

Mätningar av magnetfält alstrade av kommersiella stöldskyddssystem

Nils Kjellsson, Kjell Hansson Mild, Monica Sandström och Olov Stensson

ARBETSLIVSRAPPORT NR 2002:6

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

Programmet för teknisk yrkeshygien
Programchef Ulf Landström



Arbetslivsinstitutet

Förord

Som grund för denna rapport ligger det examensarbete i Teknisk Fysik som Nils Kjellsson genomförde under 2001. Arbetet utfördes vid programmet för Teknisk Yrkeshygien, Arbetslivsinstitutet, Umeå där Gruppen för Icke-Joniserande Strålning har bistått med handledning, deltagit i mätningarna och tillhandahållit adekvat instrumentering.

Vi ber att få tacka personalen på *Butiken* och *Biblioteket* för all den hjälp vi fått under arbetet med detta projekt.

Författarna

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	3
1.1. BAKGRUND.....	3
1.2. SYFTE.....	3
1.3. AVGRÄNSNING.....	3
2. ICNIRP:S REKOMMENDATIONER	4
3. DET ELEKTROMAGNETISKA STÖLSKYDDSSYSTEMET	6
4. BESKRIVNING AV MÄTOBJEKTEN	8
4.1. BIBLIOTEKET.....	8
4.1.1. Beskrivning av Bibliotekets stöldskyddssystem.....	8
4.1.2. Mätfakta.....	8
4.2. BUTIKEN.....	8
4.2.1. Beskrivning av Butikens stöldskyddssystem.....	8
4.2.2. Mätfakta.....	9
5. MÄTMETOD.....	10
6. RESULTAT	11
6.1. BIBLIOTEKET.....	11
6.1.1. Larmbågarna.....	11
6.1.2. Aktiverare på bordet.....	12
6.1.3. Handhållen aktiverare.....	14
6.1.4. Avaktiverare/aktiverare i korridoren.....	15
6.1.5. Avaktiverare/aktiverare på kontoret.....	18
6.1.6. Avaktiverare på utlåningsdiskarna.....	19
6.1.7. Självutlåningsautomaten.....	20
6.2. BUTIKEN.....	21
6.2.1. Larmbågarna vid kassan.....	21
6.2.2. Larmbågarna vid entrén.....	23
6.2.3. Kassörskans plats.....	23
6.2.4. Logg på kassörskan.....	25
6.2.5. Logg på kassan.....	26
7. DISKUSSION.....	27
7.1. BIBLIOTEKET.....	27
7.1.1. Larmbågarna.....	27
7.1.2. Aktiverare på bordet.....	27
7.1.3. Handhållen aktiverare.....	27
7.1.4. Avaktiverare/aktiverare i korridoren.....	28
7.1.5. Avaktiverare/aktiverare på kontoret.....	28
7.1.6. Självutlåningsautomaten.....	28
7.2. BUTIKEN.....	28
7.2.1. Larmbågarna vid kassan.....	28
7.2.2. Larmbågarna vid entrén.....	29
7.2.3. Kassörskans plats.....	29
7.2.4. Logg på kassörskans plats.....	29
8. FORTSATTA STUDIER	30
9. SAMMANFATTNING.....	31
10. SUMMARY	32

11. REFERENSER	33
12. APPENDIX.	34
A.1. MÄTINSTRUMENTEN	34
A.1.1. <i>Bell 460 Gaussmeter</i>	34
A.1.2. <i>EMDEX lite</i>	34
A.1.3. <i>EMDEX II</i>	35
A.1.4. <i>BMM3</i>	35
A.1.5. <i>HI-3604</i>	36
A.1.6. <i>HI-3603</i>	36
A.1.7. <i>BMM5</i>	37
A.2. BETECKNINGAR.....	38
A.2.1. <i>Förkortningar</i>	38
A.2.2. <i>Storheter</i>	38

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Dagens samhälle är fyllt av elektroniska komponenter vilket medför att vi omges av och exponeras för elektromagnetiska fält av olika frekvenser. Ett exempel är de elektromagnetiska stöldskyddssystem som de senaste decennierna installerats på otaliga arbetsplatser. Många butiker och bibliotek är idag utrustade med sådana stöldskyddssystem som alstrar elektromagnetiska fält med både låg- och radiofrekvens. I vissa fall vistas personal eller allmänhet i närheten av systemet och riskerar därmed att exponeras över gällande internationella rekommendationer.

1.2. Syfte

I detta projekt studerades magnetfält runt olika komponenter till stöldskyddssystem på två arbetsplatser - en butik, där delar av utbudet stöldskyddsmärks, och ett bibliotek, där de lånbara böckerna stöldskyddsmärks. Den aktuella butiken benämns i rapporten *Butiken* och det aktuella biblioteket benämns *Biblioteket*. Mätningarna utfördes på plats under normal drift. Av särskilt mätintresse var de platser där personal vistas längre tider under ett arbetspass.

Syftet var att på respektive arbetsplats få en tydlig bild över magnetfältens styrka och utbredning. Jämförelser med uppställda riktlinjer och tidigare mätningar gjordes och en vidare analys av resultaten utfördes med syftet att finna alternativa lösningar för att minska personalens magnetfältsexponering.

1.3. Avgränsning

Denna rapport berör inte de biologiska effekterna vid exponering av elektromagnetiska fält (EMF). För information angående följder, risker och genomförda studier hänvisas läsaren till den angivna referenslitteraturen^{[1],[2],[3],[4]}.

Av uppenbara skäl studeras endast stöldskyddssystem som ur EMF-synpunkt anses intressanta. Övriga metoder såsom kameraövervakning, manuell bevakning, larmordningar, varuplacering etc. har lämnats därhän. Mätningarna utfördes på två oberoende arbetsplatser som principiellt sett använder sig av samma typ av elektromagnetiskt stöldskyddssystem. Det innebär att rapporten endast beskriver just detta specifika stöldskyddssystem och inga andra.

En viktig avgränsning i detta arbete är att det endast är de magnetiska fälten som studerats, uppmätts och analyserats. Detta ska inte ses som att de elektriska fältens förekomst förnekats. De elektriska fälten har givetvis funnits närvarande i mätningarna, men huvudsyftet med studien är magnetfältsexponering.

2. ICNIRP:s rekommendationer

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) bildades 1992 med funktionen att undersöka de eventuella farorna med icke-joniserande strålning, utforma internationella riktlinjer och gränsvärden för exponering för icke-joniserande strålning och dessutom arbeta med alla former av skydd mot denna strålning. De riktlinjer som ICNIRP presenterat syftar till att ge ett skydd mot kända, skadliga hälsoeffekter. ICNIRP har tagit hjälp av en rad experter på respektive område och uppgifterna baseras på alla typer av studier, från cellulära försök till epidemiologiska studier på människa. Gemensamt är emellertid att samtliga restriktioner grundar sig på vetenskapliga fakta och någon kostnadseffektivitetaspekt finns inte med.

Två typer av riktlinjer nämns i ICNIRP:s rapport^[4]:

- *Basic restrictions (BR)*: Restriktioner som rör exponering för tidsvarierande elektriska och magnetiska fält. Restriktionerna baseras direkt på erkända, omedelbara hälsoeffekter, som t ex temperaturhöjningar i kroppsvävnad eller muskelryckningar i samband med exponering för elektromagnetiska fält. Beroende på fältens frekvenser används i restriktionerna storheterna strömtäthet (J), specifik energiabsorptionsgrad (SAR) och effekttäthet (S).
- *Reference levels (RL)*: Nivåer framtagna för att i praktiska exponeringssituationer kunna uppskatta risken för att BR överskrids. Ligger exponeringsgraden under RL så ligger den också garanterat under BR. Ligger exponeringsgraden över RL så behöver den nödvändigtvis inte överskrida BR, men en utvidgad studie är i det läget rekommenderbar*. De storheter som RL anges i är elektrisk fältstyrka (E), magnetisk fältstyrka (H), magnetisk flödestäthet (B), effekttäthet (S) och strömstyrka i armar och ben (I_L).

Riktlinjerna ska garantera att exponeringen ligger gott och väl under de nivåer som vetenskapligt visats ha någon upprepningsbar hälsoeffekt. När det tröskelvärde som orsakar en oönskad effekt är känt, införs därför en säkerhetsfaktor för att riktvärdet med råge ska understiga tröskelvärdet^[1]. För varje frekvens finns därmed en rejält tilltagen säkerhetsmarginal mellan det värde som kan vara skadligt och det värde som anges i riktlinjerna.

Det är viktigt att göra en skillnad mellan den exponering en individ utsätts för i sitt yrke och den exponering som allmänheten utsätts för^[4]. De personer som exponeras i sitt yrke är vuxna människor som exponeras under kända förhållanden och som är medvetna om eventuella risker och därför kan vidta lämpliga försiktighetsåtgärder. Allmänheten består däremot av individer i alla åldrar och med varierande hälsa. De är ofta omedvetna om den eventuella exponeringen och kan därför inte förväntas vidta försiktighetsåtgärder för att minska eller helt undvika exponering. Baserat på detta är riktlinjerna för allmänhetens exponering beräknade med högre säkerhetsfaktorer och därmed satta till lägre nivåer än för de yrkesexponerade.

* Ett exempel på en studie som lett till vidare undersökning är "Högfrekventa elektromagnetiska fält runt kirurgisk diatermiapparat" utförd av Brita Liljestrand vid Arbetslivsinstitutet 2000^[5].

Där det är lämpligt har RL tagits fram ur BR genom matematiska modeller och extrapolationer baserade på laboratoriestudier vid specifika frekvenser. I tabell 1 och 2 presenteras ICNIRP:s RL för yrkesexponering och för allmänhetens exponering^[4]. RL är tänkta att vara medelvärden över hela den exponerade individens kropp, med det förbehållet att ingen kroppsdel exponeras över BR-värdet.

Tabell 1. *RL för yrkesexponering av tidsvarierande elektriska och magnetiska fält. Vid eventuell beräkning av riktlinjevärde ska f anges med den enhet som gäller för just det frekvensområdet (Hz, kHz, MHz eller GHz)^[4].*

Frekvensområde	Elektrisk fältstyrka (V/m)	Magnetisk flödestäthet (μ T)
Upp till 1 Hz	—	$2 \cdot 10^5$
1-8 Hz	20000	$2 \cdot 10^5/f^2$
8-25 Hz	20000	$2,5 \cdot 10^4/f$
0,025-0,82 kHz	500/f	25/f
0,82-65 kHz	610	30,7
0,065-1 MHz	610	2,0/f
1-10 MHz	610/f	2,0/f
10-400 MHz	61	0,2
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$
2-300 GHz	137	0,45

Tabell 2. *RL för allmänhetens exponering av tidsvarierande elektriska och magnetiska fält. Vid eventuell beräkning av riktlinjevärde ska f anges med den enhet som gäller för just det frekvensområdet (Hz, kHz, MHz eller GHz)^[4].*

Frekvensområde	Elektrisk fältstyrka (V/m)	Magnetisk flödestäthet (μ T)
upp till 1 Hz	—	$4 \cdot 10^4$
1-8 Hz	10000	$4 \cdot 10^4/f^2$
8-25 Hz	10000	5000/f
0,025-0,8 kHz	250/f	5/f
0,8-3 kHz	250/f	6,25
3-150 kHz	87	6,25
0,15-1 MHz	87	0,92/f
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,92/f
10-400 MHz	28	0,092
400-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$
2-300 GHz	61	0,20

3. Det elektromagnetiska stölskyddssystemet

I dagsläget är det fyra typer av stölskyddssystem som dominerar marknaden. Principen är densamma, men konstruktionerna olika och de använda frekvenserna skiljer sig märkbart åt. De fyra brukar benämnas *elektromagnetiska systemet* (EM), *akustisk-magnetiska systemet* (AM), *radiofrekventa systemet* (RF) och *mikrovågssystemet* (MW, från engelskans *Micro Wave*). I denna rapport behandlas endast det elektromagnetiska systemet.

EM-systemet utnyttjar ett lågfrekvent elektromagnetiskt fält mellan två bågar som fungerar som sändare och mottagare vid lokalens utgång eller vid en eventuell kassa. Det verksamma fältet i denna övervakningszon ligger vanligtvis i frekvensområdet 70-1000 Hz och varierar kontinuerligt i styrka och polaritet^[6].

