

# **Elektriska och magnetiska fält i byggnader**

**av**

**Yngve Hamnerius**

**Mars 2004**

<b>Hamnerius: Elektriska och magnetiska fält i byggnader</b>	<b>2</b>
<b><i>1 Inledning</i></b>	<b>4</b>
<b><i>2 Vad är elektriska och magnetiska fält?</i></b>	<b>6</b>
<b>2.1 Elektriska fält</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Magnetiska fält</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Fälten avtar med avståndet från källan</b>	<b>11</b>
<b><i>3 Källor till fält i byggnader</i></b>	<b>13</b>
<b>3.1 Fält från yttre källor</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Fält från byggnadens installationer</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Fält från belysning</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Fält från kök och bostadsutrustning</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Fält från kontorsapparater</b>	<b>30</b>
3.5.2 Fält från bildskärmar och teveapparater	32
3.5.2 Rekommendationer för fält från bildskärmar	36
<b>3.6 Magnetiska fält från andra källor</b>	<b>37</b>
<b>3.7 Källor som ger radiofrekventa fält</b>	<b>39</b>
3.7.1 Mobiltelefoni	41
3.7.2 Uppmätt exponering för radiofrekventa fält	45
<b><i>4 Mätning av elektriska och magnetiska fält i byggnader</i></b>	<b>48</b>
<b>4.1 Mätning av lågfrekventa fält</b>	<b>48</b>
4.1.1 Mätning av lågfrekventa magnetfält i inomhusmiljö	50
4.1.2 Mätning av lågfrekventa elektriska fält i inomhusmiljö	55
<b>4.2 Mätning av radiofrekventa fält</b>	<b>56</b>
<b><i>5 Åtgärder för att reducera fälten</i></b>	<b>58</b>
<b>5.1 Reduktion av fält från yttre källor</b>	<b>58</b>
<b>5.2 Reduktion av magnetiska fält från elinstallationer</b>	<b>62</b>
<b>5.3 Reduktion av vagabonderande strömmar med sugtransformator kärnor</b>	<b>65</b>
<b>5.4 Skärmning av magnetfält från elektrisk utrustning</b>	<b>69</b>
<b>5.5 Jordning och potentialutjämning</b>	<b>73</b>
<b>5.6 Reduktion av elektriska fält från elkablar m.m.</b>	<b>74</b>
<b>5.7 Reduktion av fält från belysning och apparater</b>	<b>77</b>
<b>5.9 Jordning av bordunderreden mm</b>	<b>79</b>
<b>5.10 Reduktion av fält från bildskärmar</b>	<b>81</b>
<b>5.11 Reduktion av radiofrekventa fält</b>	<b>82</b>
<b>6.1 Reduktion av fält från yttre källor</b>	<b>84</b>
<b>6.3 Reduktion av vagabonderande strömmar med sugtransformator kärnor</b>	<b>87</b>
<b>6.4 Skärmning av magnetfält från elektrisk utrustning</b>	<b>87</b>

<b>Hamnerius: Elektriska och magnetiska fält i byggnader</b>	<b>3</b>
<b>6.5 Jordning och potentialutjämning</b>	<b>89</b>
<b>6.6 Reduktion av elektriska fält från elkablar m.m.</b>	<b>90</b>
<b>6.7 Reduktion av fält från belysning och apparater</b>	<b>92</b>
<b>6.8 Jordning av bordunderreden mm</b>	<b>92</b>
<b>7 <i>Myndigheternas bedömningar</i></b>	<b>93</b>
<b>7.1 Internationellt</b>	<b>93</b>
<b>7.2 EU:s EMC och bildskärmsdirektiv</b>	<b>96</b>
<b>7.3 Nationell svensk bedömning</b>	<b>97</b>
<b>8 <i>Slutsatser</i></b>	<b>99</b>
<b>9 <i>Tack</i></b>	<b>102</b>
<b><i>LITTERATUR</i></b>	<b>103</b>

## 1 Inledning

Elektriska och magnetiska fält uppmärksammas allt mer. Mycket av den moderna informationsteknologin bygger på användning av elektromagnetiska fält. Men fälten är inte endast av godo, starka fält kan leda till hälsoeffekter. Mot denna bakgrund gav SSI (Statens strålskyddsinstitut, 2002) ut allmänna råd för att begränsa allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält. Det finns även forskning som tyder på att svaga lågfrekventa magnetfält skulle kunna ge ökad risk för framförallt barnleukemi. WHO:s cancerforskningsorgan IARC (2002) klassade lågfrekventa magnetfält som en möjlig carcinogen år 2001.

Cancermisstankarna ledde redan 1996 till att myndigheterna gav ut en försiktighetsprincip, avseende lågfrekventa elektriska och magnetiska fält (Arbetarskyddsstyrelsen m.fl. 1996). I försiktighetsprincipen finns inga numeriska krav på fälten. Vissa kommuner har dock ställt krav på årsexponeringen för magnetfält för bygglov vid nybyggnation (Malmö 1998, Stockholm 2002).

Att öka kunskaperna om elektriska och magnetiska fält i byggnader ligger i linje med de 15 miljö kvalitetsmål och 69 nationella delmål som riksdagen har beslutat. Detta gäller speciellt miljö kvalitetsmålen:

### *Säker strålmiljö*

"Riskerna med elektromagnetiska fält ska kontinuerligt kartläggas och nödvändiga åtgärder ska vidtas i takt med att sådana eventuella risker identifieras. (skall ske löpande)"

### *God bebyggd miljö*

"Byggnaders påverkan på hälsan. År 2020 ska byggnader och deras egenskaper inte påverka hälsan negativt."

Det finns också rent tekniska skäl till att begränsa fälten i byggnader. Elektriska och magnetiska fält kan ge upphov till tekniska störningar, ett exempel är bildstörningar på bildskärmar orsakas av magnetfält. För att komma till rätta med tekniska störningar, ställs EMC-krav på både apparatur och installationer.

Alla elektriska installationer och apparater kan vara källor till elektriska och magnetiska fält. I en modern arbets- och bostadsmiljö finns ett ökande antal källor, dels sådana som har att göra med de fasta installationerna som el- data- och kommunikationsnät, dels trådlösa källor som bygger på radioteknik. Exempel på det senare är mobiltelefoni, trådlösa datanät, analog och digital teve- och radiosändningar, bluetoothteknik med mera.

Denna skrift syftar till att belysa vilka fält som kan förekomma i byggnader och hur de kan reduceras. Reduktionsåtgärderna kan utföras både i nyproduktion och i befintliga byggnader. Ur kostnads och effektivitetssynpunkt är det alltid bäst om åtgärderna införs redan på planeringsstadiet.

Skriften är resultatet av ett samarbetsprojekt mellan institutionen för elektromagnetik vid Chalmers (Yngve Hamnerius och Mikael Persson) och NCC Teknik i Göteborg (Svante Wijk,

Magdalena Kvernes, Benny Lindström, Magnus Linde m.fl.). Projektet har möjliggjorts genom ekonomiskt stöd från SSI (Statens strålskyddsinstitut) och SBUF (Sveriges Byggtreprenörers Utvecklingsfond).

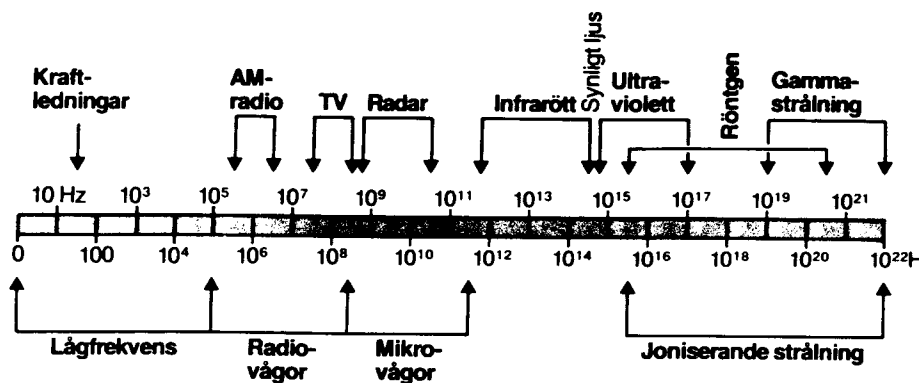
Till projektet har varit knutet en styrgrupp bestående av Anders Glansholm, SSI, Ingvar Engqvist, Elsäkerhetsverket, Torbjörn Solberg, SBUF, Peter Wahlström, NCC Boende, Jonny Hellman, NCC Property Development, Lars Strandlund, NCC Construction samt Hans-Olof Karlsson Hjort, Boverket.

## 2 Vad är elektriska och magnetiska fält?

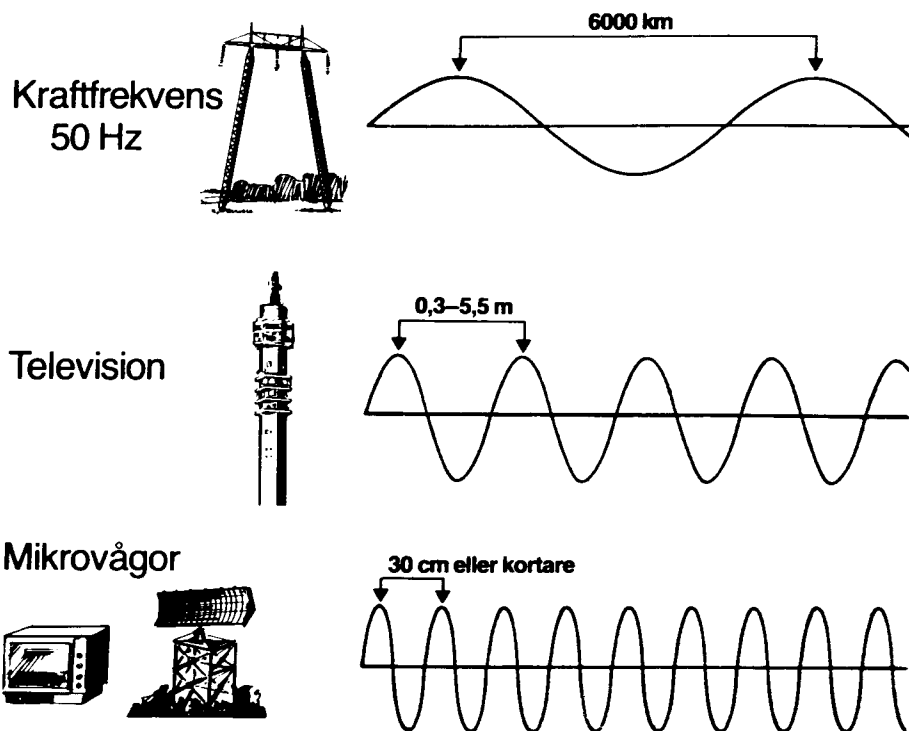
Elektriska och magnetiska fält kan karakteriseras av sin styrka och frekvens. Frekvensen anges i hertz (Hz), som anger hur många fältstyrkemaxima fältet har per sekund i en punkt. I figur 2.1 visas det elektromagnetiska spektrumet som sträcker sig från låga frekvenser, som nätfrekvensen 50 Hz via radiofrekvens och mikrovågsfrekvens, infrarött, synligt och ultraviolett ljus upptill röntgen och gammastrålning. Synligt ljus intar en särställning då vi kan se elektromagnetiska fält av dessa frekvenser, övriga delar av spektrumet är osynligt. Det finns dock mätinstrument för samtliga delar av spektret.

Man definierar fältets våglängd som avståndet, i meter, mellan två vågtoppar. Mellan frekvens och våglängd råder ett bestämt förhållande, nämligen att produkten av dessa, våglängden  $\times$  frekvensen, är lika med vågen utbredningshastighet. Denna hastighet är lika ljusets hastighet (300 000 km/s) för alla typer av elektromagnetiska vågor. Låg frekvens svarar mot lång våglängd och hög frekvens mot kort. Vid 50 Hz är våglängden 6000 km, i radiofrekvensområdet några meter, i mikrovågsområdet några centimeter och i ljusområdet mikrometer. Energin hos en elektromagnetisk våg är proportionell mot frekvensen. Högre frekvens ger högre kvantenergi. Man skiljer på joniserande och icke-joniserande strålning. Vågor med mycket hög frekvens, t.ex. röntgen och gammastrålning, har så stor energi, att de kan slå bort elektroner från molekyler (jonisera) och kallas därför joniserande.

Vågor med lägre frekvens har lägre energi och kan därför inte åstadkomma jonisering, varför de kallas icke-joniserande. Gränsen mellan dessa ligger i den ultravioletta delen av spektrumet. I denna skrift behandlas endast icke-joniserande strålning.



### Frekvens och våglängd

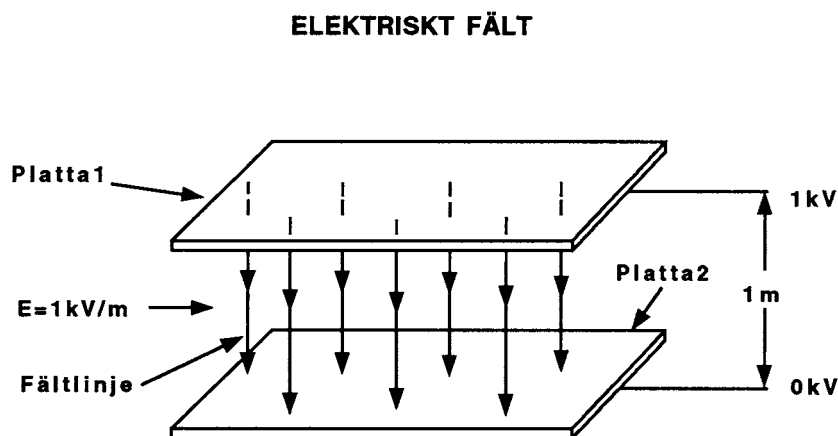


Figur 2.1 Det elektromagnetiska spektrumet (källa Svenska Elverksföreningen).

### 2.1 Elektriska fält

Elektriska fält beror på spänningar; fältet går från en spänning till en annan. Styrkan på det elektriska fältet anges i volt/meter (V/m). Om man har två plåtar som i figur 2.2 och den ena har spänningen 0 V och den andra 1 kV (kilovolt = 1000 V) så blir den elektriska fältstyrkan, E, lika med spänningsskillnaden, U (= 1 kV) dividerat med avståndet, d, (= 1 m), dvs. 1 kV/m. Detta innebär att alla spänningssatta föremål alstrar elektriska fält.

$$E = \frac{U}{d} \quad (\text{V/m}) \quad (2.1)$$

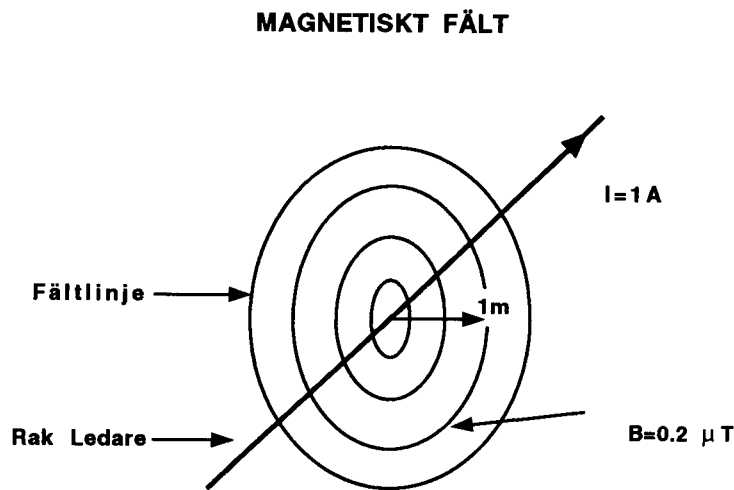


Figur 2.2. Ett elektriskt fält uppstår mellan föremål som har olika spänning. Den elektriska fältstyrkan ( $E$ ) är lika med spänningsskillnaden delat med avståndet mellan föremålen.

## 2.2 Magnetiska fält

Elektriska fält alstras av spänningar, de magnetiska fälten alstras däremot av strömmar. Vi tar ett enkelt exempel, en rak ledning som det går en ström  $i$ , se figur 2.3. Runt ledningen skapas ett magnetiskt fält. De elektriska fältlinjerna går från en spänning till en annan, de magnetiska fältlinjerna bildar däremot alltid slutna banor runt om de strömmar som alstrar dem. Styrkan på de magnetiska fälten, den magnetiska flödestätheten, mäts i tesla (T). 1 tesla är en mycket stor enhet. När det gäller normal miljö får vi ta till mikrotesla ( $\mu\text{T}$ ), milliondels tesla och nanotesla (nT), milliarddels tesla.





Figur 2.3. Magnetiska fält bildar slutna fältlinjer kring strömförande ledare. Den magnetiska flödestätheten ( $B$ ) uppgår till  $0,2 \mu\text{T}$  ( $=200 \text{ nT}$ ) en meter från en ledare som för strömmen ( $I$ ) 1 A.

Om vi låter en ström,  $I$ , gå genom ledaren i figur 2.3, får vi en magnetisk fältstyrka,  $H$ , på avståndet,  $r$ .

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r} \quad (\text{A/m}) \quad (2.2)$$

Den magnetiska flödestätheten  $B$  är,

$$B = \mu \cdot H \quad (\text{T}) \quad (2.3)$$

där  $\mu$  är en materialkonstant, permeabiliteten ( $\text{Vs/Am}$ ). Permeabiliteten för vakuum brukar betecknas  $\mu_0$ , den har värdet  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$ . Nästan alla material har en permeabilitet med värde mycket nära  $\mu_0$ . Detta gäller för normala byggnadsmaterial, biologisk vävnad och de flesta metaller. Endast magnetiska material som järn har en permeabilitet som avviker kraftigt från  $\mu_0$ . För material med permeabilitet  $\mu_0$  blir flödestätheten från ledaren i figur 2.3:

$$B = \mu_0 \cdot H = \frac{2 \cdot 10^{-7} I}{r} \quad (\text{T}) \quad (2.4)$$

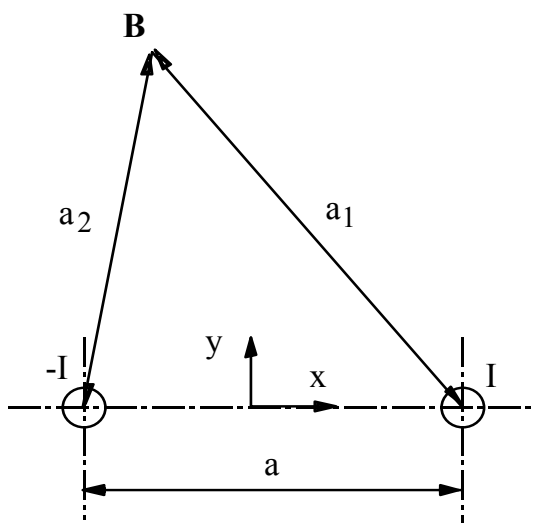
Om det går en ström på 1 A i figurens ledare får vi en magnetisk flödestäthet på  $0,2 \mu\text{T}$  en meter ut från ledaren. Vi ser att för normala strömstyrkor blir flödestätheten mycket mindre än 1 T. Är strömmen en likström bildas ett statiskt fält, är det en växelström bildas ett magnetiskt växelfält.

När vi har en tvåledare, där strömmen  $I$  går fram i den ena ledaren och samma ström går tillbaka i den andra ledaren, kommer dessa båda strömmar att ge upphov till motriktade magnetfält som delvis tar ut varandra. För två parallella ledare i luft med samma ström,  $I$ , finns analytiska uttryck för magnetfältet i dess omgivning, se Smythe (1950). Med en geometri enligt

figur 2.4, fås följande uttryck för magnetiska flödestätheten  $B$ :s komponenter i  $x$ - respektive  $y$ -riktning:

$$B_x = \frac{\mu I y}{2\pi} \left( \frac{1}{a_2^2} - \frac{1}{a_1^2} \right) \quad (\text{T}) \quad (2.5)$$

$$B_y = -\frac{\mu I}{2\pi} \left( \frac{x + \frac{1}{2}a}{a_2^2} - \frac{x - \frac{1}{2}a}{a_1^2} \right) \quad (\text{T}) \quad (2.6)$$



Figur 2.4. Geometri för tvärsnittet av två parallella ledare (oändligt långa) som leder strömmen  $I$ . Positiv ström är definierad som gående ut ur planet. Magnetiska flödestätheten  $B$  beräknas i en punkt på avståndet  $a_1$  respektive  $a_2$  från de båda ledarna, från Ivarsson och Hasselgren (1993).

Om vi ser på specialfallet då vi befinner oss rakt över ledarna ( $x=0$ ). Då är  $a_1 = a_2 = r$ , varför ekvation 2.5 ger att  $B_x = 0$  och  $B_y$  förenklas till:

$$B_y = \frac{\mu I a}{2\pi r^2} \quad (\text{T}) \quad (2.7)$$

Vi ser att magnetfältet blir direkt proportionellt mot avståndet mellan ledarna ( $a$ ). En vanlig lampsladd innehåller två ledare, en som för strömmen till lampan och en som för strömmen tillbaka. Dessa två ledare kommer att skapa motriktade fält som nästan helt tar ut varandra om ledarna ligger tätt tillsammans ( $a$  litet). Hade ledarna varit långt från varandra, som i en kraftledning, hade vi fått ett större magnetfält.

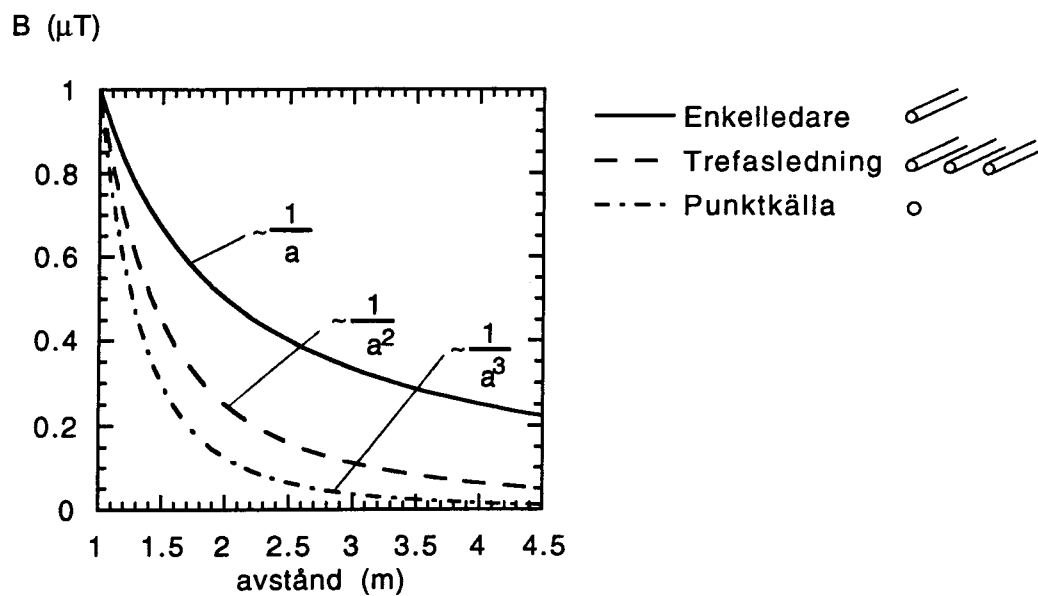
### 2.3 Fälten avtar med avståndet från källan

Både de elektriska och magnetiska fälten avtar med avståndet från källan. Avståndsavtagandet är emellertid olika för olika källor. Som framgår av ekvation 2.1 avtar det elektriska fältet med ett genom avståndet ( $1/r$ ), från en (oändligt) stor platta. Fälten avtar snabbare från mindre föremål. På några decimeters avstånd från en bildskärm avtar fältet ungefär kvadratisk med avståndet ( $1/r^2$ ), medan det avtar kubiskt, från en liten punktkälla ( $1/r^3$ ).

Det magnetiska fältet från en oändligt lång rak enkelledare avtar med ett genom avståndet ( $1/r$ ), se ekvation 2.2 och 2.4. Ekvation 2.7 visar att fältet från en tvåledare avtar ungefär kvadratisk med avståndet ( $1/r^2$ ). Detta gäller även för trefasledningar, som kraftledningar och skenförband. Magnetfältet avtar kubiskt ( $1/r^3$ ) från en punktkälla som en liten transformator eller motor. I figur 2.5 visas fältavtagandet för några olika källor.

Källornas olika fältavtagande innebär att små källor som elektriska småapparater kan ge betydande fältbidrag på nära håll, men att bidraget på några meters avstånd ofta är försumbart på grund av det starka avståndsavtagandet. Stora strukturer som kraftledningar och vagabonderande strömmar, i t ex vattenledningar som råkar föra ström, kan däremot ge betydande fältbidrag även på större avstånd, på grund av det svagare avståndsavtagandet. Speciellt enkelledaren, som faller med den vagabonderande strömmen i t.ex. vattenledningen, får en stor utsträckning på grund av det långsamma avståndsavtagandet.

Då alla strömmar normalt bildar slutna slingor, finns det alltid någon ström, som går åt andra hållet och ger ett motriktat fält. Det innebär att den ensamma enkelledarströmmen endast existerar som en teoretisk abstraktion. I verkligheten beror fältstyrkan och avståndsavtagandet på avståndet mellan fram och återgående strömmar. Om avståndet till en enkelledare är mycket kortare än avståndet till återgångsströmmen så blir avståndsavtagandet approximativt  $1/r$  i detta område.



Figur 2.5. Magnetfältsavtagande för olika källor. Från en enkelledare avtar fältet endast med ett genom avståndet, från trefasledningar avtar fältet med kvadraten på avståndet och från en punktkälla, som en liten elmotor eller transformator, avtar fältet med kubiken på avståndet.

### 3 Källor till fält i byggnader

Nästan all elektrisk utrustning ger elektriska och/eller magnetiska fält. Fälten kan komma från yttre källor, från byggnadens elinstallationer eller från den elektriska utrustning som används i lokalerna t.ex. bildskärmar, belysningsarmaturer, maskiner, radio- och tevesändare, basstationer, mobiltelefoner etc., se figur 3.1. I avsnittet behandlar först de lågfrekventa fälten, för att avslutas med ett avsnitt om radiofrekventa fält.

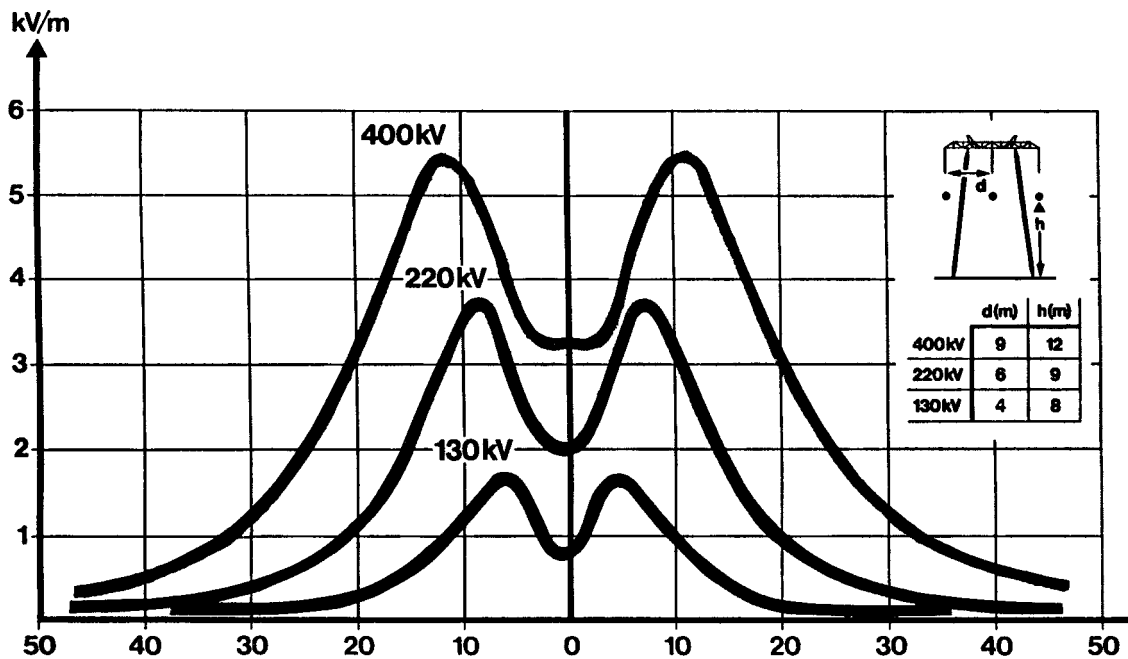


Figur 3.1. I äldre installationer är ledningsdragningen ofta synlig, i modern installation är ledningarna dolda. Att ledningarna är dolda innebär inte att fälten försvinner.

