

Högfrekventa elektromagnetiska fält runt kirurgisk diatermiapparat

Brita Liljestrand, Monica Sandström och Kjell Hansson Mild

ARBETSLIVSRAPPORT NR 2002:5

ISSN 1400-8211 <http://www.niwl.se/>

Programmet för teknisk yrkeshygien
Programchef Ulf Landström



Arbetslivsinstitutet

Förord

Detta projekt har genomförts som ett examensarbete för Brita Liljestrand, Mälardalens högskola i Västerås, 2001. Gruppen för icke-joniserande strålning, programmet för Teknisk Yrkeshygien, Arbetslivsinstitutet, Umeå, har bistått med handledning, deltagit i mätningarna och tillhandahållit lämplig instrumentering.

Vi tackar personalen vid Thorax-operation, Norrlands Universitetssjukhus, Umeå, för deras deltagande vid fältmätningarna.

Umeå i mars 2002.

Författarna

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 SYFTE	2
1.2 AVGRÄNSNING	2
2. TEORI	3
2.1 RADIOFREKVENTA FÄLT	3
2.2 ICNIRP	3
2.3 KIRURGISK DIATERMI	4
3. MATERIAL OCH METOD	5
3.1 INSTRUMENTERING	5
3.2 BERÄKNINGAR	6
3.3 LABORATORIEMÄTNINGAR	6
3.4 FÄLTMÄTNINGAR	7
4. RESULTAT	9
4.1 TESTMÄTNINGAR PÅ BARD SYSTEM 3000	9
4.2 TESTMÄTNINGAR PÅ ERBE ICC-350	11
4.3 BIPOLÄR FUNKTION – BARD SYSTEM 3000	13
4.4 FÄLTMÄTNINGAR	14
4.5 SKÄRMNING AV DEN AKTIVA LEDAREN	16
5. DISKUSSION	17
6. SLUTSATS	18
7. SAMMANFATTNING	19
8. SUMMARY	20
9. REFERENSER	21

1. INLEDNING

Att skära genom hud och vävnad har under årtusenden gjorts med skalpell. Detta har inneburit stora blödningar med risker för infektioner för den utsatte. Blödningarna har också inneburit hinder för den som utförde ingreppen. Därför har diatermiapparaten vunnit den största framgången inom kirurgin sedan skalpellen. Kirurgisk diatermi uppfanns av W.T.Bovie i slutet av 1920-talet (1, 2). Tekniken har utvecklats till att inte bara skära i hud och vävnad utan också till att koagulera blodkärl. Den viktigaste effekten fås av den värmeutveckling som uppstår i den aktiva elektroden (dia = genom och terme = värme). Skärning sker med hjälp av den värme som uppstår och som spränger cellerna. Koagulering av blodkärl sker också med hjälp av den uppkomna värmen (3). Vidare bidrar den också till att förhindra infektioner pga dess bakteriedödande effekt.

Det finns idag flera typer av kirurgiska diatermiapparater som arbetar i frekvensområdet 0,3 – 5 MHz. De flesta utför både skärning och koagulering medan andra endast koagulerar blodkärl. Skillnaden på de två metoderna är framförallt att man använder sig av olika uteffekter på diatermiapparaten, men också att den genererade strömmen har olika kurvformer (2, 4). Vid skärning krävs oftast högre uteffekt (50–150 W) än vid koagulering (30-60 W), men det är också beroende på var i kroppen man opererar (5, 6).

De diatermiapparater som oftast används vid allmänkirurgi och thoraxoperationer är apparater som kan ställas in på antingen skärning, koagulering eller en blandning av dessa. Vid skärning används sinusformad ström och när den blandas med en pulsmodulerad våg får man skärningseffekt med samtidig koagulering. Den kallas också monopolär pga att strömmen går genom en aktiv elektrod till patienten och passerar denne för att till slut nå en neutralelektrod som för strömmen tillbaka till diatermiapparaten. En ren koagulerande effekt på strömmen fås bipolärt genom ett speciellt instrument som liknar en pincett där strömmen går ut genom den ena skänkeln och tillbaka till apparaten genom den andra (6-8).

Den som står närmast operationsområdet och närmast den aktiva elektroden är kirurgen. Spänningen i den aktiva elektroden kan nå upp till tusentals volt och strömstyrkor på upp till 0,5 ampere i MHz-området. Detta genererar i sin tur elektriska och magnetiska fält (EM-fält) som kirurgen exponeras för under operationen (9-12).

Idag är kunskapen hur EM-fält i frekvensområdet som innefattar kirurgisk diatermi påverkar oss begränsad och endast ett fåtal studier behandlar dess hälsoeffekter (13, 14). Studier av plastsvetsoperatörers exponering för radiofrekventa (RF) fält är det som närmast kan jämföras med exponering för fält vid diatermianvändning. En svensk studie visade att operatörerna hade en signifikant sämre nervfunktion i händer och fingrar jämfört med en icke exponerad kontrollgrupp. Nervfunktionen testades med 2-punktsdiskrimination – ett mått på taktill uppfattning i hand och fingrar. Bland plastsvetsoperatörerna var också domningsbesvär i händer och fingrar oftare beskrivna (15).

Allmänna symtom som huvudvärk, yrsel, domningar, trötthet, koncentrationssvårigheter finns också beskrivna i litteraturen bland radararbetare (16, 17). En överfrekvens av liknande symtom har också rapporterats bland mobiltelefonanvändare (18).

I de standarder och anvisningar som finns idag angående medicinteknisk utrustning nämns endast marginellt personalens exponering för EM-fält från kirurgisk diatermi (19, 20, 21).

1.1 Syfte

Att under laborativa förhållanden mäta och i vissa fall beräkna vilka elektriska och magnetiska fält kirurgen exponeras för och hur denna exponering förhåller sig till de internationella riktlinjerna. Vidare att ge förslag på hur man kan minska fältexponeringen vid användning av kirurgisk diatermiutrustning.

1.2 Avgränsning

Arbetet avgränsas till användning av kirurgisk diatermi vid laparotomi (bukoperationer) och sternotomi (kranskärlsoperationer). Andra operationer t ex endoskopier där diatermi också används berörs inte. Patientens situation och dennes olika riskfaktorer av kirurgisk diatermi som t ex brännskador kommer inte heller att beröras.