Den stölbegärliga produkten märks med en speciell ”etikett” som i aktiverat läge kan detekteras i övervakningszonen^[7]. Etiketten består av en magnetisk remsa som lätt kan fästas på produkten^[8]. Vid avaktivering tas ibland denna remsa bort från produkten, men vanligare är att den avaktiveras av ett magnetiskt fält. En av fördelarna med detta system är att remsan även kan återaktiveras, vilket gör systemet synnerligen lämpligt i t ex bibliotek.

Den magnetiska remsan består egentligen av två material med olika magnetiska egenskaper. Det ena har hög permeabilitet, dvs det är ett magnetiskt mjukt material som relativt lätt följer polariteten hos det omgivande magnetfältet. Det andra har låg permeabilitet, dvs det är ett magnetiskt hårt material som är trögare vad gäller förmågan att följa polariteten hos omgivande fält.

En studie av det magnetiskt mjuka materialet visar att det mäts vid ett svagare magnetfält, jämfört med det magnetiskt hårdare materialet som dessutom tenderar att mäts med en mjukare hystereskurva. När remsan placeras i övervakningszonen mellan bågarna hinner det mjuka materialet mäts två gånger för varje fullbordad svängning hos den av sändaren utsända signalen. En gång under den positiva delen av cykeln och en gång under den negativa. Vid dessa ögonblick sänder remsan, tack vare den abrupta mätnaden, en signal med frekvenser som är multipler av sändarfrekvensen. Denna signal detekteras av mottagaren och larmet aktiveras^[9].

Materialet med lägre permeabilitet har en viktig roll när det gäller etikettens förmåga att avaktiveras och sedan aktiveras igen. Dess tröghet gör att det inte hinner med i svängningarna hos den av sändaren alstrade fältet. Om dess inre magnetiska dipoler är orienterade i slumpmässiga riktningar ger de tillsammans inte upphov till någon speciell nettoriktning och den magnetiskt mjuka delen av remsan kan därför ostörd följa det omgivande fältet. I detta fall är etiketten aktiv, dvs larmet kommer att sätta igång om produkten förs in i övervakningszonen.

Om etiketten ska avaktiveras dras produkten genom ett kraftigt statiskt magnetfält^[10]. De inre dipolerna hos det magnetiskt hårdare materialet orienteras därvid i en speciell riktning och tvingar det mjukare materialet i mätnad med samma polaritet. När produkten lämnar det statiska fältet kommer det magnetiskt hårda materialets egenskaper medföra att remsans magnetfält bibehålls och att det magnetiskt mjukare materialet hålls kvar i mätnad^[7]. Eftersom detta fält är starkare än det av sändaren utsända kommer ingen mätnadsspike att upptäckas hos mottagarsignalen och produkten kan passera genom övervakningszonen utan att larmet går.

Vid återaktivering förs produkten genom ett varierande magnetfält som bildligt sett kastar om de inre magnetiska dipolerna hos det magnetiskt hårdare materialet. Dess nettofält saknar därmed åter speciell riktning och det magnetiskt mjukare materialet tillåts på nytt att följa det omgivande fältet.

4. Beskrivning av mätobjekten

4.1. Biblioteket

4.1.1. Beskrivning av *Bibliotekets* stöldskyddssystem

Biblioteket använder sedan ett antal år tillbaka ett stöldskyddssystem som baseras på EM-tekniken. Systemets beståndsdelar kan indelas i fyra olika huvudgrupper:

- Etiketterna, som består av självhäftande, magnetiska remsor
- Larmbågarna, dvs sändare och mottagare som vid utgången skapar en övervakningszon
- Avaktiverare
- Aktiverare

När en ny bok anländer till *Biblioteket* stöldskyddsmärks den och aktiveras i en av *Bibliotekets* aktiverare innan den sätts ut bland hyllorna. Några olika typer av aktiverare används, men principen är densamma för alla. Ett tidsvarierande magnetfält kastar om remsans inre magnetiska dipoler och avmagnetiserar den.

Vid lån av boken avaktiveras remsan innan den förs ut genom övervakningszonen. Detta sker antingen i en självbetjäningssautomat eller av personal över disk. Principen i båda fallen är att ett magnetfält mättar remsan och magnetiserar den. Boken kan därefter bäras ut genom övervakningszonen utan att larmet går.

När boken återlämnats aktiveras remsan på nytt innan boken ånyo ställs ut på sin plats.

4.1.2. Mätfakta

Mätningar gjordes på *Bibliotekets* larmbågar samt på de olika avaktiverarna och aktiverarna. Signalernas egenskaper, såsom frekvens och styrka kartlades. Mätpunkterna valdes för att få en uppfattning av magnetfältet i de områden personalen vid normalanvändning befinner sig i.

Mätningarna utfördes med tre olika mätsonder, BMM3, HI-3603 och HI-3604 (se Appendix). Sönderna kopplades antingen till det digitala oscilloskopet Velleman PCS64i som med tillhörande mjukvara visade signalerna på en laptop eller till oscilloskopet Fluke 199 Industrial ScopeMeter (200 MHz). Med oscilloskopets hjälp kunde signalerna analyseras. Vid bestämning av magnetfältets styrka användes uteslutande BMM3. De två Holaday-instrumenten HI-3603 och HI-3604 användes för att studera de olika signalernas utseende inklusive frekvenser.

4.2. Butiken

4.2.1. Beskrivning av *Butikens* stöldskyddssystem

Det stöldskyddssystem som används i *Butiken* bygger på samma princip som *Bibliotekets*, dvs EM-tekniken. *Butikens* verksamhet är försäljning, vilket innebär att ingen motsvarighet finns för *Bibliotekets* fas av återlämning och reaktivering. Eftersom stöldskyddsetiketterna anländer

aktiverade behövs därför ingen aktiveringsutrustning och de verksamma delarna i systemet kan indelas i tre huvudgrupper:

- Etiketerna, som finns i flera olika utföranden beroende på vilken vara som ska stöldskyddsmärkas
- Larmbågarna, dvs sändare och mottagare som vid entrén och vid kassorna skapar övervakningszoner
- Avaktiverare, som antingen mättar stöldskyddsetiketerna eller fysiskt avlägsnar dem

När en ny vara anländer till *Butiken* är den inte stöldskyddsmärkt, eftersom källmärkning inte är så vanligt i Sverige. På *Butiken* tas därför ett beslut om varan ska stöldskyddsmärkas eller inte. Vissa varor märks alltid, medan andra varor märks mer oregelbundet beroende på om den är dyr och begärlig, om det upptäckts extra stort svinn för just den varan eller om *Butiken* bara vill testa att märka upp en viss vara. När stöldskyddsmärkningen är gjord, ställs varan ut i *Butiken* för försäljning.

När en vara köps måste stöldskyddsetiketten avaktiveras innan den kan föras ut genom övervakningszonerna. Detta sker i samtliga fall i samband med passering av en kassa. När varan kommer till kassan körs den i tur och ordning över tre rullband. Under det andra finns en elektrisk våg och motorn till band 2. Motorerna till band 1 och 3 ligger i bandens borte ändrar sett från kassan. Är varan stöldskyddsmärkt med en plastkonstruktion avlägsnas denna fysiskt för att sedan kunna återanvändas. Är den märkt med en självhäftande remsa avaktiveras denna av en permanentmagnet placerad på undersidan av band 3. Varan kan därefter bäras ut genom övervakningszonen utan att larmet går.

Larmbågen aktiveras av en rörelseindikator vars övervakningszon sträcker sig över kundpassagen vid kassan. När övervakningszonen lämnats sänder bågen ytterligare ca 6 s innan den slås av. Alla larmbågar slås av nattetid med hjälp av en timer, men är i övrigt aktiva hela tiden. För att minska risken för felaktiga larm vid kassan finns även vid *Butikens* entré ett antal larmbågar.

Utöver den nämnda utrustningen finns vid kassörskans plats elektriska komponenter som kassa, kvittoskrivare, sedelkontroll, kortläsare och streckkodläsare som i olika utsträckning kan bidra till magnetfältets nivå.

4.2.2. Mätfakta

Mätningar gjordes vid ett par av *Butikens* larmbågar och vid en av kassapersonalens sittplatser. Signalernas egenskaper, såsom frekvens och styrka kartlades. Mätpunkterna valdes dels för att kvantifiera flödestätheten där den var som högst och dels för att få en uppfattning av magnetfältet i de områden där i första hand personalen, men även i andra hand kunden, normalt befinner sig i.

De kvantitativa mätningarna utfördes med fyra olika mätsonder, BMM3, BMM5, EMDEX II och EMDEX lite (se Appendix). BMM-sonderna kopplades till oscilloskopet Fluke 199 Industrial ScopeMeter (200 MHz) i vilket signalerna analyserades. EMDEX II bars på höften av en kassörskan under ett arbetspass i drygt fyra timmar. EMDEX lite fasttejpades under disken vid samma kassa och mätte under samma tidsperiod som för EMDEX II.

5. Mätmetod

Fältmätningarna utfördes enligt Svensk Standard SS 01 41 50^[11], tillämplig på mätningar med inbördes oberoende värden. Rekommendationen för beräkning av konfidensintervall är baserad på antagandet att det aritmetiska medelvärdet för en serie mätvärden är normalfördelat.

För att erhålla inbördes oberoende mätvärden utfördes varje mätning som en helt ny manöver. Detta innebar att efter varje registrering fördes mätsonden bort från mätzonen och sedan ånyo till mätpunkten varpå ett nytt värde avlästes. Konfidensintervallet valdes till 0,95 och antalet mätvärden för varje punkt var sju.

Genom beräkning av medelvärde, standardavvikelse och standardfel^[11] och valet av konfidensintervall kunde de tillfälliga felens gränser för varje enskild mätpunkt anges. I de följande resultattabellerna är det sålunda mätvärdenas *aritmetiska medelvärde* samt *de tillfälliga felens gränser med ett 95 % konfidensintervall* som anges.

Eftersom det i varje enskild mätpunkt togs sju oberoende mätvärden ska avståndet till varje mätpunkt ses som det avstånd som eftersträvades vid varje mätning. Svårigheten att hitta detta mått varierade beroende på om sonden måste hållas fritt i rummet eller om det var möjligt att stödja den mot någon fast referenspunkt.

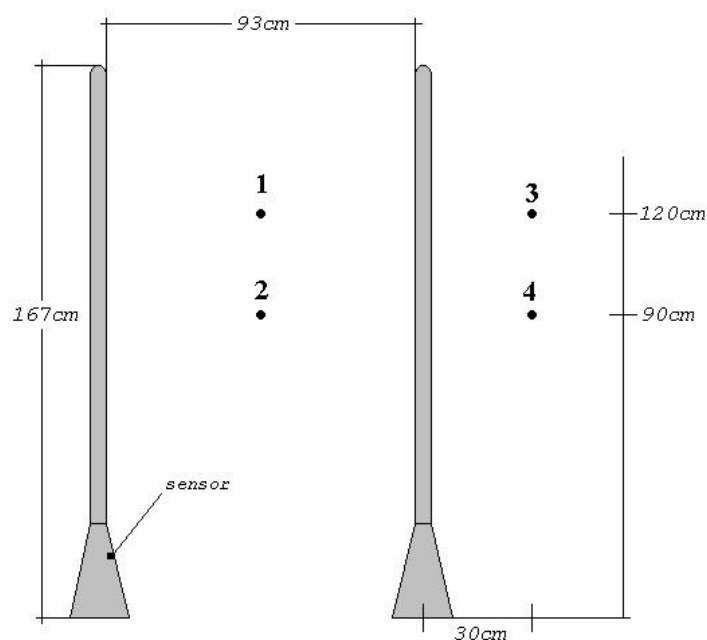
Samtliga tabellerade mätvärden är korrigerade med kalibreringsfaktorer som tagits fram för respektive instrument och frekvens. Osäkerheter i kalibreringsuppställningen tillsammans med eventuella anisotropifel hos tredimensionella sonder gav upphov till mätningarnas *systematiska fel*. De instrument som i studien användes till kvantitativa mätningar var BMM3, BMM5, EMDEX II och EMDEX lite. De systematiska felen skattades till $\pm 10 \%$ för BMM3, EMDEX II och EMDEX lite. För BMM5 skattades de till $\pm 15 \%$. Se Appendix.