#### 3.1 Fält från yttre källor

*Elektriska fält*

De viktigaste yttre källorna är kraftledningar. Direkt under en 400 kV-högspänningsledning kan den elektriska fältstyrkan uppgå till ca. 6 kV/m. Hus får, enligt tidigare bestämmelser, ej byggas närmare än 10 meter från ytterfasen i kraftledningen. Den ostörda fältstyrkan kan här uppgå till ca 3 kV/m, se figur 3.2. Ytterväggarna i hus skärmar dock, varför man normalt ej får något elektriskt fält inomhus, av yttre ledningar.



Figur 3.2. Den elektriska fältstyrkan (kV/m) som funktion av avståndet (m) från ledningens mitt för några olika högspänningsledningar (källa Svenska Elverksföreningen).

För byggnader med plåttak eller plåtpanel, som ligger nära högspänningsledningar, måste speciella åtgärder vidtas. Från högspänningsledningen till plåten kommer det att gå en kapacitiv ström. Om man t.ex. står på en metallsteg och vidrör taket kan denna ström fortsätta genom kroppen, via stegen till marken. Om taket är stort, kan strömstyrkan bli så stor genom kroppen, att den kan vara livsfarlig. Därför måste sådana plåttak jordanslutas. Samma sak gäller andra större metallstrukturer som staket nära högspänningsledningar. Det är därför inte lämpligt att lägga en busshållplats direkt under en stor kraftledning. Den kapacitiva ström<sup>1</sup> som går från kraftledningen till bussen, går vidare som en ledningsström i bussens metallchassi, och sedan kapacitivt i luften under bussen till marken, då däckene ej leder ström. Om en människa som är i elektrisk kontakt med marken, tar i bussen, kommer huvuddelen av strömmen att gå som en ledningsström igenom kroppen. Under olyckliga omständigheter, som fuktig mark och blöta skor, skulle den ström som går i kroppen kunna närma sig de nivå-

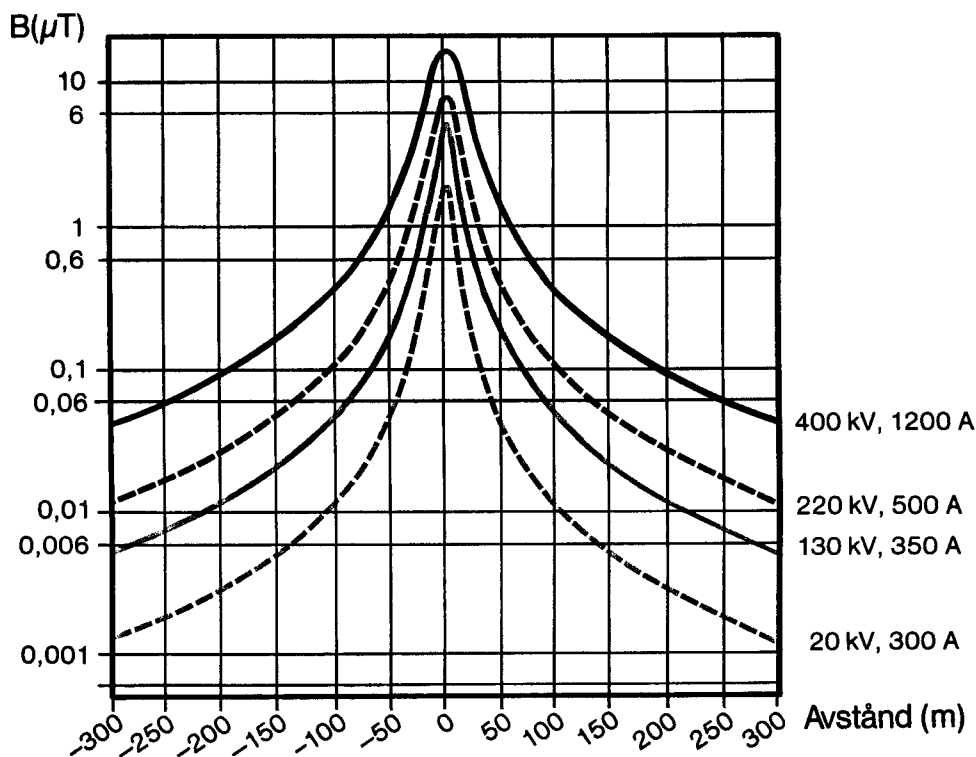
<sup>1</sup> En växelström kan gå genom en isolator, som luft, en kondensator (capasitor på engelska) är en komponent som släpper fram en växelström men ej likström. Växelströmar som går genom isolatorer kallas därför för kapacitiva strömmar.

er vid vilka strömstyrkan är förenad med livsfara. För ett litet barn kan det räcka med 5 mA för att man skall få kramp så att man inte kan släppa det man vidrör, en vuxen kvinna klarar ca 11 mA och en man ca 16 mA (Suess och Benwell-Morison, 1989).

### Magnetiska fält

Under en 400 kV-kraftledning kan den magnetiska flödestätheten uppgå till 5–30  $\mu\text{T}$ . Magnetfältet avtar med kvadraten på avståndet från kraftledningen. Normala byggnadsmaterial har mycket ringa skärmverkan varför hus som ligger nära större högspänningsledningar har förhöjda fält inomhus. Hus som ligger 10 till 30 m från högspänningsledningar har magnetfält med styrkan 1–10  $\mu\text{T}$  orsakad av ledningen, se figur 3.3. Magnetfältet beror inte endast på avståndet till ledningen, utan även på strömstyrkan i ledningen och avståndet mellan fasledarna i ledningen.

Förhöjda magnetfältsnivåer har givit korrelation med barnleukemi, i flera epidemiologiska studier, varför myndigheterna nu rekommenderar försiktighet med magnetfältsexponering t.ex. vid byggande av hus vid kraftledningar (Arbetskyddsstyrelsen m.fl. 1996). Många kommuner kräver numera ett större avstånd mellan husen och kraftledningarna vid nybyggnation.

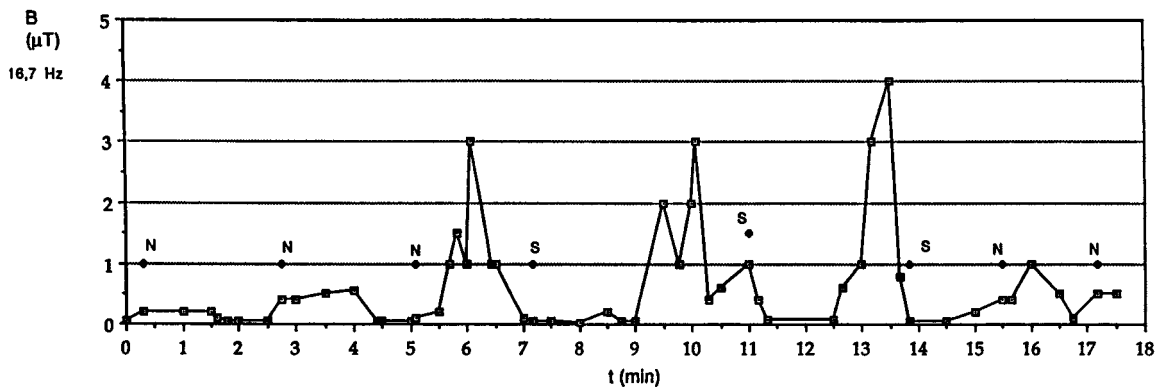


Figur 3.3. Den magnetiska flödestätheten ( $\mu\text{T}$ ) som funktion av avståndet (m) från ledningen för några olika högspänningsledningar (källa Svenska Elverksföreningen).

### Elektriska och magnetiska fält från järnvägar

Elektriska järnvägar ger upphov till fält. De svenska järnvägarna har ett elsystem med 16 kV spänning och frekvensen 16,7 Hz. Det innebär att fälten som avges, huvudsakligen blir vid frekvensen 16,7 Hz. Precis som för kraftledningen, gäller att de elektriska fälten från järnvägen normalt skärmas av byggnaden, medan de magnetiska fälten tränger in i byggnaden. Ligger huset nära järnvägen, kan betydande magnetfält tränga in i byggnaden.

Man har, bl. a i Södra stationsområdet i Stockholm, byggt hus direkt över järnvägen. I flera av dessa, där man har kontor, har man fått problem med bildskärmsstörningar av magnetfältet. Källan till de störande fälten är strömmen som går till loket och åter till banan. Den magnetiska källan kommer att variera beroende på var tåget befinner sig på spåret. Det magnetiska fältet är som störst, då ledaren och återledaren för strömmen är som mest separerade. När tåget passerar huset matas strömmen till loket från kontaktledningen och tillbaka via rälsen, vi får en stor slinga. Återgångsströmmen går endast i rälsen i en sektion, som brukar vara några km, sedan matas den till en återledare via en så kallad sugtransformator som suger upp strömmen till en återledare. Återledaren sitter vanligtvis uppe i kontaktledningsstolpen varför avståndet mellan ledarna, och även fältet, då blir mindre. Figur 3.4 visar en magnetfältregistrering som gjorts två våningar upp i en fastighet som ligger direkt över spåren vid Södra station.

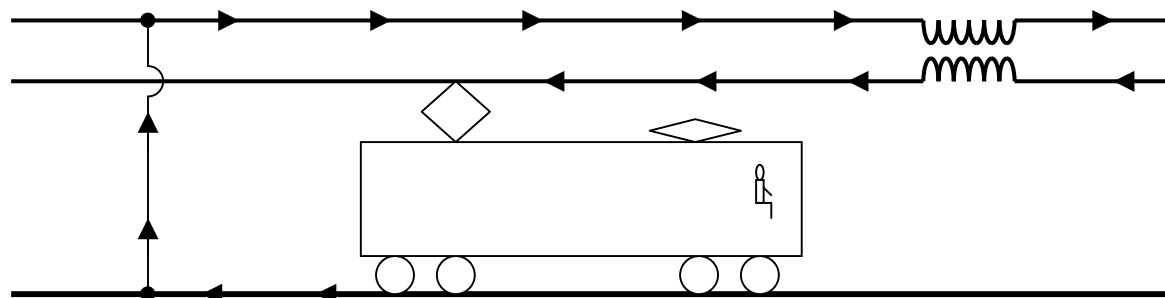


Figur 3.4. Registrering av 16,7 Hz magnetfält, på plan två, i en fastighet som ligger direkt över järnvägsspåren, vid Södra station, Stockholm. N och S betecknar när ett norr- respektive sydgående tåg passerar fastigheten. Den sugtransformatorsektion där huset ligger, börjar vid huset och går någon km norr om huset. Därför kommer återgångsströmmen att gå i rälsen vid passage av huset och norr om fastigheten vilket medför att man får förhöjda fältnivåer när tågen befinner sig i denna sektion.

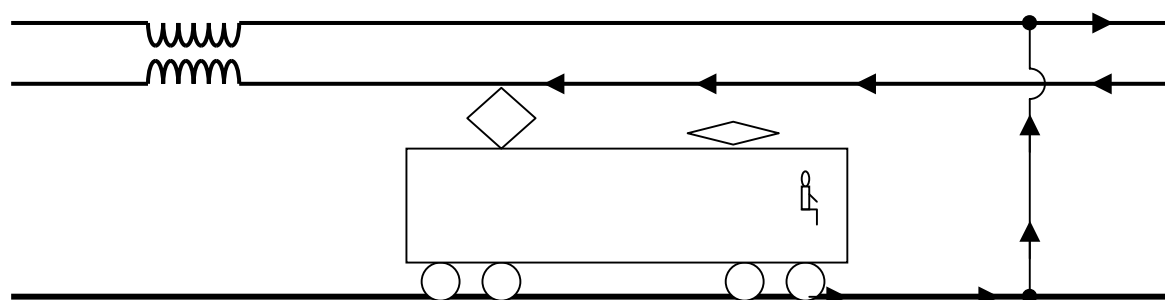
Detta innebär att magnetfälten blir höga när loket befinner sig i den sugtransformatorsektion som är nära byggnaden, för att sedan avta, när det kommer in på nästa sektion. En närmare redogörelse för detta problem ges i Ivarsson och Hasselgren (1993). Hur en sugtransformator



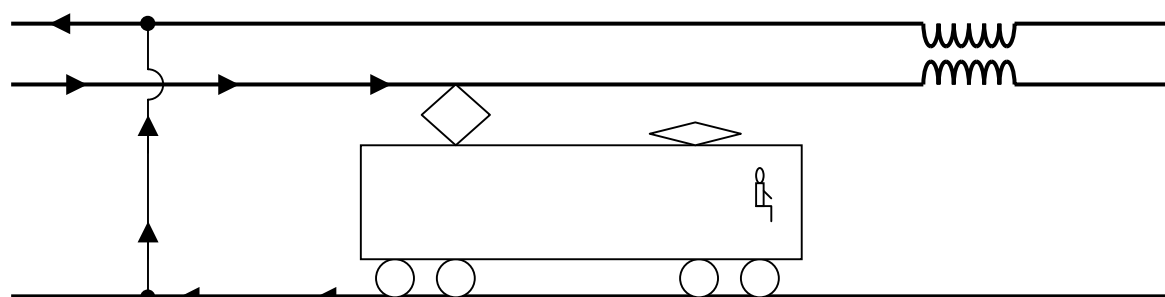
fungerar redovisas i avsnitt 5.3. I figur 3.5 visas strömmens väg till och från tåget, för fyra olika fall.



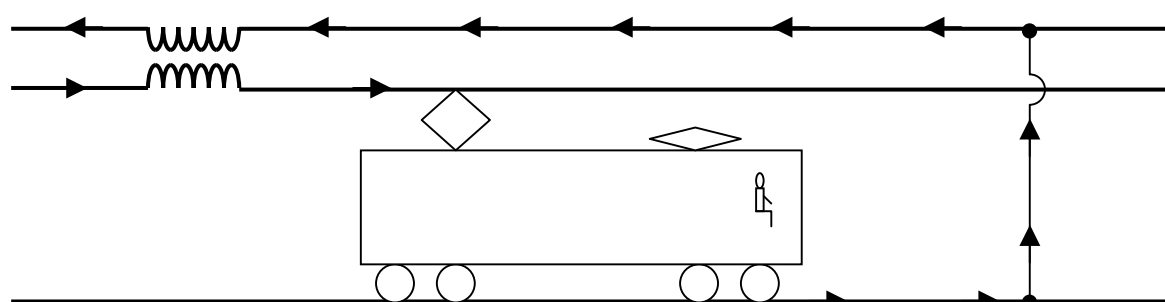
a) Strömmatning framifrån genom sugtransformator



b) Strömmatning framifrån genom jordförbindelse



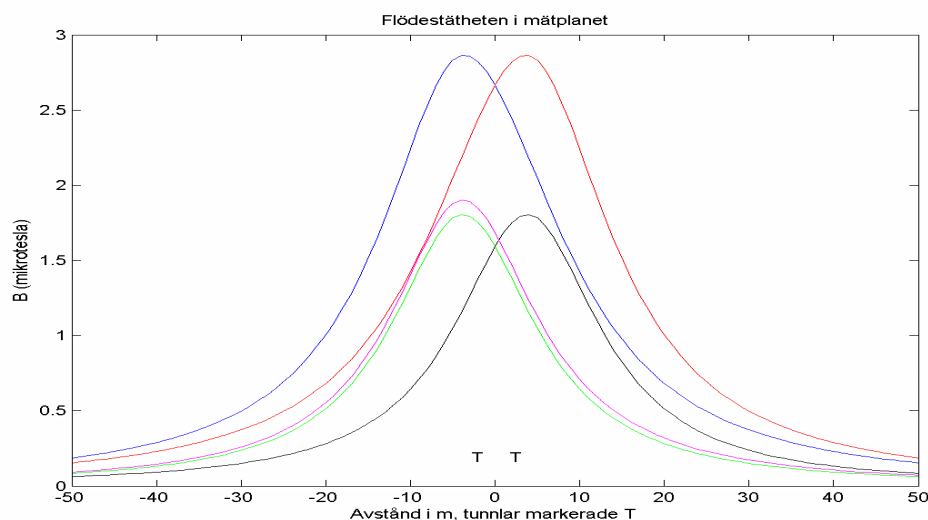
c) Strömmatning bakifrån genom jordförbindelse



d) Strömmatning bakifrån genom sugtransformator

Figur 3.5 Strömmatning till lok när loket befinner sig på olika positioner på banan, bild Bengt Johansson 2003.

I figur 3.6 redovisas beräkningar av magnetfältets utsträckning, i sidled, 1 m över mark, över en järnvägstunnel.



Figur 3.6 Beräknat magnetfält, 1 m över mark över en järnvägstunnel med rälsen 15 m under mark. Beräkningen har gjorts 50 m ut åt sidorna över tunnelns mittpunkt åt båda hållen. Tunneln är en dubbelspårstunnel med c/c avståndet 4,5 m mellan spåren. Beräkningen är genomförd för en ström på 311 A vilket motsvarar ett tungt godståg med dubbla RC-lok. De olika kurvorna avser olika positioner för tåget på de två spåren. De högsta värdena uppkommer när tåget befinner sig nära beräkningspunkten.

### *Elektriska och magnetiska fält från spårvagnar och tunnelbana*

Spårvagnar har liknande elmatning som tåg, dvs. med kontaktledning och strömåtergång i rälsen. I Stockholms tunnelbana sker strömmatningen från en strömskena som sitter ca 0,5 m ut från ena rälen, återmatningen sker i rälsen. Spårvagnar och tunnelbanor i Sverige drivs med likström. Detta innebär att det alstras statiska elektriska fält från spårvägens kontaktledning respektive tunnelbanans strömräl. De magnetiska fälten är också huvudsakligen av statisk natur, dvs. magnetfältet byter inte riktning, utom när strömmatningen byter riktning, vilket kan ske vid tågpassage. Däremot är inte magnetfältets styrka konstant, då den varierar med tågens strömförbrukning.

En väsentlig skillnad, jämfört med tågen, är att man inte kan använda sugtransformatorer då inga transformatorer fungerar för likström. Detta innebär att vi kommer att ha den stora slingan kontaktledning – räls, även när spårvagnen befinner sig längre bort, om den strömmatas via kontaktledningen där vi vistas. Motsvarande gäller för tunnelbanan, även om slingan i dessa fall är betydligt smalare då strömskenan ligger närmare rälsen.

Nu är det inte så att all återgångsström går i den räl, som ligger bredvid strömskenan. De olika strömledande rälerna vid dubbelspår, är normalt elektriskt förbundna med varandra, vilket innebär att återgångsströmmen delar upp sig på de olika rälerna och vi erhåller breda strömslingor, vilka leder till starkare magnetfält. Problemet med elektriskt sammankopplade räl gäller även för järnväg och spårväg.

I Göteborgs innerstad, där det finns ett nät av spårvagnsräls, delar återgångsströmmen ofta upp sig på flera olika vägar. Detta leder till att strömmen i kontaktledning och räl ej blir lika

stor, vilket innebär att man får en nettoström, som ger ett betydligt starkare magnetfält som dessutom avtar långsamt ( $1/r$ ).

Både spårvägen och tunnelbanan arbetar med betydligt lägre spänning ( $< 1\text{kV}$ ) än tågen, vilket innebär att för samma effektuttag blir strömmen mycket större. Ett tågset med tunnelbanans Vagn 2000, har en maximal strömförbrukning på 9000 A, även om medelförbrukningen är avsevärt lägre. Allt detta leder till att magnetfälten alstrade av spårvagnar och tunnelbana i vissa fall kan bli större än de som normalt alstras av tåg och kraftledningar.

Vid mätning i ett kontor, som passerades av en matningskabel för strömmatningen till Drottningtorget i Göteborg, uppmätte variationer i det ”statiska” magnetfältet på 50 – 100  $\mu\text{T}$ , när spårvagnar passerade Drottningtorget. Detta gav upphov till bildskärmstörningar där bilden flyttades flera cm. Det statiska magnetfältet misstänks inte ge upphov till några hälsoeffekter, vi lever ju i det jordmagnetiska fältet på ca 50  $\mu\text{T}$ . De huvudsakliga problemen med variationer i det statiska magnetfältet, är störningar på teknisk apparatur som bildskärmar, elektronmikroskop, elektronstrålelitografer och magnetresonansutrustning.

### 3.2 Fält från byggnadens installationer

#### *Elektriska fält*

I de flesta byggnader sker eldistributionen via kablar, i vissa större hus och industrier används strömskenor. I elkablar och skenor är vissa av ledarna spänningssatta, de s.k. fasledarna. Dessa ger därför upphov till elektriska fält. I äldre hus låg elledningarna i järnrör, s.k. pansarrör. Om pansarrören var jordade, skärmades det elektriska fältet från ledningen. Vid moderna elinstallationer dras ledningarna i plaströr, som ej skärmar fältet. Ligger plaströren i en innervägg av trä- eller gipsskivor har inte heller byggnadsmaterialet någon större skärmverkan. Vi finner därför elektriska 50 Hz-fält från ledningar i väggarna, framförallt i hus med gipsskive- eller spånskiveväggar. Betongväggar ger en bättre skärmverkan för elektriska fält då armeringen i dessa ofta har jordförbindelse.

De elektriska fälten avtar med avståndet från ledningarna. Om en ledning ligger i en vägg får man en fältstyrka på några hundra V/m direkt mot väggen. En bit in i rummet har vanligen fältstyrkan avtagit till 0–50 V/m. Är väggen ledande, och ej jordad, kan hela väggen bli kapacitivt spänningssatt av elledningarna inne i väggen. Detta leder till högre elektriska fält eftersom en större yta blir spänningssatt. I hus med putsade innerväggar har putsen ofta fästs på väggen med hjälp av hönsnät. Detta hönsnät kan bli kapacitivt spänningssatt. Detta gäller även ojordade plåttreglar, liksom gipsskivor, trots att de inte har någon högre ledningsförmåga.

Den elektriska fältstyrkan är ofta högre i bostadsmiljö än i kontorsmiljö, beroende på att elinstallationer i kontoren i allmänhet är utförda med skyddsjord. Denna skyddsjordledare ligger på noll volt och medför att en del fältlinjer från fasledarna går till skyddsjordledaren istället för att gå ut i rummet. Verkan är dock ganska begränsad varför även dessa ledningar ger

elektriska fält. Sedan första januari 1994 är det krav på att alla eluttag vid ny- och ombyggnation skall vara i skyddsjordat utförande även i bostäder.

### *Magnetiska fält*

Yttre kraftledningar är en källa till magnetfält i hus. De flesta hus, som har förhöjda magnetfält, ligger dock ej nära kraftledningar. Vid en mätning i 150 kontor, i Västerbotten, fann man ett medianvärde på den magnetiska flödestätheten på 70 nT (Sandström m.fl., 1991). 25 % av kontoren hade magnetfält under 30 nT och 25 % låg över 150 nT. Nissen m. fl. (1994) har mätt magnetfält i bostäder i Stockholm och Bollnäs. I Stockholm låg medianvärdet på 79 nT, med övre och undre kvartil på 113 nT respektive 56 nT. Motsvarande värden för Bollnäs var 34 nT, 66 nT och 14 nT. Figur 3.7 visar dygnsmedelvärdet av magnetfältet i 67 lägenheter i Göteborg (Moberg och Carlander, 1995). Elever på Chalmers har mätt upp de kraftfrekventa magnetiska fälten, 1 m över mark, på gatorna i centrala staden, Lindgren m.fl. (1999, 2001). Dessa mätningar visar att nivåerna är förhöjda på många gator, se figur 3.8. Medianvärdet låg på 0,2  $\mu$ T, undre kvartil var 0,08  $\mu$ T och övre kvartil var 0,47  $\mu$ T.

### *Elektrisk golvvärme*

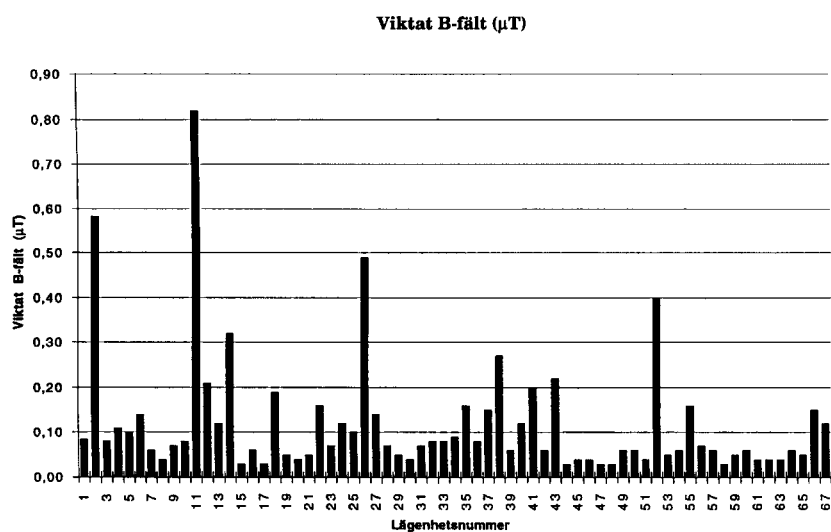
Elektrisk golv- och takvärme alstras genom att ström går i en motståndstråd.. Detta kan vara en kabel eller en folie. Om tråden bildar ett enkelledarmönster kommer strömmen att ge upphov till betydande magnetfält. Mätningar visar att på sådana värmegolv kan nivåer på tiotal mikrotlesa uppmätas på golvnivå. Detta innebär en onödig exponering av t.ex. ett barn som kryper på golvet. Värmekabel kan också användas för andra ändamål som att hålla hängrännor isfria.

### *Vagabonderande strömmar*

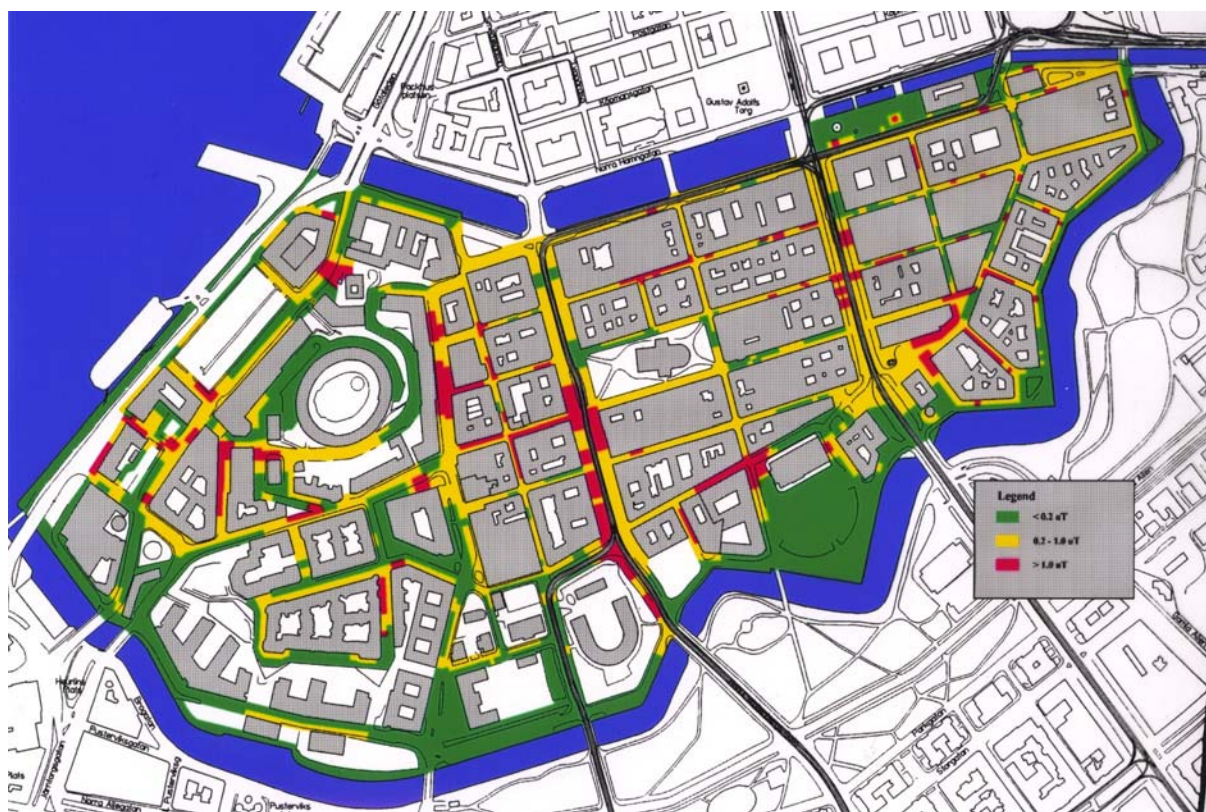
Källan till förhöjda magnetfält, är i de flesta fall, vagabonderande strömmar. Dessa strömmar beror på att vi i Sverige vanligen har ett elsystem med fyra ledare, i servisledningen fram till huset. Figur 3.9 visar ett fyrledarsystem. Sidan: 21

[0]Servisledningen består av tre fasledare  $L_1$ ,  $L_2$  och  $L_3$ , samt en kombinerade skyddsjord och neutralledare, så kallad PEN-ledare (PE = Protective Earth, N = Neutral). Efter elcentralen finns separata skyddsjordledare och neutralledare. Dessa är förbundna med varandra i elcentralen.