2. TEORI

2.1 Radiofrekventa fält

De elektromagnetiska fält som diskuteras i denna studie ligger i RF-området, dvs i området som ligger mellan 100 kHz och 300 MHz. Hos en elektromagnetisk våg är energin i vågen proportionell mot frekvensen. Det elektromagnetiska fältet består i sig av två komponenter - det elektriska och det magnetiska fältet och dessa kommer att behandlas var för sig. Enheten för elektrisk fältstyrka (E) är V/m och för den magnetiska flödestätheten (B) är den Tesla (T). I detta fall kommer subenheten μT att användas.

2.2 ICNIRP

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) är en internationell, oberoende, vetenskaplig organisation (22). Deras uppgift är att undersöka risker som kan förknippas med olika former av icke-joniserande strålning samt att utveckla internationella riktlinjer för denna typ av exponering. Mätningarna i denna undersökning kommer att jämföras med dessa internationella riktlinjer.

I frekvensområdet 1 Hz till 10 MHz är inducerad ström, som kan ge nervstimulering, den begränsande faktorn. Det tillåtna värdet för strömtätheten j anges som

$$j = f / 100 \text{ (mA/m}^2\text{)}$$

där frekvensen f anges i Hz. Detta betyder att för kirurgisk diatermi som opererar i området kring 0,5 MHz (500 000 Hz) blir maximalt tillåten strömtäthet 5000 mA/m^2 . Detta är ett absolut takvärde.

Mellan 100 kHz och 10 GHz inkluderas även absorption av elektromagnetisk energi som resulterar i termiska effekter. Det motsvarande dosimetriska måttet är SAR (Specific Absorption Rate, uttryckt i W/kg) och här är högsta tillåtna värde för del av kropp 20 W/kg och för huvud och bål 10 W/kg. Dessa värden skall tidsmedelvärdesbildas över en godtycklig 6 minuters period.

Dessa båda storheter kallas "basic restrictions", men eftersom ingen av dessa enkelt kan uppmätas i en konkret situation så har referensnivåer för uppmätta elektriska och magnetiska fält i luft framtagits. Tanken är att om uppmätta värden ligger under referensvärdena så uppfylls också "basic restrictions". Värdena som gäller för 0,5 MHz är $E = 610 \text{ V/m}$ och $B = 4 \mu\text{T}$.

2.3 Kirurgisk diatermi

Principer för kirurgisk diatermi är följande (5):

Den aktuella vävnaden värms upp av den applicerade elektriska strömmen. Detta är beroende av vävnadens resistans (typ av vävnad) liksom av strömtäthet och tid för användning. Kirurgisk diatermi koncentrerar elektrisk energi vid en särskild punkt i kroppen för skärnings- och koaguleringsyfte. Vid den aktiva elektroden produceras ett fält som minskar med avståndet, men motsvaras ändå av hög energitäthet i vävnaden (23):

- vävnadsupphettning från 37 till 44 °C motsvaras av en energitäthet på $\approx 25 \text{ J/cm}^3$
- koagulering av protein i vävnad sker över 65 °C och motsvaras av $\approx 100 \text{ J/cm}^3$
- kokning (cellplasma) motsvaras av $\approx 220 \text{ J/cm}^3$
- avdunstning av cellplasma motsvaras av $> 330 \text{ J/cm}^3$

3. MATERIAL OCH METOD

Mätningarna på kirurgisk diatermi innefattade frekvens, effekt, strömstyrka, elektrisk fältstyrka och magnetisk flödestäthet. Mätningarna gjordes dels på laboratorium vid användning av två olika diatermiapparater dels på sjukhus under tre operationer. Vid mättillfällena på operation användes samma diatermiapparat där såväl skärning som koagulation utfördes med monopolär metod.

Med tanke på hur den bipolära metoden fungerar på en diatermiapparat, dvs med ström som passerar den ena skänkeln och tillbaka till apparaten genom den andra, är det magnetiska fältet försumbart. Det som däremot kan vara av intresse är att mäta storleken på den elektriska fältstyrkan även på den ledaren. Det gjordes under testmätningarna för att se om det föreligger någon skillnad i exponering för elektriska fält mellan koagulering av blodkärl bipolärt jämfört med koagulering monopolärt.

Alla mätningar på ström (I) är omräknade till den effektiva strömmen, dvs till det sk rms-värdet i mA (24). Beräkningen sker enligt formeln

$$I_{rms} = \frac{I_{pp}}{2\sqrt{2}} \quad I_{pp} \text{ är strömmens topp till topp värde}$$

I syfte att undersöka om det elektriska fältet kan minskas eller elimineras runt den aktiva elektrodens ledare användes en jordstrumpa för skärmning.

3.1 Instrumentering

Samtliga erforderliga instrument finns redovisade i bilaga 1.

För mätning av elektrisk fältstyrka användes HOLADAY HI-3603 som har en undre gränshfrekvens på 0,5 MHz och specificeras då till ± 2 dB (25). Instrumentet kalibrerades med hjälp av en Crawford-cell för de aktuella frekvenserna.

Den aktuella strömproben TEKTRONIX P6021 AC (frekvensgång 120 Hz-60 MHz) jämfördes dels med Tektronix 2201-oscilloscop dels med FLUKE 92B scopemeter. Dessa värden på strömstyrka överensstämde med resultat erhållna med HOLADAY HI – 4460 och 3702 (se bilaga 1).

3.2 Beräkningar

Elektrisk fältstyrka mättes med avseende på olika avstånd från den aktiva elektrodens ledare. Den prob som användes vid mätningarna består av tre ortogonala mätdioder och det kortaste avståndet från ledaren där mätning kan ske är 5 cm.

Eftersom det elektriska fältet från en ledare är indirekt proportionellt mot avståndet (r) dvs $E = k / r$, där k är en konstant, kan beräkningar göras på elektriska fältet med avseende på olika avstånd till ledaren (24, 26-27).

Magnetfältet (magnetiska flödestätheten (B)) från en oändligt lång rak ledare beräknas enligt följande (26-29):

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \pi r}$$

där r är avståndet från ledaren och I är ström i ledaren och μ_0 är permeabiliteten i vacuum = $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

Magnetfältet i centrum på en cirkulär strömslinga med radien r ges av formeln:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 r}$$

3.3 Laboriemätningar

Mätningarna utfördes vid Arbetslivsinstitutet i Umeå. Följande två diatermiapparater användes:

BARD System 3000 (28):

ett äldre system som utlånats av MTS (medicin teknisk support), Norrlands Universitetssjukhus (NUS), Umeå (bilaga 2). Denna diatermiapparat är ej längre i bruk vid sjukhuset men principen är densamma som vid de nu använda apparaterna.