6. Resultat

6.1. Biblioteket

6.1.1. Larmbågarna

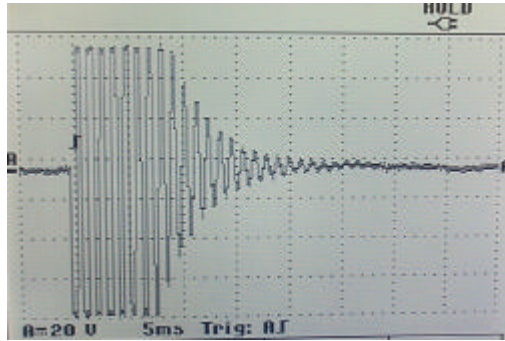
Vid *Bibliotekets* utgång står två bågar, en sändare och en mottagare, som skapar den övervakningszon som låntagarna måste passera när de lämnar *Biblioteket*. Bågarna är placerade ca 1 m från väggen in till returrummet där personal jobbar vid skrivbord samt med insamling och aktivering av återlämnade böcker. På larmbågarnas fot, något över ankelhöjd, sitter en sensor som känner av om någon eller något passerar, varvid sändaren aktiveras under en kort stund. Detta ger mottagaren möjlighet att detektera en störsignal från en eventuellt aktiv stöldskyddsremsa inom övervakningszonen. Dyker störsignalen upp går larmet, i annat fall återgår bågarna till normalläge. Bågarna är alltså större delen av tiden i viloläge.



Figur 1. Larmbågarna vid *Bibliotekets* utgång. På larmbågarnas fot sitter en sensor som känner av om någon passerar. Mätningar gjordes i fyra mätpunkter. Två punkter valdes mellan larmbågarna och två punkter utanför övervakningszonen i riktning mot returrummet.

Mätningar gjordes i fyra punkter enligt figur 1. Två punkter valdes mellan bågarna (1 och 2) och två punkter utanför övervakningszonen på avståndet 30 cm i riktning mot returrummet och det område där *Bibliotekets* personal vanligen befinner sig (3 och 4).

När sändaren var inaktiv mättes en sinussignal med frekvensen 50 Hz upp runt larmbågarna. Signalen kom från bågarnas ena fot där räknarens elektronik finns inbyggd. Det enskilda maxvärdet för 50 Hz-signalen befanns vara 78 μT och uppmättes nära larmbågarnas fot. Sändarsignalens utseende visas i figur 2.



Figur 2. Oscilloskopbild av den signal som larmbågen vid Bibliotekets utgång alstrar vid aktivering. Signalen är sinusformad och klingar så småningom av helt. Hela förloppet är ca 25 ms.

Signalen är en sinusvåg med frekvensen ca 910 Hz. Figur 2 visar att signalen sänds på en jämn nivå i ca 8 ms och att den sedan klingar av till halva amplituden efter ca 10 ms. Ca 25 ms efter sin början har signalen helt klingat av. Mätningar av signalen mellan bågarna gjordes dels då larmet inte utlöstes och dels då larmet utlöstes genom införsel av en stöldskyddsaktiverad bok i övervakningszonen. Ingen skillnad kunde ses på signalens utseende, dvs ingen detektion av den förutsedda störsignalen från bokens remsa kunde upptäckas.

Kvantitativa mätningar gjordes i de fyra mätpunkterna med BMM3, dels i sändarens viloläge och dels genom att bryta sensorstrålen och mäta under sändarsignalens aktiva del. Resultaten visas i tabell 3.

RL för yrkesexponering vid 920 Hz är $30,7 \mu\text{T}$. Denna riktlinje ligger gott och väl över de uppmätta nivåerna. Motsvarande siffra för allmänhetens exponering är $6,25 \mu\text{T}$ och detta värde kan mycket väl överskridas i samtliga mätpunkter. Larmbågarnas funktion och syfte medför ju också att samtliga biblioteksbesökare exponeras för magnetfälten i åtminstone punkt 1 och 2.

Tabell 3. Uppmätt flödestäthet vid Bibliotekets larmbågar. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde $2 \mu\text{T}$ då sändaren inaktiv och mätområde $20 \mu\text{T}$ då sändaren aktiv. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärde av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

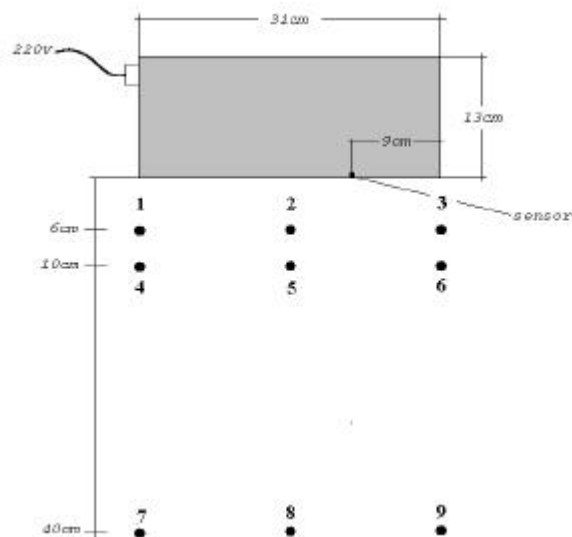
Mät punkt	Sändaren inaktiv* (viloläge)	Sändaren aktiv**
1	$0,20 \pm 0,01 \mu\text{T}$	$8,2 \pm 1,6 \mu\text{T}$
2	$0,29 \pm 0,01 \mu\text{T}$	$9,4 \pm 1,3 \mu\text{T}$
3	$0,11 \pm 0,01 \mu\text{T}$	$11,1 \pm 1,6 \mu\text{T}$
4	$0,34 \pm 0,03 \mu\text{T}$	$10,4 \pm 0,9 \mu\text{T}$

* Bakgrundssignalens frekvens 50 Hz

** Sändarsignalens frekvens ~920 Hz

6.1.2. Aktiverare på bordet

När en bok återlämnas hamnar den vanligen i det så kallade returrummet, inte tillgängligt för Bibliotekets besökare. På ett bord står den aktiverare som är den mest använda av de som



Figur 3. Aktiveraren på bordet i Bibliotekets returrum, sett ovanifrån. Bordskivan är ca 82 cm över golvet. Mätningar gjordes i nio mätpunkter på tre olika avstånd från aktiverarens långsida.

personalen har till sitt förfogande. Vid återaktivering dras bokens pärm längs aktiverarens långsida. En sensor känner av detta och utlöser då ett tidsvarierande magnetfält som under en kort stund avmagnetiserar etiketten i boken. Därefter återgår aktiveraren till viloläget under vilket inget fält alstras. Vid hanteringen står personalen intill bordet och när boken aktiveras är det arm och hand som befinner sig närmast aktiveraren.

Mätningar gjordes i nio punkter. Tre gånger tre punkter längs aktiverarens långsida på avstånden 6, 10 respektive 40 cm enligt figur 3. Genom att föra något, t ex en bok, förbi sensorn utlöstes aktiveringssignalen och mätningar av denna visade på en ren 50 Hz sinusvåg som varade i 1,3-1,4 s. Kvantitativa mätningar gjordes i de nio mätpunkterna med BMM3 genom att bryta sensorstrålen och mäta under aktiveringssignalens aktiva del. Resultaten visas i tabell 4.

Tabell 4. Uppmätt flödestäthet vid aktiveraren på bordet. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde 2 mT för punkterna 1-6 och mätområde 200 μ T för punkterna 7-9. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mätpunkt	Aktiveraren aktiv*
1	$> 2 \text{ mT}^{\text{**}}$
2	$> 2 \text{ mT}^{\text{**}}$
3	$1,4 \pm 0,1 \text{ mT}$
4	$1,2 \pm 0,1 \text{ mT}$
5	$1,9 \pm 0,2 \text{ mT}$
6	$0,9 \pm 0,1 \text{ mT}$
7	$69 \pm 1 \mu\text{T}$
8	$78 \pm 3 \mu\text{T}$
9	$62 \pm 3 \mu\text{T}$

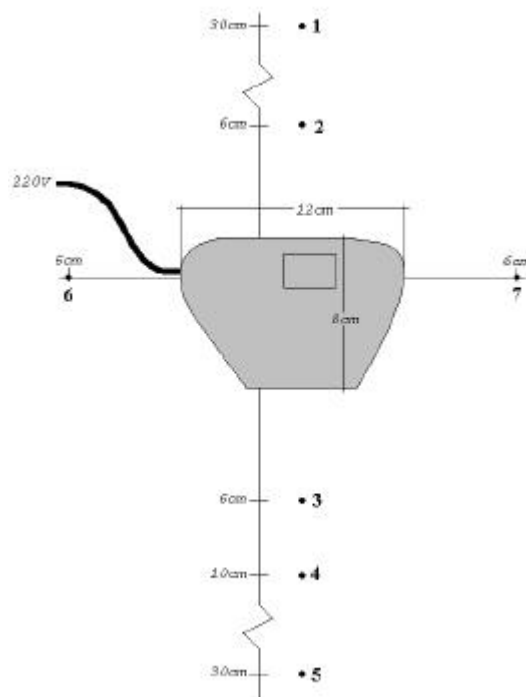
*Sinussignal med frekvensen 50 Hz

**2 mT är maxvärde för registrering med BMM3

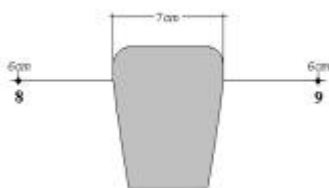
RL för yrkesexponering vid 50 Hz är 500 μT . Detta värde överskrids klart i punkterna 1-6, dvs i punkter som ligger 6 cm och 10 cm från aktiverarens långsida. I dessa punkter kommer personalens händer, handleder och underarmar att befinna sig i vid en normal användning av aktiveraren. Aktiverarens placering ett stycke in på en bordsskiva, minskar risken för att personalen vid drift kommer inom dessa avstånd med övriga delar av kroppen. Den befinner sig istället på ca 40 cm avstånd och där är flödestätheten gott och väl under riktlinjen 500 μT (se punkterna 7-9). Eftersom det använda instrumenten BMM3 bottnade på 2,0 mT i två av punkterna och detekterade fält på över 1 mT i flera av de närmaste punkterna är det emellertid lämpligt att göra en noggrannare studie.

6.1.3. Handhållen aktiverare

I returrummet finns också en handhållen aktiverare som till form och storlek liknar en rakapparat med mått enligt figur 4 och 5. En strömbrytare på aktiverarens sida utlöser alstringen av ett tidsvarierande magnetfält. Vid återaktivering hålls aktiveraren i den ena handen. Aktiveraren dras längs bokens pärm, medan brytaren hålls in med tummen. Beroende på vilken teknik personalen använder kan aktiveraren alltså hållas på alla avstånd inom en armlängd från huvud och bål. En tydlig skillnad föreligger om boken som ska aktiveras hålls i handen eller om den står i t ex en bokvagn. I det första fallet kan aktiveraren helt eller delvis riktas mot kroppen medan den i det senare fallet riktas bort från kroppen. På grund av dess litenhet och rörlighet är det också möjligt att hålla aktiveraren direkt mot i princip vilken kroppsdel som helst. Delar av personalen upplevde den handhållna aktiveraren som för tung och föredrog aktiveraren på bordet.



Figur 4. Handhållen aktiverare i Bibliotekets returrum, sett från sidan. Mätningar gjordes i nio mätpunkter runt aktiveraren. Sju av dessa illustreras ovan. För övriga mätpunkter se figur 5.



Figur 5. Handhållen aktiverare i Bibliotekets returrum, sett framifrån. Mätningar gjordes i nio mätpunkter runt aktiveraren. Två av dessa illustreras ovan. För övriga mätpunkter se figur 4.

Mätningar med strömbrytaren tillslagen gjordes i nio punkter enligt figur 4 och 5. Tre punkter valdes på olika avstånd från aktiverarens anläggningsyta (3-5) och två punkter längs samma linje, men på aktiverarens ovansida (1-2). Dessutom valdes fyra punkter i horisontalplanet placerade på båda sidor om aktiverarens kortsida och långsida (6-9).

Kvantitativa mätningar gjordes av aktiveringssignalen (ren 50 Hz sinusvåg) i de nio mätpunkterna med BMM3. Resultaten visas i tabell 5.

RL för yrkesexponering vid 50 Hz är 500 μT . Detta värde överskrids i punkterna 3, 4, 8 och 9 samt troligen också i punkterna 2 och 7. Vid lämplig hantering av den handhållna aktiveraren hålls den i ena handen riktad bort från kroppen. Ingen kroppsdel borde då befinna sig i punkterna 3 och 4, men hand, handled och underarm kan mycket väl ändå utsättas för fält starkare än 500 μT .