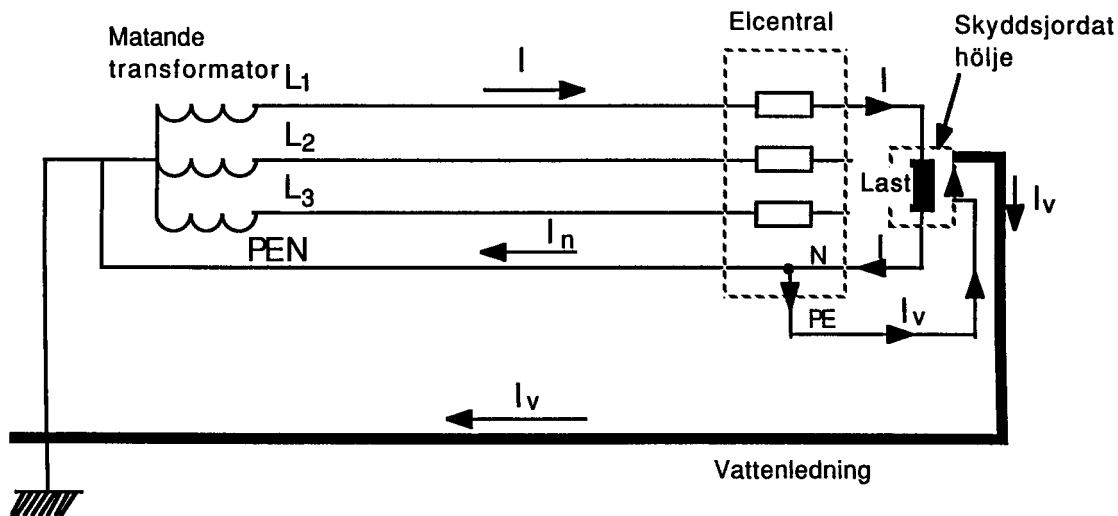
Nya servisledningar utförs i allmänhet med femledare enligt SS 437 01 40 utgåva 2 (2000-03-14), 4 Allmänna fodringar ”Kundanläggning med systemspänning 400V med tillhörande servis skall normalt utföras med fördelningssystem TN-S.” Elnätbolagen följer denna norm vid nya servisledningar eller vid utbyte av hela servisledningar.



Figur 3.7. Dygnsmedelvärdet av magnetfältet mätt i 67 lägenheter i flerfamiljshus i Göteborg. Medianvärdet för lägenheterna var 70 nT.



Figur 3.8. Kraftfrekventa magnetfält mätt 1 m över mark på gatorna i stadsdelen innanför vallgraven i Göteborg. Magnetfältsnivåerna har färgats grönt  $< 0,2 \mu\text{T}$ , gult  $0,2 - 1,0 \mu\text{T}$  och rött  $> 1,0 \mu\text{T}$ .



Figur 3.9. Schematisk bild av ett 4-ledarsystem. Återgångsströmmen från fasledarna kan gå två vägar från elcentralen eftersom skyddsjordledaren är sammankopplad med neutralledaren. Dels via den gemensamma PEN-ledaren dels via andra metalliska ledare som är förbundna med skyddsjord som vattenledningen. Olika stora strömmar går fram och åter i elledningen varför ett nettomagnetfält skapas där, liksom kring vattenledningen.

Strömmen  $I$ , som uppkommer då man ansluter en enfaslast, har två vägar att gå tillbaka från elcentralen till den matande transformatorns jordning. Återgångsströmmen kan dels gå via PEN-ledaren  $I_n$ , som det är tänkt, dels via skyddsjorden  $I_v$  och vattenledningen och åter till transformatorns via dess jordpunkt. Om det går ström i vattenledningen, alstras det ett magnetfält kring den, men även kring elledningen, då det felar återgångsström varför magnetfälten från elledningen inte längre tar ut varandra.

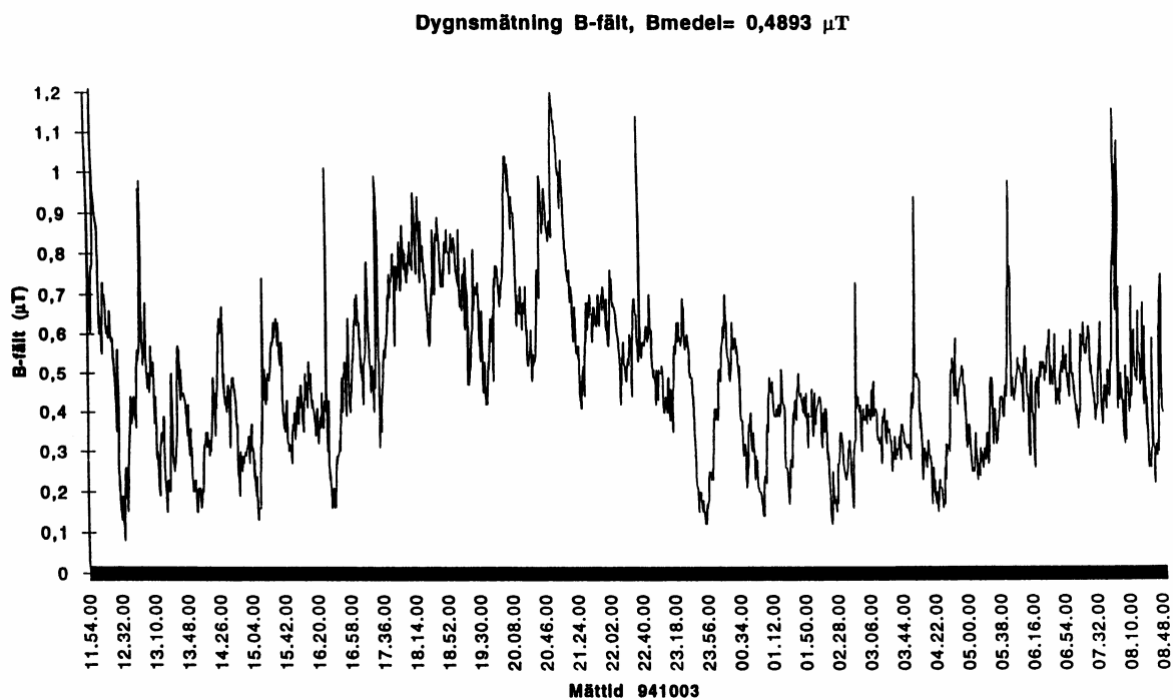
Vad är det som driver strömmen i vattenledningen? Strömmar drivs av spänningar. Vid elcentralen ligger neutralledaren, inte på noll volt.

Det går en återgångsström i PEN-ledaren till transformatorn, vars jordpunkt verkligen ligger på noll volt, via jordning i marken. Det finns ett visst motstånd i PEN-ledaren, varför Ohms lag säger oss, att strömmen genom ledaren, ger upphov till ett spänningsfall. Detta innebär att vi vanligtvis har någon volt i PEN-ledaren samt i de förbundna neutral- och skyddsjordledarna, vid elcentralen i huset. Det är denna spänning som driver strömmen ut i vattenledningen. Hur mycket av återgångsströmmen som går i PEN-ledaren och hur mycket som går i vattenledningen, bestäms av motstånden i PEN-ledaren, respektive i den alternativa strömvägens ledare. Vi får en strömdelning, där störst ström går den väg som har minst motstånd, enligt Kirchoffs lag.

Vattenledningen har ofta en större metallarea, än PEN-ledaren, varför motståndet kan vara lägre i vattenledningen, då kommer störst ström att gå den vägen. Då återgångsströmmarna ofta rör sig om tiotals ampere är det inte ovanligt att finna vagabonderande strömmar av denna storleksordning. Vattnet i ledningen har betydligt större motstånd än metallen varför nästan ingen ström går i vattnet. Det innebär att det inte går några vagabonderande strömmar i plastvattenledningar. Då det är spänningen på skyddsjordledaren som driver den vagabon-

derande strömmen, förstår vi, att det inte är nödvändigt, att just den eller de apparater vars höljen leder över strömmen till vattenledningen, är påslagna.

Strömmen i PEN-ledaren bestäms av den totala strömmen i de tre faserna. I ett idealt trefas-system kommer strömmarna i de tre faserna att ta ut varandra, om de är lika stora. I PEN-ledaren och vattenledningen kommer endast att gå en ström som beror på skillnaden i fasbelastning. Varje enfaslast som slås till eller från, ändrar återgångsströmmen och den vagabonderande strömmen och därmed magnetfältet. Därför varierar ofta magnetfältet kraftigt med tiden i hus med vagabonderande strömmar, se figur 3.10.



Figur 3.10. En registrering av magnetfältet med hjälp av en magnetfältslogger i en byggnad med vagabonderande strömmar.

I figur 3.9 finns endast ett hus anslutet till transformatorn. Vanligtvis är många hus anslutna till samma transformator. Den vagabonderande strömmen behöver inte nödvändigtvis gå via transformatorns jordpunkt, för att komma tillbaka. Den kan till exempel gå ut via vattenledningen i ett hus och leta sig in via vattenledningen, i ett annat hus, som ligger närmare transformatorstationen, för att därifrån gå ut via PEN-ledaren i det husets serviskabel.

Att strömmen går i PEN-ledaren från detta hus innebär inte att vi slipper magnetfält. Nu får vi istället en större ström i PEN-ledaren än i fasledarna, varför det uppstår ett nettomagnetfält från kabeln. Även om vi skruvar ur huvudsäkringarna, så att faserna bryts, i detta hus, kan det fortfarande gå en vagabonderande ström in via vattenledningen och ut via PEN-ledaren. Detta visar, att i hus med fyrledarsystem, där skyddsjorden har kontakt med något metallrör, som går till huset, kan det vagabondera in strömmar från andra hus.



De vagabonderande strömmarna går ej endast i vattenledningar, de kan gå i alla metallstrukturer. Det är mycket vanligt att man finner vagabonderande strömmar i fjärrvärmerör, gasledningar, kabelteve, teleledningar, armeringsjärn mm, se figur 3.11. I större städer finns det många ledningar i marken. Detta kan vara en förklaring till varför man fann högre magnetfältsnivåer i bostäder i Stockholm jämfört med bostäder i Bollnäs i den tidigare nämnda studien (Nissen m.fl., 1994). Då de vagabonderande strömmarna fortsätter i ledningar under mark, får vi även magnetiska fält från dessa ledningar. Det är också vanligt att det går vagabonderande strömmar i datanäten, vilket förutom att alstra magnetfält kan ge kommunikationsproblem.



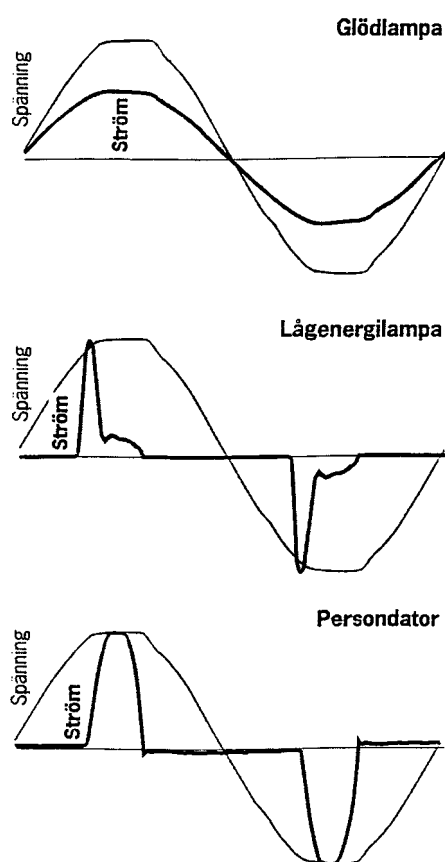
Figur 3.11. En cirkulationspump för fjärrvärme har ett skyddsjordat hölje som står i metallisk kontakt med fjärrvärmerörerna, vilket innebär en överledningspunkt för vagabonderande strömmar vid fyrledarinstallationer, foto Svante Wijk.

Anledning till att vagabonderande strömmar är en stor källa till magnetiska fält i byggnader är, förutom att de är vanligt förekommande, att fälten avtar långsamt med avståndet. Den vagabonderande återgångsströmmen går ofta en helt annan väg än framströmmen. Detta innebär att de vagabonderande strömmen vanligen kan betraktas som enkelledarfallet, varför fältet, enligt ekvation 2.4, avtar med  $1/r$ .

Ett vattenledningsrör med en ström på 10 A som går i källartaket i ett hus, ger upphov till 2  $\mu\text{T}$  på bottenvåningen (1 m:s avstånd), 0,5  $\mu\text{T}$  på plan 2 (4 m:s avstånd), 0,3  $\mu\text{T}$  på plan 3 (6 m:s avstånd) och 0,2  $\mu\text{T}$  på plan 4 (9 m:s avstånd). Som framgår av exemplet, ger en vagabonderande ström ofta förhöjningar i ett helt hus, medan fälten från elektriska apparater oftast ger bidrag den närmaste metern, på grund av  $1/r^3$ -avtagande. Många byggnader har förhöjda magnetfält som kommer från vagabonderande strömmar i ledningar i gatan

### Övertoner

Om man har lika stora strömmar i de tre faserna i ett trefasnät skall det inte flyta någon ström i neutralledaren. Detta gäller för 50 Hz-strömmar. Tidigare var de flesta ellasterna rent resistiva<sup>2</sup>. Det innebar att den av elverket levererade 50-periodiska spänningen, drev en 50-periodisk ström. Många nyare laster, som lysrör, datorer, dimmers mm är ej rent resistiva, utan alstrar ström med en stor andel övertoner, framförallt udda övertoner, som 150 Hz, se figur 3.12. När dessa strömmar alstras i de olika faserna tar de ej ut varandra i PEN-ledaren, utan vi får en ökad PEN-ledarström, vilken i sin tur kan leda till ökade vagabonderande strömmar.



---

<sup>2</sup> En rent resistiv last innehåller endast motstånd, strömmen genom en sådan last följer helt den pålagda spänningen. För laster som ej är rent resistiva kommer strömmen inte att vara en avbild av spänningen. Strömmen kan beskrivas som en summa av frekvenskomponenter, där dessa frekvenser är heltalsmultiplar av spänningens grundfrekvens. Dessa multiplar kallas övertoner. Många laster bildar udda övertoner, i elnätet är tredje och femte tonen (150 respektive 250 Hz) vanligt förekommande.

Figur 3.12. Uppmätning av ström och spänning, för tre elektriska laster. Spänningen är för samtliga fall 50 Hz, med en viss tillplattning på vågtopparna, på grund av strömberoende spänningsfall i ledningarna. Strömmen genom glödlampan följer spänningen, ty lampan är resistiv. Strömmen genom lågenergilampan av lysrörstyp och persondatorn följer däremot inte spänningen. Deras ström innehåller huvudsakligen övertoner till nätfrekvensen, främst 150 Hz.

Dåvarande Stockholm Energi gjorde en mätning i ett nybyggt kontorshus. Man fann, att trots att strömmarna i de tre fasledarna var ungefär lika stora, så var strömmen i PEN-ledaren större än fasströmmarna. Denna stora ström i PEN-ledaren, ledde naturligtvis till ett stort spänningsfall, vilket innebar att PEN-ledaren och den förbundna skyddsjordens i huset kom att spänningssättas. Denna spänning kan driva stora vagabonderande strömmar.

Tidigare använde man kablar, där PEN-ledaren var klenare än fasledarna. Stora strömmar, i klena ledare, medför att ledningarna blir så varma att flera brandtillbud har inträffat. Dessa övertonsströmmar ställer även till problem för elverken, bl. a genom stora tomgångsströmmar i transformatorer, så att dessa inte kan gå med full effekt.

Utbyggnaden av fjärrvärmenät och kabeltevenät i kombination med allt mer övertonsalstrande elutrustning, innebär att de vagabonderande strömmarna snabbt ökar i elnätet.

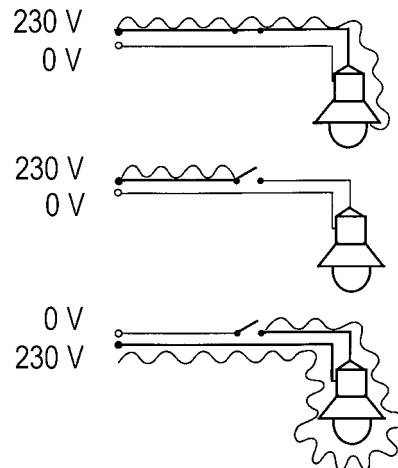
### 3.3 Fält från belysning

Elektriska fält alstras av spänningssatta föremål. All elektrisk utrustning som är ansluten till vanliga eluttag, är förbunden med elnätets 230 V. Hur starka elektriska fält som utrustningen avger beror på konstruktionen. Tidigare hade många elapparater och armaturer metallhöljen som var anslutna till skyddsjord. Numera går utvecklingen alltmer mot så kallat dubbelisolerat utförande, med icke skyddsjordanslutna höljen. Ett skyddsjordat metallhölje ligger på jordpotential, varför det inte alstrar något elektriskt fält. En dubbelisolerad utrustning kan antingen ha ett isolerande hölje, av t.ex. plast, eller ett metallhölje. Har utrustningen ett isolerande hölje kommer de elektriska fälten från spänningssatta delar att tränga igenom höljet.

Man skulle kanske tro att det skulle vara svagare fält från ett dubbelisolerat föremål med metallhölje, då det elektriska fältet inte går igenom metallen. Detta är en förhastad slutsats. Genom ett fenomen som kallas kapacitiv koppling kommer det isolerade metallhöljet att spänningssättas och i sin tur avge ett elektriskt fält. Har vi ett utbrett metallföremål, som en dubbelisolerad skrivbordsarmatur, kommer metallstativet att fungera som en effektiv antenn för elektriska fält och vi kommer att få ett betydligt kraftigare fält än om lampan hade haft ett plast- eller trästativ.

En kanske något överraskande effekt av kapacitiv spänningssättning är att en armatur, med sladdströmbrytare, kan avge högre elektriska fält när den är släckt än när den är tänd. Detta beror på att strömbrytaren i armaturen normalt bara bryter den ena av de två ledarna i elkabeln. Om den ledare som är ansluten till neutralledaren i nätkontakten bryts har vi endast kon-

takt med den ledare som har spänningen 230 volt. Den kapacitiva spänningssättningen blir nu mycket effektiv. När strömbrytaren sluts, för att tända lampan, får armaturen även kontakt med den spänningsslösa ledaren, varvid spänningssättningen minskar. Om strömbrytaren bryter neutralledaren eller ledaren med spänning beror på hur stickkontakten sitter i vägguttaget. Då uttagen inte är polariserade så har man femtio procents chans för endera fallet, se figur 3.13.



Figur 3.13. Det elektriska fältet från en dubbelisolerad glödljusarmatur med sladdströmbrytare. a). När armaturen tänds får vi ett elektriskt fält av den spänningssatta ledningen fram till glödlampan. b) När stickproppen sitter i uttaget så att fasledaren bryts, blir det låga fält från den släckta armaturen. c) När stickproppen sitter i uttaget så att neutralledaren bryts, blir det högre fält från den släckta armaturen, än från den tända i fall a).

I tabell 3.1 redovisas mätvärden, uppmätta 30 cm från skärmen, på en normal, ej skyddsjordad, skrivbordslampa med lysrör.

Tabell 3.1. Uppmätta fält 30 cm från lysrörsskrivbordsarmatur med normalt driftsdon.

Mätning	Tänd lampa	Släckt lampa	Släckt lampa
<b>Elektriska fält</b>		<b>Fas bruten</b>	<b>Neutralled. bruten</b>
5-2000 Hz	160 V/m	10 V/m	310 V/m
2-400 kHz	14 V/m	0	0
<b>Magnetiska fält</b>			
5-2000 Hz	120 nT	0	0
2-400 kHz	3 nT	0	0

Vi ser att det lågfrekventa elektriska fältet har högre fältstyrka än fältet över 2 kHz. Mätningarna visar även förhöjda värden för magnetfältet. Här är källan den drossel som finns i lysrörslampan. Denna satt på sladden till armaturen. En magnetisk flödestäthet på 8  $\mu\text{T}$  uppmättes 10 cm från denna drossel. Fälten avtar snabbt med avståndet från källan, vilket gör att ett lysrör i taket ger betydligt lägre exponering, än lysrörsskrivbordslampa nära användaren. När

det gäller magnetiska fält, blir exponeringen ofta högre från lysrören i våningen under, än från de egna takarmaturerna, därför att magnetfältet går rakt igenom golvet. För att begränsa magnetfältsexponeringen från skrivbordslampor av lysrörstyp, kan man placera drosseln ca 1 m eller mer från personen. I vissa lampor sitter drosseln i skärmen. Denna utformning kan medföra en onödig exponering för magnetiska fält.

Lysrörsarmaturer med s.k. högfrekvensdon har tagits fram för att ge ett flimmerfritt ljus och spara energi. Dessa har i marknadsföringen påståtts avge mycket mindre fält än konventionella lysrör. Mätningar har visat att detta inte alltid är fallet, Hamnerius 1996. Nätfrekventa magnetiska fält har visserligen varit lägre, ibland endast marginellt, i andra fall rejält minskat. Däremot avger dessa armaturer elektriska och magnetiska fält i frekvensområdet 20–50 kHz som inte avges av konventionella lysrör. Men speciellt de elektriska fälten i kHz-området, kan vara förhållandevis höga. För en skrivbordslampa uppmättes 40 V/m i detta frekvensområde, på användaravstånd. Detta är avsevärt mer än de flesta bildskärmar avger och långt över de rekommenderade värdena för bildskärmar. Flera tillverkare har uppmärksammat detta och har genom skärmning och jordning minskat fälten.

### 3.4 Fält från kök och bostadsutrustning

I kök finns flera källor till fält. De elektriska fälten från de fasta köksapparaterna är vanligtvis låga då dessa brukar ha jordade metallhöljen. Vanliga elektriska spisar och ugnar avger nätfrekventa magnetiska fält som avtar snabbt med avståndet från spisen. På någon dm:s avstånd är nivåer på någon  $\mu\text{T}$  vanliga. Köksfläktar som är placerade direkt över spisen, ger ofta starkare magnetfält än spisen, på grund av att elmotorn oftast är en betydande källa.

Spishällar med halogenlampor ger vanligen inte större fält än konventionella plattor. Dessa hållar värmer grytan med hjälp av infraröd strålning varför man inte långvarigt skall titta ned i en sådan lampa. Induktionshällar värmer kokkärnen genom att ett magnetfält skapar strömmar i kärnbotten. Den ström som alstras i botten (och även i människokroppen) ökar med ökande frekvens. För att få en effektiv värmning använder man vanligen 20 - 30 kHz magnetfält i dessa hållar. Läckfältet brukar ligga på några  $\mu\text{T}$  och i vissa fall betydligt mer, någon dm framför hällen. Då hälsoeffekter av exponering för någon  $\mu\text{T}$ , vid dessa frekvenser, i stort sett inte studerats, går det inte att uttala sig om eventuella risker. Det vore önskvärt att de eventuella hälsoeffekterna studerades, innan denna typ av hållar får en mer allmän spridning.

Mikrovågsugnar avger ofta kraftiga nätfrekventa magnetiska fält, tiotals  $\mu\text{T}$  på kort avstånd och någon  $\mu\text{T}$  på 1 m:s avstånd är vanligt. För att undvika onödig exponering bör man ej stå direkt vid mikrovågsugnen när den är i drift. Orsaken till de nätfrekventa magnetfälten är den så kallade läckfältstransformator, som används för att alstra den högspänning som behövs för att driva magnetronen som alstrar mikrovågorna i ugnen. Magnetronen behöver ha en konstant spänning för att fungera. För att inte nätspänningsvariationer skall störa funktionen, gör man läckfältstransformatoren med så liten järnkärna, att den är mättad och det magnetfält som inte får plats i kärnan läcker ut till omgivningen. Kärnan är mättad, även om nätspänningen varierar inom normala gränser, varför utspänningen från transformatorn blir konstant då den endast beror på hur mycket fält som finns i kärnan. Mikrovågsugnen kan också avge mikro-

vågsstrålning. Detta är vanligtvis inget problem då alla modeller av ugnar som säljs måste ha genomgått en typprovning, där man kontrollerar att läckaget ligger under gränsvärdena.

Dessa exempel visar att det inte endast är stora ledningar och installationer som kan ge ett väsentligt bidrag till personexponeringen. I en kurs vid Chalmers, får eleverna i uppgift att, med hjälp av mätinstrument, uppskatta sin årsexponering av lågfrekventa magnetfält. Klart förhöjda årsexponeringar hade några elever som var flitiga solarieanvändare. I solarier har uppmätts magnetfält på upp till 60  $\mu\text{T}$  med ett kroppsmedelvärde på ca 10  $\mu\text{T}$ , kombinerat med en elektrisk fältstyrka som överskred 2000 V/m, Hamnerius 1996. Förhöjda årsexponeringar noterades också för en rakapparatanvändare och personer som sov i vattensäng. Vissa nätanslutna rakapparater ger 500  $\mu\text{T}$  mot huden medan andra modeller (oftast batteridrivna) ger mycket lägre värden. I vattensängarna finns ett element för uppvärmning; även här varierar värdena för olika modeller. Nivåer upp till någon  $\mu\text{T}$  är inte sällsynta. Vanliga hårfläktar kan ge några tiotals  $\mu\text{T}$  på användaravstånd.

### 3.5 Fält från kontorsapparater

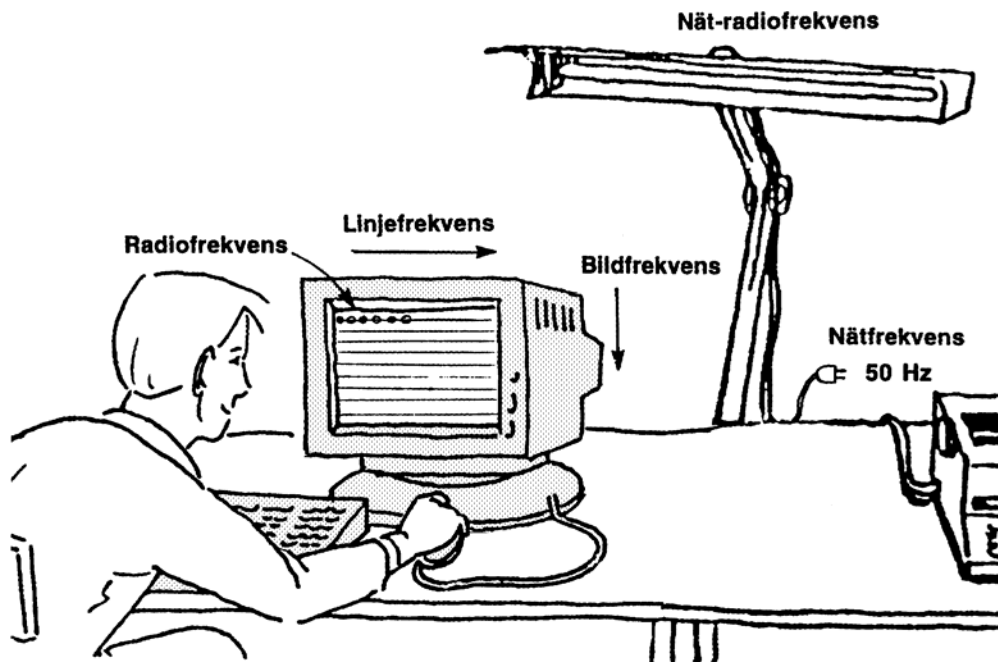
I en modern kontorsmiljö är man omgiven av alltfler elektriska apparater som ger fält vid olika frekvenser, se Figur 3.14. Datorer, bildskärmar, skrivare, telefaxar, kopiatorer, telefonsvarare m.m. alstrar fält. Dessa apparater avger vanligen 50 Hz-fält, medan trådlösa telefoner, trådlösa datornät (WLAN), trådlösa tangentbord och datormöss, avger radiofrekventa fält.