ERBE ICC – 350 (29):

utlånat av operationscentrum, NUS (bilaga 2). Denna typ av diatermiapparat är en av de mest använda idag vid operationer på NUS.

Till båda apparaterna anslöts en aktiv ledare försedd med knivblad (den aktiva elektroden) och en neutral ledare (den neutrala elektroden) som i sin tur anslöts till den sk neutralplattan.

Som biologiskt testmaterial användes bog- och sidfläsk. Fläskstycket var i den storleken att det täckte hela neutralplattan samt placerades med fettranden neråt mot neutralplattan. Köttbiten låg på en 33x17 cm stor träplatta på en dragbänk med luftutsug.

3.4 Fältmätningar

Eftersom kirurgisk diatermi används under en stor del av en kranskärlsoperation blev thoraxoperation valet för fältmätningarna. Tre fältmätningar utfördes. Diatermiapparat ERBE ICC-350 användes genomgående vid kranskärlsoperationerna. Samtliga mätningar avser operationer i thoraxområdet.

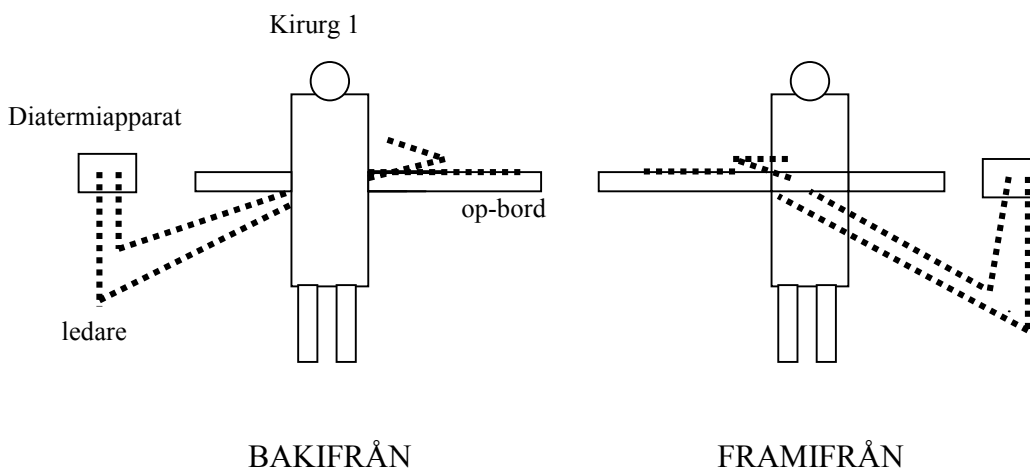
Följande parametrar registrerades under de två första operationerna:

- tid, $t(s)$ - för aktiv användning av kirurgisk diatermi vid en thoraxoperation
- frekvens, $f(\text{Hz})$ - på den aktiva elektrodens ström
- effekt, $P(W)$ - inställningar på diatermiapparaten under operationen

Under dessa operationer användes två aktiva elektroder som var kopplade till diatermiapparatens två utgångar. Den ena användes till thoraxområdet och den andra till att frilägga ett blodkärl från benet. Blodkärlet från benet är det kärl som används för nya överledningar runt förtätade kranskärl i hjärtat.

Kirurg 1 (den som öppnar patientens bröstorg och går vidare ner genom vävnaden och frigör hjärtat) höll i den ena aktiva elektroden och kirurg 2 (den som frilägger kärlet från benet) höll i den andra. Mätningarna under operationen gjordes på den aktiva elektrod som användes i thoraxområdet (kirurg 1).

De två aktiva elektrodernas ledare var under operationen placerade enligt figur 1. De gick från diatermiapparaten till kirurg 1:s vänstra sida, snett över vänster lår upp över buken och båda ledarna låg sedan framför kirurgen och gick över till höger sida. Den som mest exponerades för fält i det här fallet var kirurg 1.



Figur 1. Placering av de aktiva elektrodernas ledare i förhållande till kirurg 1 under operation.

Neutralplattan var placerad på patientens högra skuldra och den neutrala ledaren hängde nära de aktiva elektroderna tillbaka till apparaten vid operation 1 medan neutralelektrodens ledare hängde i jämnhöjd med operationsbordet vid operation 2. Under operationen hölls de aktiva elektroderna av kirurg 1 och kirurg 2 och aldrig av någon annan personal.

Operation 2 skiljer sig från operation 1 genom att kirurg 2 som skulle avlägsna blodkärlet från benet gjorde det med sk ”titthål”. Han skar upp tre hål (3 - 4 cm vardera) och använde titthålsinstrument för att frilägga kärlet, dvs diatermi användes mycket lite nere vid benet under denna operation.

Huvudsyftet vid de två första mättillfällerna (operation 1 och 2) var att undersöka hur lång tid diatermi används under en kranskärlsoperation och med vilken uteffekt samt att ta fram underlag till en tredje mätning där huvudsyftet är att mäta den elektriska fältstyrkan.

Följande parametrar registrerades vid den tredje operationen:

- tid, $t(s)$ - för aktiv användning av kirurgisk diatermi under en thoraxoperation
- strömstyrka, $I_{rms}(mA)$ - i den aktiva elektrodens ledare vid aktivering
- elektrisk fältstyrka, $E(V/m)$ - på den aktiva elektrodens ledare
- effekt, $P(W)$ - inställningarna på diatermiapparaten under operation

Operationsmiljön med avseende på de aktiva elektrodens ledare och neutral-plattan och dess ledare var identisk med de tidigare mätningarna.

4. RESULTAT

4.1 Testmätningar på BARD System 3000

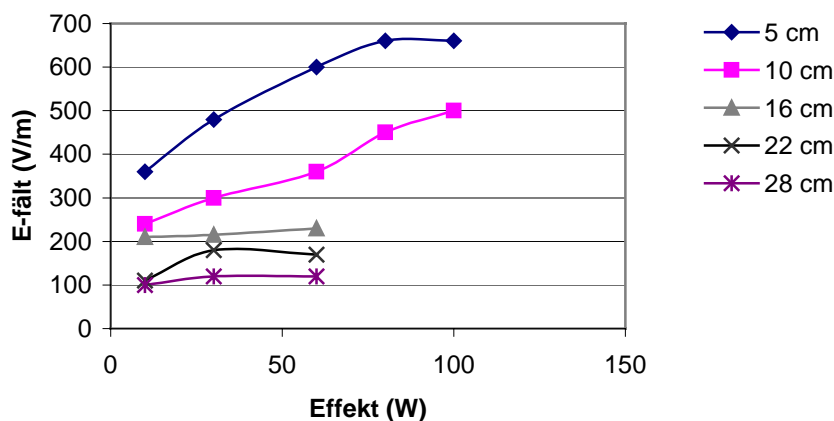
Testmätningarna är gjorda i ren CUT-inställning, dvs med monopolär skärningsmetod då signalen är sinusformad. Effekten på signalen justeras med CUT-vredet. Frekvensen på signalen är 500 kHz oavsett vilken uteffekt som används.