Tabell 5. Uppmätt flödestäthet vid handhållen aktiverare. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde 200 μT för punkterna 1, 5, 6, 8 och 9 och mätområde 2 mT för punkterna 2, 3, 4 och 7. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mät punkt	Aktiveraren aktiv* (strömbrytaren intryckt)
1	$28 \pm 1 \mu\text{T}$
2	$0,58 \pm 0,04 \text{ mT}$
3	$> 2 \text{ mT}^{\text{a}}$
4	$0,99 \pm 0,13 \text{ mT}$
5	$38 \pm 1 \mu\text{T}$
6	$0,38 \pm 0,05 \text{ mT}$
7	$0,66 \pm 0,11 \text{ mT}$
8	$0,76 \pm 0,07 \text{ mT}$
9	$0,70 \pm 0,11 \text{ mT}$

*Sinussignal med frekvensen 50 Hz

^a2 mT är maxvärde för registrering med BMM3

6.1.4. Avaktiverare/aktiverare i korridoren

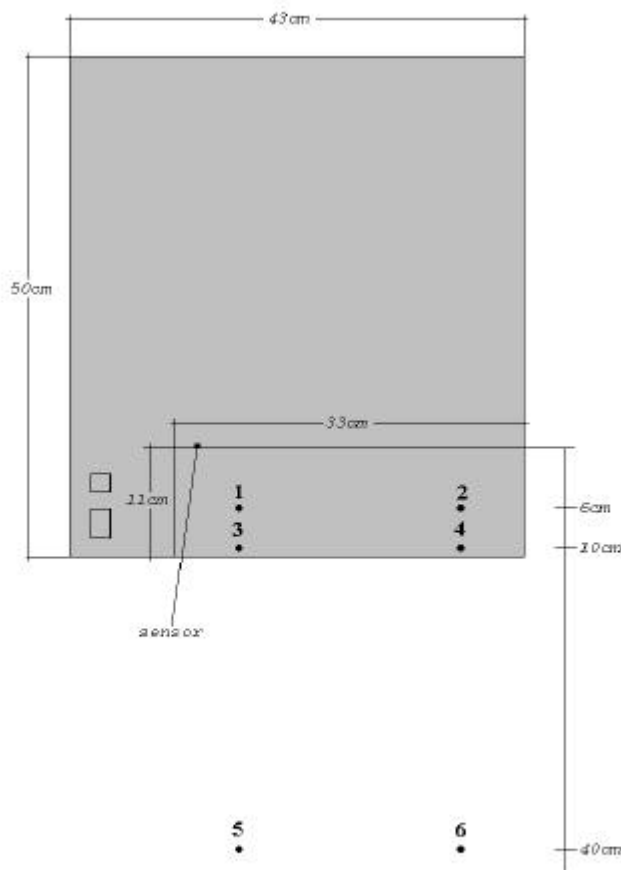
I en korridor, inte tillgänglig för Bibliotekets besökare, står på ett bord ytterligare en del av stöldskyddssystemets utrustning. Med den är det möjligt att antingen aktivera ("sensitize") eller avaktivera ("desensitize") en stöldskyddsremsa och dessutom finns en funktion som tillåter användaren att kontrollera om remsan är aktiv eller inaktiv.

Vid kontroll av remsans status läggs boken med pärmen mot apparaten och en lampa indikerar om bokens stölskydd är aktiverat eller inte. När boken förs förbi en infälld sensor utlöses alstringen av den valda aktiverings- eller avaktiveringssignalen under en kort stund.

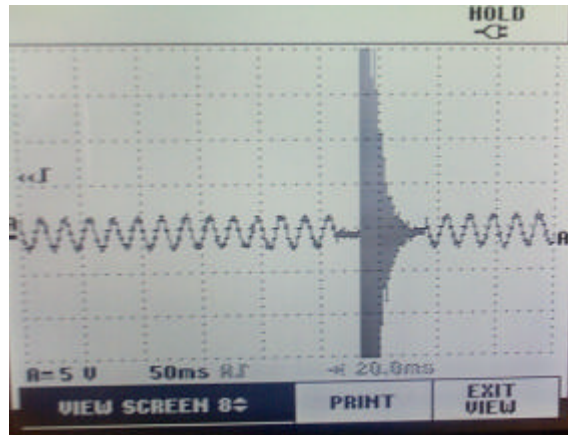
Avaktiveraren/aktiveraren står på ett bord 82 cm över golvet. Vid hanteringen står personalen intill bordet och eftersom boken manuellt förs förbi sensorn är arm och hand de kroppsdelar som kommer närmast magnetfältets källa.

Mätningar gjordes i sex punkter. Två gånger tre punkter valdes längs apparatens långsida på 6, 10 respektive 40 cm avstånd enligt figur 6. Mätningarna visade att kontrollsignalen var en sinusvåg med frekvensen 50 Hz. Ingen strömbrytare fanns för att koppla bort signalen. Aktiveringssignalen var en sinusformad signal med frekvensen ca 350 Hz och den varade i ca 25 ms, figur 7.

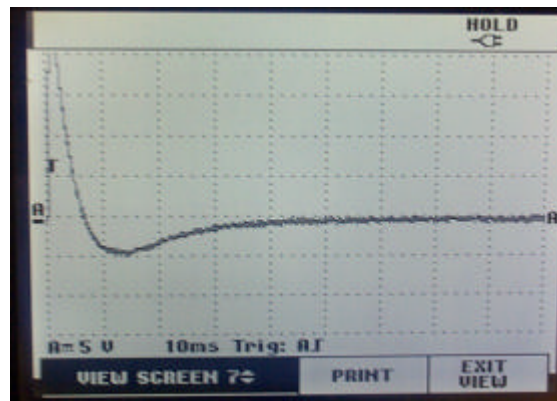
Avaktiveringssignalen bestod av en skarp spik som varade i ca 6 ms, varpå en mindre ”eftersläng” följde innan signalen klingade av (figur 8). Hela förloppet tog ca 40 ms.



Figur 6. Avaktiverare/aktiverare i en av Bibliotekets korridorer, sett ovanifrån. Mätningar gjordes i sex mätpunkter.



Figur 7. Oscilloskopbild av den signal avaktiveraren/aktiveraren i korridoren alstrar vid aktivering. Aktiveringssignalen är sinusformad med frekvensen ca 350 Hz och varar i ca 25 ms.



Figur 8. Oscilloskopbild av den signal avaktiveraren/aktiveraren i korridoren alstrar vid avaktivering. En skarp signalspik följs av en liten eftersläng innan signalen klingar av helt.

Kvantitativa mätningar gjordes i de sex mätpunkterna med BMM3. I varje punkt mättes magnetfältet under tre olika förhållanden. Den första mätningen gjordes i apparatens kontrolläge. Den andra mätningen gjordes med väljarknappen inställd på aktivering ("sensitize") och utfördes under den korta aktiveringssignalen. Den tredje mätningen gjordes med väljarknappen inställd på avaktivering ("desensitize") och utfördes under den korta avaktiveringssignalen. Avaktiveringssignalen ansågs pga sitt utseende mindre intressant och de kvantitativa mätningar som gjordes på den ansågs alltför svårtolkade för att presenteras nedan. I punkt 1 var det högst uppmätta värdet för en enskild mätning av den korta avaktiveringssignalen 1,4 mT. Resultaten för kontrolläge och aktivering visas i tabell 6.

RL för yrkesexponering vid 50 Hz är 500 μ T. I punkt 1 överskrids denna riktlinje och eventuellt även i punkt 3. Båda dessa punkter ligger intill den sensor som känner av om en bok är på plats. Eftersom boken placeras manuellt är det vid just dessa punkter som den hand som håller boken kommer att finnas. Större delen av kroppen kommer vid normal användning att befinna sig på ett avstånd av 40 cm eller mer. Punkterna 5 och 6 ligger på avståndet 40 cm och där är nivåerna långt under riktlinjen.

RL för yrkesexponering vid 350 Hz är 71,4 μ T. Denna riktlinje överskrids rejält i de närmaste punkterna 1 – 4 och eventuellt även i punkt 6. Nu pågår inte denna signal längre än ca 25 ms åt gången, men det höga värdet är värt att undersöka ytterligare.

Tabell 6. Uppmätt flödestäthet vid avaktiverare/aktiverare i korridoren. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde 2 mT för punkterna 1-4 och mätområde 200 μ T för punkterna 5-6. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

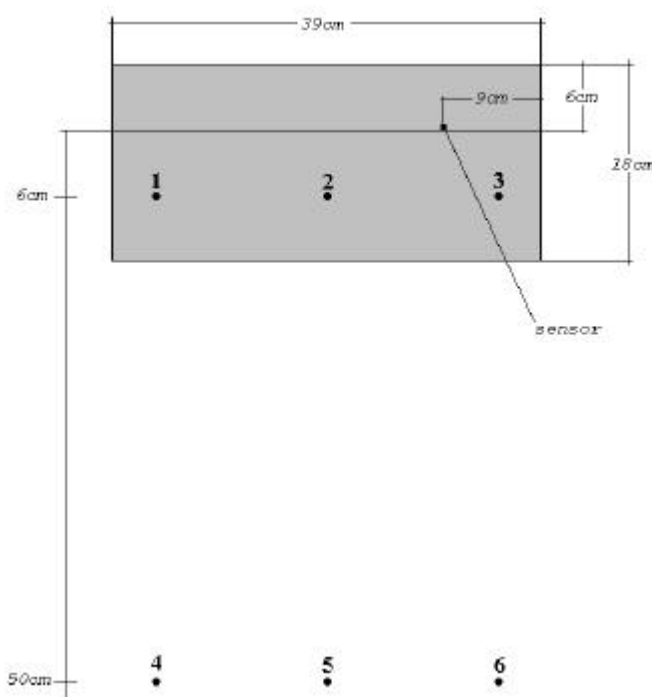
Mätpunkt	Kontrolläge*	Aktivering**
1	0,78 \pm 0,02 mT	1,1 \pm 0,2 mT
2	0,23 \pm 0,01 mT	0,62 \pm 0,14 mT
3	0,56 \pm 0,03 mT	0,86 \pm 0,18 mT
4	0,15 \pm 0,01 mT	0,44 \pm 0,15 mT
5	20 \pm 2 μ T	43 \pm 14 μ T
6	16 \pm 1 μ T	58 \pm 12 μ T

*Sinussignal med frekvensen 50 Hz

**Sinussignal med frekvensen ca 350 Hz

6.1.5. Avaktiverare/aktiverare på kontoret

I ett personalkontor, inte tillgängligt för *Bibliotekets* besökare, står ytterligare en utrustning med samma funktioner som den i korridoren, behandlad i det förra avsnittet. Dessutom finns en strömbrytare (märkt "verify") som tillåter användaren att antingen slå av apparaten eller ställa den i det kontrolläge som möjliggör kontroll av stölskyddsremsans status.



Figur 9. Avaktiverare/aktiverare i ett av *Bibliotekets* kontor, sett ovanifrån. Mätningar gjordes i sex mätpunkter.

Mätningar gjordes i sex punkter. Tre gånger två punkter längs apparatens långsida på avstånden 6 respektive 50 cm enligt figur 9.

Avaktiveringssignalen hade ett liknande utseende som den i figur 8. Den skarpa spiken varade i ca 8 ms, varpå den mindre "efterslängen" följde innan signalen klingade av. Hela förloppet var över på ca 50 ms.

Kontrollsignalen var en ren sinusvåg med frekvensen 50 Hz. Denna signal var möjlig att koppla från genom att sätta verify-strömbrytaren i läget "off".

Aktiveringssignalen var en sinussignal med frekvensen ca 390 Hz som klingade av i likhet med signalen i figur 7. Aktiveringssignalen varade i ca 40 ms. Resultaten för kontrolläge och aktivering visas i tabell 7.

Tabell 7. Uppmätt flödestäthet vid avaktiverare/aktiverare på kontoret. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde 2 mT för punkterna 1-3 och mätområde 20 μ T för punkterna 4-6. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mätpunkt	Kontrolläge*	Aktivering**
1	0,35 \pm 0,02 mT	0,75 \pm 0,19 mT
2	0,78 \pm 0,05 mT	0,99 \pm 0,16 mT
3	0,47 \pm 0,03 mT	0,64 \pm 0,15 mT
4	7,2 \pm 0,3 μ T	8,7 \pm 0,9 μ T
5	8,7 \pm 0,4 μ T	11,7 \pm 1,5 μ T
6	7,5 \pm 0,1 μ T	10,6 \pm 1,2 μ T

*Sinussignal med frekvensen 50 Hz

**Sinussignal med frekvensen 390 Hz

RL för yrkesexponering vid 50 Hz är 500 μ T. I punkt 2 överskrids denna riktlinje och eventuellt även i punkt 3. Båda dessa punkter ligger relativt nära den sensor som känner av om en bok är på plats. På samma sätt som för avaktiveraren/aktiveraren i korridoren placeras boken manuellt och det är därför vid just dessa punkter som den hand som håller boken kommer att finnas. Eftersom avaktiveraren/aktiveraren på kontoret står ett stycke in på ett bord kommer vid normal användning endast hand och arm hos användaren att röra sig i apparaturens absoluta närhet. Punkt 5 och 6 på avståndet 50 cm visar att flödestätheten är mycket lägre där.