De nätfrekventa elektriska fälten är av samma storleksordning som för armaturer, vilket är naturligt då det i båda fallen är 230 V-matningen från nätet som är den dominerande källan. Skyddsjordade apparater med metallhöljen ger låga elektriska fält, exempel på detta är de flesta persondatorer. Är höljet inte jordat ger det däremot elektriska fältstyrkor på upp till några hundra V/m på några decimeters avstånd.

Det är inte bara ojordade apparater som kan bli kapacitivt spänningssatta. En liknande effekt får man om en nätsladd ligger nära ett bordsunderrede i metall. Fasledaren i sladden har en spänning på 230 V. Det innebär att ett litet metallföremål nära sladden skulle få en potential nära 230 V. Bordsunderredet är emellertid en stor metallstruktur där benen står på golvet som kanske har nollpotential. Då hela stativet måste ha samma potential kommer det att få en potential som ligger någonstans mellan 0 och 230 V. Bordsunderredet blir alltså kapacitivt spänningssatt och fungerar som en utbredd antenn för elektriska fält. Ofta har man någon kroppsdel mycket nära detta underrede, vilket medför att människokroppen blir exponerad och även själv spänningssatt.

Kapacitiv spänningssättning kan ske av alla ledande föremål som inte är elektriskt anslutna till någon potential. Det är inte ovanligt att t ex metallramarna i de skärmväggar som ofta används i kontorslandskap blir kapacitivt spänningssatta. Denna spänningssättning innebär dock ingen elolycksfallsrisk då den ström som går till kroppen vid beröring av föremålet är mycket liten, långt under de strömmar som kan ge akuta effekter.

### Kontorets elektromagnetiska miljö



Figur 3.14. I en kontorsmiljö finns källor som ger fält vid olika frekvenser.

Magnetiska fält avges av transformatorer och elektriska motorer i apparaterna. I många småapparater och batterieliminators har man valt en transformator med underdimensionerad järnkärna. Det magnetiska fältet är tänkt att gå transformatorns järnkärna. Om kärnan är för liten, får inte alla magnetfältslinjer plats, varför de läcker ut i omgivningen. Detta är anledningen till att många telefonsvarare, telefaxapparater, radioapparater, väckarklockor och batterieliminators avger magnetiska fält på upp till  $10 \mu\text{T}$ , på någon decimeters avstånd. Fältet avtar snabbt med avståndet från apparaten varför bidraget på ett avstånd av 1 m oftast ligger under  $0,1 \mu\text{T}$ . Genom att placera apparaterna på detta avstånd kan man undvika onödig exponering.

Om man har en klockradio som endast är 1 dm från huvudet kan huvudet exponeras för högre fält än om man skulle ha sängen mitt under våra största högspänningsledningar. Det är ibland inte möjligt att flytta bort källan, detta gäller för t.ex. digitaliseringsbord. Vissa digitaliseringsbord utsätter händerna för 10–20  $\mu\text{T}$ , 50 Hz-fält, plus elektriska och magnetiska fält i kHz-området.

Switchade nätaggregat används alltmer i t.ex. datorer, kopiatorer och skrivare. Dessa alstrar magnetiska fält i kHz-området. Nivåer upp till någon  $\mu\text{T}$  på ett avstånd av 1 dm är inte ovanligt.

### 3.5.2 Fält från bildskärmar och teveapparater

En vanlig bildskärm eller teve med bildrör, även kallat katodstrålerör eller CRT (Cathod Ray Tube), avger elektromagnetiska fält på en mängd frekvenser. För de flesta frekvensområden är styrkan långt under gällande gränsvärden. Detta gäller för röntgen, ultraviolett, synligt och infrarött ljus liksom för mikrovågsfält och radiofrekventa fält. Man misstänker inte någon skadlig hälsopåverkan i dessa områden.

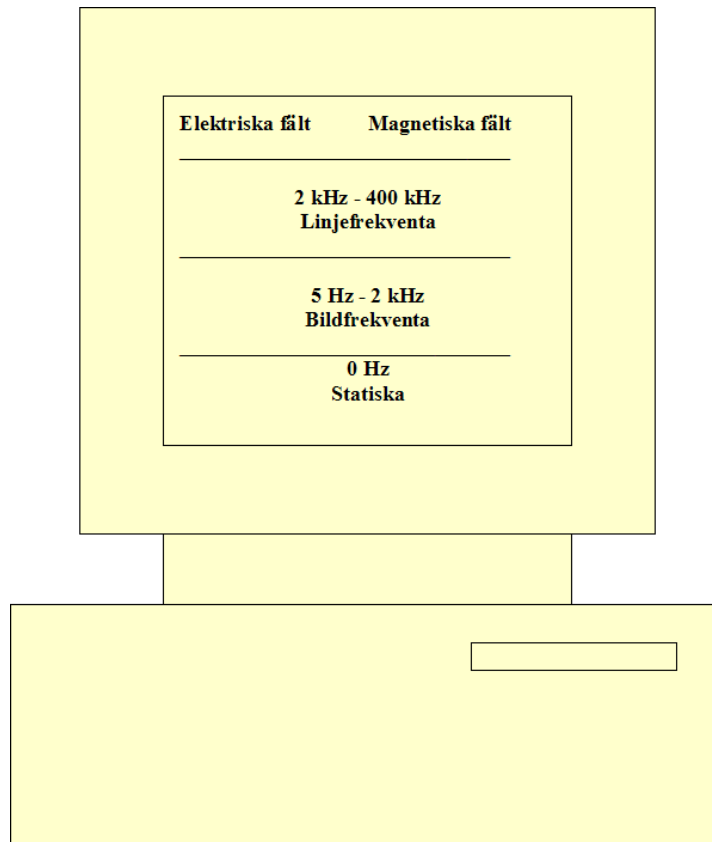
När det gäller det lågfrekventa området, är kunskapen om eventuell skadlig påverkan tyvärr bristfällig. Detta har haft som följd, att man inte kunnat fastställa några gränsvärden. Debatten om eventuell hälsopåverkan av bildskärmar har handlat om dessa lågfrekventa fält. Nedan behandlas dessa lågfrekventa fält närmare.

Elektromagnetiska fält är som hörs på namnet en kombination av elektriska och magnetiska fält. På normalt bildskärmsarbetsavstånd gäller för de högfrekventa fälten, som diskuterades ovan, att de elektriska och magnetiska fälten står i ett bestämt förhållande till varandra. Det är därför lämpligt att tala om elektromagnetiska fält när det gäller dessa frekvensområden. När det gäller de lågfrekventa fälten vid bildskärmar, finns det inget bestämt förhållande mellan det elektriska och det magnetiska fältet, varför det i detta fall inte är riktigt att tala om elektromagnetiska fält. Man måste göra en separat beskrivning av den elektriska och den magnetiska fältkomponenten.

I figur 3.15 visas de lågfrekventa elektriska och magnetiska fälten från en bildskärm. Längst ned i figuren har vi de statiska fälten, dvs. fält som alltid har samma tecken. Går vi uppåt kommer vi över till växelfälten. Dessa fält varierar och byter tecken mellan positiva och negativa värden. Ju högre upp vi kommer, desto fler teckenväxlingar per sekund, dvs. frekvens.

Nätfrekventa fält är av frekvensen 50 Hz och orsakas av strömmen från vanliga vägguttag. Både elektriska och magnetiska 50 Hz-fält finns kring alla elektriska apparater som är anslutna till elnätet, således även från bildskärmar. Katodstrålerör avger också fält på en något högre frekvens, bildfrekvensen. Denna anger hur många bilder som visas per sekund på skärmen. För en teve ligger den på 50 Hz, men för bildskärmar ligger den ofta något högre 60–120 Hz. Anledningen till detta är att ögat inte upplever flimmer om man går upp i bildfrekvens. Går vi ytterligare uppåt i frekvens kommer vi till de linjefrekventa fälten. Bilden byggs upp genom att en mängd linjer ritas på skärmen. Linjefrekvensen är antalet linjer som ritas per sekund. Den brukar ligga mellan 20 och 200 kHz för bildskärmar (1 kHz = 1000 Hz). Det finns både elektriska och magnetiska fält av alla nämnda frekvenser.





Figur 3.15. Bildskärmar avger lågfrekventa elektriska och magnetiska fält inom flera frekvensband.

I engelskspråkig text används ofta begreppen ELF (Extremely Low Frequency) för frekvensområdet upp till 300 Hz och VLF (Very Low Frequency) för frekvensområdet 3–30 kHz.

Hur starka är de elektriska fälten vid en bildskärm? Om vi mäter fälten 30 cm från bildskärmen och startar vid 0 Hz så har vi de elektrostatiska fälten. De elektrostatiska fälten varierar från 0 till 50 kV/m för olika bildskärmar. Källan till detta fält är den högspänningselektrod som ligger innanför glaset vars syfte är att accelerera elektronstrålen som ritar upp bilden på insidan av glaset. Elektroden har en positiv spänning på 10 - 30 kV. För de flesta moderna bildskärmar har tillverkaren vidtagit åtgärder för att få låga elektrostatiska fält. Däremot avger många TV-apparater höga elektrostatiska fält, vilket man kan känna om man för fram handen mot en påslagen TV. Det elektrostatiska fältet från bildröret medför att dammpartiklar med negativ laddning dras mot bildytan vilket förklarar varför den fort blir dammig. Ibland anges den elektrostatiska potentialen istället för den elektriska fältstyrkan. Med detta menas helt enkelt den spänning som behövs för att alstra den uppmätta fältstyrkan.

Går vi uppåt i frekvens kommer vi till de nät- och bildfrekventa fälten. I ett kontorsrum har vi nätfrekventa elektriska fält på vanligen 1–100 V/m. Dessa fält orsakas av elledningar i tak och väggar, sladdar på golvet, belysningsarmaturer etc. Fältet från en bildskärm ligger i samma storleksordning upp till några hundra V/m.

De linjefrekventa elektriska fälten är mer specifika för bildskärmar, då de flesta andra källor i ett kontorsrum, ej avger så starka fält vid dessa frekvenser. Lysrörsbelysning med så kallat

högfrekvensdriftdon avger dock fält vid dessa frekvenser. Styrkan på de linjefrekventa fälten från bildskärmar och teveapparater brukar vara 0–50 V/m. Liknande styrkor avges från lysrörsarmaturer med högfrekvensdriftdon.

Om vi övergår till de magnetiska fälten och börjar med statiska fält så finner man att det statiska magnetfält som alstras av en bildskärm inte överstiger det jordmagnetiska fältet, som ligger på ca 50  $\mu\text{T}$ . I normala kontorsmiljöer finns det ett nätfrekvent magnetfält på 10–500 nT, alstrat av elinstallationer med mera. De nät- och bildfrekventa magnetfälten från bildskärmar är av samma storleksordning. Nära skärmen kan de ofta uppgå till några  $\mu\text{T}$ , men fälten faller mycket snabbt med avståndet (kubiken på avståndet). På operatörsavstånd är man oftast nere i bidrag under 100 nT. Det linjefrekventa magnetfältet är av samma storleksordning.

För dataskärmar och teve har CRT varit den dominerande tekniken. Detta är fortfarande, år 2004, sant för tevetillämpningar även om alternativ displayteknik tar en allt större marknadsandel. På bildskärmsmarknaden håller platta skärmar att slå ut CRT-skärmarna i många tillämpningar, se figur 3.16. En allt större del av de persondatorer som säljs är portabla. De första portabla datorerna hade CRT-skärmar, i dagens portabla datorer har CRT-skärmen helt ersatts av andra skärmteknologier, främst vätskekristaller (LCD). På tevesidan används både LCD och plasmaskärmar, vilken teknik som kommer att dominera är nog mycket en prisfråga. Vilka fält avger skärmar som tillverkats i dessa teknologier?



Figur 3.16. Skärmar som bygger på vätskekristallteknik ersätter katodstrålerörskärmarna.

En uppfattning, som är spridd, inte minst bland datorförsäljare, är att bildskärmar som bygger på vätskekristallteknik och andra alternativa teknologier skulle vara "strålningsfria". Mätningarna som de ackrediterade laboratorierna gjort på lösa skärmar och bärbara datorer med sådan skärmteknologi visar att detta är en sanning med modifikation. Det går att konstruera platta skärmar som avger mycket låga fält, men många av de bärbara datorerna på marknaden är ej konstruerade på detta sätt, varför de ofta inte klarar Swedacs eller TCO:s bildskärmsrekommendationer.

Vätskekristallskärmen är energisnål, vilket medger batteridrift. Den avger inget elektrostatiskt fält och emissionen av lågfrekventa magnetfält är vanligtvis liten. En LCD kan användas med eller utan bakgrundsbelysning. För skärmar utan bakgrundsbelysning ger det infallande ljuset bilden. Detta fungerar under optimala belysningsförhållanden, men under andra förhållanden kan det ge dålig synergonomi. I de flesta bildskärmstillämpningar används därför bakgrundsbelysning.

Den vanligaste typen av bakgrundsbelysning är så kallad katodbelysning (G Hamagishi et al. 1992). Detta liknar tekniskt ett lysrör och behöver liksom lysrör en tändspänning på flera hundra volt. För att alstra detta i batteridrivna tillämpningar används så kallade switchade nätaggregat. Switchade för att de ”hackar” en likspänning till en växelspanning med en frekvens som brukar ligga i intervallet 2 - 50 kHz. Det är därför inte ovanligt med jämförelsevis starka elektriska växelfält i kHz-området från bakgrundsbelysta skärmar.

Även så kallade elektroluminiscensplattor kan användas för att erhålla bakgrundsbelysning. Dessa ger liknande fält. Med denna teknik kan även bilder skapas. I en elektroluminiscensdisplay (ELD) bildas tecken genom att punkter i mycket tunna halvledarfilmers får att lysa upp när spänning läggs över punkterna. Elektroluminiscensskärmar har använts i några bärbara persondatorer, men de har inte fått någon större spridning. Ett skäl är att de normalt är nätan slutna då strömförbrukningen är för hög för batteridrift. I och med den högre strömförbrukningen, alstrar de i allmänhet högre magnetiska fält, än LCD. En relativt hög drivspänning kan även ge upphov till elektriska växelfält, om inga skärminningsåtgärder vidtas.

Plasmaskärmen bygger på samma princip som neonrör och glimlampor. En ädelgas, vanligen en blandning av argon (0,1%) och neon (99,9%), finns mellan två elektroder. När man lägger på en spänning, som överstiger den s.k. tändspänningen (vanligen ca 200 V), så joniseras gasen och det bildas ett plasma. En ström går genom gasen, energin från denna ström får elektroner i neutrala gasatomer att inta högre energitillstånd. När dessa elektroner faller tillbaka till sina grundtillstånd utsänds synligt ljus. Elektrostatiska fält och lågfrekventa magnetiska fält ligger typiskt högre för plasmaskärmen, än för LCD, men vanligen under det som alstras från katodstråleskärmar. De elektriska växelfälten kan ligga på högre nivå än för CRT. Skärmen alstrar UV- och synligt ljus men ingen röntgenstrålning.

De elektriska och magnetiska fälten från bildskärmar är av samma storleksordning som från elektrisk hemutrustning som armaturer, dammsugare, spisar. Betyder det att fälten från dessa apparater ger samma effekter i kroppen? Både elektriska och magnetiska växelfält inducerar (alstrar) strömmar i människokroppen. Den inducerade strömmen blir större, ju högre frekvens och ju högre fältstyrka fälten har, ty den är direkt proportionell mot dessa. Det innebär att den inducerade strömmen i kroppen kan vara högre om vi sitter framför en bildskärm, än om vi skulle sitta under en av våra största högspänningsledningar.

Ett exempel kan belysa detta. Den magnetiska styrkan framför en viss CAD-bildskärm är 0,1  $\mu\text{T}$  jämfört med 20  $\mu\text{T}$  under en högspänningsledning, dvs. en tvåhundredel. Linjefrekvensen är 50 kHz för bildskärmen, jämfört med frekvensen 50 Hz för kraftledningen, dvs. tusen gånger högre. Multiplicerar vi en tvåhundredel med tusen får vi som resultat att den inducerade strömstyrkan blir fem gånger starkare, framför bildskärmen. Man kan i dagsläget inte av-

göra om fältstyrkan eller den inducerade strömmen är den relevanta storheten för att bedöma eventuell hälsopåverkan.

### 3.5.2 Rekommendationer för fält från bildskärmar

1987 startade i Sverige en frivillig provning av bildskärmar. Man hade vid starten inte lämpliga mätinstrument för alla fält, varför endast de linjefrekventa magnetfälten och det elektrostatiska fältet mättes.

I december 1990 publicerades en ny mätnorm för bildskärmsmätningar, MPR (1990). Utgivare var Statens mät- och provstyrelse (MPR) som vid årsskiftet 90/91 bytte namn till Styrelsen för teknisk ackreditering (Swedac). I denna norm finns mätmetoder för alla ovannämnda fält samt för synergonomiska egenskaper. För bildskärmar som mäts enligt denna norm har Swedac (1990) och TCO (1991) publicerat rekommenderade värden.

Det är viktigt att komma ihåg att dessa rekommendationer inte bygger på kunskap om skadlig verkan, utan mer skall ses som vad som är tekniskt möjligt att uppnå till en rimlig kostnad. Swedacs värden bygger till stor del på mätning av ett större antal befintliga skärmar, som genomfördes 1989, varvid man satte de rekommenderade värdena ungefär som medelvärdet för de mätta skärmarna. TCO:s rekommendationer är på flera punkter strängare än Swedac's då man mer har inriktat sig på vad som är möjligt att tekniskt uppnå, till en rimlig kostnad. Tabell 3.2 visar de rekommenderade värdena för elektriska och magnetiska fält. Swedac mätnorm har fått ett stort internationellt genomslag och används av tillverkare i många länder.

TCO har tagit initiativ till en miljömärkning av bildskärmar. Skärmar som märkts med märket TCO'92 skall förutom att uppfylla nedanstående rekommendation också ha ett system för energibesparing som minskar skärmens förbrukning när den inte använts på ett tag. Under 1995 utvecklade TCO i TCO'95 kraven till att även innefatta ergonomi, fält från datorenhet och tangentbord, miljökrav på tillverkningen mm. TCO har utvidgat märkningen till platta skärmar i TCO'99. Den senaste märkningen TCO'03 innebär bland annat skärpta krav avseende synergonomi, se figur 3.17.

Tabell 3.2. Rekommenderade värden för elektriska och magnetiska fält från bildskärmar.

	TCO'92 – TCO'03	SWEDAC
<b>Elektrostatisk potential</b>	±500 V	±500 V
<b>Elektriska fält</b>		
Bildfrekventa 5 Hz-2000 Hz	30 cm framför skärmen < 10 V/m	50 cm framför < 25 V/m
Linjefrekventa 2 kHz-400 kHz	30 cm fr & 50 cm runt om < 1 V/m	50 cm runt om <2,5 V/m
<b>Magnetiska fält</b>		
Bildfrekventa 5 Hz-2000 Hz	30 cm fr & 50 cm runt om < 200 nT	50 cm runt om < 250 nT
Linjefrekventa 2 kHz-400 kHz	50 cm runt om < 25 nT	50 cm runt om < 25 nT

Det är viktigt att man vid val av bildskärm även beaktar bildkvalitet och ergonomiska faktorer, då man vet att olämpligt utformade bildskärmar kan leda till ögon- och belastningsbesvär, Hamnerius (1986, 1987).



Figur 3.17. TCO bildskärmsmärkning har fått ett stort genomslag på marknaden, även utanför Sveriges gränser.

### 3.6 Magnetiska fält från andra källor

En markant källa till magnetfält i byggnader är inbyggda transformatorstationer, s.k. nätstationer. Här är det framförallt rum som ligger direkt över, eller vid sidan av, nätstationen som får förhöjningar upp till tiotals  $\mu\text{T}$ . Bildskärmsarbete med katodstrålerörsskärmar försvaras i rum med förhöjningar över 0,5–1  $\mu\text{T}$ , på grund av störd bild. Platta skärmar störs dock ej av magnetfältet. Friliggande nätstationer är sällan något problem, då de förhöjda magnetfälten företrädesvis finns inom fem meter från nätstationen. Dock kan det förekomma vagabonderande strömmar i de ledningar som utgår från nätstationen vilket ger magnetfältsbidrag utmed dessa. I många fall är det inte möjligt att anlägga friliggande nätstationer, dels på grund av möjlig mark saknas vid de hus som stationen skall försörja, dels för att en placering längre bort, innebär att kabelförbanden blir för långa med problem som spänningsfall och förluster.

I närheten av elcentraler brukar man ofta registrera förhöjda magnetiska fält. Ofta är en av källorna vagabonderande strömmar som går i kablar till centralen. Även i hus som ej har vagabonderande strömmar har man förhöjda värden vid elcentralerna. Orsaken är att fas och neutralledare separeras i skenor i centralen. Genom att dessa skenor sitter isär, kommer fälten från strömmarna i de olika skenorna inte att ta ut varandra helt. Genom att registrera fältet från elcentralen, som funktion av avståndet, kan man få en uppfattning om vilket bidrag som kommer från skenorna och vilket som kommer från vagabonderande strömmar. Magnetfältet som beror på skenornas separation avtar som  $1/r^2$  medan fältet på grund av vagabonderande strömmar endast avtar som  $1/r$ . Detta innebär att magnetfältet som beror på skenornas separation ofta har avtagit till bakgrundsnivån inom 1 – 2 meter. Om det däremot finns vagabonderande strömmar, kommer magnetfälten från dessa, att ge signifikanta bidrag på längre avstånd. När man planerar elinstallationer i en byggnad bör man förlägga elcentralerna så att de ej ligger där personer vistas längre tider.

De larmbågar som används för stöldlarm i affärer, bibliotek mm är en källa till elektromagnetiska fält, se figur 3.18. Många larmsystem alstrar lågfrekventa magnetfält, medan andra system använder radiofrekventa fält. Mittemellan larmbågar som använder lågfrekventa magnetfält, uppmäts ofta nivåer på upp till några hundra  $\mu\text{T}$ . Då bågar är relativt stora, sträcker sig ofta fältet en bra bit ut. Detta innebär att kassörskor och annan personal som vistas nära bågar får förhöjda exponeringar. Då magnetfälten går obehindrat genom väggar och golv, begränsas inte fälten till butikslokalen. I det så kallade Elkontorprojektet genomfördes mätningar i körkortregistrets lokaler i Örebro, Blomqvist m.fl. (1995). Man hade kontorslokaler i en fastighet med butiker i bottenplanet. Rummen mättes första gången i oktober 1992. Samma rum och arbetsplatser mättes om i mars 1994. I den affärslokal som låg rakt under körkortregistrets lokaler, hade under mellantiden installerats stöldlarmbågar. Denna utrustning genererade magnetfält vid 1 kHz. I kontorsrummet, direkt ovanför larmbågarna, uppmättes 1 kHz-komponenten till mellan 85 - 260 nT på golvnivå och 40 - 105 nT på 1 m:s nivå i rummet. Liknande värden har uppmäts vid larmbågar i biblioteket, högskolan Luleå, Blomqvist m.fl. (1995).

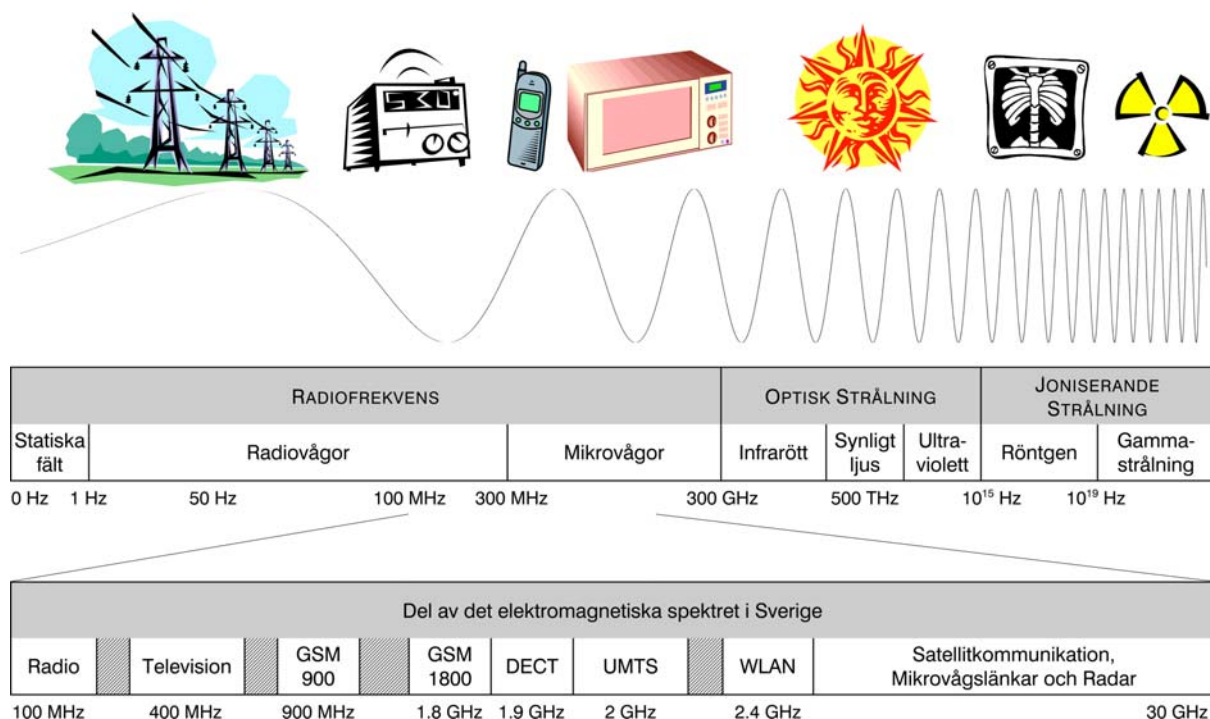


Figur 3.18. Stöldlarmbågar kan alstra fält vid olika frekvenser beroende på larmsystem, foto Svante Wijk.

De lågfrekventa larmen bygger på en teknik som innebär att stödmärkningen på varan skall mätas magnetiskt. Det innebär att larmen ej fungerar om man minskar fälten. Mätningar har visat att nivåerna emellan bågarna, för vissa larmtyper, ligger högre än referensvärdena i SSI:s allmänna råd. Försök har visat att man i viss mån kan reducera de fält som sprids till omgivningen med skärmning. Detta löser dock inte problemet med exponeringen av den person som passerar larmbågarna. De radiofrekventa larmsystemen detekterar en speciell krets som fästs vid varan, vilken normalt tas bort vid kassan. Det är inte endast de som passerar larmbågarna som blir exponerade, utan även omkring bågarna finns fält. För att undvika onödig exponering, bör larmbågar inte placeras allt för nära kassapersonalen.

### 3.7 Källor som ger radiofrekventa fält

När radiotekniken började utvecklas för hundra år sedan, började mänskligheten använda radiofrekventa fält. I början användes frekvenser i kHz-området. Vartefter fler tillämpningar som FM-radio, teve, radar, mobiltelefoni, satellitkommunikation etc. började användas, utsträcktes frekvensområdet uppåt i frekvens. Idag används framförallt området 20 MHz till 3000 MHz för olika typer av radiokommunikation. Upp till tio gånger så höga frekvenser används för radar, mikrovågslänkar och satellitkommunikation, se figur 3. 19.

