter. Som for eksempel dette som Kristensen et al. (2000) sier:

*KNM Kvikk skilte seg ut ved at fartøyet som eneste MTB skulle prøve ut kamuflasjemaling Jotun opplyser at de gikk vekk fra KK-formuleringen i Pioner TC tidlig på 1990-tallet, og Pioner TC inneholder i dag helt andre stoffer. Jotun opplyser at KK-malingen Pioner TC også inneholdt det reproduksjons- og forplantningsskadelige løsemiddelet 2-etoksietylacetat (2-EEA). Dette stoffet inngikk som en større bestanddel på 1970-tallet, men ble etter hvert redusert i mengde til 10%. Jotun gikk høsten 2000 gjennom gamle formuleringer, og kunne ikke finne at 2-EEA inngikk i formuleringene til Pioner TC etter 1981. Sommeren 1987 ble mannskapet om bord, under ledelse av coxen (båtsmannen), satt til å male dekk og skutesider med en KK (klorkautsjuk) maling med handelsnavnet Pioner TC. Som primer ble en aluminiumsmaling (Pioner primer) brukt. Det ble benyttet tynner nr. 7 (som består av løsemiddelet xylen).*

Det er helt klart et behov for mer forskning om emnet. Statens strålevern sier i hefte 22, del åtte, side fem, sier følgende:

*”Eksempler på økt transport av viktige nærings-salter (calsium, natrium og kalium-ioner) ut av cellene, påvirkning av hjerneaktivitet hos dyr og til dels mennesker, endret effekt av enkelte medikamenter og nedsatt funksjon av enkelte enzymer. Forskningsresultatene så langt tyder på at de ikke-termiske effektene opphører når RF feltet fjernes”.*

Selv vil jeg forsøke å komme i gang med eksperimenter med ikke-termisk strålingsnivå og dens innflytelse på vev og celler i nærmeste fremtid.

## Litteraturliste

ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienist), (1996). Threshold limit values for Chemical substances and physical agents and biological exposure indices. AGCIH, Cincinnati, OH, USA

Adair E., Mylacraine K., & Allen S., (2003). Thermophysiological consequences of whole body resonant RF exposure (100 MHz) in human volunteers. Bioelectromagnetics Oct; 24 (7), 489-501.

Allen, S., Adair, E., Mylacraine, K., Hurt W., & Ziriak, J, (2003). Empirical and theoretical dosimetry in support of whole body resonant RF exposure (100 MHz) in human volunteers. Bioelectromagnetics Oct; 24 (7), 502-9.

Amersham Health (2002). Fokus på MRI, Amersham Health, Norge

Athey, T., Tell, R., Hanin, N., Lambdin, E., & Janes, D., (1978). Non-Ionizing Radiation Levels and Population Exposure in Urban Areas of the Eastern United States, Environmental Protection Agency Tech. Rep. ORP/EAD-77-008

Bernardi, P., Cavagnaro, M., Pisa, S., & PiuZZi, E., (2003). Specific Absorption Rate and Temperature Elevation in a subject Exposed in far-Field of Radio-Frequency Sources Operating in the 10-900 Mhz Range. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol 50, nr 3, March ,USA

Bini, M., Checcucci, A., Ignesti, A., Millanta, L., Olmi, R., Rubino, N., & Vanni, R., (1986). Exposure of Workers to Intense RF Electric Fields that Leak from Plastic Sealers. J. Microwave Power, 21,1, 33-40

Brain, J., Kavet R, McCormick D., Poole, C., Silverman, L., Smith, T., Valberg, P., Van Etten, R., & Weaver, J., (2003). Childhood Leukemia: Electric and Magnetic Fields as Possible Risk Factors. Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts, USA.

Bø, O. (1995). :FOU Metodikk. Otta, Tano a.s.

CENELEC (Comitè Européen de Normalisation Electrotechnique) (1995). Human exposure to electromagnetic fields. High frequency 10khz to 300GHz. ENV 50166-2, Brussels

Chen J., & Gandhi O., (1989). 30-50 MHz radiation of man. Health Phys Jul; 57 (1), 89-98.

Chipley, J., (1980). Effects of microwave irradiation on microorganisms. Adv. Appl. Microbiology. 26, 129-145.

Chou, C. (2003). Basic problems of diversely reported biological effects of radio frequency fields. Radiats. Biol. Radioecol., Sep-Oct; 43 (5), 512-518.