RL för yrkesexponering vid 390 Hz är 64,1 μ T. Denna riktlinje överskrids tydligt i samtliga av de tre närmaste punkterna 1 – 3. Aktiveringssignalen pågår visserligen inte längre än ca 40 ms, men de uppmätta värdena under denna tid bör tas på allvar och undersökas vidare.

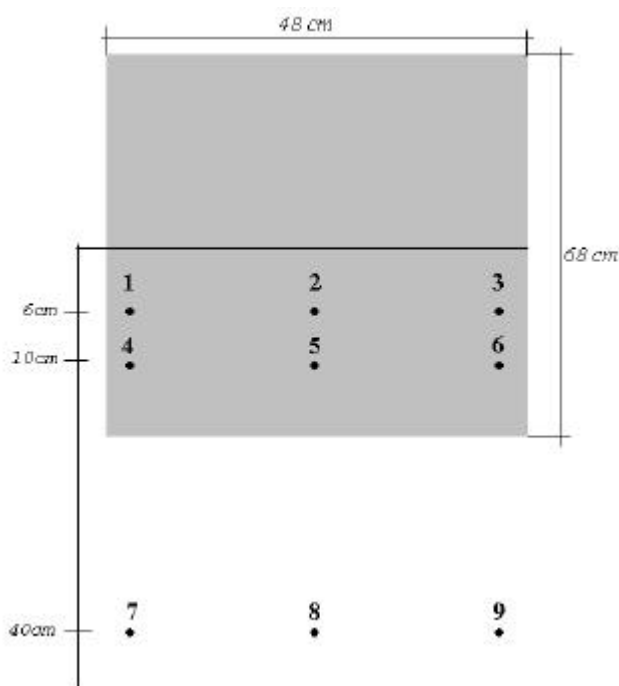
6.1.6. Avaktiverare på utlåningsdiskarna

På utlåningsdiskarna står den typ av avaktiverare som personalen oftast använder vid utlåning. Den består av en permanentmagnet. Vid avaktivering dras bokens rygg över magneten och stöldsnyckelremsan magnetiseras. En enkel mätning med Bell 460 Gaussmeter visade att flödestäthetens maxvärde på avaktiverarens yta var 90 mT.

Eftersom det statiska magnetfältet inte inducerar några strömmar i kroppsvävnad och är för svagt för att kunna störa eventuella inopererade metall detaljer bedöms det vara ofarligt ur hälsosynpunkt.

6.1.7. Självutlåningsautomaten

I *Bibliotekets* lokaler, framför utlåningsdiskarna, står en självutlåningsautomat. Här kan låntagaren själv registrera sitt lån. Lånekortet och boken placeras på en speciell plats och en streckodsavläsare identifierar låntagare och boktitel. Normalt står användaren 40-50 cm från avaktiveraren. Om streckkoden finns på bokens framsida är det ofta möjligt att lägga ifrån sig boken under avaktiveringen men detta nyttjas inte av alla. Finns streckkoden på en av bokens insidor måste boken oftast hållas med handen även under själva avaktiveringen



Figur 10. En av Bibliotekets självutlåningsautomater, sett ovanifrån. Mätningar gjordes i nio mätpunkter.

Mätningar gjordes i nio punkter. Tre gånger tre punkter längs automatens bokränna på avstånden 6, 10 respektive 40 cm enligt figur 10. Mätningarna utfördes under två olika förhållanden. Den första mätningen gjordes i automatens viloläge, dvs då ingen utlåning äger rum. Den andra mätningen gjordes i utlåningsögonblicket, dvs under avaktiveringssignalens aktiva del.

Mätningarna med automaten i viloläge visade på ett magnetfält vars signal var en ren sinusvåg med frekvensen 50 Hz. Denna signal var inte möjlig att koppla från genom att slå av en strömbrytare. Avaktiveringssignalen visade sig, som i tidigare behandlade avsnitt, bestå av en skarp spik och en liten "eftersläng" som sedan klingade av. Spiken varade i ca 8 ms och hela förloppet var över på ca 50 ms.

Maxvärdet för en enskild mätning av den korta avaktiveringssignalen var 1,0 mT och uppmättes i punkt 2. Resultaten för vilolägessignalen visas i tabell 8.

Tabell 8. Uppmätt flödestäthet vid självutlåningsautomaten. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde 2 mT för punkterna 1-6 och mätområde 20 μ T för punkterna 7-9. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mätpunkt	Viloläge*
1	0,41 \pm 0,03 mT
2	0,87 \pm 0,02 mT
3	0,35 \pm 0,03 mT
4	0,26 \pm 0,02 mT
5	0,68 \pm 0,03 mT
6	0,22 \pm 0,01 mT
7	14 \pm 1 μ T
8	16 \pm 1 μ T
9	12 \pm 1 μ T

*Sinussignal med frekvensen 50 Hz

[†]Mättekniskt omöjlig punkt

RL för allmänhetens exponering vid 50 Hz är 100 μ T. Denna riktlinje överskrids rejält i de närmaste punkterna 1-6. I dessa punkter är det normalt sett låntagarens händer som blir exponerade. Eftersom flödestätheten sjunker kraftigt med avståndet till tiotalet mikrotlesa 40 cm från automaten, ska större delen av kroppen vid normal användning inte behöva utsättas för de nivåer som uppmättes i punkterna 1-6. Det är däremot möjligt, om ej sannolikt, att låntagaren utsätts för dessa höga flödestätheter även i huvud och bröstorg/bål.

6.2. Butiken

6.2.1. Larmbågarna vid kassan

Varje kundutgång vid kassorna bevakas av två larmbågar, med sändare och mottagare, på var sin sida om passagen. När kunden passerar kassan aktiveras larmbågens sändare av en rörelseindikator med en bevakningszon som täcker kundpassagen. Sändaren är sedan aktiv så länge som kunden rör sig i rörelseindikatorns bevakningszon samt ca 6 s efter det att kunden lämnat denna zon. När sändaren är aktiv kan mottagaren detektera en eventuell störsignal från en aktiv stöldskyddsetikett inom larmbågarnas övervakningszon. Känner mottagaren av en sådan störsignal utlöses larmet.

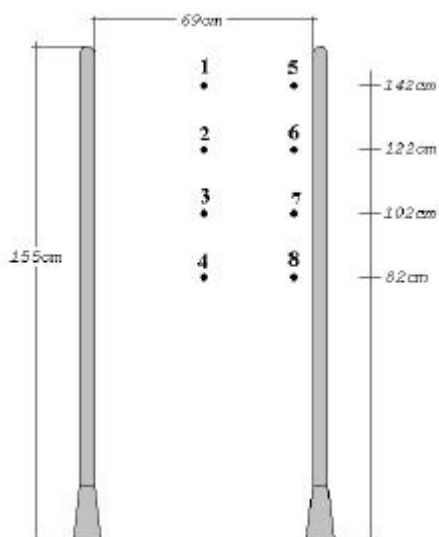
Mätningar gjordes i åtta punkter enligt figur 11. Fyra punkter valdes på olika höjder mitt emellan bågarna (1, 2, 3 och 4) och fyra punkter på motsvarande höjder så nära den ena larmbågen som mätsonden tillät, dvs 6 cm från denna (5, 6, 7 och 8).

Mätningarna visade på en sammansatt sändarsignal bestående av en sinusvåg med frekvensen ca 6,25 kHz på en klippt sinusvåg med frekvensen ca 17 Hz.

Kvantitativa mätningar gjordes i de åtta mätpunkterna. De uppmätta värdena i tabell 9 avser styrkan hos sinussignalen med frekvensen 17 Hz och värdena i tabell 10 avser styrkan hos sinussignalen med frekvensen 6,25 kHz.

RL för yrkesexponering vid 17 Hz är 1471 μ T. Denna riktlinje ligger gott och väl över de uppmätta nivåerna i samtliga punkter.

RL för allmänhetens exponering är $294 \mu\text{T}$. Denna riktlinje överskrids möjligen för punkt 6. Det är ju också i första hand kunder som kommer att befinna sig i de områden som mätpunkterna representerar.



Figur 11. Larmbågarna vid Butikens kassa. En rörelseindikator reagerar om någon kommer in i övervakningszonen. Mätningar gjordes i åtta mätpunkter mellan larmbågarna.

Tabell 9. Låg frekvens, 17 Hz. Uppmätt flödestäthet vid kassans larmbågar. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde $200 \mu\text{T}$ för punkterna 1-4 och mätområde 2 mT för punkterna 5-8. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mätpunkt	Sändaren aktiv
1	$49,0 \pm 1,4 \mu\text{T}$
2	$91,1 \pm 1,3 \mu\text{T}$
3	$108,8 \pm 1,3 \mu\text{T}$
4	$114,4 \pm 2,0 \mu\text{T}$
5	$0,240 \pm 0,003 \text{ mT}$
6	$0,268 \pm 0,002 \text{ mT}$
7	$0,247 \pm 0,001 \text{ mT}$
8	$0,263 \pm 0,001 \text{ mT}$

RL för yrkesexponering vid 6,25 kHz är $30,7 \mu\text{T}$. Denna riktlinje överskrids rejält i punkterna 5-8 och möjligen också i punkterna 2-4 mitt emellan larmbågarna.

RL för allmänhetens exponering vid 6,25 kHz är $6,25 \mu\text{T}$. Denna riktlinje överskrids med mycket stora marginaler i samtliga mätpunkter. Som nämnts tidigare borde personalen normalt sett inte befinna sig i någon av de punkter som mätningen rör, men samtliga kunder tvingas däremot genom det aktuella området när de lämnar *Butiken* och exponeras därmed av fälten. Det är dessutom viktigt att beakta effekten av den sammansatta signalen. Visserligen detekterar instrumenten BMM3 och BMM5 endast en frekvens var, men det är trots detta ett fält bestående av en sammansatt signal som larmbågarna alstrar.

Tabell 10. Hög frekvens, 6,25 kHz. Uppmätt flödestäthet vid kassans larmbågar. Mätningarna utförda med BMM5 inställt på mätområde 200 μT för samtliga punkter. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mätpunkt	Sändaren aktiv (μT)
1	16,0 \pm 1,2
2	32,2 \pm 0,3
3	33,7 \pm 0,3
4	32,1 \pm 0,1
5	133,8 \pm 3,0
6	117,3 \pm 1,2
7	85,9 \pm 0,7
8	83,2 \pm 0,4

6.2.2. Larmbågarna vid entrén

För att komma in i *Butiken* måste kunden passera genom någon av de larmbågar som finns uppställda på rad vid sidan av varandra vid *Butikens* entré. Mätningarna visade stora likheter med de mätningar som utfördes på larmbågarna vid kassan. Sändarsignalen var sammansatt av en sinusvåg med frekvensen ca 7,5 kHz och en sinusvåg med frekvensen ca 17 Hz.

Signalen med frekvensen 17 Hz hade en flödestäthet som inte överskred någon RL. Signalen med frekvensen 7,5 kHz hade emellertid en flödestäthet som överskred RL för yrkesexponering intill den ena larmbågen och möjligen också mitt emellan larmbågarna. RL för allmänhetens exponering överskreds rejält i samtliga mätpunkter av signalen med frekvensen 7.5 kHz. Det är sannolikt att anta att kunden inte exponeras av entrélarmbågarnas fält lika länge som av kassalarmbågarnas, eftersom kunden bara passerar in genom entrén men eventuellt dröjer kvar vid kassan för att betala eller packa sina varor. Även för entréns larmbågar är det däremot viktigt att inte bara studera de två frekvenserna var och en för sig utan ta hänsyn till den sammansatta signalen som larmbågarna alstrar.