Mätningarna av strömstyrka i den aktiva elektroden i förhållande till uteffekten visade inte något linjärt samband. Två olika strömmätningssätt användes och båda visade liknande resultat. I tabell 1 redovisas mätningarna utförda med Holaday instrumentering. Förklaringen till den funna olinearitet, dvs till den varierande strömstyrkan i förhållande till uteffekt, är inbyggda begränsningar i diatermiutrustningen. För att få en gnistbildning och vävnadsdestruktion krävs en viss spänning. Då effekten är konstant varierar strömmen. Spänningens storlek varierar med olika vävnad för att uppbbringa gnistbildning och därmed destruktion. Denna diatermiapparat är begränsad till vissa max-värden vad gäller frekvens, ström och effekt.

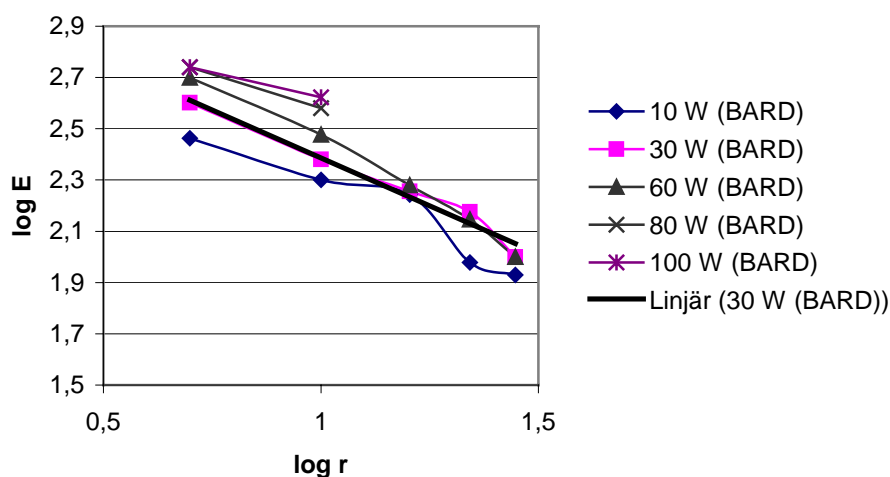
P (W)	I _{rms} (mA)
10	262 ± 27
30	185 ± 8
60	271 ± 51
80	253 ± 26

Tabell 1. Effekt och strömstyrka (medelvärde och standardavvikelse beräknade på tre mätvärden) på BARD System 3000.

Elektrisk fältstyrka uppmättes på olika avstånd från den aktiva ledaren i förhållande till uteffekt (figur 2). Resultatet visar att ju högre effekt som används desto större blir också det elektriska fältet. Värdet på den elektriska fältstyrkan är den samma vid mätning på motsvarande avstånd från neutralelektrodens ledare.



Figur 2. Elektrisk fältstyrka som funktion av uteffekten.

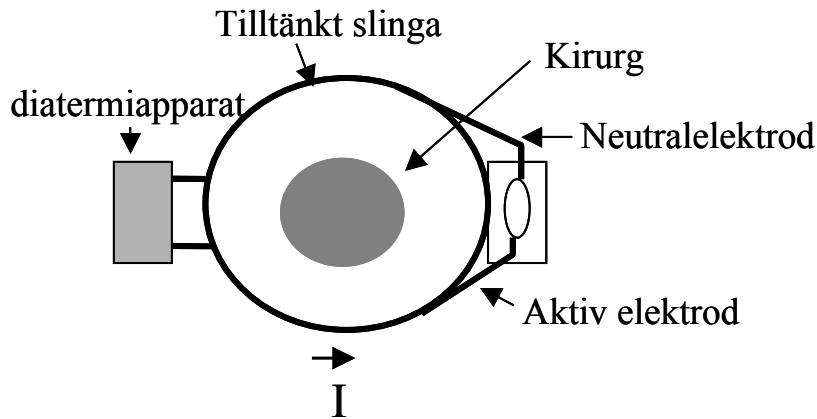


Figur 3. Elektrisk fältstyrka som funktion av avståndet. Regressionsanalys gav $\log E = 3,1 - (0,75 \cdot \log r)$ där r är avståndet i cm och E i V/m.

Mätningarna av elektrisk fältstyrka visar att fältet avtar med ökande avstånd till den aktiva ledaren. Av störst intresse var den elektriska fältstyrkans storlek närmast ledaren, dvs där kirurgen håller sina fingrar (5 och 10 cm från ledaren). Se vidare figur 3 där E-fältets avståndsberoende visas.

Regressionsanalysen visade att avståndsberoendet avvek något från det teoretiska värdet som ligger på 1; koefficienten blev i detta fall 0,75.

En kirurgs arbetsplats simuleras med den aktiva elektrodens ledare som en halvcirkel mot neutralelektrodens ledare som den andra halvcirkeln och med placering av en tilltänkt kirurg i mitten av slingan (figur 4). Avståndet från golvet upp till ledarna är 1 m, dvs ungefär i höjd med kirurgens buk. Den tilltänkta arbetsplatsen används för mätning av elektriska och magnetiska fält. Det elektriska fältet är vid tillfället 45 –70 V/m i mitten av



Figur 4. Simulering av arbetsplats där strömmen (I) i detta fall går motsols och den tilltänkta slingans radie är 0,9 m.

circeln. Detta för att få en bild av och möjlighet att beräkna de fält som en kirurg maximalt bli utsatt för. Med en ström i ledaren på 0,3 A och en simulerad radie på 0,9 m helkroppsexponeras kirurgen för ett magnetfält på 0,21 μT (beräknat enligt formel sidan 9). Teoretiska beräkningar av elektriska och magnetiska fältet runt kirurgens fingrar (delkroppsexponering) gav följande resultat:

$$\log E = 3,1 - 0,75 \cdot \log r \Rightarrow$$

$$E_{5 \text{ cm}} \approx 380 \text{ V/m}, \quad E_{1 \text{ cm}} \approx 1260 \text{ V/m}, \quad E_{0,5 \text{ cm}} \approx 2120 \text{ V/m}$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \pi r} \Rightarrow$$

$$B_{5 \text{ cm}} = 1,2 \mu\text{T}, \quad B_{1 \text{ cm}} = 6 \mu\text{T}, \quad B_{0,5 \text{ cm}} = 12 \mu\text{T}$$

4.2 Testmätningar på ERBE ICC-350

Dessa testmätningar gjordes på ett vanligt förekommande förinställt program som finns på denna typ av diatermiapparat. Programmet används vid laparatomier (operationer i buken). På denna modell kan både ström och spänning variera beroende på den induktans elektroden utsätts för, dvs beroende på i vilken typ av vävnad skärningen sker (30). Frekvensen varierar beroende på de andra intällningarna t ex vilken slags koagulering som erfordras vid skärningen. Testmätningarna gjordes med AUTOCUT inställd på 50 W och 75 W.