- Conover, D., Murray, W., Fpley, E., Lary, J., & Parr, W., (1980). Measurements of electric- and Magnetic-Field Strengths from Industrial Radio-Frequency (6- 38 MHz) Plastic Sealers, Proceedings of the IEEE, 68,1,17-20
- Corley D., Katz P., Wo J., Stefan A., Patti M., Rothstein R., Edmundowicz S., Kline M., Mason R., & Wolfe M., (2003). Improvement of gastroesophageal reflux symptoms after radiofrequency energy: a randomized, sham-controlled trial. Gastroenterology Sep; 125 (3), 668-76.
- Dalland, O. (2000). Metode og oppgave skrivning for studenter, 2. utgave, Oslo: Gyldendal Akademisk
- Desto A., Owen R., & Cress L., (2003). Non-thermal exposure to radiofrequency energy from digital wireless phones does not affect ornithine decarboxylase activity in L929 cell. Radiat Res. Oct; 160 (4), 488-91..
- Dolk, H., Shaddick, H., Walls, P., Grundy, C., Thakrar, B., Kleinschmidt, I., & Elliot, P. (1997a). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part I. Sutton Coldfield Transmitter. Am J. Epidemiol. 145, 1-9.
- Dolk, H., Elliot, P., Shaddick, G., Walls, P., Grundy, C., & Thakrar, B., (1997b). Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part I. Sutton Coldfield Transmitter. Am J. Epidemiol. 145, 10-17.
- Downe-Wambolt, B., (1992). Content analysis: Method, applications and issues. Health Care for Woman International, 13, 313-321
- Durney C., Iskander M., Massoudi H., & Johnson C. (1979). An empirical formula for broad band SAR calculations of prolate spheroidal models of humans and animals, IEEE MTT,27, 759-763
- Ester, Allen D. & Burdette, Jonathan H. (2001). Questions and answers in Magnetic Resonance Imaging. USA , Mosby
- Elders J. & Canill D., (1984). Biological effects of radiofrequency radiation. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, Pub. EPA-600,8-83-026F
- Fang, B., Lu, Q., Li F., Zou, R., & Liu, Y., (1982). Applications of microwave in male contraception, Ching. J. Urol., 3, 75
- Fausa, L., (2004). Forurensning av vårt elektromagnetiske miljø?, Sjøkrigsskolen, Oslo
- Garaj-V., Horvat V., Brumen-Mahovic & Racic J., (1987). Somatic mutations in persons occupationally exposed to microwave radiation, Mutation RES., 181, 321
- Goldstein, M., & Goldstein I.F. (1979). How do we know?, NewYork, U.S.A., Plenum Press.
- Graham, D. T. (1999). Principles of Radiological Physics. London, Churchill & Livingston.



- INIRC Guidelines (1998). Alleged Radiation risks from visual display units, Health Physics Society, USA ,1998, 54, 231-232
- INIRC Guidelines (1994). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields., Health Physics Society, USA ,1994 , 66,1, 100-106
- INIRC Guidelines (1991). Protection of patients undergoing a magnetic resonance examination., Health Physics Society, USA, 61,6, 923-928.
- ICNIRP Statement (1996). Health Issues related to the use of Hand-Held Radiotelephones and Base Transmitters. Health Physics Society, USA, 70, 4, 587-593.
- ICNIRP Guidelines (1998). Manuscript 0017-9078/98, Health Physics Society, USA. april. 498-532.
- ICNIRP (2001). Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health, Health Physics Society, USA
- ISRRT (1996). International Society of Radiographers and Radiological Technologists. Canada:, NewWestminster, British Columbia, Spectrum Graphics
- Jordan, E., (1950). Electromagnetic waves and radiating systems, New York, U.S.A., Goodmore
- Kristensen, P., Jackbsen, K., & Skyberg, K., (2000). Medfødte misdannelser blant barn med fedre som hadde tjeneste på KNM Kvikk. STAMI-rapport:3, ISSN: 1502-0932
- Kunjilwar, k.,& Behari, J.,(1992).Effect of amplitudemodulated radio frequency radiation on cholinergic system og developing rats. Brain Res in Press
- Lai, H., & Singh N. (1996). Single- and double breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. Int. J. Radiation Biol., 69, 513-521.
- Lai, H., & Singh, N., (1995). Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. Bioelectromagnetics, 16, 207-210.
- Lebovitz R., Johnson L., & Samson W.(1987). Effects of pulsed modulated radio frequency radiation on cholinergic system og developing rats, Brain Res. In Press
- Lu, S., Pettit, S., Lu, S. & Michaelson, S., (1986). Effects of microwaves on the adrenal cortex, Radiat. Res., 107, 234-249
- Lu, S., Lebda, N., Lu, S., Pettit, S. & Michaelson, S., (1987). Effects of microwave on three different strains of the rats, Rediat. Res., 110, 173-191
- Magin, R.L., Liburdy, R. & Persson, B. (1992). Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy. Ann. NY Acad. Sci. 649.
- McNamee, J., Bellier, P., Gajda, G., Lavallée B., Marro L., Lemay E., & Thansandote A., (2003). No evidence for genotoxic effects from 24 h exposure of human leukocytes to 1.9 GHz radiofrequency fields. Radiat Res May; 159 (5), 693-7.