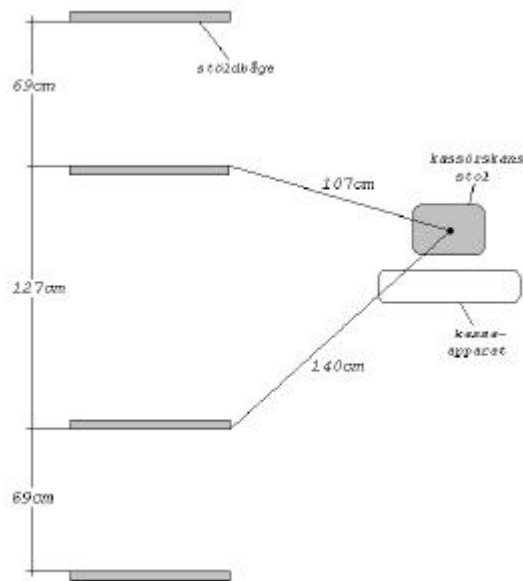
6.2.3. Kassörskans plats

Mätningar gjordes även vid den plats där kassapersonalen arbetar. Proportioner och avstånd till närliggande larmbågar presenteras i en översiktsbild av den aktuella kassan (figur 12). Mätningarna utfördes i tre punkter enligt figur 13.

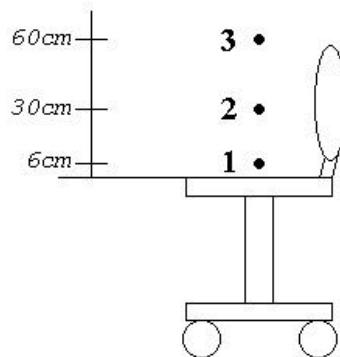
De magnetfält som kunde detekteras vid stolen bestod av dels 50 Hz sinusvågor och dels de signaler som larmbågarna utsände, dvs en sinusvåg med frekvensen ca 6,25 kHz på en klippt sinusvåg med frekvensen ca 17 Hz. Eftersom både signalen från kassans egna larmbågar och signalen från de larmbågar tillhörande kassan bakom (se figur 12) bidrog till de uppmätta värdena gjordes mätningar dels då endast kassans egna larmbågar var aktiva och dels då båda kassornas larmbågar var aktiva samtidigt. Övriga kassors larmbågar bedömdes vara så långt borta från stolen att de inte påverkade mätningarna nämnvärt.

Kvantitativa mätningar gjordes i de tre mätpunkterna dels med BMM3 och dels med BMM5. Resultaten visas i tabell 11 och i tabell 12.

Ingen av ICNIRP:s RL överskrids i någon av punkterna. För att beräkna den sammanlagda effekten av de olika frekvenserna krävs en djupare undersökning enligt ICNIRP:s rekommendationer^[4]. En sådan studie ligger emellertid utanför detta arbetes omfattning.



Figur 12. Översiktsbild av den i Butiken studerade kassan. Kassorna ligger på rad bredvid varandra och detsamma gäller därför också de tillhörande larmbågarna. Avstånden från kassörskans plats till de närmaste larmbågarna är angivna ovan.



Figur 13. Kassörskans plats. Mätningar gjordes i tre mätpunkter på olika höjder över stolsitsen.

Tabell 11. Låg frekvens, 17 Hz och 50 Hz. Uppmätt flödestäthet vid kassörskans plats. Mätningarna utförda med BMM3 inställt på mätområde 20 μT för samtliga punkter. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

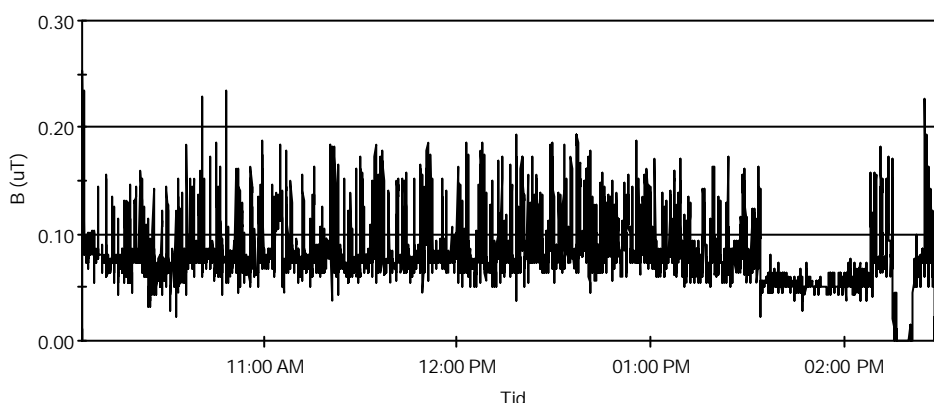
Mätpunkt	En båge aktiv (μT)	Två bågar aktiva (μT)
1	$2,3 \pm 0,1$	$0,81 \pm 0,12$
2	$2,4 \pm 0,2$	$0,98 \pm 0,03$
3	$2,0 \pm 0,1$	$0,81 \pm 0,03$

Tabell 12. Hög frekvens, 6,25 kHz. Uppmätt flödestäthet vid kassörskans plats. Mätningarna utförda med BMM5 inställt på mätområde 20 μT för samtliga punkter. Mätvärdet angivet som det aritmetiska medelvärdet av sju mätningar med tillhörande felgränser vid 95 % konfidensintervall.

Mätpunkt	En båge aktiv (μT)	Två bågar aktiva (μT)
1	$0,32 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02$
2	$0,40 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,03$
3	$0,37 \pm 0,03$	$0,22 \pm 0,02$

6.2.4. Logg på kassörskan

För att studera långtidsexponeringen för kassapersonalen användes det loggande instrumentet EMDEX II. Instrumentet detekterar magnetfält från ca 40 Hz och ger en god bild av ett längre tidsförlopp. EMDEX II bars under ett vanligt arbetspass på höften av en kassörska vars kassa låg i ena änden av en lång rad av kassor. Det fanns därför ingen kassa med tillhörande larmbågar bakom henne. Resultatet för EMDEX II visas i figur 14. Ingen hänsyn har i figuren tagits till instrumentets kalibreringsfaktor. Kalibreringsfaktorn för EMDEX II vid 50 Hz är 1,05 så loggens korrigerade värden erhålls därför genom division med 1,05.

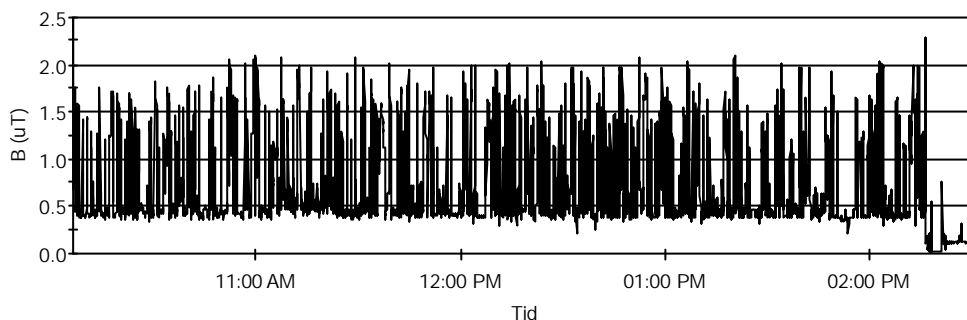


Figur 14. Flödestäthet vs tid. Mätningen gjord med det loggande instrumentet EMDEX II buren på kassörskans höft under ett arbetspass.

De fält som EMDEX II detekterade hade i huvudsak frekvensen 50 Hz och kom antagligen från de elektriska komponenterna som finns installerade vid och i närheten av kassan. Exempel på sådana är kassaapparaten, streckkodscannern, kortavläsaren, varuvågen och motorerna som driver varubanden. Mätningen sträckte sig över ca 4 h 15 min. Kassörskan satt hela tiden vid kassan utom under en ca 35 min lång paus 13³⁵-14¹⁰. Kurvans plötsliga fall mot nollnivå ca 14¹⁸ indikerar den tidpunkt då EMDEX II avlägsnades från kassörskans höft och mätningen avslutades. Flödestätheten varierade under större delen av tiden mellan 0,05 μT och 0,2 μT med ett par toppar däröver. Medelvärdet var 0,08 μT . Under pausen låg flödestätheten relativt stabil runt 0,05 μT .

6.2.5. Logg på kassan

För att fånga upp ännu lägre frekvenser användes instrumentet EMDEX lite som detekterar magnetfält långt ner i frekvensbandet. Eftersom instrumentet är känsligt för väldigt låga frekvenser är det också känsligt för sin egenrörelse, vilket innebär att egenrörelsen kan störa mätningarna. För att undvika denna störning fasttejpades instrumentet under disken vid samma kassa som den i mätningarna med EMDEX II. Mätningarna med dessa båda instrument utfördes under samma arbetspass och EMDEX lite kunde förutom fälten med frekvensen 50 Hz även detektera de fält med frekvensen 17 Hz som larmbågarna alstrade. Resultatet för EMDEX lite visas i figur 15. Ingen hänsyn har i figuren tagits till instrumentets kalibreringsfaktorer. Kalibreringsfaktorerna för EMDEX lite är 1,01 vid 17 Hz och 0,99 vid 50 Hz så loggens korrigerade värden avviker endast med någon procent från de i figuren.



Figur 15. Flödestäthet vs tid. Mätningen gjord med det loggande instrumentet EMDEX lite fastsatt under kassans disk under ett arbetspass.

Mätningen sträckte sig över ca 4 h 15 min. Till skillnad från EMDEX II lämnade EMDEX lite aldrig kassan under mätningen. Kurvans plötsliga fall mot nollnivån ca 14¹⁷ visar den tidpunkt då EMDEX lite avlägsnades och mätningen avslutades. Flödestätheten varierade under större delen av tiden mellan 0,35 μT och 2,10 μT och medelvärdet blev 0,74 μT . Troligen gav 50 Hz-fälten upphov till den förhållandevis stabila nivån på 0,35 μT , medan nivåerna däröver, inklusive de många spikarna upp emot 2,10 μT , berodde på att larmbågen och dess 17 Hz-fält aktiverades. Att de detekterade 50 Hz-fälten nådde nivån 0,35 μT istället för 0,2 μT som i mätningen med EMDEX II beror antagligen på att de båda loggarna inte mätte i exakt samma punkt i rummen.

7. Diskussion

En jämförelse av *Biblioteket* och *Butiken* visar att trots att det i princip är samma typ av stöldskyddssystem som används på båda arbetsplatserna har *Biblioteket* en extra uppsättning utrustning som *Butiken* saknar. Eftersom biblioteksböckerna måste återlämnas håller sig *Biblioteket* nämligen med en serie aktiverare. Aktiverarna är ur magnetfältsynpunkt mer intressanta än *Butikens* avaktiverare eftersom de till skillnad från de senare arbetar med tidsvarierande fält. De statiskafälten inducerar ju inga strömmar i kroppsvävnaderna och anses därför i nuläget inte lika viktiga att studera. I *Butikens* stöldskyddssystem är det sålunda endast larmbågarna som står för de tidsvarierandefälten medan det i *Biblioteket* är dels larmbågarna och dels de olika aktiverarna. Dessutom alstrar *Bibliotekets* självutlåningsautomat ett betydande 50 Hz-fält.

Eskelinen mfl^[12] visar att kassapersonal och bibliotekspersonal i allmänhet inte exponeras för nivåer som överskrider ICNIRP:s riktlinjer, men att riktlinjerna under kortare perioder kan överskridas mellan larmbågarna. De drar även slutsatsen att kassapersonal verkar utsättas för högre nivåer än arbetare inom andra yrken och att den därför skulle vara en intressant grupp att undersöka vidare.

7.1. Biblioteket

7.1.1. Larmbågarna

Fältet från larmbågarna kommer av avståndsskäl att påverka i första hand låntagarna och resultaten visar attfälten mycket väl kan överskrida RL för allmänhetens exponering. Ska det rekommenderade tillvägagångssättet följas, borde en djupare undersökning av om BR överskrids göras^[4].

7.1.2. Aktiverare på bordet

Mätningarna visade att aktiveringssignalen visserligen bara varade 1,3-1,4 s per bok, men nivåerna nära apparaturen överskrider tydligt RL för yrkesexponering och är så pass höga att något borde göras. Ett enkelt sätt att minska personalens exponering skulle vara att öka avståndet mellan användaren och aktiveraren. De uppmätta värdena visar, i enlighet med vad som teoretiskt kan förväntas, på en kraftig sänkning av magnetfälten med avståndet. Istället för att boken förs med handen längs aktiveraren skulle den kunna föras antingen maskinellt eller med något slags verktyg.