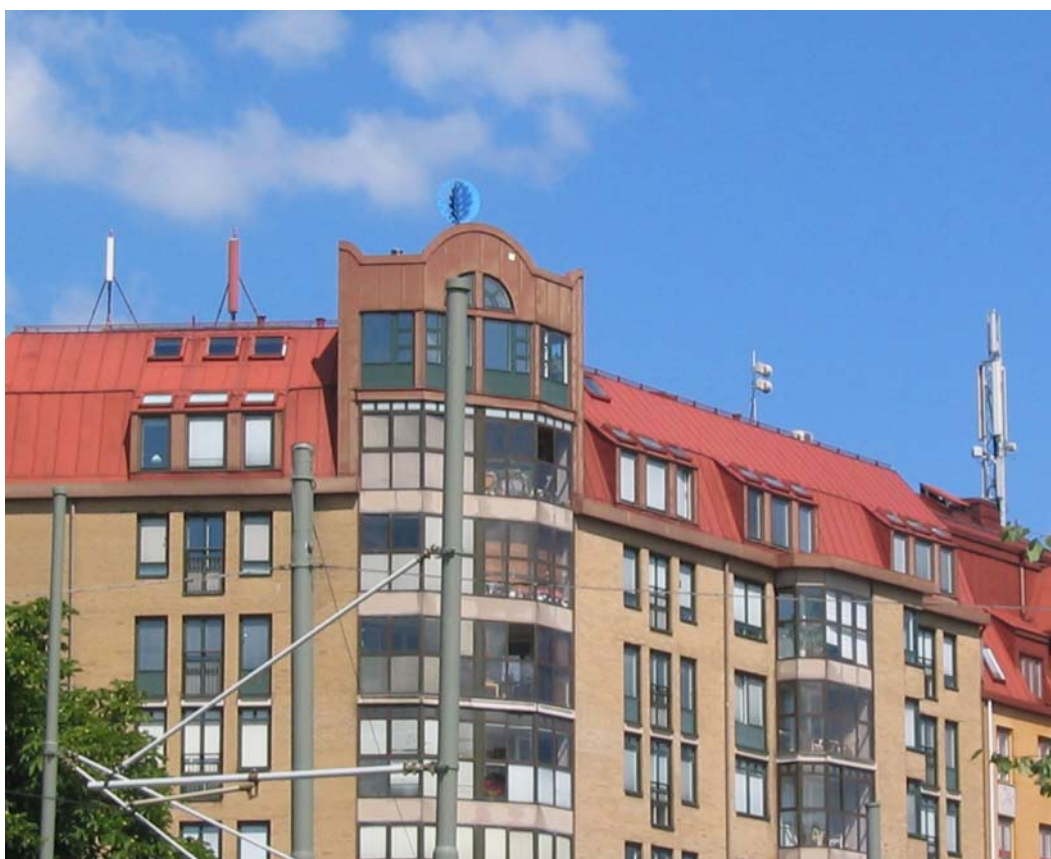


Figur 3.19. Det elektromagnetiska spektret med frekvensallokeringen i Sverige, från Trulsson 2003.

Många källor till radiofrekventa fält är yttre källor, de viktigaste är radio och tevesändare, basstationer för mobiltelefon i samt radarstationer. De största radio- och tevesändarna har

uteffekter på ett antal kW. Basstationer har uteffekter på 5 – 20 W per kanal. En basstationsmast kan ha antenner för flera operatörer och varje operatör, kan använda flera kanaler, varför den sammanlagda uteffekten kan vara över 100 W från en mast. Pulsradarsändare kan ha pulseffekter i storleksordningen MW. I och med att pulsens varaktighet endast är i storleksordningen mikrosekunder, blir medeleffekten avsevärt lägre. De radiofrekventa fälten dämpas av byggnadens tak, väggar och golv. Högre frekvenser dämpas mer än lägre frekvenser. Radio och mobilnät designas oftast för att fältstyrkorna skall vara tillräckliga för mottagning inomhus.

Det blir allt vanligare att man placerar radiofrekventa sändare inne i och utanpå hus, se figur 3.20. Den vanligaste källan är en mobiltelefon eller trådlös telefon. För trådlösa telefoner placeras vanligen basstationerna inomhus. Även basstationer för mobiltelefoni placeras ibland inomhus, det handlar då ofta om så kallade mikroceller, basstationer med låg uteffekt. Det är också vanligt att man placerar vanliga basstationer utvändigt på fasader och tak. Kabeldragning ersätts i allt större utsträckning med radiofrekventa trådlösa alternativ, exempel på detta är bluetooth, trådlösa datormöss och tangentbord samt trådlösa datornät (WLAN).



Figur 3.20. Basstationsantennor placeras ofta på byggnaders fasader och tak, foto J Trulsson.



### 3.7.1 Mobiltelefoni

I de äldre analoga systemen (NMT 450 och det nu nedlagda NMT 900, liksom trådlös telefon CT1) är varje aktiv förbindelse tilldelad två specifika frekvenser, s.k. ”duplex” (en för upplänk, från telefonen och en för nedlänk, från basstationen). Informationen kodas som FM (frekvensmodulation). Detta kallas FDMA (Frequency Division Multiple Access).

GSM-systemet är ett digitalt system som infördes för att öka kapaciteten i det begränsade frekvensutrymmet. Genom att komprimera signalen i tiden till ca 1/8 kan i princip åtta samtal pågå samtidigt på samma frekvens. Från varje telefon sänds således informationen ut i pulser med en frekvens av 217 Hz. Detta benämns TDMA (Time Division Multiple Access). Även för GSM förekommer separata frekvenser för upplänk och nedlänk, se tabell 3.3.

Ett alternativ är att upplänk och nedlänk sänds med samma frekvens, men i olika tidsluckor, kallas TDD (Time Division Duplex). DECT-systemet (modernare trådlöst telefonsystem) utnyttjar en variant av detta med 24 tidsluckor, se figur 3.21.

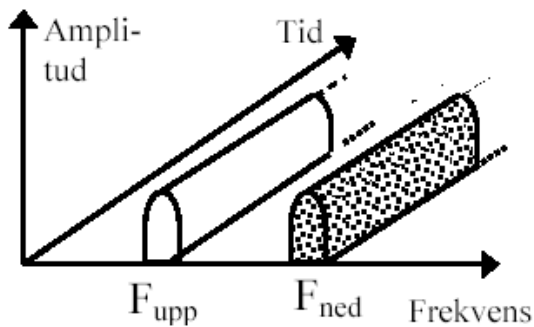
UMTS (Universal Mobile Communications System) är tredje generationens mobilsystem som har introducerats till konsument i Sverige under 2003. Det utnyttjar ett frekvensområde mellan 1900 och 2200 MHz. UMTS använder en bredbandig radioteknik som kallas WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) med dataöverföringshastigheter på upp till 2 Mbit/s (i dagläget dock max 340 kbit/s per användare) vilket möjliggör mobilt internet och avancerade multimediatjänster.

I UMTS-systemen används inte tidsluckor som i GSM, utan olika telefoner kan använda samma frekvens samtidigt, genom att dessa identifieras med koder. Telefoner och dataterminaler sänder därför inte information i pulser. Däremot regleras uteffekten snabbare och med större dynamik än för GSM. Fyra olika effektnivåer finns specificerade för UMTS-terminaler; 0,125, 0,25, 0,5 och 2 watt. Den vanligaste effektnivån för telefoner är 0,125 watt. Basstationernas uteffekter blir liknande de för GSM-basstationer. Fler basstationer behövs för att tillhandahålla de tjänster och den kapacitet som planeras.

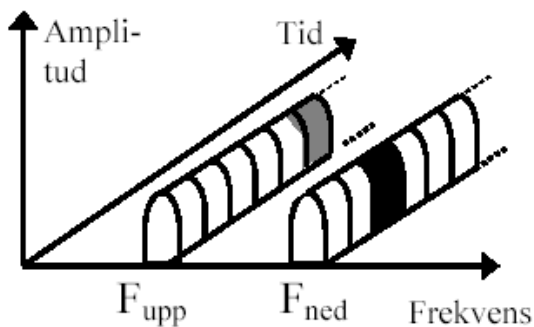
Tabell 3.3. Frekvensområden för olika system

Frekvens (MHz)	Analog system			Digitala system			
	NMT 450	NMT 900	CT1	GSM 900	GSM 1800	DECT	UMTS
Upplänk	453-457,5	890-892	914-915	890-914	1710-1785	1880-1900	1920-1980
Nedlänk	463-467,5	935-937	959-960	935-959	1805-1880	1880-1900	2110-2170 <sup>3</sup>
<i>Följande gäller för mobiltelefonerna</i>							
Max. uteffekt <sup>1</sup>	15 W	1 W	0,01 W	2 W	1 W	0,25 W	0,125 W <sup>4</sup>
Medeleffekt <sup>2</sup>	1,5 eller 15 W	0,1 eller 1 W	0,01 W	0,0004- 0,25 W	0,0001- 0,125 W	0,01 W	<0,02 – 0,25 W
DTX	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja

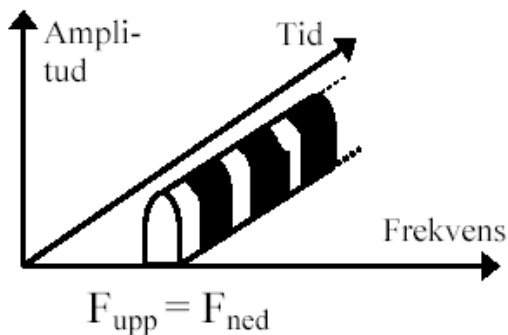
1) För transmission som sker pulsat gäller detta i själva pulsen. 2) För digitala system som sänder informationen i pulser (tidsluckor) är medeleffekten alltid lägre än maxeffekten. För system med nedreglering (se vidare nedan) bestäms den reella nivån av basstationen. I tabellen anges då variationsbredden, d.v.s. lägsta och högsta värdet på medeleffekten. 3) Upp- respektive nedlänk för frekvensseparerade länkar (FDD). Dessutom används tidseparation i några frekvensband. 4) Andra effektnivåer förekommer, se texten.



FDMA (Frequency Division Multiple Access): Upp- och nedlänk använder olika frekvenser.



TDMA (Time Division Multiple Access): Upp- och nedlänk använder olika frekvenser. En användare utnyttjar en av flera tidsluckor.



TDD (Time Division Duplex): Upp- och nedlänk använder samma frekvens, men i olika tidsluckor.

Figur 3.21. Beskrivning av olika system för frekvensutnyttjande.  $F_{\text{upp}}$  står för upplänksfrekvensen medan  $F_{\text{ned}}$  står för nedlänksfrekvensen.

För de system som sänder pulsad information från mobiltelefonerna (GSM, DECT) måste man skilja på den maximala uteffekten (i pulsen) och den genomsnittliga effekten. För GSM är den genomsnittliga effekten  $1/8$  av pulseffekten, medan för DECT är den  $1/24$ -del.

Nedreglering (power control) innebär att signalstyrkan i pulsen sänks till den nivå som behövs för signalöverföring. Detta innebär också att störningsrisken för samtal i angränsande områden minskar. När en kontakt mellan mobiltelefonen och basstationen först upprättas, används en förbestäm nivå, men sedan sker nedreglering till en nivå som bestäms av kontakten. För NMT 450 och NMT 900 sker detta mellan två nivåer, medan för GSM och UMTS

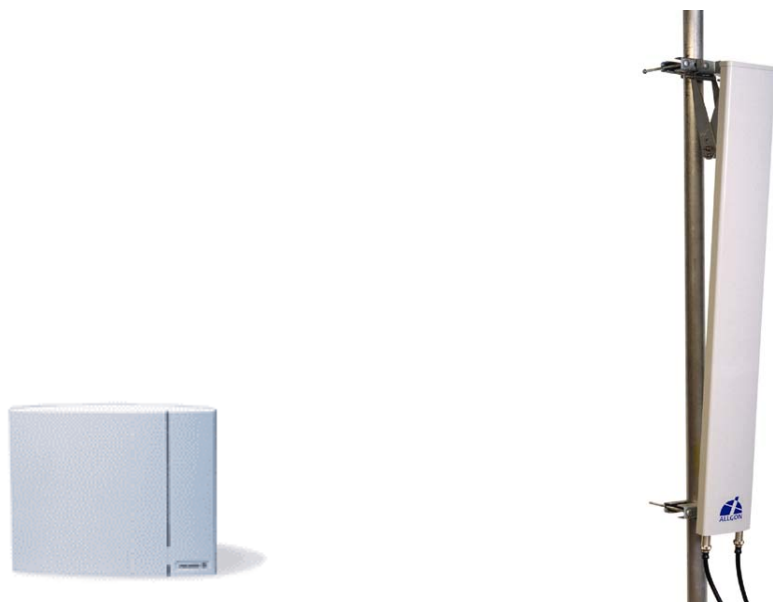
sker nedregleringen i ett större antal steg. DECT och CT1 saknar nedreglering. För UMTS varierar effektnivån på mobiltelefonerna mycket snabbt för att säkerställa en konstant signalstyrka vid mottagaren (basstationen). Nedregleringsfunktionen används i viss utsträckning även för signalerna från basstationer.

DTX (Discontinuous Transmission) innebär att telefonen minskar sin aktivitet när användaren lyssnar – endast viss överföring av bakgrundsljudet sker. Användningen av DTX innebär att medeluteffekten i genomsnitt sänks med bortåt 50 %. DTX finns i GSM-systemet, en motsvarande funktion finns även i UMTS-systemet. Både DTX och nedreglering har införts för att förbättra utnyttjandet av spektrum och även spara batteriet i telefonen. Bägge funktionerna styrs av nätet, som reglerar signalstyrkan och överföringshastigheten i både ned- och upplänk. Styrningen sker i varje enskild kontakt mellan mobiltelefon och basstation.

### ***Basstationer***

En basstation består av flera komponenter; själva mottagar/sändar- och kontrollenheterna är förbundna med kabel till en antenn. Antennen placeras på mast, hustak eller på husväggar. Mottagar- och sändarenheterna placeras inte nödvändigtvis i omedelbar anslutning till antennen, utan på ett lämpligt ställe som underlättar åtkomligheten vid t.ex. service, d.v.s. på vindskeller eller i markplan i fastigheter eller i en egen byggnad vid mast.

Basstationer för DECT-systemet är små enheter med integrerade antenner som normalt placeras på en vägg strax under taket, se figur 3. 22.



Figur 3.22. Basstation för DECT-systemet till vänster och utomhusantenn för UMTS basstation, till höger, LPG Allgon (2003).

Basstationer har en viss uteffekt, som tillsammans med antenntal och placering avgör det önskade täckningsområdet. För utomhus placerade UMTS och GSM-stationer är den effekt,

som alstras i sändaren, 10 – 20 W per frekvenskanal. Ungefär hälften av denna effekt förloras på grund av dämpning i kabeln till antenn. Effekten till basstationsantennerna för små celler inomhus (och för trådlösa telefoner) är normalt betydligt lägre; t.ex. DECT-stationer på 0,25 W eller inomhus placerade GSM-stationer på 0,01 W per frekvenskanal. De angivna effektvärdena är toppvärden, de kan i vissa fall vara minskade på grund av nedreglering och tidsvariation. Från en basstation sänds ofta flera frekvenskanaler. I en brittisk översikt (Mann, 2000) varierade antalet kanaler mellan 1 och 5, och den totala effekten från basstationen mellan 1 och 63 W.

Exponeringen i en punkt i närheten av en basstationsantenn beror på ett antal olika faktorer, som hur många frekvenskanaler som utsänds via antennen, vilken effekt som varje frekvenskanal sänds med, avstånd till antennen, vilken riktverkan antennen har, samt dämpning och reflexer från andra föremål i närheten.

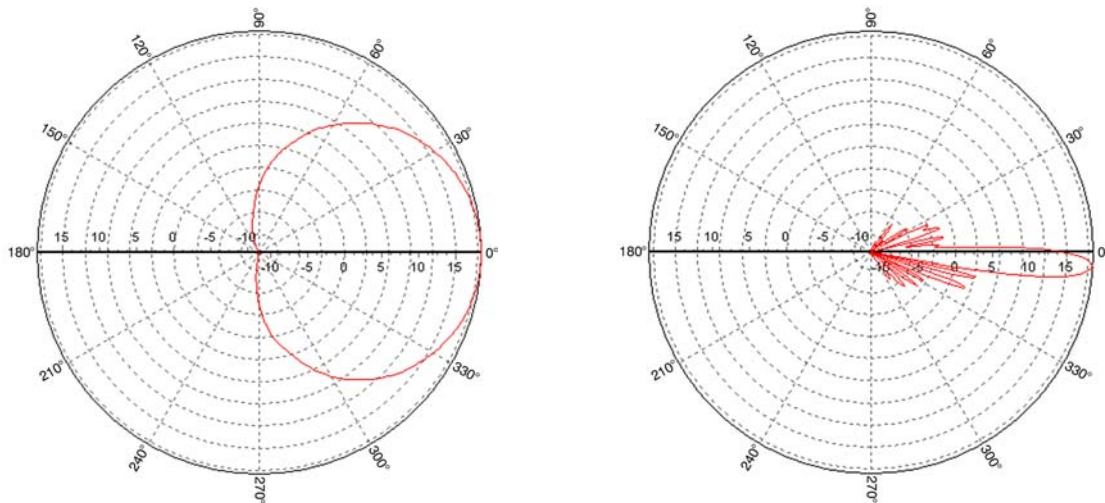
Från en antenn som strålar lika i alla riktningar och utan störande (skymmande) föremål kommer exponeringen i fjärrfältet att avta med kvadraten på avståndet. Denna exponering kan då enkelt beräknas som

$$S = P/4\pi r^2,$$

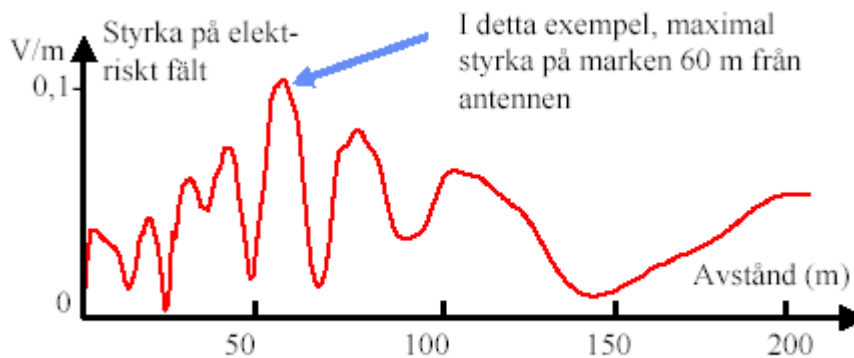
där  $S$  är effekttätheten i  $W/m^2$ ,  $P$  är uteffekten i  $W$  och  $r$  avståndet i  $m$ . Från en 10 W antenn blir då exponeringen på 10 m avstånd  $0,008 W/m^2$ . Men eftersom antennen har en riktverkan, blir avståndstagandet mer komplicerat än det grundläggande  $1/r^2$ -antagandet. Begreppet antennförstärkning redovisar hur mycket starkare utstrålningen är i en viss bestämd riktning, vilket motsvaras av svagare utstrålning i andra riktningar.

Exponeringen bakom antennen kan för en typisk basstationsantenn vara omkring 300 gånger lägre än i huvudstrålriktningen. Antennens karakteristik väljs för att ge den avsedda täckningen av cellen. Ofta är utsträckningen relativt vid horisontellt (t.ex. en antenn som täcker in en sektor på  $120^\circ$ ) medan utsträckningen normalt är mycket smalare vertikalt (ofta  $5 - 10^\circ$ ), och ofta något nedåtriktad, se figur 3.23.

Riktverkan hos antennen styr hur exponeringen på marken varierar med avståndet. Exponeringen på marken är normalt mycket låg rakt under antennen, men ökar när man flyttar sig bort från antennen i och med att man kommer in i olika sidlobber och huvudlobben. Dock avtar alltid styrka i varje riktning från antennen på grund av avståndsavtagandet från källan. Detta sammantaget innebär att den högsta exponeringen på marken kan uppträda kanske 50-300 m från antennen, för att sedan åter avta, se figur 3.24. En konsekvens av detta är att en antenn placerad på taket av ett hus ofta inte utgör den största källan till exponering inne i huset, större bidrag kommer vanligen från sändare placerade på andra punkter i närheten.



Figur 3.23. Antennendiagram för basstationsantenn, till vänster visas den horisontella utsträckningen och till höger den vertikala, Allgon (2003).



Figur 3.24. Styrkan av det elektriska fältet kommer att variera med det horisontella avståndet från en mast med basstationsantenn. På grund av en kombination av huvudlobens vertikala riktning, olika sidolobor, reflektioner och avståndet uppträder den maximala exponeringen på marken på ett visst avstånd från masten, Berquist m.fl. 2001.

### 3.7.2 Uppmätt exponering för radiofrekventa fält

I detta avsnitt redovisas uppmätningar på den totala exponeringen för radiofrekventa fält, som genomförts vid institutionen för Elektromagnetik vid Chalmers, Uddmar (1999) och Hamnerius och Uddmar (2000). Mätningarna har utförts vid frekvenser mellan 30 och 2 000 MHz. Detta innebär att förutom mobiltelefoni omfattar det även övriga källor inom området som radio och tevesändare, kommunikationsradio etc. Exponeringen uttrycks i  $W/m^2$  eller i  $1/1000$  av detta mått, d.v.s.  $mW/m^2$ . Mätningarna gjordes frekvensspecifikt med anpassad bandbredd för att kunna identifiera olika källor. I de 31 mätningar som redovisas här, valdes mätplatser-

na enligt följande: ett storstadsområde (Göteborg) utomhus, en mindre stad (Kungälv) utomhus, samt landsbygd (olika platser i södra och västra Sverige). Dessa mätningar utfördes i markplan, t.ex. på trottoarer. Inomhusmätningar genomfördes i Göteborg och Karlskrona.

Mätningarna gjordes 1999-2000. Inom varje typ av område valdes mätplatserna slumpmässigt utan hänsyn till avstånd till olika basstationer – detta för att erhålla en rimligt representativ beskrivning av allmänhetens exponering. På grund av tätheten av basstationer i framförallt storstad, kan man dock anta att avståndet till närmaste basstation där sällan är mer än omkring 500 m, medan det är rimligt att anta att avståndet oftast var längre på landsbygd.

Mätresultaten redovisas i tabell 3.4. I tabellen anges dels medianvärdet för den totala exponeringen i frekvensområdet 30 – 2000 MHz, dels variationsbredden för de olika mätningarna. Medianen är det mellersta värdet; hälften av mätningarna har lägre och hälften av mätningarna har högre värden, variationsbredden redovisar det lägsta och det högsta uppmätta värdet.

Tabellen visar på mycket stora skillnader mellan storstad, mindre stad och landsbygd, på i stort sett en storleksordning mellan varje typ av plats. Närhet till en kraftigare RF-källa som radio/TV-master kan dock lokalt förändra detta mönster.

Tabell 3.4. Resultat av mätningar av exponering för radiofrekventa fält (30 – 2000 MHz).

Område	Antal mätningar	Exponering Variationsbredd mW/m <sup>2</sup>	Exponering Median mW/m <sup>2</sup>
<b>Utomhus</b>			
Storstad,	n=8	0,008 - 3,0	0,5
Mindre stad,	n=3	0,02 - 0,05	0,03
Landsbygd,	n=10	0,00007 - 0,04	0,002
Nära radio/TV-master <sup>1)</sup>	n=3	0,4 – 2,3	1,1
<b>Inomhus</b>			
Bostäder <sup>2)</sup>	n=4	0,0003 - 0,01	0,005
Kontor mm <sup>3)</sup>	n=3	0,02- 1,5	0,3

1) Avstånd på ca 200-300 m. En mätning vardera i storstad, mindre stad och landsbygd.

2) Alla värden uppmätta i storstad.

3) Två mätningar i storstad, det lägsta uppmättes i en mindre stad.

Man kan också utläsa betydande skillnader mellan mätningar utomhus och inomhus i storstad. I en lägenhet mättes exponeringen både utomhus (0,07 mW/m<sup>2</sup>) och inomhus (0,008 mW/m<sup>2</sup>). Skillnaden beror huvudsakligen på dämpning i väggarna. Andra faktorer som närhet till fönster eller inomhus placerade basstationer kan även påverka detta.

Den totala exponeringen från olika källor för radiofrekventa fält i frekvensområdet 30 – 2 000 MHz anges i tabell 3.5, uttryckt som procentandel av den maximalt referensnivån, enligt SSI:s allmänna råd (2002), som exponeringen motsvarar. Det högsta värdet som uppmättes i de här beskrivna mätningarna har använts. I beräkningen har exponering från olika källor med olika frekvenser summerats i enlighet med SSI:s anvisningar.

Tabell 3.5. Högsta uppmätta värde uttryckt som procentandel av SSI:s referensvärden för utomhusmätningarna.

Område	Allmänt	Nära radio/TV-sändare
Storstad	0,07 %	0,07 %
Mindre stad	0,001 %	0,02 %
Landsbygd	0,0009 %	0,04 %

För storstad betyder detta att de högst uppmätta totala exponeringarna uppgick till omkring 7/10000-delar av referensvärdet. Andra lokaliteter som testades uppvisade lägre nivåer. En rimlig slutsats blir att exponering i Sverige för radiofrekventa fält från basstationer för mobiltelefoni, från radio- och TV-sändare samt andra liknande sändare, på platser där allmänheten normalt befinner sig, kanske uppgår till omkring en tusendel (0,1 %) eller mindre av referensvärdet. Sådana situationer har i denna rapport främst noterats i storstad, samt på visst avstånd från större radio- och TV-sändare. I mindre samhällen och på landsbygden är exponeringen normalt mycket lägre – utom i närhet till starka sändare av typ radio/TV-sändare. Basstationer för mobiltelefoni stod för storleksordningen hälften av den totala exponeringen, Uddmar (1999).

## 4 Mätning av elektriska och magnetiska fält i byggnader

### 4.1 Mätning av lågfrekventa fält

I detta avsnitt redogörs för en mätmetod för att mäta lågfrekventa elektriska och magnetiska fält, mätning av radiofrekventa fält redovisas i avsnitt 4.2. Syftet med mätmetoden är att den skall möjliggöra en adekvat jämförelse av den elektriska miljön mellan olika mätpunkter och tidpunkter. Mätmetoden har grunden i den etablerade mätmetod som använts i den frivilliga provningen av bildskärmar SWEDAC (1990), TCO (1995, 1999, 2003).

Det är lämpligt att dela upp fälten i byggnaden i:

- bakgrundsfält - från yttre källor och fasta installationer i byggnaden
- lokala fält - från apparater och armaturer

#### *Frekvensområde*

Vid den frivilliga provningen av bildskärmar genomförs mätningarna i två frekvensområden:

**Band I:** 5 Hz - 2 kHz där vanligtvis det nätfrekventa 50 Hz-fältet dominerar - Kallas i bildskärmsmätningar *bildfrekvensområdet*.

**Band II:** 2 - 400 kHz där bildskärmar, switchade nätaggregat, hf-don och lysrörens plasma-svängningar dominerar - Kallas i bildskärmsmätningar *linjefrekvensområdet*.

Byggnadens elinstallationer och normala hushålls och kontorsapparater avger fält inom dessa frekvensområden. Emissionerna utanför dessa frekvensområden är vanligtvis mycket låga med undantag för elektrostatiska fält från vissa äldre bildskärmar och teveapparater. Det elektrostatiska fältet är dock starkt beroende av luftfuktigheten i rummet varför det inte är möjligt att utföra reproducerbara mätningar av elektrostatiska fält i normal miljö. Moderna bildskärmar har i allmänhet låga elektrostatiska fält. Mätning av emissioner för frekvenser över 400 kHz behandlas i avsnitt 4.2.

I detta dokument anges hur en mätning i band I och II kan genomföras.