- Health Physics, (2002). Medical aspects of radiofrequency radiation overexposure. Mar; 82 (3), 387-91.
- Myhr, G.(1996). Fokus på MRI og bruk av kontrastmidler. Oslo, Nycomed Imaging.
- Mærli, M., (1994). Opplevelsens av risiko i forbindelse med elektromagnetiske felt, IMK rapport 15, Oslo, Universitetet i Oslo
- NRPB, (1989).Guidance as to restrictions on exposures to time varying electromagnetic fields and the 1988 recommendations og the International Non-Ionizing Radioation committee Report NRPB-GS11, National Radiation Protection Board, London
- Orr, W., (1995). Radio Handbook., Indianapolis, Ind. U.S.A. Editors & Engineers.
- Patel, R., & Davidson, B., (1995).Forskningsmetodikkens grunnlag.Oslo,Universitetsforlaget.
- Pettersson, H., Egund, N., Sigfusson, B., Skjennald, A. & Standertskjøld-Nordenstam, (1995). Nordisk lærebok i radiologi, Lund, Sverige, Forfatteren och Studentlitteratur.
- Plaats, G.J.van., (1980). Medical X-ray Techniques in Diagnostic Radiology. Surry, England, Centrex Publishing Company.
- Port, M., Abend, M., Römer, B., Van Beuningen, D., (2003). Influence of high-frequency electromagnetic fields on different modes of cell death and gene expression. Int J Radiat Biol Sep; 79 (9),701-8.
- Ramel, C., (1989). The nature of spontaneous mutaions, Mutromagnetics Res,212, 33-42
- Ray, S., & Behari, J., (1990). Physiological changes in rats after exposure caused by microwave . Radiat. Res.,123, 199-202
- Rojas, E., Lopez, M. & Valverde, M., (1999). Signle cell gel electrophoresis assy: methodology and applications, Journal of Choromatography B, 722, 225-254
- Sarkar, S., Ali, S. & Behaei, J. (1994). Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analyses. Mutaion Res. 320, 141-147.
- Scott, A.W. (1993). Understanding Microwaves, New York, U.S.A., Tanium Pub.
- Sentralsykehuset i Rogaland (SiR), (2003). Håndbok for nukleærmedisinsk laboratorium, Stavanger
- Shellock, F. & Kanal, E., (1994). Magnetic Resonance ,Bioeffects,safety and patient management., New York, USA, Raven Press
- Sobel, E. & Davanipour, Z. (1996). EMF exposure may cause increased production of amyloid beta and eventually lead to Alzheimers's disease. Neuroloy 47, 1594-1600
- Stråleverns Rapport 2000-10. Informasjon om elektromagnetiskfelt og helse risiko, Oslo, Statens strålevern

Stråleverns Rapport 2000-5. Elektromagnetisk felt fra basestasjoner for mobiltelefoni, Oslo, Statens strålevern

Sjøberg, N. O. (1993). Molekylær genetikk. , Stabekk, Vett & Viten

STAMI-rapport nr.3 (2000).Medfødte misdannelser blant barn med fedre som hadde tjeneste på KNM Kvikk. ISSN: 1502-0932

Tell, R., & Mantply, E., (1980), :Population Exposure to VHF and UHF Broadcast Radiation in the United States. Proceedings of the IEEE, vol 68, no.1, 6-11

Tilton, E., (1972). The Radio Amateur's VHF Manual, Newington Connecticut, USA, The American Radio Relay League, INC.

Vikterløf, K. J. (1975). Isotoplære. Oslo, Universitetsforlag.