Liksom för BARD system 3000 fanns inget direkt samband mellan strömstyrka och uteffekt (tabell 2). Enligt tillverkaren finns begränsningar inbyggda som kan känna av impedansen i det material som den skär i och anpassar ström och spänning efter det. Däremot ändras den visade uteffekten endast marginellt (30). Spänningen ökar däremot med ökad uteffekt.

P (W)	I _{rms} (mA)
30	168 ± 20
50	257 ± 40
75	170 ± 10

Tabell 2. Effekt och strömstyrka (medel-värde och standardavvikelseberäknade på tre mätvärden) för ERBE ICC-350.

Denna diatermiapparat visar inte lika tydligt hur det elektriska fältet ökar med uteffekten. Däremot framgår tydligt att den minskar med ökat avstånd till den aktiva ledaren (figur 5). Regressionsanalysen ger i detta fall en koefficient på 0,84 för avståndsberoendet (figur 6).

Det magnetiska fältet runt ledaren är här densamma som hos den föregående diatermiapparaten i och med att strömmen i ledaren är densamma.

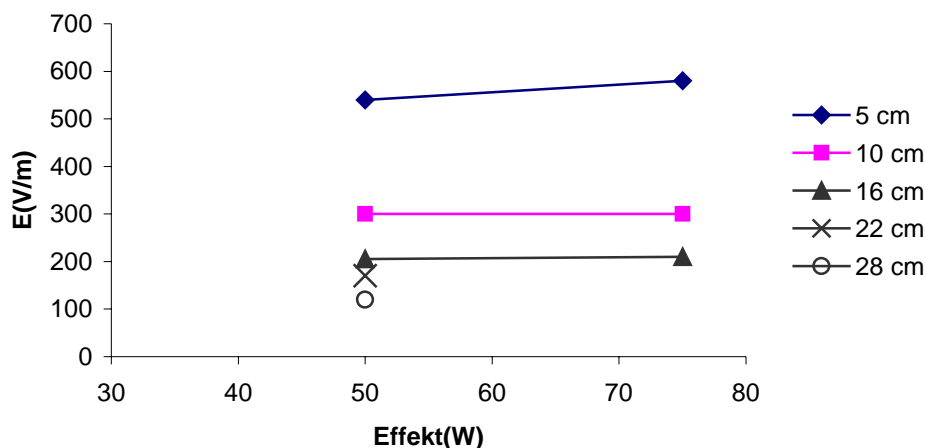
Teoretiska beräkningar av elektriska och magnetiska fältet runt kirurgens fingrar gav följande resultat:

$$\log E = 3,3 - 0,84 \cdot \log r \Rightarrow$$

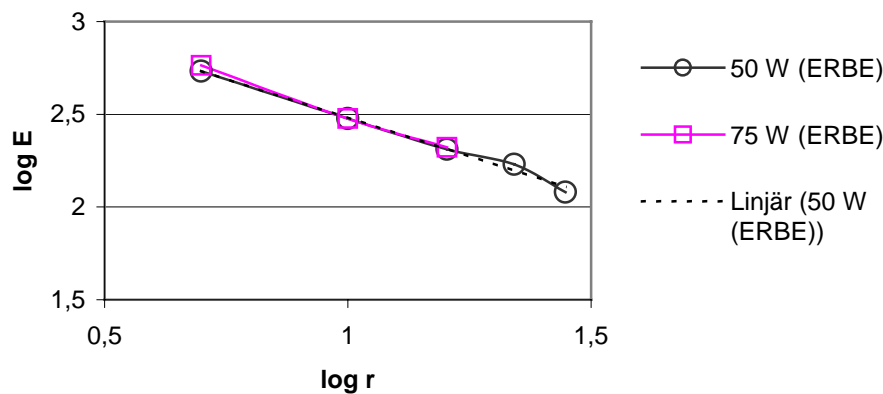
$$E_{5 \text{ cm}} \approx 520 \text{ V/m}, E_{1 \text{ cm}} \approx 2000 \text{ V/m}, E_{0,5 \text{ cm}} \approx 3600 \text{ V/m}$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \pi r} \Rightarrow$$

$$B_{5 \text{ cm}} = 1,2 \text{ } \mu\text{T}, B_{1 \text{ cm}} = 6 \text{ } \mu\text{T}, B_{0,5 \text{ cm}} = 12 \text{ } \mu\text{T}$$



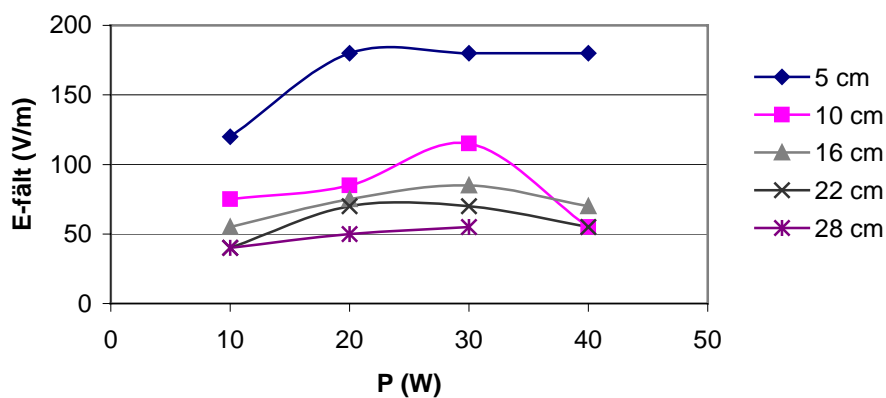
Figur 5. Elektrisk fältstyrka som funktion av effekten för ERBE ICC-350.