#### *Mätinstrument*

För mätningar i detta frekvensområde har flera tillverkare tagit fram praktiska batteridrivna portabla instrument, till överkomliga priser. De mätinstrument som exemplifieras nedan, uppfyller kraven i Swedacs mätmetod för bildskärmar, MPR (1990) för mätning av elektriska och magnetiska växelfält i band I och II.

För mätningar av det magnetiska lågfrekventa fältet i band I finns t.ex. det mätinstrument som visas till vänster i figur 4.1. Detta instrument mäter RMS-värdet av resultanten av den magne-



tiska flödestätheten. Frekvensen för fält i band I är vanligtvis 50 Hz, dvs. samma som det nätfrekvensen. Ibland förekommer också övertoner till detta (främst 150 Hz). För att få med även dessa har mätinstrumentet förutom mätmöjlighet vid fasta frekvenser som 50 och 150 Hz, även ett bredbandsområde 5 Hz till 2000 Hz, band I. Detta område är bra att använda vid normala mätningar då det täcker in nätets grundfrekvens, övertoner samt eventuella bidrag från järnvägstrafik (frekvens 16,7 Hz).

Ett exempel på ett litet praktiskt, registrerande instrument, visas till höger i figur 4.1. Detta instrument avviker något från MPR (1990) i och med att mätsonden gjorts mindre så att den integrerats i instrumentet. Mätinstrumentet mäter i ett bredbandsområde 30 Hz till 2000 Hz. Skälet till att frekvensområdet begränsats nedåt till 30 Hz är att instrumentet även är tänkt för att kunna bäras på kroppen som en dosimeter. Detta för att inte de magnetfältsändringar som uppstår vid rörelse i det jordmagnetiska fältet skall registreras. Även detta instrument mäter RMS-värdet av resultanten av den magnetiska flödestätheten. Mätinstrumentet lagrar de uppmätta värdena i ett dataminne som sedan kan läsas över till en dator.



Figur 4.1. Mätinstrument för lågfrekventa magnetfält, foto EnviroMentor AB.

Mätningar i frekvensområdet 2-400 kHz, band II, kan genomföras med ett liknande instrument som mäter RMS-värdet av resultanten av den magnetiska flödestätheten. Anledningen till att man behöver olika instrument för att mäta magnetfältet i band I och band II är att de magnetfältsavkännande sensorerna är spolar. Utsignalen från spolen är proportionell mot frekvensen. Detta innebär att man får en låg utsignal från lågfrekventa fält, detta kompenserar instrumenttillverkarna genom att använda många lindningsvarv i spolarna, så att en tillräcklig spänning erhålls. En spole innebär naturligtvis en induktans, men mellan spolvarven bildas det också en kapacitans vilket innebär att spolen bildar en resonanskrets. En mångvarvig spole har låg resonansfrekvens, vilket innebär att den inte kan användas i band II. I band II är frekvensen högre varför spolar med få varv kan användas. Instrumenten har inbyggda filter som förhindrar att signaler vid spolarnas resonansfrekvenser registreras.

Det elektriska fältet kan uppmätas med en mätsond som mäter den elektriska fältstyrkan som faller in mot en metallyta. Ett exempel på mätinstrument visas i figur 4.2. Mätinstrumentet är omkopplingsbart för mätning i band I eller band II. Mätsonden har utvecklats för att mäta den elektriska fältstyrka som faller in mot en person. Metallytan skall simulera människokroppens påverkan på fältbilden. Elektrisk fältstyrka fås som potentialskillnad i volt, dividerat med avståndet i meter. Man förstår därav att mätsondens potential påverkar mätvärdet. När sonden används för att mäta elektriska fält från bildskärmar skall den anslutas till jordpotential (MPR

1990). Man mäter då den fältstyrka som faller in mot en jordad operatör. Operatören är ej alltid jordad, men att göra mätningarna relativt jord, är det enda rimliga när det gäller bildskärmar och andra elapparater om man skall få några reproducerbara och jämförbara mätvärden för olika apparater.

Man får vara uppmärksam på att skyddsjorden inte alltid ligger på exakt noll volt. Om vid en mätning alla föremål verkar spänningssatta, även sådana föremål som brukar vara jordade som radiatorer för vattenburen värme, kan man misstänka att det är skyddsjorden som inte ligger på noll volt. Skyddsjorden ligger ibland på en 50 Hz-spänning, men även andra frekvenser kan finnas. Försök hitta en alternativ jordreferens (t ex ett jordspett utomhus) och mät spänning och frekvens på skyddsjorden.

Förutom fältinstrument är det praktiskt att använda en tångamperemeter för att mäta eventuella vagabonderande strömmar i kablar och metallstrukturer, samt ett oscilloskop för att studera fältens kurvform.



Figur 4.2 Mätinstrument för mätning av lågfrekventa elektriska i band I och II, foto EnviroMentor AB.

Det har genom åren tagits fram en rad mätmetoder för att mäta lågfrekventa magnetfält i byggnader. De flesta metoderna har stora likheter, men skiljer i detaljer. Under år 2002 genomfördes ett examensarbete vid Chalmers, där dessa mätmetoder studerades. Genom att ta till vara goda moment i de olika metoderna, formulerades ett förslag till förenad mätmetod, Almgren m.fl (2002). Förslaget redovisas nedan.

#### 4.1.1 Mätning av lågfrekventa magnetfält i inomhusmiljö

Metoden beskriver mätning av lågfrekventa magnetfält i lokaler inomhus. En magnetfältsmätning kan utföras med olika syfte. Om det är den allmänna nivån i en lokal som ska bestämmas läggs lika stor vikt vid hela rummet. I det fallet tas ingen särskild hänsyn till de plat-

ser personer vistas mycket på. Om en mätning istället görs för att uppskatta en persons exponering, är det just dessa platser som är av störst intresse. Denna metod är utformad för att täcka in båda dessa syften.

#### *Allmänt att tänka på vid mätning*

För att få ett så representativt resultat som möjligt, bör mätning genomföras då driften är normal. I kontorslokaler bör en mätning ske under arbetstid. För att få en uppfattning om belastningen kan det i kontorslokaler noteras hur många datorer och lysrör som är i drift. I bostäder är det att föredra att mäta under kvällstid då aktiviteten oftast är som störst.

Generellt bör mätning nära lokala källor undvikas, förutom då det är personexponering som är av intresse. Lokala källor på platser där personen vistas mest ska då inte undvikas. Mätning nära lokala källor ska alltid kommenteras. Om många sådana punkter inkluderas utan kommentar kommer resultatet bli missvisande.

Det är också viktigt att instrumentet hålls stilla vid mätning för att undvika att strömmar induceras, av det jordmagnetiska fältet, i instrumentet och på så sätt ge ett felaktigt mätresultat.

#### *Placering av mätpunkter*

För att få en bra representation av en stående människa mäts tre höjder i varje mätpunkt. Höjderna är 0.2, 1.0 och 1.8 m. Den lägsta punkten är placerad en bit ifrån golvet för att undvika alltför stor påverkan från t ex lysrör i underliggande lokaler. Även den högsta punkten är begränsad i syfte att inte komma för nära lysrör. Då avståndet mellan punkterna är lika stort är det lättare att se gradienter, dvs variationer, och ett relativt stort avstånd, i detta fall 0.8 m, ger en tydlig gradientbild.

Antalet mätpunkter och deras placering anpassas efter rummets storlek och form samt beroende på magnetfältets variation. Ofta kan framförallt större lokaler ses som ett antal hopsatta rektanglar och då kan dessa rektanglar betraktas som egna sektioner och mätas som separata rum. Mätning ska göras enligt en modell av samplingsteoremet, där flera mätpunkter erfordras då magnetfältet varierar mer.

Som grund för placering av mätpunkter används ett rutnät med det rekommenderade avståndet tre meter, men det är viktigt att rutnätet anpassas efter rummets storlek. Rutnätet ska placeras så att en representativ bild ges av rummet. Detta kan innebära olika avstånd till väggar, men nätet får inte placeras så nära att eventuella magnetfält från exempelvis elledningar i väggen stör mätvärdena.

Vid mätning i mindre rum (<10 m<sup>2</sup>) utförs en mätning i mitten av rummet. I mellanstora rum, där ett rutnät med tre meters avstånd mellan punkterna är för stort, görs mätning i fyra punkter med en punkt på varje halvdiagonal.

Mätning görs alltid i de fasta punkterna, men ibland kan magnetfältet variera så pass mycket att extra mätpunkter behövs. Om mätpunkter tas så ofta att ingen nivå (se dokumentation) hoppas över, erhålls en tydlig bild av magnetfältsnivån. För att ingen nivå ska hoppas över görs en avsökning mellan mätpunkterna och om magnetfältet avviker till någon annan nivå än

de två punkternas, görs en extra mätning. Det är inte nödvändigt att ha de extra punkterna precis där nivåändringen sker, utan de placeras på ett rekommenderat avstånd på en meter till någon av de närliggande ordinarie punkterna. Extra mätningar görs dessutom vid platser där människor vistas mycket, t ex arbetsplats och säng.

Vid placeringen av mätpunkter är det alltid det sunda förnuftet som ska styra hur många punkter som egentligen behövs. I vissa fall är det inte av betydelse om någon nivå hoppas över och då är det bara onödigt jobb att mäta i en extra punkt. Fler punkter är dock sällan en nackdel.

### *Utrustning*

De instrument som används till en magnetfältsmätning ska mäta rms-värdet av den magnetiska flödestätheten i det lågfrekventa området där grundfrekvensen (50 Hz) och dess övertoner finns. För att undvika rikttningsberoende ska instrumenten mäta i tre dimensioner samtidigt. Instrumenten ska även vara väl kalibrerade.

### *Dokumentation*

Dokumentationen är viktig för att en mätning ska kunna utvärderas och eventuellt reproduceras. Om dokumentationen inte är korrekt spelar det ingen roll hur väl själva mätningen utförs. I dokumentationen från en mätning ska information finnas om när (datum och tidpunkt för mätningen) och hur mätningen utfördes. Mätpunkternas placering, lokala källor, extrapunkter där personer vistas ofta, vilket/vilka instrument som använts, tillverkare, typbeteckning, serienummer och senaste kalibreringsdatum anges samt loggning är viktiga punkter att ha med.

Vid valet av mätpunkter är det lättare att få bättre noggrannhet i dokumentationen om man tar fasta på naturliga linjer i rummet såsom pelare eller väggar.

Det är mest naturligt att i tabellform presentera magnetfältets medelvärde på de tre höjderna i alla punkter. Om magnetfältet fluktuerar mycket i tiden kan det även vara intressant att ta med max- och minvärdena. Det är inte alltid dessa värden uppmäts, men om de mäts bör de i alla fall presenteras i tabellform i en rapport.

En tabell är dock inte alltid så givande för att skapa sig en uppfattning om magnetfältsnivån. En mer lättöverskådlig presentationsform är därför en planritning med mätpunkterna på en meters höjd, markerade enligt följande nivåer med tillhörande färgskala:

- > 4.0  $\mu\text{T}$
- 2.0 – 4.0  $\mu\text{T}$
- 1.0 – 2.0  $\mu\text{T}$
- 0.6 – 1.0  $\mu\text{T}$
- 0.4 – 0.6  $\mu\text{T}$
- 0.3 – 0.4  $\mu\text{T}$
- 0.2 – 0.3  $\mu\text{T}$
- < 0.2  $\mu\text{T}$

I de fall då mätning utförs i lokaler med lokala källor som alstrar höga magnetfält (>4.0  $\mu\text{T}$ ), t ex industriella induktionsugnar, måste denna nivåskala justeras. I planritningen markeras

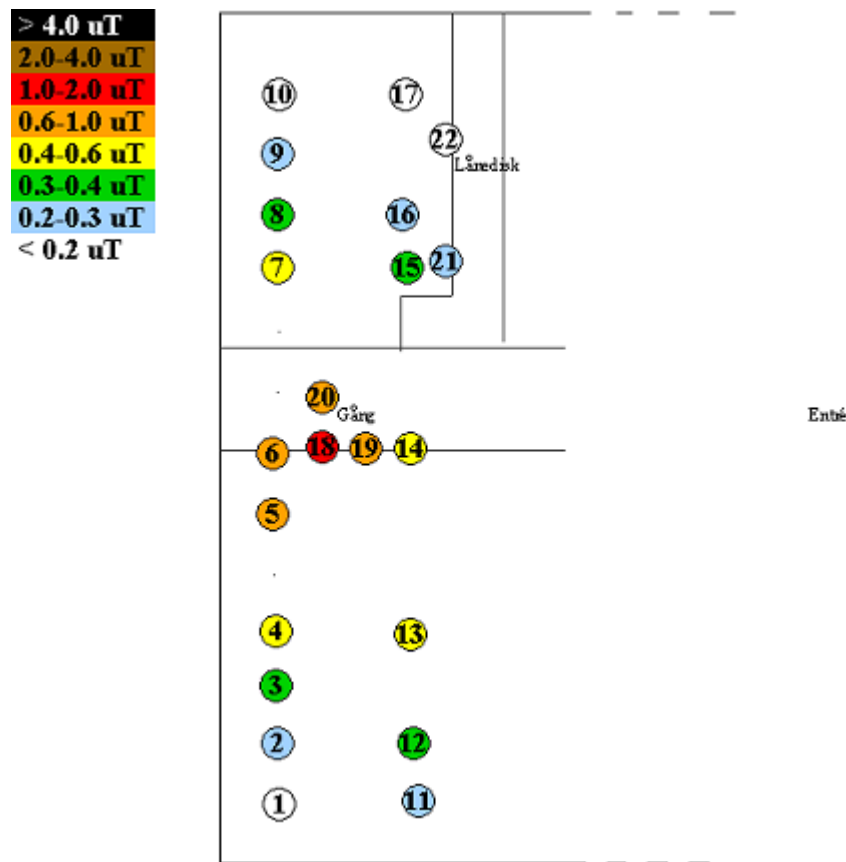
typen av rum samt rummets dimension. Eventuella lokala källor ska markeras eller kommenteras.



Figur 4.3 Mätstav för magnetfältsmätningar, Almgren m.fl. (2002).

En speciell mätstav med sensorer på höjderna 0,2 1 och 1,8 m har tagits fram för att underlätta mätningarna, se figur 4.3. Mätvärdena registreras automatiskt i en handdator.

I figur 4.4 visas en grafisk redovisning av en mätning på Chalmers huvudbibliotek, lånedis-  
kar, våning 2, Göteborg, 2002-09-24, Mätning är utförd enligt den föreslagna metoden.



Figur 4.4 Mätning i ett rutnmönster med tre meters mellanrum, med extrapunkter där magnetfältet varierar snabbt, Almgren m.fl. (2002).

Om vagabonderande strömmar misstänks vara källan, kan dessa strömmar uppmätas med tångamperemeter i de fall det går att greppa ledningen med tångamperemetern. För grova vatten och fjärrvärmeledningar går det ej att använda konventionella tångamperemetrar. Då kan strömmen uppskattas genom att mäta magnetfältets styrka som funktion av avståndet från ledningen. Magnetfältet från en rak enkelledare avtar som ett över avståndet (2.4):

$$B = \mu_0 \cdot H = \frac{2 \cdot 10^{-7} I}{r} \quad (\text{T})$$

Genom att rita upp magnetfältet som funktion av avståndet från ledningens centrumpunkt och identifiera en del av kurvan som avtar som ett över avståndet, kan man med hjälp av ekv. (2.4) beräkna strömmen. Anledningen till att man bör rita upp en kurva och identifiera ett över avståndstermen är att man då kan sortera bort andra källor som också kan ge bidrag i mätpunkterna. Dessa källor har andra centrumpunkter och också ofta annat avståndsavtagande.

Om sonden rörs i det jordmagnetiska fältet alstras signaler i mätpolarna, det är därför viktigt att sonden är stilla vid avläsningarna. I hus med vagabonderande strömmar har ofta magnetfältet en kraftig tidsvariation. Man får i dessa fall mäta över en längre period i mätpunkten

och ange ett intervall (lägsta - högsta värde) i mätprotokollen. I dessa fall måste man vara uppmärksam på vad som är rumsvariation och vad som är tidsvariation för att kunna bestämma källorna riktigt. För att kunna avgöra detta bör man använda loggande instrument. Genom att placera ut en magnetfältslogger i det mätta rummet samt en eller flera loggers vid misstänkta källor och genomföra en samtidig mätning kan ofta fastställa källan. Man studerar de samtidiga magnetfältsregistreringarna, i de olika mätpunkterna. Man ser vanligtvis en starkt tidsvarierande signal. Om man ser samma tidsvariation, men med större amplitud, vid någon av de andra mätpunkterna, kan man dra slutsatsen att källan för denna variation ligger närmare denna mätpunkt.

#### 4.1.2 Mätning av lågfrekventa elektriska fält i inomhusmiljö

##### *Mätning av bakgrunds fält*

De elektriska fälten i rummet beror i allmänhet av lokala källor i rummet som elkablar i väggar, ojordade elapparater, kapacitivt spänningsatta metallföremål mm. Därför genomförs en mätning då apparaterna är avstängda och om möjligt nätsladdarna utdragna för att bestämma rummets bakgrundsnivå. Dessutom genomförs en mätning med påslagna apparater för att fastställa den totala fältnivån.

Då de ovan beskrivna mätinstrumenten för elfält mäter fält i en riktning rakt mot mätsonden, måste den vändas i olika riktningar för att fastställa riktningen mot källan. Denna riktning (mätriktningen) anges med en pil på en ritning över lokalen tillsammans med mätvärdet (RMS-värde i V/m) samt angivelse av vilket frekvensband som avses. Ibland finns det flera källor, då anges fältstyrkan i olika riktningar i den punkten. Då instrumentet även reagerar på ändringar av det elektrostatiska fältet är det viktigt att mätaren hålls stilla och att inga personer finns framför sonden eller rör sig i dess närhet.

##### *Mätning av lokala fält*

Elektriska apparater som bildskärmar, skrivbordslampor etc som ger märkbara bidrag i mätpunkter där man normalt befinner sig vid arbete, mäts separat på följande sätt. För bildskärmar mäts det bild- och linjefrekventa magnetiska respektive elektriska fältet i två punkter 30 resp 50 cm framför bildskärmen. Positionerna och mätningen görs i överensstämmelse med vad som föreskrivs i mätförfarandet från Swedac (MPR 1990) vilket används i den frivilliga provningen av bildskärmar. Dock begränsas mätningen till mätpunkterna framför skärmen. Om någon vistas nära sidan eller bakom skärmen, kompletteras mätningen med mätpunkter i dessa positioner. Då mätningarna utförs i arbetsmiljö kan Swedacs krav på låga bakgrundsfält ofta ej uppfyllas. Bakgrundsfälten med avstängd bildskärm måste därför också mätas.

Man kan dock inte beräkna apparatens verkliga fältnivå genom att subtrahera bakgrundsnivån, då man ej kan veta om bakgrundsfältet samverkar eller motverkar med det lokala fältet från apparaten. Detta innebär att bakgrundsfältet får betraktas som en av komponenterna vid en onoggrannhetsberäkning. Positioneringen kan ej heller göras med samma noggrannhet som i ett laboratorium. Syftet med denna mätning är inte att göra en fullständig mätning helt enligt MPR (1990) av bildskärmen, utan att mäta fälten kring skärmen i den miljö den befinner sig.

Uppmätning av fält från övriga elapparater kan göras i analogi med bildskärmsmätningarna. För att få jämförbarhet mellan olika apparater bör mätpunkterna normalt väljas till avstånden 30 och 50 cm från höljet. Framförallt uppmäts de riktningar där man befinner sig vid normalt arbete. Om man normalt befinner sig närmare apparaten än 30 cm, får man göra en kompletterande mätning på detta avstånd.

Elektriska fält kan avges även från metallföremål som ej är elektriskt anslutna. Metalliska skrivbordsunderreden mm kan bli kapacitivt spänningsatta, om en elkabel ligger över bordet. Även sådana källor uppmäts på 30 och 50 cm:s avstånd och registreras. Mätvärdena från elektriska apparater mm noteras i separata protokoll. I speciella fall, då bakgrundsnivåerna är höga kan mätning i laboratorium behöva genomföras.

#### *Fältens tidsvariation*

För att få en uppfattning av fältens tidsvariation, kan magnet- och elfältmätarna inkopplas till ett oscilloskop. Man får då en bild av tidsutseendet och kan dokumentera detta. Om man istället ansluter en spektrumanalysator kan fälten frekvensanalyseras.

## 4.2 Mätning av radiofrekventa fält

Mätning av radiofrekventa fält kräver specialiserad utrustning och hög kompetens hos den som utför mätningarna för att tillförlitliga resultat skall uppnås. En utförlig beskrivning av mättekniken ges i Uddmar, 1999, samt i Trulsson 2003.

Då radiofrekvensområdet täcker ett stort frekvensintervall bör man använda frekvensselektiva mätningar. Ett lämpligt mätinstrument är en spektrumanalysator, se figur 4.5.



Figur 4.5. Med en spektrumanalysator uppmäts både styrka och frekvens på signalen, foto J Trulsson.



Till spektrumanalysatorns ingång ansluts en mätantenn som täcker de aktuella mätfrekvenserna, i figur 4.6 visas en bredbandig mätantenn. Antennen mäter den elektriska fältstyrkan i en riktning. För att bestämma den totala fältstyrkan måste mätningar genomföras med antennen i tre vinkelräta riktningar. Antennen skall placeras på ett icke-metalliskt stativ för att minimera på verkan av omgivningen. Då våglängden är kort, storleksordningen decimeter för mobiltelefonifrekvenser, kan mätvärdet variera när antennen flyttas en del av en våglängd. Detta beror på att strålningen normalt går flera vägar och det sammanlagda fältet kan variera om de olika vågorna ger konstruktiv eller destruktiv interferens. Man bör därför mäta i flera närliggande positioner och sedan bilda ett medelvärde över mätpunkterna.



Figur 4.6. Bredbandig mätantenn för radiofrekventa fält, foto J Trulsson.

## 5 Åtgärder för att reducera fälten

Det råder fortfarande osäkerhet om de vanligtvis svaga elektriska och magnetiska fält som finns i bostads och arbetsmiljö innebär någon hälsorisk. Starkast indikation gäller ett samband mellan barnleukemi, hjärntumör och magnetfältsexponering. När det gäller elöverkänslighet har man ej entydigt kunnat visa vetenskapligt att det föreligger något samband mellan fältexponering och framkallande av symptom. Erfarenhetsmässigt har elöverkänsliga ofta upplevt förbättringar av fältreduktionsåtgärder, men även andra åtgärder, som sänkt rumstemperatur, har givit positiva effekter. Alldeles oavsett eventuella hälsoeffekter finns det tekniska skäl till att begränsa det magnetiska fältet i kontorslokaler, då bildskärmsstörningar annars kan uppträda.

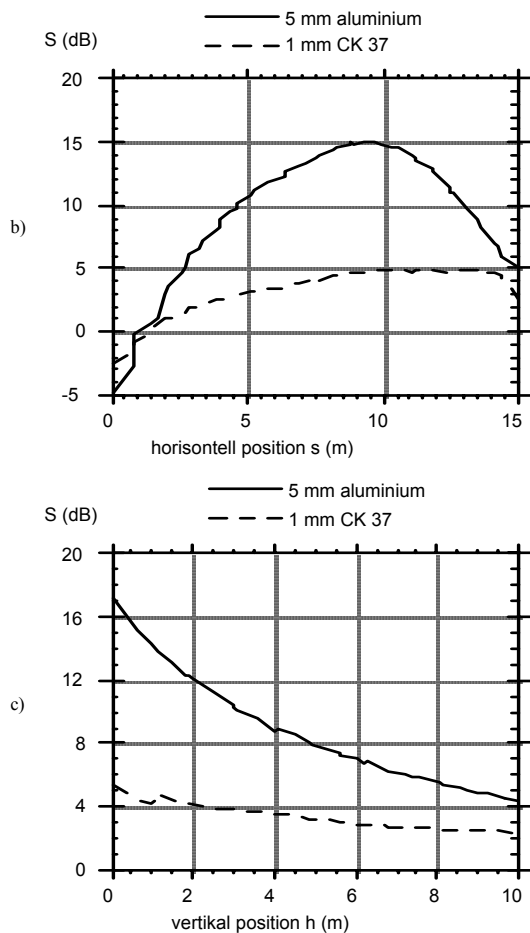
De åtgärder som behandlas i detta avsnitt är delvis sådana åtgärder som har använts för att minska exponeringen av elöverkänsliga. Om de skall tillämpas mer generellt kan naturligtvis diskuteras. Många av åtgärderna kan tillämpas till en ringa eller ingen extrakostnad, speciellt vid nyinstallation och nybyggnation. Andra åtgärder kan innebära stora extrakostnader.

### 5.1 Reduktion av fält från yttre källor

Elektriska fält från yttre källor som kraftledningar, järnvägar etc. ger sällan några fält inne i byggnader. Ur elsäkerhetssynpunkt skall man jorda stora metallstrukturer som plåttak och metallstaket som finns nära kraftledningar. Liknande bestämmelser finns för metalliska föremål nära elektrisk järnväg som skall jordas i S-räl.

Yttre ledningar ger däremot magnetiska fälten inne i byggnader. Det är svårt att stoppa fälten inne i huset. Skärmning av byggnader är naturligtvis möjlig. För att få någon större verkan måste skärmarna vara stora (en hel vägg plus tak etc.) vilket innebär att kostnaderna blir höga.

Beräkningar har genomförts för vad en skärmning av golvet skulle göra i ett hus som ligger över järnvägsspåret vid Södra station, Ivarsson och Hasselgren (1993). En 15 m bred 5 mm helsvetsad aluminiumplåt, alternativt en 1 mm tjock järnplåt (transformatorplåt "CK37"), under hela husets längd lades in i den matematiska modellen. Resulterande dämpning av magnetfältet i kontoret återges i figur 5.1. Dämpningen, S (dB), i kontoret innebar en sänkning av maximala B från 19  $\mu$ T till 4  $\mu$ T, dvs ca 5 ggr för aluminiumplåten medan järnplåten ger betydligt sämre dämpning. Notera också att dämpningen är negativ vid kanten på skärmen, dvs man får lokala förhöjningar av fältet p.g.a. plåtens begränsade utsträckning. Virvelströmmarna som går i plåten får inte löpa fritt utan trängs ihop vid plåtens ändrar och kan då ge en lokal magnetfältsförhöjning. Vi ser också att skärmens inverkan avtar kraftigt med höjden ovanför skärmen.



Figur 5.1. Inverkan på magnetfält från underliggande järnväg av två typer skärmplåt förlagd i kontorsgol. a) Dämpningen, S (dB), av magnetfältet i horisontell led i kontoret beräknat 1 m över golv. b) Dämpningen, S (dB), av magnetfältet som funktion av vertikal position i m över plåt i kontoret.

Beräkningarna visar att skärmning av magnetfält från yttre ledningar är svår och kostsam.