Williams, G. M. (1996). Comment on "Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells" by Henry Lai, & Narendra P. Singh. Bioelectromagnetics, 17, 127-134.

Wilson, M. (2003). The ARRL Handbook for the Radio Amateur. Newington, CT, U.S.A. The A.R.R.L. company.

World Health Organization (1993). Electromagnetic fields (300Hz to 300 GHz), Environmental Health Criteria 137. (WHO), Geneva

Woodward, P., (2001), : MRI for technologists, second edition, McGraw-Hill, USA

[www.crhsc.umontreal.ca/dreams/zinfo.htm](http://www.crhsc.umontreal.ca/dreams/zinfo.htm), 12.2.2004

[www.ehs.unr.edu/rso/radprin.htm](http://www.ehs.unr.edu/rso/radprin.htm), 12.2, 2004

[www.fda.gov/cellphones/qa.html#3a](http://www.fda.gov/cellphones/qa.html#3a)

[www.Statensstrålevern.no/html](http://www.Statensstrålevern.no/html), 12.2.2004

[www.rfsafe.com/articles/effects\\_of\\_low\\_level\\_2.htm](http://www.rfsafe.com/articles/effects_of_low_level_2.htm), 12.2.2004

[www.kineticimaging.com/komet.html](http://www.kineticimaging.com/komet.html)

[WWW.ips.idium.no/stami.no/filestore/00nr.3.pdf](http://WWW.ips.idium.no/stami.no/filestore/00nr.3.pdf)

## Vedlegg 1

Jeg vil bruke en del forkortelser og fremmedord som jeg vil nå definere og forklare.

- ADC            Analog til digital konverter.
- ACGIH        American Conference of Government Industrial Hygienist.
- ANSI         American National Standards Institute.
- CENELEC     European Committee for Electrotechnical Standardization.
- CW            Continous Wave. “konstant RF bølge”
- DAC         Digital til analog konverter.
- DNA         Deoxyribo Nucleic Acid (Nukleinsyrer).
- IEEE         Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- EMF         Electro Magnetic Field = Elektromagnetisk felt.
- Faradaybur   RF kabin/ RF skjermet rom som radiobølger ikke slipper ut eller inn.
- FCC         Federal Communication Commission.
- FDA         U.S: Food & Drug Administration.
- IARC         International Agency for Research on Cancer.
- ICNIRP       International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
- INIRC        International Non-Ionizing Radiation Committee.
- ION         En elektrisk ladet atom med enten overs/underkudd av elektroner.
- ISRRT        International Society of Radiographers and Radiological Technologists.
- MR            Magnetisk Resonans Tomografi. (også kalt NMRI, MRI og MRT).
- NCRP        National Council on Radiation Protection and Measurements.
- NIR         Ikke-ioniserende stråling.  $<12\text{eV}$ , bølgelengder  $>100\text{nm}$ , frekvenser  $<3 \times 10^{15} \text{ Hz}$ .
- NIEHS       National Institute of Environmental Health Sciences.
- NRPB        National Radiological Protection Board.
- RF            Radio Frequency
- SAR         Specific Absorption Rate. Enhet for R.F. dose absorbert i mennesket målt i Watt pr kilogram ( $\text{W kg}^{-1}$ ).
- SNR         Signal to noise ratio: Signal til støyforhold.
- WHO         World Health Organization

### Elektriske felt:

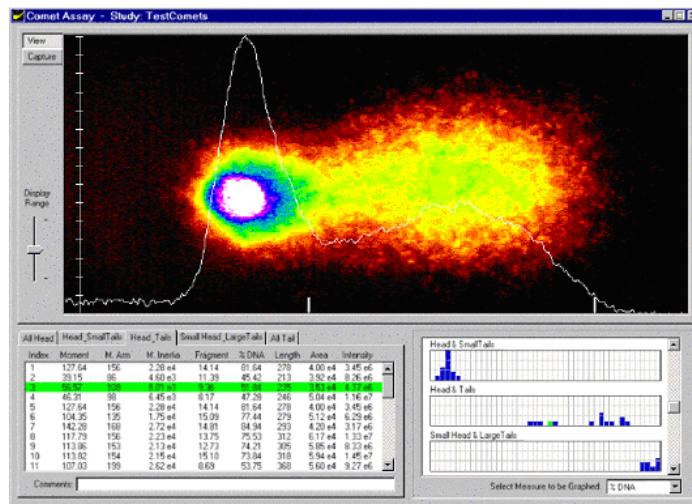
For å beskrive styrken på elektriske felt (spenningsfelt) brukes enheten **Volt/meter (V/m)** eller **kiloVolt/meter (kV/m)**. (**Innen RF betegnes magnetfelts komponenten A/m**)