Figur 6. Elektrisk fältstyrka som funktion av avståndet. Regressionsanalys gav $\log E = 3,3 - (0,84 \cdot \log r)$ där r är avståndet i cm och E i V/m.

4.3 Bipolär funktion – BARD System 3000

Vid bipolär koagulering uppstår ett lägre elektriskt fält än vid användning av koagulering med monopolar metod (figur 7). På grund av att arbetet sker vid lägre uteffekt är också den genomsnittliga strömmen och spänningen genom ledaren lägre, men framförallt minskas det elektriska fältet drastiskt pga att ledaren är dubbelledande. Även i dessa mätningar koncentrerades intresset till det elektriska fältet nära ledaren, dvs på avstånden 5 och 10 cm.



Figur 7. Bipolär koagulering med BARD System 3000).

4.4 Fältmätningar

Beroende på patients kroppsstorlek samt hur operationen genomförs kommer tiden för hur länge elektroden är aktiv och därmed hur länge diatermi-utrustningen är igång att variera.

En kranskärloperation tar 3-4 timmar totalt. Diatermiapparaten är igång oftast under den första operationstimmen pga att det tar ca en timme att komma till den del av hjärtat där kranskärletsbyte ska ske. Samtliga registreringar genomfördes under denna 1:a timme. Under nästföljande timme används diatermi endast i 5 -10 minuter, medan den inte används alls under avslutningsfasen. Operationerna utfördes tidsmässigt med olika uteffekter (tabell 3). Vid alla mätningstillfällen användes två olika program med uteffekterna 50 W och 90 W i autocut-inställning. Samtidigt med skärning koaguleras blodkärl, dvs man använder sig av "blandström". Därför beskrivs båda inställningarna autocut och autokoagulation i tabellen. Frekvensen var mellan 0,3–1 MHz.

Den aktiva diatermitiden, dvs tiden för exponering varierar mellan de tre operationstillfällena (tabell 3). Under operation 1 aktiverades diatermiapparaten under ca 67 % av tiden medan den under operation 2 bara aktiverades under ca 46 % av tiden.

Under den tredje operationen mättes förutom tid även strömstyrka och det elektriska fältet (tabell 4). Det elektriska fältet är 2-3 gånger större vid 90 W inställning jämfört med 50 W.

Registreringen av strömstyrkans variation över tid i den aktiva ledaren gjordes också under tredje operationen. Denna tid kan ses som ett mått på den tid diatermin varit aktiv (figur 8). Registreringar över 1,15 på Y-axeln indikerar aktiv diatermi. Det innebär en total exponeringstid på ca 30 minuter under den första timmen av operationen (hela operationen tog 3,5 timme). Detta motsvarar ett genomsnitt på 3 min under en godtycklig 6 minuters period (ICNIRPs referensvärden baseras på exponering under 6 min). Det kan noteras att beräkningarna är utförda på en aktiv ledare men under delar av operationen är två aktiva ledare igång samtidigt och båda ledarna är i kontakt med kirurgens lår/buk/bål.

Det elektriska fält som kirurgen exponeras för under ungefär halva exponeringstiden är omkring 1 600 V/m (tabell 4). Dessa värden är uppmätta på 5 cm avstånd från ledaren. Om man ser till delkroppsexponering i det här fallet vad gäller fingrar/buk/bål, som i princip är 0,5 cm (en tiondel av 5 cm) från den aktiva ledaren, kan värden på 16 000 V/m uppnås. Magnetfältet kan om strömstyrkan uppgår till 0,4 A beräknas till:

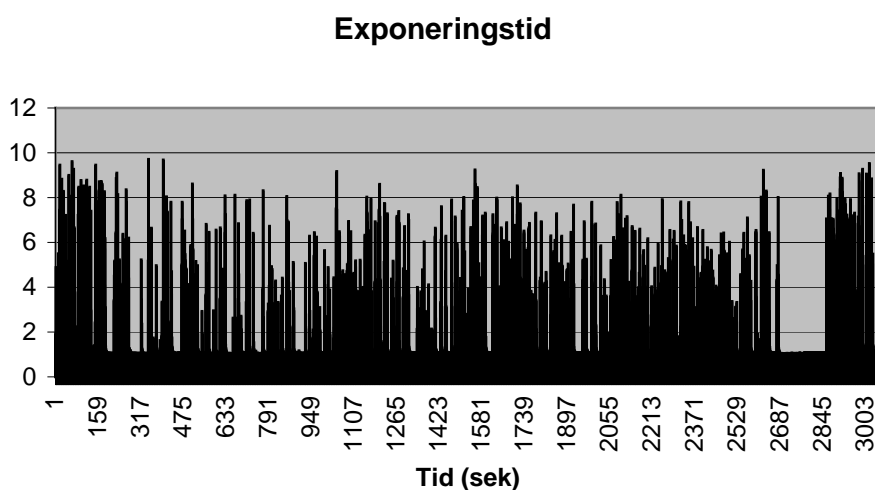
$$B_{5\text{ cm}} = 1,6\ \mu\text{T}, \quad B_{1\text{ cm}} = 8\ \mu\text{T}, \quad B_{0,5\text{ cm}} = 16\ \mu\text{T}.$$

Observationstid	Operation 1			Operation 2				Operation 3		
	53 min (35 min)			65 min (30min)				55 min (30min)		
Tid (min)	10	38	5	17	33	8	7	15	27	13
Uteffekt (W) AC	90	50	90	90	50	90	50	90	50	90
Uteffekt (W) ACO	100	25	100	100	35	100	35	100	25	25

Tabell 3. Uteffekt, total observationstid samt inom parentes uppskattad tid för aktivering av diatermiapparat. AC – autocut, ACO – autokoagulering

	P (W)		
	90	50	90
Ca tid (min)	15	27	13
I rms (mA)	250-400	100-300	250-400
E-fält (V/m)	1200-1800	400-600	1400-1600

Tabell 4. Strömstyrka och elektriskt fält under operation 3 vid olika uteffekter. I – strömstyrka i den aktiva elektroden under användning. E-fält – elektrisk fältstyrka 5 cm från den aktiva elektrodens ledare



Figur 8. Exponeringstid under operation 3. Den aktiva tiden har beräknats genom loggning av strömmen i den aktiva ledaren

4.5 Skärmning av den aktiva ledaren

I ett försök att minska det elektriska fältet runt den aktiva ledaren applicerades en sk jordstrumpa runt ledaren. Strumpan anslöts i sin tur till diatermiapparatens jorduttag. Testet utfördes på BARD System 3000 (tabell 5) och visar att skärmningen markant minskar det elektriska fältet runt den aktiva elektroden, mätt på 5 cm avstånd från ledaren.