7.1.3. Handhållen aktiverare

Den handhållna aktiveraren är speciell på flera sätt. För det första överskrider RL för yrkesexponering klart nära apparaten och de alstrade magnetfälten är så pass kraftiga i sig att bara den egenskapen borde föranleda vidare studier. För det andra bestämmer användaren själv med en strömbrytare hur länge den ska gå. Vid aktivering av många böcker kan därför användaren utsätta sig för de alstrade magnetfälten under onödigt lång tid. För det tredje är aktiveraren så mobil att den vid felaktig användning kan riktas rakt mot kroppen och i värsta fall föras ända intill huden. Om t ex en ovetande användare bär pacemaker kan detta i värsta fall leda till störningar i pacemakern. För det fjärde är aktiveraren så tung att den av detta skäl kan kännas obekvämt användas. Det är svårt att minska exponeringen från aktiveraren på

annat sätt än att rikta den bort från kroppen, men även då kan nivåerna i t ex handen vara ganska höga. Den bästa rekommendationen är nog att istället använda de stationära aktiverarna.

7.1.4. Avaktiverare/aktiverare i korridoren

Den första iakttagelsen är att ett 50 Hz-fält hela tiden finns runt apparaturen, oavsett om den används eller inte. Detta är mycket onödigt och en strömbrytare borde inkopplas. Både kontrolläget och aktiveringen ger magnetfält som överskrider RL för yrkesexponerade i punkter nära apparaturen. Liksom för aktiveraren på bordet skulle exponeringen minska rejält om avståndet mellan användaren och apparaturen kunde ökas bara något. Detta skulle även här kunna ske genom maskinell bokmatning eller om ett verktyg som ökade avståndet användes. En annan variant vore att ersätta den lilla sensorn på apparaturen med en strömbrytare som skulle ge användaren möjlighet att på ett större avstånd starta kontrollen, avaktiveringen eller aktiveringen. Denna variant är däremot något som tillverkarna borde tänka på eftersom den kan vara svår att tillämpa på den befintliga utrustningen. Generellt sett förefaller det onödigt att vid avaktiveringen använda sig av en elektrisk puls när en permanentmagnet kan utföra samma arbete.

7.1.5. Avaktiverare/aktiverare på kontoret

Denna avaktiverare/aktiverare har, till skillnad från den i korridoren, en strömbrytare som gör att den kan slås av när den inte används och det är bra. Denna möjlighet borde däremot lyftas fram mer så att den verkligen används. Även här överskrider punkter nära apparaturen RL för yrkesexponerade både i kontrolläget och under aktiveringen. Åtgärderna skulle kunna vara samma som för avaktiveraren/aktiveraren i korridoren och även för denna utrustning känns den elektriska avaktiveringen mycket onödig.

7.1.6. Självutlåningsautomaten

Det mest förvånande är att även när självutlåningsautomaten inte används alstrar den i sitt viloläge helt i onödan ett 50 Hz-magnetfält med höga nivåer. Dessa nivåer överskrider rejält RL för allmänhetens exponering. Eftersom det dessutom är en ovetande allmänhet som utsätts för fälten är situationen förstås extra känslig. Visserligen skulle väl problemet med 50 Hz-fältet kunna tas bort med hjälp av någon sorts strömbrytare, men det är egentligen inte där som insatsen bör sättas in. Istället borde all avaktivering skötas med hjälp av en permanentmagnet liknande de som finns på utlåningsdiskarna. För att det ska vara möjligt för låntagaren att själv sköta sitt boklån skulle en lösning kunna utformas där permanentmagneten blir tillgänglig först när lånekortets och bokens streckkod lästs av.

7.2. Butiken

7.2.1. Larmbågarna vid kassan

Magnetfältet som alstras av larmbågarna vid kassan byggs upp av två olika frekvenser. Den lägre frekvensens flödestätheter överskrider inte RL för yrkesexponering, men intill den ena larmbågen kan RL för allmänhetens exponering möjligen överskridas. Den högre frekvensens flödestätheter överskrider i flera punkter RL för yrkesexponering och RL för allmänhetens exponering överskrids i samtliga punkter. Eftersom *Butikens* kunder exponeras när de passerar kassan, är det viktigt att ta hänsyn till riktlinjerna för allmänhetens exponering.

Samverkan mellan fält av olika frekvens i alla punkter är också viktigt att beakta. En noggrannare studie är att rekommendera för att utvärdera om fälten möjligen även överskrider BR^[4].

7.2.2. Larmbågarna vid entrén

Även för larmbågarna vid entrén byggs magnetfältet upp av två olika frekvenser. Varken RL för yrkesexponering eller RL för allmänhetens exponering överskrids av magnetfältet med den lägre frekvensen. Magnetfältet med den högre frekvensen överskrider däremot RL för yrkesexponering i flera punkter och RL för allmänhetens exponering i samtliga punkter. Liksom för larmbågarna vid kassan är det viktigt att betrakta samverkan av de två frekvenserna och eftersom RL för allmänheten överskrids, rekommenderas en djupare undersökning för att se om nivåerna överskrider BR^[4].

7.2.3. Kassörskans plats

När både kassans egna larmbågar och larmbågarna tillhörande kassan bakom var aktiva uppmättes lägre värden i samtliga punkter, när BMM3 användes (detekterade den lägre frekvensen) och i åtminstone två av punkterna, när BMM5 användes (detekterade den högre frekvensen) jämfört med när endast kassans egna larmbågar var aktiva. Detta fenomen beror troligtvis på någon form av destruktiv interferens i mätpunkterna.

Ingen av ICNIRPS:s riktlinjer för respektive frekvens överskrids i någon av punkterna. För att beräkna den sammanlagda effekten av de två olika frekvenserna krävs emellertid en vidare undersökning och beräkningar. Även om detta leder till slutsatsen att inga BR överskrids, är det däremot av största vikt att beakta den långtidsexponering som kassapersonalen utsätts för.

7.2.4. Logg på kassörskans plats

Loggningen över arbetspasset visar att personalen under en stor del av tiden exponeras för magnetfält över 1 μ T och stundtals upp emot 2,1 μ T. Detta betyder att personalen i kassan kan vara en högexponerad yrkesgrupp och därmed intressant för vidare epidemiologiska studier.

8. Fortsatta studier

Förutom de ovan angivna sätten att minska exponeringen för magnetfält finns ytterligare några åtgärder att överväga. Information är där ett nyckelord. Genom att informera personalen om hur utrustningen fungerar och vad som är viktigt att tänka på kan både kunskapen om och tryggheten i samband med stölskyddssystemen öka. Även kundinformation kanske skulle betänkas, fastän denna möjlighet förstås är begränsad. I *Biblioteket* rekommenderas att anslag med säkerhetsföreskrifter och användarmanualer sätts upp vid varje apparatur, åtminstone i personalutrymmena.

Att rent konstruktionsmässigt minska de alstrade magnetfälten skulle också kunna vara ett sätt att förbättra exponeringssituationen. Om detta är möjligt med bibehållen funktion är något som tillverkarna bör uppmanas att undersöka.

Eftersom RL överskrids i många punkter är det naturligtvis av intresse att gå vidare och undersöka om även BR överskrids. Även den sammanlagda effekten av fält med olika frekvens är intressant att klargöra. Allt detta måste ske med hjälp av djupare studier och med mer eller mindre komplicerade beräkningar. Studier av långtidsexponering är också motiverade.

9. Sammanfattning

Många butiker och bibliotek är idag utrustade med stöldskyddssystem som alstrar elektromagnetiska fält med olika frekvenser. I vissa fall vistas personalen i närheten av systemkomponenter och riskerar därmed att utsättas för en magnetfältsexponering över gällande internationella rekommendationer.

I detta projekt har stöldskyddssystem på två olika arbetsplatser studerats. Arbetsplatserna är dels ett bibliotek, där låneböckerna stöldskyddsmärks och dels en butik, där delar av utbudet stöldskyddsmärks. Syftet har varit att göra en kartläggning av magnetfältens styrka och utbredning samt att belysa i första hand personalens exponering. Vidare har det funnits en strävan att vid behov och om så är möjligt, finna alternativa lösningar för att minska magnetfältexponeringen.

Inför varje mätning har det instrument som ansetts bäst lämpat för den aktuella situationen utprovats och använts. Det tillämpade mätförfarandet beskrivs i Svensk Standard 01 41 50 och ger för varje mätpunkt ett mätvärde med tillhörande felgränser. De uppmätta värdena har sedan jämförts med ICNIRP:s riktlinjer för magnetfältexponering.

Resultaten visar att ICNIRP:s riktlinjer överskrids runt huvuddelen av de undersökta komponenterna. För vissa av de studerade situationerna ges förslag på konkreta åtgärder som direkt skulle kunna minska personalens exponering för magnetiska fält.

10. Summary

Many stores and libraries nowadays are equipped with electronic article surveillance systems (EAS) which use magnetic fields of different frequencies. Sometimes the employees work close to the apparatus and they may therefore be exposed to magnetic fields that exceed international recommendations.

This project has studied EAS systems at two different work places: a library, where all the books are labelled, and a store, where chosen parts of the products are labelled. The objectives has been to reveal the strength and the distribution of the magnetic fields and to get a picture of the exposure to magnetic fields of the employees. The aim has also been to find ways to decrease this exposure in situations where such a decrease is needed and possible.

Every measurement has been carried out with the instrument best suited for the specific situation. The method of measuring is described in Svensk Standard 01 41 50 and gives for every point a value and its random errors. These values have been compared to the ICNIRP guidelines.

The results show that the reference levels, defined in ICNIRP guidelines, were exceeded in several points around the studied apparatus. For some of the situations suggestions are presented to immediately decrease the exposure to magnetic fields.

11. Referenser

- [1] Elektromagnetiska fält. Häfte framtaget av Världshälsoorganisationens regionkontor för Europa 1999.
- [2] Environmental Health Criteria 137 (1993): *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*. Geneve (The Office of Publications, WHO).
- [3] ”Vad är elektromagnetiska fält?, Sammanfattning av hälsoeffekter, Framsteg inom forskningen, Vanliga exponeringsnivåer i hemmet och i omgivningen, Nuvarande normer, Försiktighetsåtgärder.” <http://www.who.int/peh-emf/publications/What_is_EMF/Swedish.doc> (13 sep. 2001).
- [4] ICNIRP 1998: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [förekommer i Health Phys 1998 Oct;75(4):442]. Health Phys 74:494-522.
- [5] Liljestränd, B. (2000): *Högfrekventa elektromagnetiska fält runt kirurgisk diatermiapparat*.
- [6] “Overview of Electronic Article Surveillance” 2001. <<http://www.aimi.org/technologies/eas/easoverview.htm>> (13 sep. 2001)
- [7] Harris, C., mfl. (2000): Electromagnetic field strength levels surrounding electronic article surveillance (EAS) systems. *Health Physics, January 2000, Volume 78, Number 1*.
- [8] “Electronic Article Surveillance (E.A.S.) and Observation Systems – TAG POINT LTD.” 2001. <<http://www.tagpoint.co.il/tagtech.htm>> (13 sep. 2001)
- [9] CENELEC TC 211, Electromagnetic fields in the human environment. Draft European Standard prEN 50357:2000.
- [10] Short Range Security, RFID, and Metal Detection Systems Employing Electromagnetic Fields. ICNIRP working document från Helsingforsmötet sep. 2000 (personlig kommunikation med Kjell Hansson Mild).
- [11] SIS Standardiseringsgrupp (1982). *SIS Handbok 103, SI måttenheter utgåva 4*. Stockholm (SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige).
- [12] Eskelinen, T., mfl. (2001): *Occupational exposure to magnetic fields from EAS devices*. Proceedings of the EBEA 2001 5th International Congress of the European BioElectromagnetics Association, s.147-148.
- [13] Operating and Maintenance Manual Model 640 Gaussmeter. F. W. Bell, Inc., Orlando.
- [14] EMDEX LITE User Manual Version 2.1 (1993). Electric Power Research Institute, EPRI, California.
- [15] EMCALC User Manual Version 2.1 (1993). Electric Power Research Institute, EPRI, California.
- [16] BMM3 Portabelt instrument för mätning av magnetiskt växelfält. Radians Innova AB, Göteborg.
- [17] HI-3604 ELF Survey Meter User’s Manual (1992). Holaday Industries, Inc.
- [18] HI-3603 VDT/VLF Survey Meter User’s Manual (1992). Holaday Industries, Inc.
- [19] BMM5-200 Magnetfältmeter, Handledning. Radians Innova AB, Göteborg.