### Magnetiske felt:

For å beskrive styrken på magnetfelt (magnetfluks tetthet) brukes vanligvis betegnelsen Tesla (T). Tesla er en meget stor enhet, og normalt brukes derfor enhetene mikroTesla ( $\mu\text{T}$ ) og nanoTesla (nT). Enkelte ganger (særlig i USA) brukes de foreldete enhetene Gauss (G) og milliGauss (mG). Sammenhengen mellom Gauss og Tesla er som følger: 1 Tesla = 10 000 Gauss

## Vedlegg 2 Comet Assay's virkemåte

”Comet Assay” metoden er oppfunnet av svenskene Östling & Johansson i 1984. Metoden en benytter seg av er ”Alkaline Sigle-Cell Gel Electrophoresis” (SCGE).



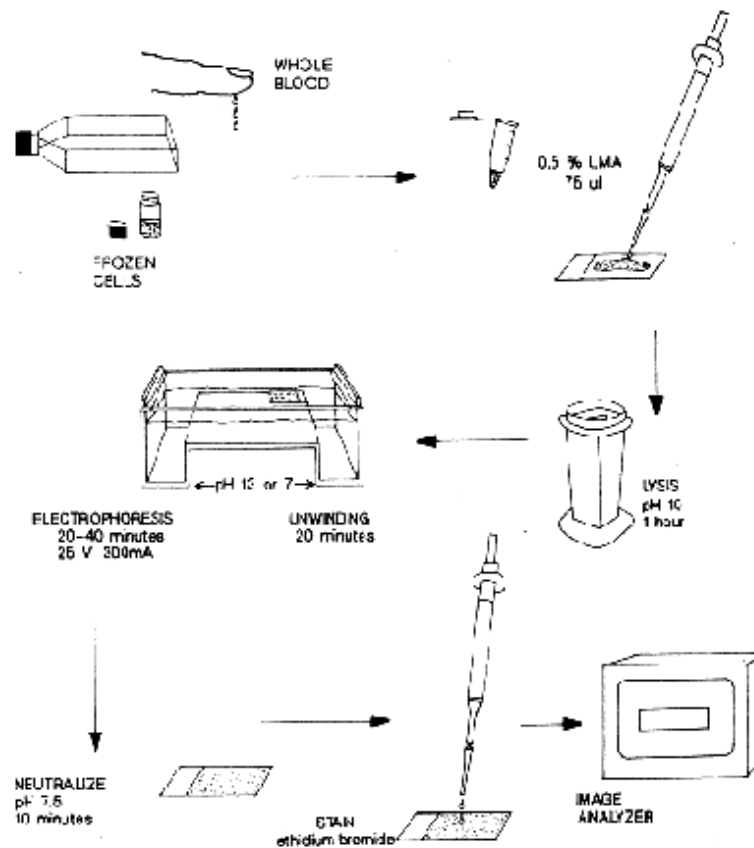
(Figur 19 Comet Assay. RF.Akvamiljø, 2004).

I mars i år (2004) oppsøkte jeg et firma som heter RF-Akvamiljø (et firma som driver DNA analyser i samarbeid med Rogalands Forskning) i Stavanger og fikk se ”Comet Assay” analyse utstyret. Fremgangsmetoden er som følger: Cellene blir blandet med agarose og så spred på et mikroskopglassplate. Så ved hjelp av Lysis vil cellemembranen og andre proteiner løses opp i løpet av en time, og DNA vil kunne vinde seg ut av dobbelt-spiral formen og ødelagte fragmenter løsne innen 20 minutter. En 15 Volts elektrisk spenning blir satt på glassplaten, med en anode og en katode på hver sin side. Så på 20 –40 minutter skjer det en vandringen i gelemassen sakte mot anode siden på glassplaten. Dersom det er skader på DNA vil comethodet (som består av celle nukleus og inntakt DNA) får en ”hale” etter seg. Lengden på halen står i direkte forhold til antall fragmenter og angir derved størrelsesordenen på skaden av DNA. Deretter blir prosessen nøytralisert med Tris (pH 7,5) i 10 minutter, så fikses prøven med ”ethidium bromide” på en glass prøveslide (chip). Under en florensemikroskop vil apparaturet ta bilder av ”Comten” og en datamaskin vil analysere chipen.