Uteffekt (W)	E-fält (V/m)	
	ej skärmning	skärmning
30	400	< 20
50	480	30
75	500	40

Tabell 5. Mätningar med/utan skärmning av aktiv ledare på BARD 3000.

5. DISKUSSION

Den uppmätta strömstyrkan var högre under fältmätningarna jämfört med laboriemätningarna. En orsak kan vara högre inställd uteffekten vid operationerna. ERBE ICC-350 är impedanskänslig dvs den känner av resistiviteten i vävnaden och ger den ström som den aktuella vävnaden behöver för att destruktion ska ske. Av det skälet är inte strömstyrkan eller spänningen kontinuerligt proportionella mot effekten. Strömmen och spänningen varierade med impedansen.

Eftersom strömstyrkan var högre vid operationerna medför detta att magnetfältet också blir större än beräkningarna gjorda vid testmätningarna. En strömstyrka på 0,4 A ger på avståndet 0,5 cm ett magnetfält på 16 μ T.

Fältmätningarna visade också på en högre exponering för elektriskt fält än testmätningarna. Detta beror till viss del på en högre uteffekt men också på att två aktiva elektroder var igång samtidigt vid operationerna.

Om mätningarna från laboriet och operationerna jämförs med ICNIRPs referensnivåer framgår att mätningarna klart överstiger dessa nivåerna. Den elektriska fältstyrkan under operation kan, utifrån de mätningar som här genomförts, beräknas till 16 kV/m. Detta är ca 20 ggr högre än det av ICNIRP rekommenderade. Även den magnetiska flödestätheten överskreds och beräknades till 16 μ T, dvs 4 ggr högre än ICNIRP's rekommenderade värde. När referensnivån med marginal överskrids måste beräkningar göras för att undersöka om trots allt "basic restrictions" är uppfylld. Genom att använda modellberäkningar undersöks då om strömtätheten lokalt i kroppen understiger 5 000 mA/m², sett som ögonblicksvärde, samt att det lokala SAR-värdet tidmedelvärdesmässigt understiger 20 W/kg. För att säkerställa att så är fallet bör detta undersökas och tas i beaktande vid kommande gränsvärdesättning. Det bör också påpekas att de nu gällande svenska gränsvärden för EM-fält inte innefattar frekvenser under 3 MHz därmed inte de undersökta diatermiutrustningarna (31). Det finns dock idag diatermiutrustning som används vid oral kirurgi som arbetar med frekvenser upp till 5 MHz och som därmed innefattas av de nu gällande svenska gränsvärdena.

Tidigare mätningar av högfrekventa elektromagnetiska läckfält kring kirurgisk diatermiapparat visade höga värden vad gäller de elektriska fälten runt den aktiva ledaren. När strömmen i ledaren var 0,5 A rms erhöles värden på över 600 V/m i elektrisk fältstyrka. Frekvensen var vid tillfället 790 kHz. Vad gäller eventuell temperaturökning i punkter runt ledaren kunde endast en ökning på någon tiondels grad uppmätas. Några SAR-värden kunde ej säkerställas vid de mätningarna (32).

6. SLUTSATS

Användande av kirurgisk diatermi medför att kirurgen och annan personal som kommer i närheten av den aktiva ledaren blir exponerade för radiofrekventa fält. Exponeringen för såväl det elektriska som det magnetiska fältet överskrider de riktlinjer för delkroppsexponering som är satta av ICNIRP vad gäller yrkesverksamma. Vidare studier och beräkningar bör göras för att säkerställa att de av ICNIRP angivna "basic restrictions" är uppfyllda.

En skärmning av den aktiva ledaren visade i laboratoriemiljö på en reduktion av det elektriska fältet runt ledaren och kan därmed vara en möjlig väg att gå vidare för att minska exponeringen vid handhavande av kirurgisk diatermi.

Om några hälsoeffekter är förknippade med denna typ av exponering är inte klarlagt utan kräver ytterligare studier. I första hand bör nervpåverkan på fingrar och förekomst av subjektiva symtom studeras.

7. SAMMANFATTNING

Kirurgisk diatermi används frekvent vid de flesta operationer och särskilt vid buk- och kranskärlsoperationer för att åstadkomma koagulering av blodkärl och för att kunna skära genom vävnad. Härvid används en högfrekvent ström (0,3 – 3 MHz), dels för att vävnadsdestruktion ska kunna ske, men också för att undvika nerv- och muskelpåverkan.

I denna studie har mätningar och delvis beräkningar gjorts på den aktiva elektroden vad gäller elektriska och magnetiska fält runt kirurgisk diatermiutrustning. Detta har skett på laboratorium på två olika utrustningar och vid tre tillfällen på operationsavdelning under pågående operation. Mätningarna och beräkningarna visar överskridande av de internationella referensnivåer som finns angivna av ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Vidare studier och beräkningar krävs för att undersöka om "basic restrictions" enligt ICNIRP är uppfyllda.

De nu gällande svenska gränsvärdena för elektromagnetiska fält som är angivna av Arbetsmiljöverket innefattar inte frekvenser under 3 MHz och omfattar därmed inte de utrustningar för kirurgisk diatermi som ingår i denna studie. Det finns dock idag utrustning på marknaden som arbetar vid frekvenser upp till 5 MHz och som därmed omfattas av gällande arbetsmiljölagsstiftning.

Skärmning av ledarna kan vara ett sätt som bör prövas för att minska exponeringen.

8. SUMMARY

The electrosurgical unit (ESU) is commonly used in the operating theatre to cut tissue and to coagulate blood vessels. It is used in nearly all surgical operations especially in thorax and bowel surgery. High frequency (HF) current, 0,3 – 5 MHz, is used to get destruction effect on tissue but also to avoid nerve and muscle excitation.

In this study EM-field measurements and calculations have been done on the conductors of the active electrode near the ESU. These measurements were done in laboratory on two different ESUs and during three surgical operations at the hospital. The measurements and calculations show that the international referens levels by ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) are exceeded. Further studies and calculations have to be done in order to verify if the “basic restrictions” by ICNIRP are fulfilled.

The Swedish guidelines for electromagnetic fields does not involve devices operating at frequencies below 3 MHz and thereby is most of the ESU equipment not included. However, today there are units operating at 5 MHz and thus included.

Shielded cables could be one way to decrease the emission of electromagnetic fields.