12. Appendix.

A.1. Mätinstrumenten

I det följande avsnittet ges en beskrivning av de instrument som använts. Kommentarer om respektive instruments frekvensgång bygger på experimentellt framtagna kalibreringskurvor. I kalibreringskurvorna tecknades kvoten mellan det av instrumentet givna värdet och ett referensvärde mot frekvensen. Idealkurvan skulle därmed ligga längs linjen för kvoten = 1,0.

Osäkerheter härrörande från själva kalibreringsuppställningen tillsammans med eventuella anisotropifel hos de tredimensionella sönerna sammanfattas i begreppet *kalibreringsosäkerhet*. Kalibreringsosäkerheten är de *systematiska fel* som mätningarna bestod av.

A.1.1. Bell 460 Gaussmeter

Bells magnetsfältmätare 460 är ett bärbart instrument för statiska och mycket lågfrekventa fält. Den består konkret av en enhet innehållande nödvändig elektronik samt en handhållen mätsond. Mätområdet sträcker sig från DC (statiskt fält) till 400 Hz^[13].

Mätsonden består av ett halvledarelement och bygger på principen om Halleffekten.

A.1.2. EMDEX lite

Från Enertech kommer det lilla mätinstrumentet EMDEX lite. EMDEX lite mäter magnetfält i tre dimensioner med hjälp av tre små spolar och kan dessutom lagra värdena i sitt internminne för senare överföring till en PC^[14]. Överföringen och presentationen av mätvärdena sker med hjälp av mjukvaran EMCALC.

I standardutförandet har EMDEX lite det angivna mätområdet 40 Hz – 1000 Hz. Det instrument som användes i detta arbete hade emellertid genomgått ett filterbyte, så mätområdet utökades till 10 Hz – 1000 Hz. Anledningen var behovet av ett instrument som kunde detektera frekvensen 16 ? Hz. Ändringen ökade instrumentets känslighet för mycket låga frekvenser, vilket gör EMDEX lite lämplig för i första hand stationär mätning.

Kalibreringskurvan visade att EMDEX lite fungerar bäst för låga frekvenser. Vid 10 Hz avviker visserligen kurvan från referensvärdet med över 10 %, men redan vid 20 Hz och upp emot 200 Hz är avvikelserna mindre än 4 %. Kurvan stiger så innan den vid ca 600 Hz böjer av nedåt. I ett frekvensfönster ungefär mellan 400 Hz och 700 Hz är avvikelserna något större än 10 % och efter att avvikelserna sedan minskat blir den vid ca 1000 Hz och uppåt åter större än 10 % och den ökar dessutom därefter med frekvensen. Kurvan sjunker då visserligen relativt brant, men inom det angivna mätområdet 10 Hz – 1000 Hz sköter sig EMDEX lite alltså riktigt bra.

Med hänsyn till de onoggrannheter som finns i själva kalibreringsuppställningen skattades de systematiska felen till $\pm 10 \%$ för samtliga frekvenser EMDEX lite användes till.

A.1.3. EMDEX II

Enertech erbjuder även det bärbara mätinstrumentet EMDEX II som är en storebror till EMDEX lite. EMDEX II är en programmerbar magnetfältsmätare som med hjälp av tre spolar mäter x-, y- och z-komponenten hos det omgivande magnetfältet. Mätningarna lagras i internminnet och kan med EMCALC överföras till en PC. Presentation och vidare analyser är därefter möjliga.

Mätområdet är 40 Hz – 800 Hz och instrumentets storlek och loggningsfunktion gör det synnerligen lämpligt för undersökningar av en individs magnetfältsexponering^[15]. Instrumentet fästes enkelt vid höften och mäter sedan kontinuerligt. Vid speciella händelser under mätningen är det möjligt att med en enkel tryckning markera tidpunkten för händelsen. Denna syns därefter som en liten flagga i presentationen.

Kalibreringskurvan visar att EMDEX II har svårt att hänga med vid de riktigt låga frekvenserna men vid ca 40 Hz ligger avvikelsen inom 20 % av referensvärdet och vid 50 Hz är avvikelsen mindre än 10 %. Från ca 300 Hz börjar kurvan falla i det närmaste linjärt och vid ca 600 Hz är avvikelsen från referensvärdet åter större än 10 %. Vid ca 800 Hz bryts kurvan upp något och faller fortfarande approximativt linjärt, men inte lika brant. 800 Hz är den övre gränsen på instrumentets angivna mätområde och avvikelsen från referensvärdet är där knappt 20 %.

Med hänsyn till de onoggrannheter som finns i själva kalibreringsuppställningen skattades de systematiska felen till $\pm 10\%$ för samtliga frekvenser EMDEX II användes till.

A.1.4. BMM3

Radians Innova AB har konstruerat mätverktyget BMM3, som är ett portabelt instrument för varierande magnetfält. Utrustningen består av en enhet innehållande den nödvändiga elektroniken samt en handhållen mätsond med vars hjälp magnetfälten kan detekteras. Det angivna mätområdet spänner över 5 Hz – 2000 Hz.

Mätsonden består av tre ortogonala spolar som var och en är lindade med 400 varv koppartråd. Arean är för varje spole 100 cm^2 , vilket motsvarar en diameter på drygt 11 cm. I ett varierande magnetfält induceras spänningar i de tre spolarna och dessa spänningar bildar underlaget till beräkningen av magnetfältets flödestäthet^[16].

Eftersom mätsonden innehåller tre vinkelräta spolar mäter instrumentet tredimensionellt och mätresultatet ska därmed i teorin vara oberoende av magnetfältets riktning. De inducerade spänningarna förstärks, filtreras och summeras därefter vektoriellt. Det är dessutom möjligt att studera respektive spoles bidrag till totalvärdet eftersom varje spoles signal finns tillgänglig för analys med t ex oscilloskop.

Kurvan visar att BMM3 har en avvikelse inom 5 % från referensvärdet upp till ca 500 Hz. Därifrån faller kurvan i det närmaste linjärt för att vid mätområdets övre gräns, 2000 Hz, ha en avvikelse på ca 30 % från referensvärdet.

Eftersom BMM3 använder sig av en tredimensionell mätsond är det av intresse att studera om sonden är isotrop, dvs om den visar samma värde i en viss punkt oavsett hur dess spolar är orienterade. Mätningar visade att för de frekvenser som studerades blev det fel som

anisotropin stod för aldrig större än 1 %. De systematiska felen skattades därför till $\pm 10\%$ för samtliga de frekvenser BMM3 användes till.

A.1.5. HI-3604

Holadays mätinstrument HI-3604 är konstruerat för att mäta både elektriska och magnetiska fält och mätområdet är 30 Hz – 2000 Hz för både E-fältet och B-fältet.

Det magnetiska fältet mäts med hjälp av en spole som består av en tunn ledare lindad några hundra varv längs periferin av en cirkulär platta^[17]. När spolen placeras i ett varierande magnetfält induceras i spolen en ström. Genom en skraddarsydd elektronisk kompensation fås i mätområdet ett direkt proportionellt förhållande mellan spänningen över spolens ändrar och magnetfältet flödestäthet.

Eftersom instrumentet innehåller endast en spole är mätningen endimensionell och resultatet är beroende av magnetfältets riktning. Instrumentet mäter fältet i en riktning, längs spolens symmetriaxel. Signalen finns tillgänglig för analys med t ex oscilloskop.

Kalibreringskurvan visar att vid 40 Hz är avvikelsen från referensvärdet mindre än 1 %. Instrumentet håller sig sedan inom en 10 %-ig avvikelse upp till ca 900 Hz men avvikelsen fortsätter därefter att öka med frekvensen så att den vid 2000 Hz är ca 60 %.

A.1.6. HI-3603

Från Holaday kommer även ett annat instrument i HI-3600-serien, HI-3603. Liksom sitt systerverktyg HI-3604 kan HI-3603 mäta både elektriska och magnetiska fält. HI-3603:s mätområde spänner över 2 kHz – 300 kHz för E-fältet och 8 kHz – 300 kHz för B-fältet.

Magnetfältet mäts även här med hjälp av en spole lindad längs periferin av en cirkulär platta. Spolen har ungefär samma dimensioner som för HI-3604 men består däremot av endast tre varv ledare^[18]. I ett varierande magnetfält induceras spänningar i spolen och utifrån detta beräknas det aktuella flödets täthet. Spolen är skärmad från elektriska fält, vilket medför att det bara är de magnetiskafälten som ger upphov till spänningar. Obelastade spolar är frekvensberoende och ger en utsignal proportionell mot frekvensen hos magnetfältet genom spolen. Hos HI-3603 har en resistiv belastning införts. Denna ger en relativt flat frekvensrespons i mätområdet och istället en utsignal proportionell mot magnetfältets styrka (flödestäthet).

Eftersom även detta instrument innehåller endast en spole är mätningen endimensionell, vilket betyder att fältet mätes i endast en bestämd riktning, längs spolens symmetriaxel. Signalen finns tillgänglig för analys med t ex oscilloskop.

Kalibreringen visar att HI-3603 har svårt att klara de låga frekvenserna, men vid ca 7 kHz är avvikelsen från referensvärdet mindre än 10 %. Vid ungefär 15 kHz planar kurvan ut och uppvisar ett relativt konstant 1,1-förhållande upp till ca 60 kHz. För högre frekvenser än så är avvikelsen från referensvärdet större än 10 %.

A.1.7. BMM5

Radians Innova AB har förutom BMM3 även konstruerat mätinstrumentet BMM5 för högre frekvenser. BMM5 mäter varierande magnetfält och mätområdet är i den tillhörande manualen angivet till 2 kHz – 400 kHz. Utrustningen består, liksom för BMM3, av en elektronikenhet samt en handhållen mätsond.

Mätsonden liknar den som används för BMM3. Den innehåller tre vinkelräta spolar som i teorin ska göra mätresultatet oberoende av magnetfältets riktning. I ett tidsvarierande magnetfält induceras spänningar i spolarna. Dessa signaler integreras och filtreras för att motsvara den magnetiska flödestätheten i mätområdet^[19].

Det går att välja mellan en- eller tredimensionell mätning, dvs det går att välja om en eller tre spolar ska bidra till mätresultatet. Dessutom finns varje enskild spoles signal tillgänglig på instrumentenheten för vidare analys med t ex oscilloskop.

Kalibreringskurvan för BMM5 visar att instrumentet inte är så lämpligt att använda för de allra lägsta frekvenserna, men kurvan stiger brant. Vid 4 kHz är avvikelserna från referensvärdet mindre än 10 % och sedan följer en region med mycket god frekvensrespons. Vid 6-7 kHz böjer kurvan av och ökar därefter svagt i ett approximativt proportionellt förhållande mot frekvensen. Vid ca 50 kHz passerar kurvan gränsen för 10 %-ig avvikelse från referensvärdet och avvikelserna ökar därefter fortsättningsvis så långt upp i frekvens som kalibreringen sträcker sig, dvs 75 kHz. Slutsatsen blir att instrumentet lämpar sig bäst för mätningar från ca 4 kHz och några tiotal kHz uppåt.

Eftersom BMM5 använder en tredimensionell sond finns ett behov av att studera dess eventuella isotropi. Vid kontrollmätningarna valdes frekvensen 6,25 kHz eftersom den återfinns i de frekvenser fältmätningarna berört. Anisotropin skulle ha kontrollerats även vid frekvensen 7,5 kHz eftersom det var den andra frekvensen som blev berörd under fältmätningarna. När denna kontroll skulle äga rum vid ett senare tillfälle hade emellertid mätsonden drabbats av ett fel. Mätningen vid 6,25 kHz får därför bli den enda som gäller anisotropi hos mätinstrumentet BMM3. Felet på grund av anisotropi var drygt 5 %. Med det som grund skattades de systematiska felen till ± 15 .

A.2. Beteckningar

A.2.1. Förkortningar

AM = Akustisk-mekaniska stölskyddstekniken

BR = Basic restriction

DC = Direct current (likström)

EM = Elektromagnetiska stölskyddstekniken

EMF = Elektromagnetiska fält

ICNIRP = International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

MW = Mikrovågsstölskyddstekniken

RF = Radiofrekventa stölskyddstekniken

RL = Reference level

A.2.2. Storheter

B = Magnetisk flödestäthet [T]

E = Elektrisk fältstyrka [V/m]

f = Frekvens [Hz]

H = Magnetisk fältstyrka [A/m]

J = Strömtäthet [A/m^2]

SAR = Specifik absorptionshastighet (Specific Absorption Rate) [W/kg]

S = Effekttäthet [W/m^2]