En ser på hale lengde, tetthet, høyde og bredde. En vil ta opptil 50 separate chips for analyse. Verdiene blir lagret i en analysedatamaskin og skrevet ut på papir etterpå.

**Comet Assay metoden har følgende fordeler.**

- **Høy sensitivitet for DNA skader.**
- **Rask og enkel i bruk.**
- **Kun et lite materiale trenges.**
- **Virker på de fleste eukaryote celler (celler med membranbunnet nucleus / cellekjerner som inneholder kromosomer av DNA).**

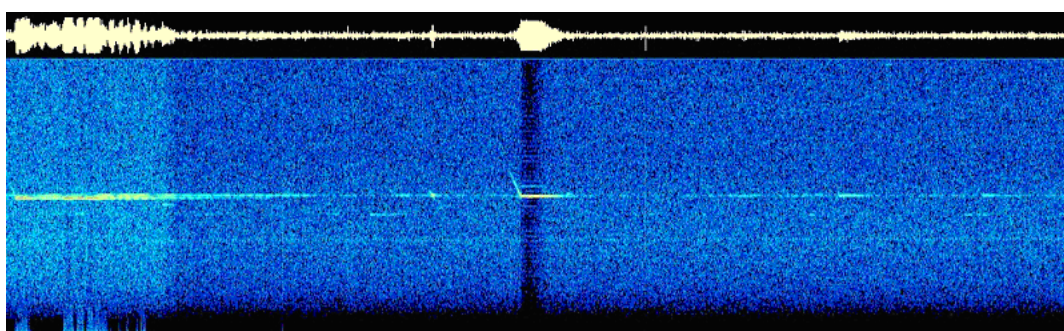


**(Figur 11 Comet Assay prosessen (Rojas et al.,(1999), side228)**

### **Vedlegg 3 Naturlig ioniserende stråling, en oversvasjon.**

Nedenfor ser vi et eksempel på **naturlig** ionisasjon i jord atmosfæren som populært kalles for

”Meteor Scatter” (Tilton, 1972). Et lite støvkorn (meteoritt) fra verdensrommet, som har stor fart (flere tusen kilometer i sekundet) og derved har en meget stor kinetisk energi pga sin fart. Ionisering av luftmolekyler vil skje da den kinetiske energien (hastighetsenergien) blir omvandlet til varme under oppbremsings i jord atmosfæren.



**(Figur 2, doppler signal fra TV sender på 48MHz mottatt på Haukelandsbakken 45, i desember- 2003).**

Bildet i figur 2 viser en dopplergram (spektrumanalyse) av Greipstad TV sender ved Kristiansand som sender på 48,252 MHz med en utstrålt effekt på 250kW. Signalet er mottatt her på radiografhøyskolen i Bergen på en 40 meter lang dipol antenne, Doppler-grammet viser refleksjoner i ionisærfæren den 22 desember, 2003, klokken 10:24 norsk tid. Greipstad tv sender kan normal ikke mottaes direkte via jordbølgen pga stor avstand og topografiske hindringer. Figur 2 viser TV signalets bærebølge og fra venstre mot høyre på figur 2 går tidsaksen( ca 2 minutter), frekvensen har en vertikal akse (ca. 3kHz båndbredde). Øverst på bildet ser vi signalstyrken av signalet ut fra radiomottakeren. Til venstre på bildet ser vi mange meteoritter, dvs ett ”stjerneskudds sverm” som varte ca 12 sekunder og midt på bildet ser vi en enkel ionisasjon av luften grunnet et enkelt meteoritt som entret atmosfæren i stor fart. Vi kan se dopplereffekt (den lille skrå haken) av signalet (0,5 sekund) på ca. 200 Hz nedover i frekvens p.g.a. meteoren brenner opp og forsvinner, og like etter, en ionisering av stillestående, omkringliggende luft som varer i ca. to sekunder som også reflekter signalet tilbake til jorden. Når luftmolekylene gjenvinner sin normal likevekts tilstand forsvinner refleksjonene. NB, dersom luften som bli ionisert befinner seg i en Jet stream (luftmasse i hurtig bevegelse ofte flere hundre km/t) så vil det også gi oss en frekvens skift som vises på dopplergrammet.