9. REFERENSER

1. Memon MA. Surgical diathermy. *Brittish Journal of Hospital Medicine* 1994;52:403-408.
2. Taunton JC. Surgical diathermy - a review. *Journal of Medical Engineering & Technology* 1981;5:p.175-183.
3. Jacobson B. Teknik i praktisk sjukvård, 1998.
4. Webster JG. *Medical Instrumentation*. New York: John Wiley & sons, INC., 1998.
5. Kungshusen Medicinska A. Informationshäfte angående kirurgisk diatermi, BOX 94, 647 22 Mariefred, 1998.
6. Andrén AHoC. *Electrosurgery - a literature survey and experimental investigation*, 1985.
7. Jensen Ö, Grimnes S. *Elektromedisinsk utstyr*. Oslo, Norge, 1987.
8. Molén T. Personlig kommunikation - har undervisat studenter och personal i kirurgisk diatermi, 2000.
9. Fox JWC, Rapp TL, Wagner DW. OR RF--The second factor. *American association of nurse anesthetists* 1978;46:501-506.
10. Miodownik MEE, C.C.E. Directions In Electrosurgical Technology. *Journal of Clinical Engineering* 1988;13.
11. Paz JD, Milliken R, Ingram WT, Frank A, Atkin A. Potential ocular damage from microwave exposure during electrosurgery: dosimetric survey. *J Occup Med* 1987;29:580-3.
12. Tzima E, Martin CJ. An evaluation of safe practices to restrict exposure to electric and magnetic fields from therapeutic and surgical diathermy equipment. *Physiol Meas* 1994;15:201-16.
13. Miro L. Human laboratory studies. In: Matthes R, Rongen Ev, H.Repacholi M, eds. Exposure standards for intermediate frequency (300 Hz - 10 MHz) electromagnetic fields. Maastricht, The Netherlands, June7 and 8, 1999: ICNIRP 8/1999, 1999.
14. Juutilainen J, Eskelinen T. In vivo studies on the health effects of electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. In: Matthes R, Rongen Ev, Repacholi MH, eds. International Seminar on Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields in the frequency Range 300 Hz to 10 MHz. Maastricht, The Netherlands, June7 and 8, 1999: ICNIRP 8/1999, 1999.
15. Hansson Mild K, Kolmodin-Hedman B, Urdal L, et al. Effekter på människa av hög exposition för radiofrekvent strålning. *Arbete & hälsa, Förlagstjänst*, 1987:29-33.
16. Baranski S, Czernski P. *Biological effects of microwaves*. Stroudsburg, USA: Dowden, Hutchinson, Ross, 1976.
17. Marha K, Musil J, Tuha H. *Electromagnetic fields and life environment*. San Fransisco: San Fransisco Press, 1971.

18. Sandström M, Wilén J, Oftedal G, Hansson Mild K. Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occupational Medicine* 2001;51(1):25-35.
19. IEC. Medical electrical equipment - Part 2-2: Particular requirements for the safety of high frequency surgical equipment, 1998.
20. Socialstyrelsen. Socialstyrelsens författningssamling - Socialstyrelsens föreskrifter om förebyggande av brännskador vid kirurgisk diatermi m.m, 1986.
21. SEK Handbok 424. Diatermiapparater - anvisningar för användning. Utgåva 1, 2000.
22. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [published erratum appears in *Health Phys* 1998 Oct;75(4):442]. *Health Phys* 1998;74:494-522.
23. Petrowicz O. Medical Applications - Diagnostics and Treatment. In: fields CBBee, ed. Bioeffects of transient EMF exposure. Madrid, Spain, 2000.
24. Diefenderfer AJ. Principles of Electronic Instrumentation. Tokyo, Japan: Holt-Saunders Japan, LTD, 1979.
25. Holaday Industries I. Microwave Product Catalog, 1981.
26. Djurle E. Elektricitetslära, 1979.
27. Smith AAJ. Radio frequency principles and application - the generation, propagation, and reception of signals and noise. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1996:1-19.
28. BARD S-b. Bruksanvisning från Bard Electro Medical System, Box 43051, 100 72 Stockholm, 1983.
29. ERBE I-b. Kirurgisk diatermiapparat, handhavandeinstruktion, version 2.0/9812, Kungshuset medicinska, BOX 94, 647 22 Mariefred.
30. Jaresved P. Personlig kommunikation - svarade på frågor angående ERBE ICC-350, 2000.
31. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling 1987:2. Högfrekventa elektromagnetiska fält. Arbetarskyddsstyrelsen, Stockholm.
32. Hansson Mild K. Personlig kommunikation - angående tidigare undersökning på diatermiapparatur, 2000.

MÄTINSTRUMENT VID LABORATIONSMÄTNINGARNA

Under testmätningarna användes följande instrument:

ACECO FC2002 – frekvensmätare
FLUKE 92B scopemeter (60 MHz) – oscilloscop kopplad till strömprob
HEWLETT PACKARD 410 C - voltmeter
HOLADAY HI – 3603 – mäter elektrisk fältstyrka (med prob STE 1)
HOLADAY HI - 4460 - utläsningsenhet, för mätning av strömstyrka i ledaren
HOLADAY HI - 3702 - (9 kHz-110 MHz) prob(boja), kopplas till utläsningsenheten
TEKTRONIX P6021 AC – (120 Hz-60 MHz), strömprob, inställning 2mA/mV
TEKTRONIX 2201 – oscilloscop kopplad till strömprob

MÄTINSTRUMENT VID FÄLTMÄTNINGARNA

Under **fältmätning 1** användes följande instrument:

ACECO FC2002 – frekvensmätare
HOLADAY HI - 4460 - utläsningsenhet, för mätning av strömstyrka i ledaren
HOLADAY HI - 3702 - (9 kHz-110 MHz) prob(boja), kopplas till utläsningsenheten
KLOCKA – digital

Under **fältmätning 2** användes följande instrument:

ACECO FC2002 – frekvensmätare
KLOCKA - digital

Under **fältmätning 3** användes följande instrument:

FLUKE 92B scopemeter (60 MHz) – oscilloscop kopplad till strömprob
HOLADAY HI - 4460 - utläsningsenhet, för mätning av strömstyrka i ledaren
HOLADAY HI - 3702 - (9 kHz-110 MHz) prob(boja), kopplas till utläsningsenheten
HOLADAY HI – 3603 – mäter elektrisk fältstyrka (med prob STE 1)
TEKTRONIX P6021 AC – (120 Hz-60 MHz), strömprob, inställning 2mA/mV