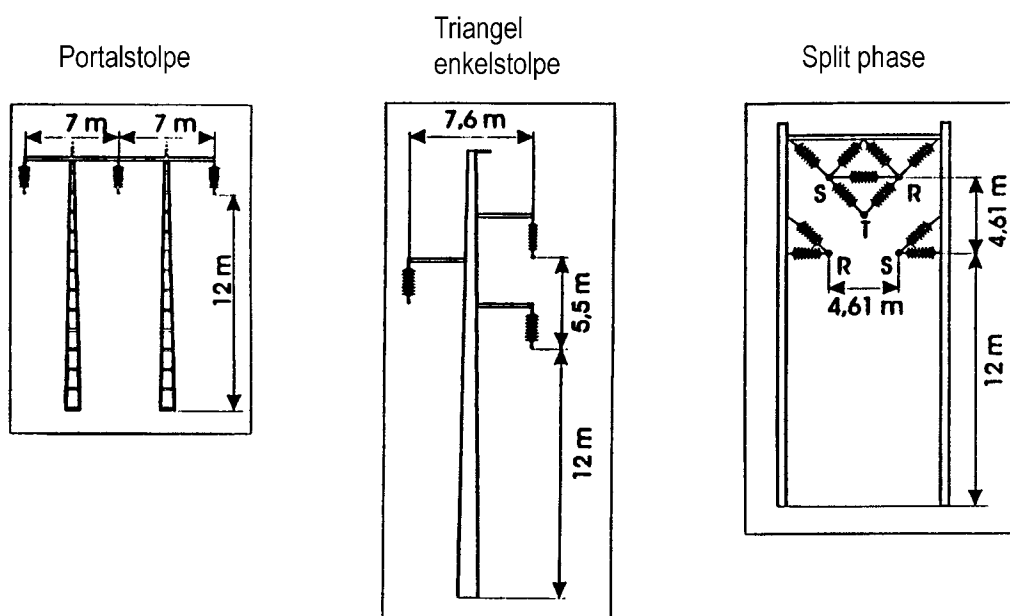
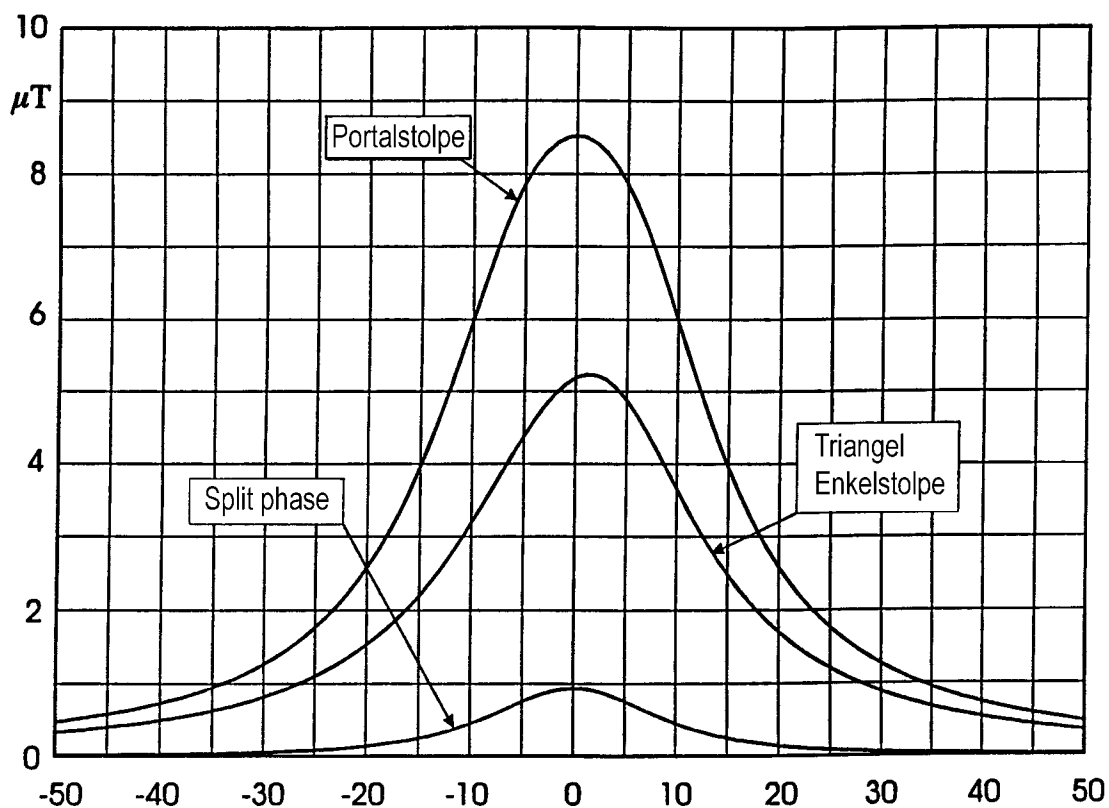
NCC har byggt en byggnad, Centralhuset, som innehåller vänthall, kontor, affärer och hotell vid Göteborg C. En del byggnaden sträcker sig över järnvägsspåren, se figur 5.2. Före byggandet av huset, mättes magnetfälten upp i den position ovanför spåren där huset planerades byggas. Det visade sig att det fanns två huvudkällor till de uppmätta magnetfälten. Den ena var strömmen i kontaktledningarna och den andra var strömmarna till den tågvärme som används när tåg står uppställda på spåren nattetid. Båda dessa strömmar leds tillbaka via rälsen varvid stora strömslingor uppstår. För att skärma huset lades en helsvetsad 5 mm plåt under huset för de delar som låg över spåren. Magnetfältet från tågvärmen reduceras också med hjälp av MFR-kärnor, se vidare avsnitt 5.2.



Figur 5.2. Centralhuset, vid Göteborg C, sträcker sig delvis ut över spåren. En helsvetsad 5 mm aluminiumplåt har fästs under huset för att skärma magnetfälten, foto Svante Wijk.

Skärmning av hela hus är en dyr åtgärd. Det är ofta mer effektivt att utforma källan så att den avger lägre fältnivåer. I tågfalet är detta inte möjligt. För kraftledningar är det oftast möjligt. Ledarnas separation är anledningen till att en normal kraftledning ger magnetiska fält. I en 400 kV-ledning sitter tre fasledare i bredd, med ett inbördes avstånd på ca 11 m. Det vill säga 22 m mellan de yttersta faserna. Med dagens bestämmelser är det tillåtet att förlägga hus 10 m från ytterfasen. När man befinner på en våning som ligger i höjd med faslinorna kommer den närmaste fasen att ligga 22 m närmare än den mest avlägsna fasen. Även om det går lika stora strömmar i de tre fasledarna (vilket det normalt gör), kommer vi att få olika starka fält från de olika faserna, på grund av skillnaderna i avstånd till dem, varför det uppstår ett nettofält.

Om man isolerar ledarna och för ihop dem i en kabel, kommer magnetfälten nästan helt att ta ut varandra. Denna lösning används för lågspänning och medelhöga spänningar men ytterst sällan för de största högspänningsledningarna. Skälet till detta är höga kostnader. Att lägga en 400 kV-ledning i kabel kostar ca 10 gånger så mycket som en traditionell luftledning. Genom att omplacera fasledarna i luftledningar kan man minska fälten. Svenska Kraftnät har vid nybyggnation av 400 kV-ledningar, använt sig av en triangelförläggning av faserna vilket minskar fälten med upp till en faktor 2, till ungefär oförändrad kostnad.

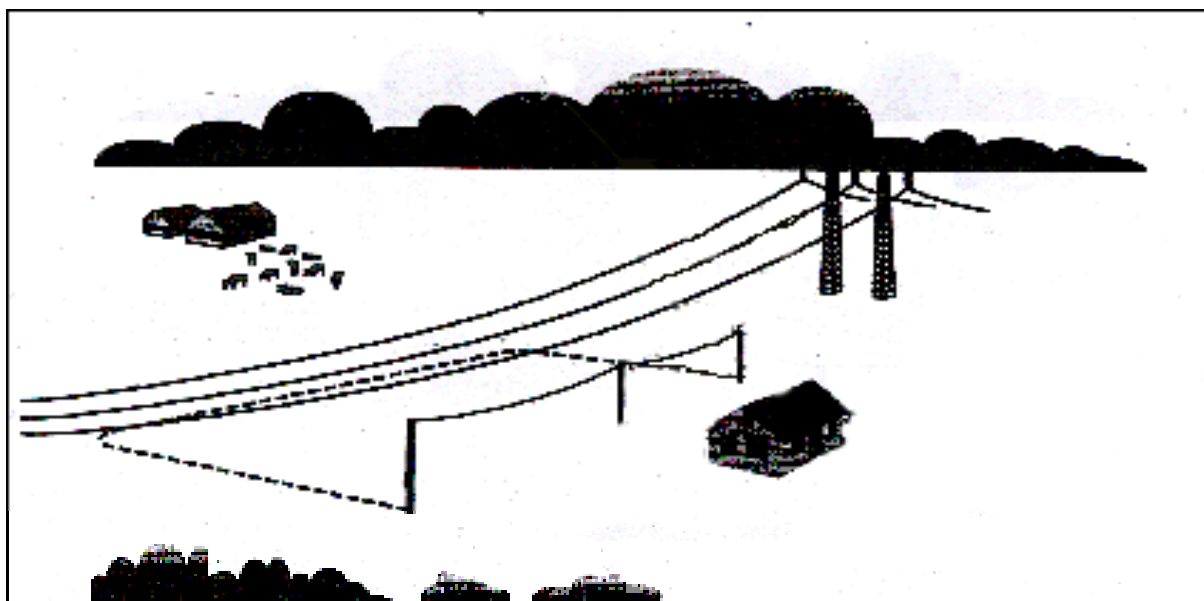


Figur 5.3. Den beräknade magnetiska flödestätheten i  $\mu\text{T}$  1,8 m över mark som funktion av avståndet i m från ledningens mitt för tre typer av kraftledningar. I samtliga fall är strömmarna 500 A per fas, källa ELFORSK AB.

Ändå större minskning av fälten har erhållits med så kallad split phase teknik, där en eller flera av fasledarna delas upp på flera ledare. Med denna teknik kan man erhålla reduktioner med ca en faktor 10, se figur 5.3.

Vattenfall Utveckling AB, har tagit fram en variant för ledningar med befintliga portalstolpar. En av ytterfaserna splittras upp, så att man får en ledning med fyra ledare på rad, där de yttersta ledarna är samma fas. Dessa båda ytterledare är förbundna i bägge ändarna, vilket tillåter att en ström cirkulerar som i en virvelströmsskärm. För att få ändå bättre verkan kan man aktivt driva en kompensationsström i denna slinga. Med detta arrangemang kan man uppnå avsevärd reduktion (Lindgren, 1995).

Ett alternativ är att bygga en separat skärmslinga vid kraftledningen, se figur 5. 4. Magnetfältet från kraftledningen kommer att alstra en ström som i sin tur ger upphov till ett motriktat fält. För att förbättra effektiviteten kan man ha fler än ett varv i skärmslingan samt använda faskompenserande komponenter för att säkerställa att fältet från skärmslingan ligger 180° ur fas.



Figur 5.4. En skärmslinga reducerar det magnetiska fältet från kraftledningen vid huset, källa Svenska Kraftnät.

## 5.2 Reduktion av magnetiska fält från elinstallationer

Som nämnts i avsnitt 3 kan elvärmegolv och takvärme ge upphov till betydande magnetfält om värmekabeln är av enkelledartyp. Flera tillverkare har tagit hänsyn till detta och utvecklat elvärmekabel av tvåledartyp, där magnetfälten från den fram och återgående strömmen tar ut varandra. Ändå effektivare fältreduktion erhålls med en kabel av koaxialtyp där återledaren ligger runt om framledaren. En tillverkare har tagit fram en triaxialkabel, där den yttersta le-

daren är ansluten till skyddsjord vilket innebär att varken elektriska eller magnetiska fält alstras.

Även tillverkare av värmefolie har utvecklat en dubbelfolie där återgångsströmmen går i ett skikt över framströmmen.

En vanlig källa till magnetiska fält är så kallade vagabonderande strömmar som kan uppkomma i fyrledarinstallationer. Magnetfältet från en kabel med vagabonderande ström kan ej skärmas. Det enda som hjälper är att reducera den vagabonderande strömmen, t ex med hjälp av femledarsystem, se figur 5.5.

I femledarsystem är skyddsjordledaren separerad från neutralledaren, varför återgångsströmmen inte har något val, utan tvingas ta den rätta vägen via neutralledaren tillbaka till transformatorn. Det resulterande magnetfältet blir därför lågt. Installation av femledarsystem leder till låga magnetfält i husen och mindre risk för problem med datakommunikation som ofta störs av vagabonderande strömmar. I sjukhus har det länge varit obligatoriskt med femledarsystem. Vid nybyggnation är femledarsystem standard idag (Sidan: 63 [0]Enligt ELSÄK-FS 1999:5, 413.1.3.2 Råd: ”Inom byggnad bör TN-S system användas”). Råd skall följas eller utföras med likvärdig lösning. I praktiken innebär detta att TN-S system är lagkrav.

I befintliga hus kan det vara betydligt mer kostsamt att byta till femledarsystem, då det inte endast är husets elinstallationer som berörs utan även kabeln till elverkets nätstation som behöver bytas till femledare.

För att femledarsystemet skall fungera säkert behöver man ha övervakning på stigarledningarna till de olika undercentralerna, se figur 5.6. När femledarsystemet installeras måste man kontrollera att det inte finns några fel<sup>3</sup>. Erfarenheten visar att det är ganska vanligt med fel i installationerna. Vid en revision av femledarsystemet på FOI i Linköping, upptäcktes ihopkopplad neutralledare och skyddsjord i flera apparater, i hissmaskinrum samt i treuttag.

I princip kan man hejda de vagabonderande strömmarna genom att bryta upp den alternativa strömvägen, t.ex. genom att byta ut en kort sektion av en metallisk vatten-, gas- eller värmeledning mot ett plaströr, se Fransson och Hamnerius (1989). De vagabonderande strömmarna går ofta i fjärrvärmeledningarna, för att stoppa strömmen kan man använda isolationsbrickor som sätts i rörskarvar. Sådana isolerbrickor med isolerande hylsor att sätta runt skruvarna i ett flänsförband, finns t.ex. av fabrikat DSI Dieter. I ett hus i Lund var det förhöjda magnetfält beroende på vagabonderande strömmar i fjärrvärmeledningen i gatan. Genom att sätta in isolerbrickor i rörskarvar i gatan kunde man minska de magnetiska fälten. I större hus finns det

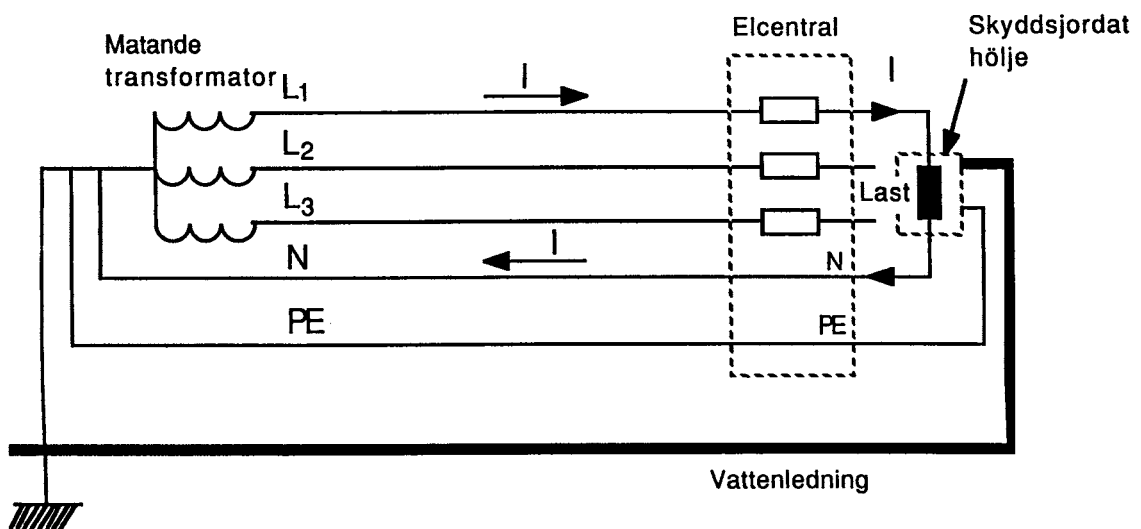
---

<sup>3</sup> Sidan: 63

[0]Revisionsbesiktning är försäkringsbolagens krav på periodvis återkommande besiktning av elanläggningar i försäkrade fastigheter genom Elektriska Nämnden. Enligt ELSÄK-FS 1999:5 546.2.3 ”Om någon punkt av installationen neutral- skyddsledarfunktionerna är utförda med separata ledare är det inte tillåtet att förbinda dessa ledare med varandra efter denna punkt”. Således är det ett lagkrav som den behörige elinstallatören har att följa. En extra besiktning är därför inget måste utan bör ses som ett råd.

oftast så många alternativa strömvägar att det inte är praktiskt/ekonomiskt möjligt att bryta upp alla vägar.

Den enda praktiska möjligheten tidigare, var att byta till femledarsystem, vilket innebar omfattande installationer och stora kostnader. Under de senaste åren har en effektiv lösning tagits fram som på ett tillförlitligt sätt reducerar de vagabonderande strömmarna till en rimlig kostnad. Lösningen är i själva verket inte ny utan bygger på sugtransformatorer vilka använts länge, vid de svenska järnvägarna, se avsnitt 5.3.



Figur 5.5. Schematisk bild av ett 5-ledarsystem. Återgångsströmmen från fasledarna (L1, L2 och L3) har endast en möjlig väg att gå via neutralledaren (N) tillbaka till transformatorn. Lika stor ström går fram och åter i elkabeln, varför det resulterande magnetfältet blir lågt. Skyddsjordledaren (PE) måste gå separat hela vägen till nätstationen, för att inga vagabonderande strömmar skall uppstå.



Figur 5.6. Jordfelövervakningscentral för femledarsystem, källa Megacon.

Försök har också genomförts med så kallad aktiv kompensering, varvid man skickar en lika stor ström som den vagabonderande, men med motsatt tecken, i en ledare parallellt med denna



(Linde, 1995). Om den vagabonderande strömmen huvudsakligen går i en ledare kan detta vara en bra lösning, under förutsättning att man kan finna en lämplig återledarväg för kompensationsströmmen. I många hus delar den vagabonderande strömmen upp sig på ett flertal ledare, då är kompensationsmetoden betydligt svårare att använda.

### 5.3 Reduktion av vagabonderande strömmar med sugtransformator-kärnor

En transformator består av en järnkärna och två eller flera lindningar. Om man låter en växelström gå i en av dessa lindningar kommer det att alstras ett magnetfält i järnkärnan. Detta magnetfält kommer att inducera strömmar i de andra lindningarna. Ofta används transformatorer för att ändra spänning eller ström. Om vi har en transformator med två lindningar, med  $N_1$  lindningsvarv på ingående lindning och  $N_2$  lindningsvarv på utgående lindning, så kommer spänningen på utgående lindning att vara  $N_2/N_1$  gånger den ingående spänningen. Om vi försummar förlusterna i transformatorn så gäller att den ingående effekten är lika stor som den utgående effekten i samtliga lindningar.

Eftersom effekten är lika med spänningen gånger strömmen, innebär det att den utgående strömmen är  $N_1/N_2$  gånger den ingående strömmens styrka. Det speciella med en sugtransformator är att i den har alla lindningar lika många varv, vilket innebär att summa ingående ström är lika med summa utgående ström.

Som nämnts tidigare används sugtransformatorer vid järnvägsdrift. Strömmen kommer till tåget via kontaktledningen och går tillbaka via rälsen. Ett problem är att det är svårt att hålla rälsen isolerad från marken till exempel vid snöslask. Strömmen kan då ge sig ut och vagabondera och orsaka magnetfält och tekniska störningar. För att minimera detta problem används sugtransformatorer cirka var femte km vid svenska järnvägar. Genom sugtransformatorns ena lindning går kontaktledningsströmmen, den andra lindningen är förbunden med rälsen och en återledare. Eftersom antalet varv är lika, måste det gå en lika stor ström genom denna lindning, varför hela rälsströmmen sugas upp och går vidare i återledaren.

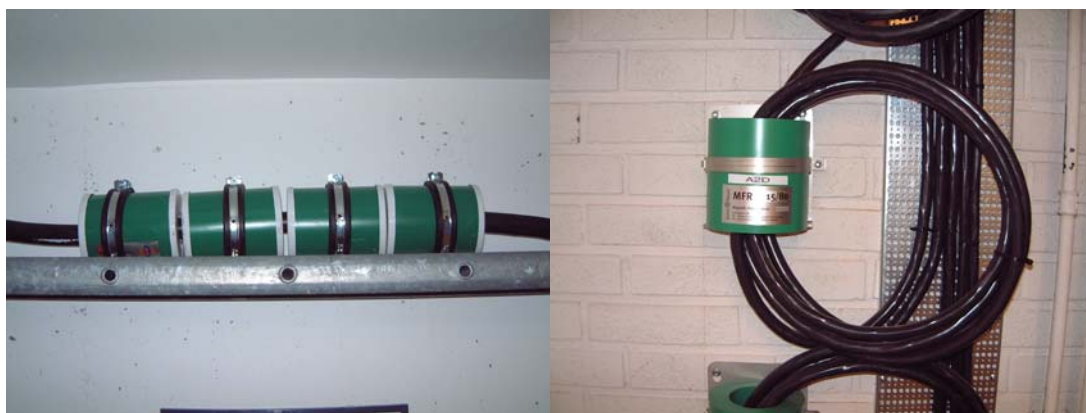
Hur kan man använda sugtransformatorer för att reducera vagabonderande strömmar i byggnader? Som framgick av figur 3.8 i avsnitt 3.2 uppstår de vagabonderande strömmarna i fyrledarsystemet, genom att en del av återgångsströmmen ej går tillbaka via matningsledningen, utan finner en annan väg via skyddsjord och metalliska strukturer. Om vi sätter in en sugtransformator med fyra lika lindningar, en för vardera fas och en för PEN-ledaren så skulle transformatorn se till att lika stor ström skulle gå tillbaka i PEN-ledaren som summan av de tre fasströmmarna, dvs. hela återgångsströmmen skulle gå tillbaka i PEN-ledaren och inga vagabonderande strömmar skulle uppkomma. Endast en ideal sugtransformator eliminerar hela den vagabonderande strömmen. Verkliga sugtransformatorer eliminerar en större eller mindre andel av strömmen beroende på hur effektiva de är.

Den allra enklaste formen av sugtransformator är en järnkärna som träs på den matande kabeln, se figur 5.7. Då ledarna passerar kärnan endast en gång, har vi en envarvig sugtransformator. Om man vill få en effektivare sugtransformator kan man trä flera kärnor på kabeln

eller trä kabeln flera varv genom kärnan, se figur 5.8. Fallet med flera varv är attraktivt, då effektiviteten ökar med varvtalet i kvadrat.



Figur 5.7. En sugtransformator-kärna monterad på en serviskabel, denna kärna är öppningsbar och kan därför monteras på kabeln utan att kabeln behöver kopplas ur, foto EnviroMentor AB.

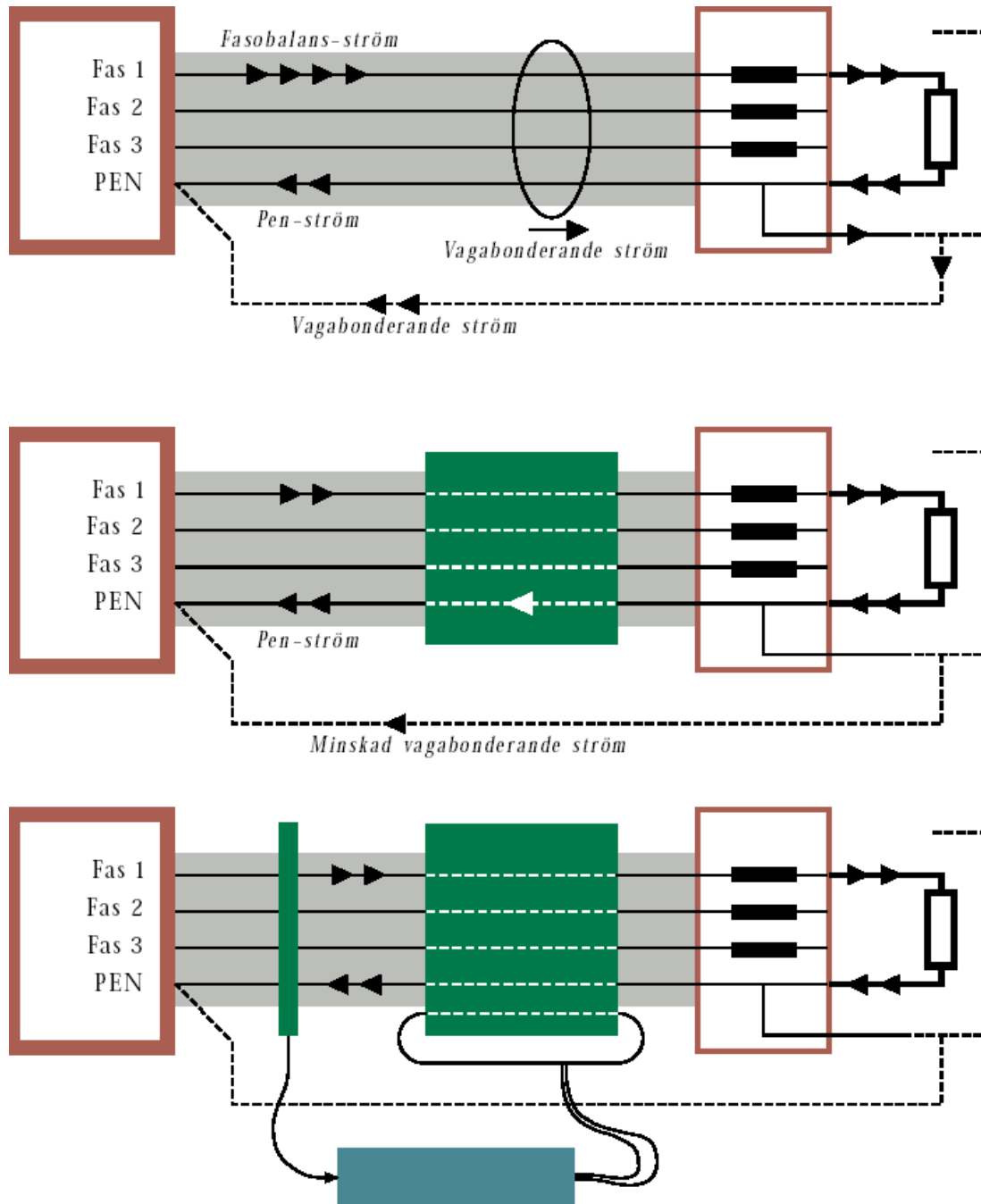


Figur 5.8. a) För att få högre effektivitet kan flera kärnor användas på samma kabel. b) Om kabeltjockleken tillåter flera varv genom kärnan ökar effektiviteten, foto EnviroMentor AB.

För att ytterligare öka effektiviteten har EnviroMentor AB utvecklat en patenterad lösning av en aktiv kärna där man magnetiserar kärnan med hjälp av en lindning som matas av en förstärkare. Denna förstärkare styrs av en reglerkrets som känner av den vagabonderande strömmen via en lindning på en avkännarkärna. Reglerkretsen styr förstärkaren så att den vagabonderande i kabeln minimeras, se figur 5.9.

I större byggnader finns det normalt en huvudelcentral för inkommande elförsörjning, som matar stigarledningar till undercentraler. Om det finns olika skyddsjordade elprodukter i huset är varje sådan produkt en potentiell startpunkt för vagabonderande strömmar om produkten är

metalliskt förbunden med t.ex. vatten-, ventilations-, fjärrvärme-, fjärrkylledningar, armering, metalliska undertak etc., se figur 5.10.



Figur 5.9. Överst visas hur vagabonderande strömmar uppkommer i ett fyrledarsystem. I mittbilden har en passiv kärna trätts på den matande fyrledarkabeln, varvid de vagabonderande strömmarna reduceras. Nederst visas en installation med en aktiv kärna och bredvid denna en avkännarkärna som trätts över kabeln. Signalen från avkännarkärnan styr en reglerkrets och förstärkare, som alstrar en ström i en lindning i den aktiva kärnan, varvid den vagabonderande strömmen minimeras, bild EnviroMentor AB.

Detta innebär att det inte endast är serviskablarna som kan behöva sugtransformator kärnor utan oftast även stigarledningarna. På bild 5.11 visas en installation i en större fastighet. Observera de fyrkantiga gråfärgade öppningsbara kärnorna, dessa är avsedda för parallellkopplade kablar.



Figur 5.10. Exempel på produkter som kan vara startpunkter för vagabonderande strömmar. Kaffemaskin som är metalliskt ansluten till ett vattenrör, Skyddsjordad armatur som sitter i ett metalliskt undertak, foto Svante Wijk.



Figur 5.11. Sugtransformator kärnor installerade i en stor fastighet med många parallellkopplade ledningar, för att reducera vagabonderande strömmar i parallellkopplade ledningar, har det utvecklats speciella kärnor, som kan omsluta många kablar, foto EnviroMentor AB.

Kärnor har monterats i flera hundra fastigheter med mycket goda resultat. Det har visat sig att detta oftast är det mest kostnadseffektiva sättet att reducera vagabonderande strömmar.

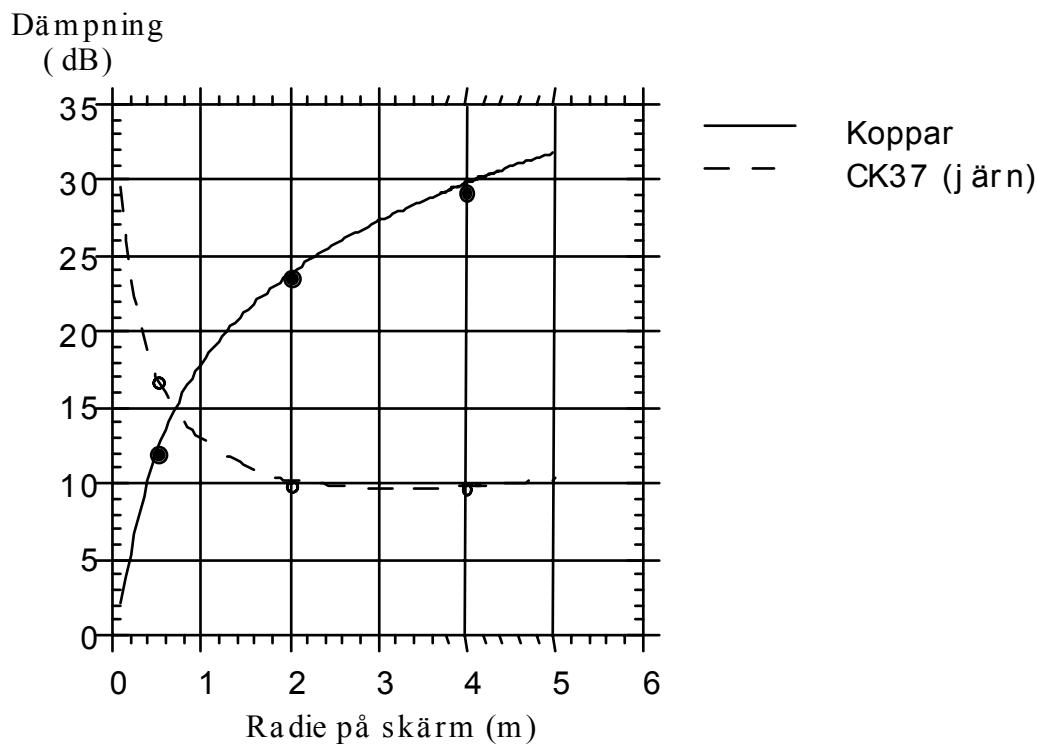
#### 5.4 Skärmning av magnetfält från elektrisk utrustning

Elektriska fält kan enkelt skärmas med en tunn metallfolie eller nät. Magnetiska fält är däremot betydligt svårare att skärma. Statiska magnetfält kan endast skärmas med hjälp av högpermeabla material som järn och järn-nickel föreningar (transformatorplåt, mymetall etc.). Syftet är att erbjuda en fördelaktigare väg för magnetfältet, så att det går inne i skärmen och ej sprider sig ut i omgivningen. Att anpassa formen på skärmen så att den i möjligaste mån följer magnetfältslinjerna är viktigt för högpermeabla skärmar.

För att skärma magnetiska växelfält kan man, förutom högpermeabla material, också använda goda ledare som aluminium och koppar. I de goda ledarna kommer det att alstras virvelströmmar. Dessa virvelströmmar ger upphov till ett motriktat magnetfält varför vi får en skärmverkan. Är det bäst att använda högpermeabla material eller material med hög ledningsförmåga för att skärma magnetiska växelfält? Svaret är att detta beror på form och storlek på skärmen.

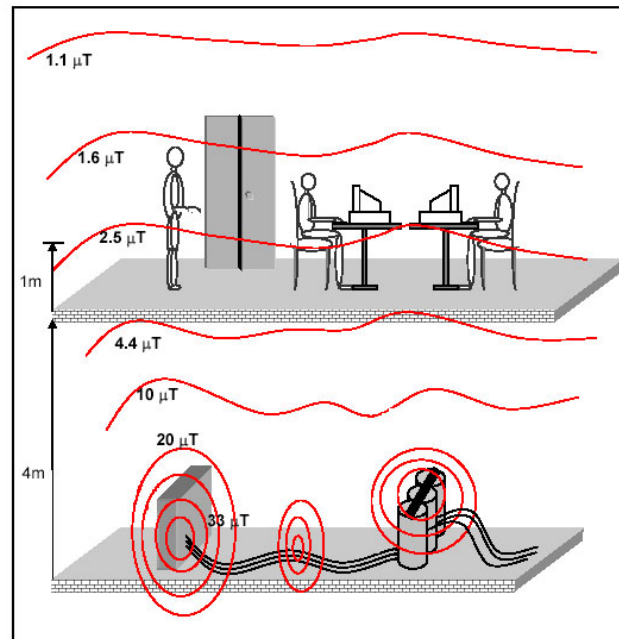
I figur 5.12 ges skärmningen i dB av en magnetisk dipol (källa med liten utsträckning) som funktion av radien på en sfärisk skärm, för två skärmmaterial; koppar och järn (transformatorplåt CK 37). Den visar att för små skärmar ger transformatorplåten störst dämpning, men dess dämpning avtar med ökande radie. Kopparplåten ger låg dämpning vid liten storlek på skärmen, men dämpningen ökar med radien, varför koppar blir överlägset för stora skärmar.

Små punktkällor, som drosslar, nätaggregat och elektriska motorer, ger magnetiska fält som avtar med tredjepotensen på avståndet. Nivåer upp till tiotals  $\mu\text{T}$  på 1 dm:s avstånd är inte ovanligt. Skärmning av lysrörsdrosslar där dessa placerades i mymetallskärmar, gav en mycket god reduktion av magnetfältet, Hamnerius 1996.



Figur 5.12. Skärmning, i dB, av en magnetisk dipol i ett sfäriskt skärmskal som funktion av radien för två skärmmaterial; koppar och järn (transformatorplåt CK 37). (Hasselgren och Luomi, 1995).

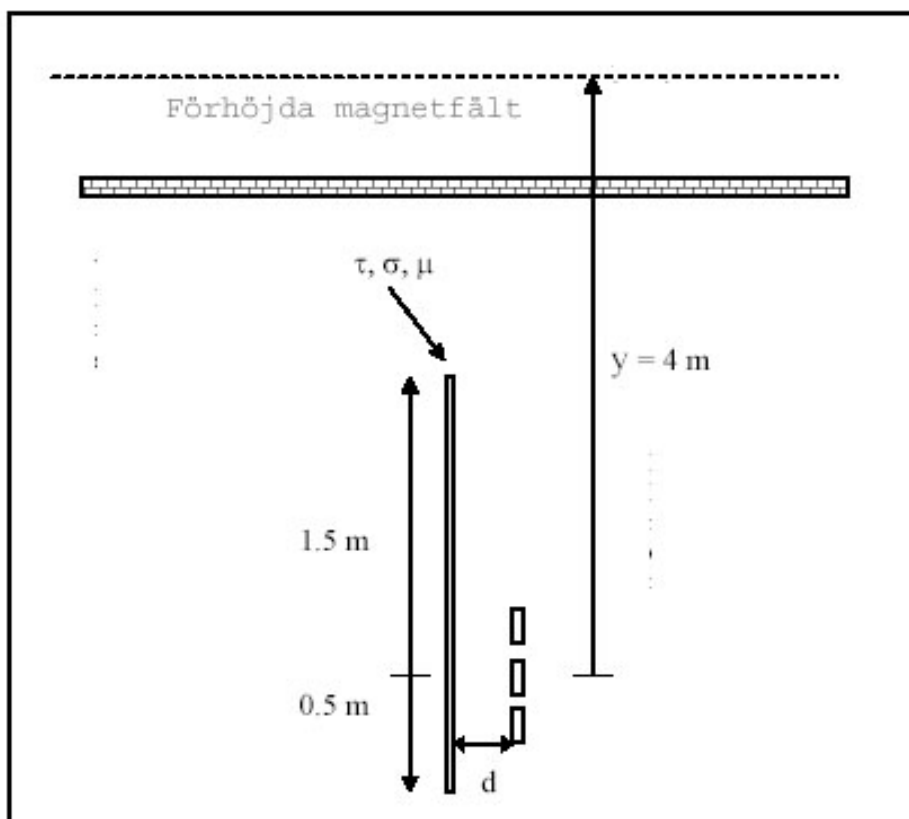
Större källor som inbyggda nätstationer ger avsevärda fältförhöjningar i rum som ligger i direkt anslutning till nätstationsrummet. En nätstation består normalt av ett 10 kV-ställverk, en eller flera transformatorer samt ett 400 V-ställverk. Då magnetfälten alstras av strömmar är det 400 V-ställverket som ger mest fält. I figur 5.13 visas typiska magnetfältsnivåer i ett nätstationsrum och ett rum som ligger direkt över nätstationen.



Figur 5.13. Inbyggda nätstationer är en källa till magnetiska fält i byggnader, huvudkällorna till magnetfältet är transformator, ställverksskåp och kablage, Salinas 2001b.

Ett sätt att reducera fälten är att skärma tak och väggar i nätstationen. Då skärmen blir stor, bör man välja goda ledare som koppar och aluminium. För att virvelströmmarna skall kunna flyta obehindrat, mellan de olika plåtar, som skärmen består av, måste alla skarvar svetsas eller lödas. Min forskargrupp vid Chalmers har, i samarbete med bl.a. Vasakronan AB samt Göteborg Energi Nät AB och Stockholm Energi (numera Fortum Distribution), undersökt åtgärder för att minska magnetfälten, från inbyggda nätstationer i byggnader (Hasselgren och Hamnerius, 1993, 1995; Hasselgren m.fl., 1994, Salinas m.fl. 1999, 2001a, 2001b). Genom att klä tak och väggar i nätstationsrummet med helsvetsad 5 mm aluminium kan man reducera magnetfältet med ca en faktor tio.

Det är ofta inte nödvändigt att skärma hela rummet, i figur 5.14 visas strömskenorna i ett ställverksskåp, som gav upphov till förhöjda magnetfält i ett rum som låg över ställverksrummet. Den intuitiva lösningen hade varit att sätta en skärmlåt i taket i ställverksrummet, för att minska magnetfältet i rummet ovanför. Simuleringar visade att detta inte är det mest effektiva sättet att reducera magnetfältet, Salinas och Aspemyr 1999. Klart effektivare är att placera en aluminiumskärm vertikalt bakom strömskenorna, som visas i bilden. Orsaken till denna placering är bättre, är att strömskenorna då kan alstra spegelströmmar i skärmen, som bildar ett motriktat fält, som i sin tur reducerar magnetfältet runt om ställverksskåpet. Reduktionen är starkt beroende av avståndet,  $d$ , mellan strömskenorna och skärmlåten. Bäst reduktion erhålls om avståndet är kort, en minskning av avståndet från 0,2 m till 0,1 m halverar magnetfältet i rummet ovanför, Salinas 2001b.

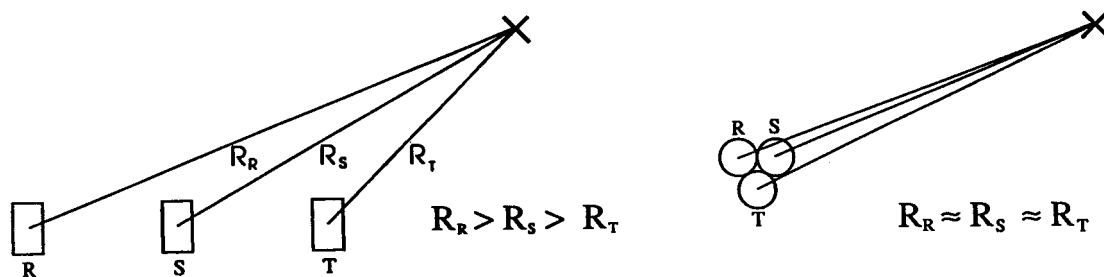


Figur 5.14. Bilden illustrerar lämplig placering av en aluminiumskärm, för att reducera magnetfältet i våningen ovan, från strömskenor i ett ställverksskåp, skärmlådan befinner sig på avståndet  $d$  från skenorna, Salinas 2001b.

Förutom med skärmning, kan man genom byte från strömskenor, mellan transformator och lågspänningsställverk, till kablar som läggs ihop i en triangel, göra avsevärda vinster, se figur 5.15. I ett praktiskt försök, reducerades de magnetiska fälten med en faktor tre (Fransson och Hamnerius 1990). Den senare åtgärden kan genomföras till relativt låg kostnad, medan skärmning kan kosta flera hundratusen kronor.

Flera tillverkare av strömskenor har tagit fram kompakta varianter som ger lägre magnetiska fält.





$$B = K \cdot \frac{I_R / +0^\circ}{R_R} + K \cdot \frac{I_S / +120^\circ}{R_S} + K \cdot \frac{I_T / -120^\circ}{R_T}$$

Figur 5.15. Om man byter från skenförband till triangelförlaggd kabel reduceras de magnetiska fälten på grund av att avstånden,  $R_R$ ,  $R_S$ ,  $R_T$ , till ledarna blir ungefär lika stora.

Den tidigare nämnda aktiva kompensationsmetoden, kan även användas för att reducera fält från nätstationer. Den har hittills inte använts i någon större omfattning, men kan komma att visa sig vara en kostnadseffektiv metod, Salinas 2001b. Ett alternativ vid nybyggnation är att om möjligt välja friliggande nätstationer.

## 5.5 Jordning och potentialutjämning

En förutsättning för att man skall kunna reducera elektriska fält är att man kan ansluta skärmar med mera till jordpotential. Tidigare fanns det endast krav på skyddsjordade installationer i särskilda utrymmen, t.ex. i våtutrymmen. Det innebär att i en stor del av det äldre bostadsbeståndet endast finns jordade eluttag i kök, badrum, tvättsugor etc. Sedan ett antal år skall alla elinstallationer vid nybyggnad utföras i skyddsjordat utförande. Att apparater, som bildskärmar, ansluts till jordade uttag är en förutsättning för att de skydd mot elektriska fält, som tillverkaren byggt in, skall fungera. Det är relativt enkelt att ändra elinstallationerna till skyddsjordat utförande.

I 1999 års elsäkerhetsföreskrifter infördes krav på huvudpotentialutjämning för nyproducerade byggnader, Elsäkerhetsverket (1999). Kravet gäller potentialutjämning av utifrån inkommande metallskärmar i data- och telekablar, rörledningar av metall för gas, vatten, värme och kyla samt, i förekommande fall, jordtagsledare. Dessutom skall en huvudjordningsskena finnas och skyddsledaren eller PEN-ledaren i huvudledningen skall anslutas till huvudpotentialutjämningen.

Huvudsyftet med potentialutjämning är att höja elsäkerheten så att man ej kan utsättas för farliga strömmar när man vidrör ledande föremål. Genom att samla alla inkommande ledningar till en huvudjordsskena ökar man också tåligheten mot åska. I fyrledarsystem skall PEN-ledaren anslutas till huvudjordningsskenan. Detta innebär olyckligtvis att man säkerställer att det finns alternativa strömvägar för vagabonderande strömmar, vilket kan leda till förhöjda magnetfält. Det är därför alltid att föredra att man vid nyin-

stallation använder sig av femledarsystem med övervakning, för att undvika vagabonderande strömmar.

För äldre anläggningar skall föreskrifterna enbart tillämpas vid utvidgning, ombyggnad eller omläggning. Vid ombyggnad berörs oftast inte inkommande ledningar. Därvid finns inte krav på att huvudpotentialutjämning införs. Om man drar in en ny rörledning, till exempel för vatten eller fjärrvärme, är detta inte en ombyggnad av den elektriska starkströmsanläggningen. Det finns då inte grund för att ställa krav på potentialutjämning. Detta gäller även data- och telekablar, Elsäkerhetsverket (2001).

Drar man in en ny starkströmskabel, kan den utgöra en utvidgning av anläggningen. Enligt föreskriften får emellertid en utökning eller ändring av en befintlig installation inte minska elsäkerheten hos den befintliga installationen. Då de skilda slagen av ledningar i regel förts in på olika ställen i en äldre byggnad och ofta är svåra att lokalisera, kan en senare, endast delvis utförd huvudpotentialutjämning, medföra ökade risker för farliga beröringsspänningar inom anläggningen. Elsäkerhetsverket ställer därför inte krav på potentialutjämning i detta fall.

Mer information om potentialutjämning ges i en skrift ”Potentialutjämning i byggnader” utgiven av Sveriges Elektriska Kommission (2002).

## 5.6 Reduktion av elektriska fält från elkablar m.m.

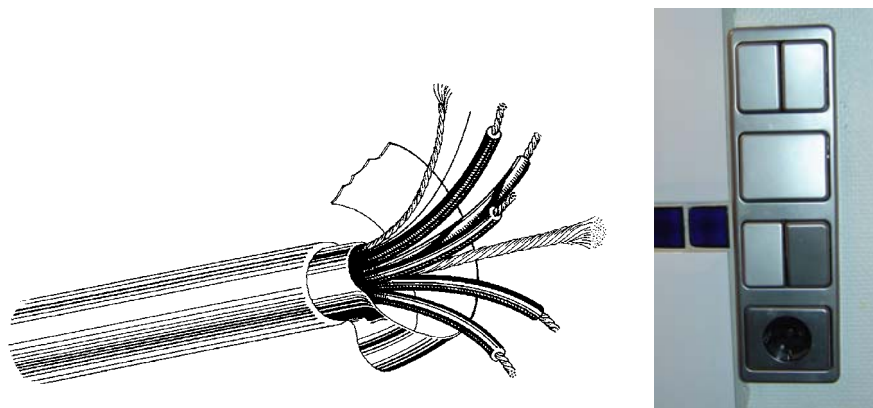
Som nämnts tidigare ger yttre källor som kraftledningar endast små bidrag till de elektriska fälten inne i byggnader då de elektriska fälten oftast skärmas av ytterväggar och tak. De nätfrekventa elektriska fält vi finner inomhus beror vanligen av husets egna elinstallationer. Sladdar och eluttag är t.ex. vanliga källor. För att minska exponeringen från sladdar, kan man använda skärmad nätkabel eller för utrustning som ej används ofta, en tvåpolig strömbrytare direkt vid eluttaget, så att man slipper fält när utrustningen ej används.

Ett alternativ är att installera en automatisk nätbrytare, om man kan arbeta utan någon elström i rummet. En automatisk nätbrytare bryter spänningen när ingen ström förbrukas. Kvar på uttagen finns endast en 6 V likspänning för att känna av när det förbrukas ström, för att då koppla in 230 V spänningen igen. När nätbrytaren har brutit strömmen finns inga elektriska växelfält av rummets egna elinstallationer eller apparater. Nätbrytare kan med t.ex. användas i sovrum, varvid man slipper elektriska fält på natten, men man kan ändå tända en lampa, när man vill gå upp.

För att undvika lågfrekventa elektriska fält från kablar i väggar mm kan man använda skärmad installationskabel, s.k. EKLK-kabel Sidan: 74

[0]. Det finns en skärmad installationskabel Wasanflex från Wagner Kabelwerk som är så smidig att den kan läggas i befintliga plaströr, se figur 5.19a. För att få bästa skärmning bör man använda skärmade dosor, detta gäller speciellt gipsskiveväggar där man kan få en kapacitiv spänningssättning via dosan om den inte är skärmad. I befintliga installationer är det besvärligt och kostsamt att byta dosorna. Här finns en möjlighet att använda skärmade insatser i befintliga dosor. Strömbrytare och eluttag ger ett visst fält-

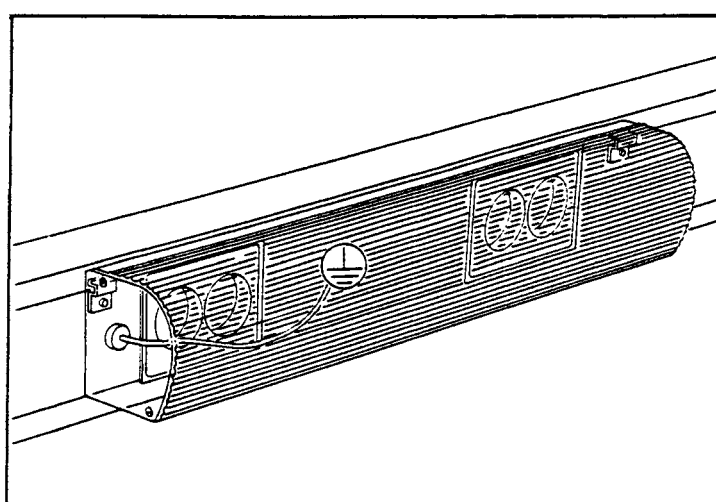
läckage. Om metallskivan som insatsbrytaren eller uttaget sitter på jordas, minskas fälten, ett flertal tillverkare erbjuder sådana lösningar, t.ex. Eljo, Lexel och Elko.



Figur 5.16. a) Exempel på skärmad installationskabel, ledarna omsluts av en aluminiumfolie som jordas via en oisolerad dräneringskabel, källa Ericsson & Malm. b) Skärmade brytare och eluttag med jordad kåpa i rostfritt stål, foto Y Hamnerius.

Ändå bättre resultat kan uppnås med speciella skärmade brytare och uttag, figur 5.16b. En leverantör av sådana är Berker.

Då kablarna förläggs i en kabelränna kan man välja en ränna av metall och se till att både ränna och lock är jordade. Med denna lösning skärmar man effektivt de lågfrekventa elektriska fälten från kablarna inne i rännan. Eventuella magnetfält från vagabonderande strömmar i kablarna skärmas dock ej nämnvärt. Flera tillverkare levererar skärmade kabelrännor, Thorsmans INKA-kanal kan förses med en skärmande frontkåpa som monteras över eluttag, se figur 5.17. De här ovan angivna metoderna ger en god skärmning av lågfrekventa elektriska fält. För att skärma högfrekventa fält från kablar krävs betydligt mer omfattande åtgärder.



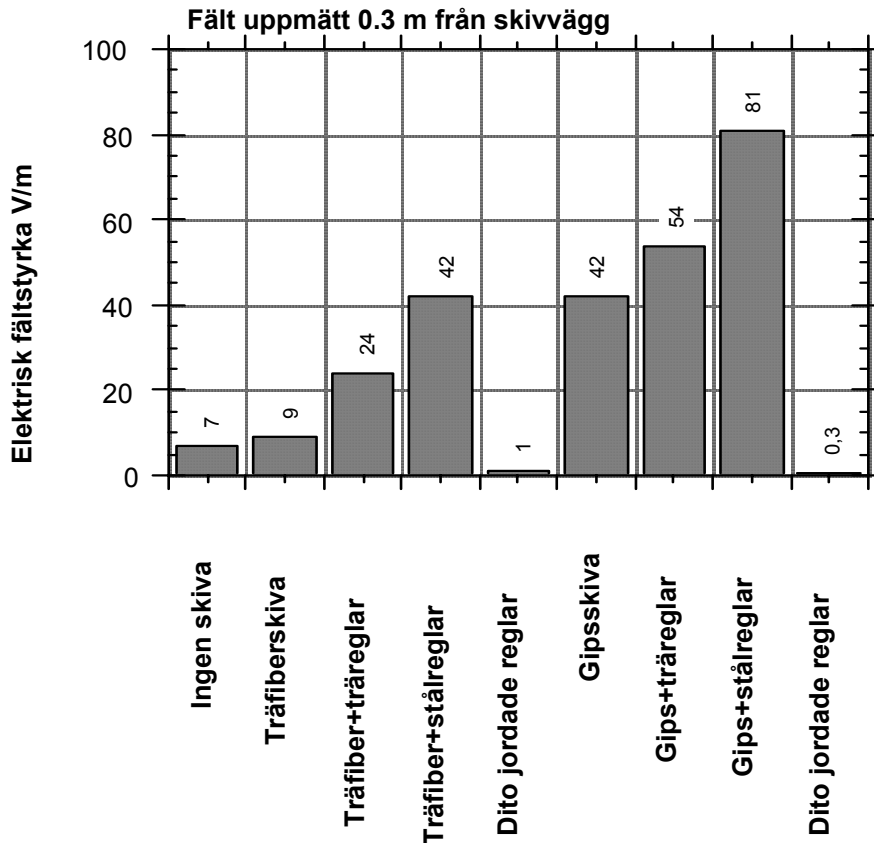
Figur 5.17. En fronthuv som skärmar de lågfrekventa elektriska fälten från eluttag på en kabelränna, källa Thorsman.

Ett alternativ till skärmd kabel är skärmade elrör. De gamla metalliska pansarrören gav en skärmning av elektriska fält, om de var anslutna till jordpotential, vilket inte alltid var fallet. Det finns motsvarande rör i ledande plast som utvecklats av Protec AB. Dessa rör har ett inre skikt av isolerande plast och ett yttre skikt av ledande plast. Protec har utvecklat ett system med anpassade skärmande plastdosor, med jordförbindningsledare, via dosorna jordas även rören. Genom att rör och dosor är skärmande kan vanlig standard enkelledare (FK) användas och man erhåller en skärmd installation. En beskrivning av en sådan installation i ett flerfamiljshus ges in en rapport från Boverket 1998.

Väggar med gipsskivor kan via kapacitiv spänningssättning ge upphov till avsevärda fält. I figur 5.18 visas en mätning av elektriska fält från en elledning förlagd i ett plaströr (VP-rör), Hamnerius 1996. I det första fallet finns ingen väggskiva, fältet mäts 2 m från ledningen, 0,3 m ut från (den tänkta) väggen. I det andra fallet finns en oreglad träfiberskiva. Fältstyrkan i mätpunkten är 7 V/m utan skiva och ungefär det samma (9 V/m) med skiva, dvs. den använda träfiberskivan har ingen större inverkan på fältet. Om vi däremot använder en oreglad gipsskiva får vi en fältstyrka på 42 V/m då gipsskivan blir kapacitivt spänningssatt. Trä och i ändå högre grad ojordade metallreglar bidrar till den kapacitiva spänningssättningen för bägge typer av skiva. Störst fält (82 V/m) erhålls med kombinationen gipsskiva och ojordade metallreglar. I detta fall får man samma fältstyrka från hela skivan. Detta fält kan reduceras kraftigt om samtliga metallreglar ansluts till jordpotential. I mätpunkten blev fältstyrkan endast 0,3 V/m.

Vid en mer omfattande skärmning för elektriska fält kan man klä väggar, tak och golv med aluminiumtapeter. Det har tagits fram speciella skarvremсор med ledande lim som förbinder de olika våderna elektriskt. Skärmas skall anslutas till skyddsjord ur elsäkerhetssynpunkt. Ovanpå aluminiumskiktet kan man sedan måla, tapetsera och lägga golvbeklädnad så att rummet ser normalt ut. Det finns även ledande färg som kan användas för att skärma rum.

Även dörrar kan kläs med aluminiumtapeter. Om det bara är lågfrekventa elektriska fält som skall skärmas räcker det att förbinda dörrrens skärmskikt med väggens med en elektrisk ledare. För skärmning av högre frekvenser har det tagits fram specialdörrar med kontaktlister mot karmen. För att skärma fönster kan man använda tunt metallnät. Det finns även fönsterglas som belagts med ett ledande skikt.



Figur 5.18. Elektrisk fält styrka uppmätt på 2.1 m höjd 0.3 m ut från en skivvägg med ett VP-rör förlagt på 0.1 m höjd innehållande två enkelledare, fas (230 V) och neutralledare (0 V). De olika fallen är: Ingen skiva endast VP-rör, Träfiberskiva utan regler, Träfiberskiva med vertikala träreglar, Träfiberskiva med vertikala ojordade stålreglar plus stålram, Dito men jordade stålreglar, Gipsskiva utan regler, Gipsskiva med vertikala träreglar, Gipsskiva med vertikala ojordade stålreglar plus stålram, Dito men jordade stålreglar,

## 5.7 Reduktion av fält från belysning och apparater

Skrivbordsarmaturer är en källa till fält i kontorsmiljö. Fälten faller snabbt med avståndet från källan, vilket gör att en lysrörsskrivbordslampa kan ge betydligt högre exponering än ett lysrör i taket. För att begränsa magnetfältsexponeringen från skrivbordslampor av lysrörstyp, är det viktigt att drosseln placeras ca 1 m eller mer från personen. I vissa lampor sitter drosseln i skärmen, denna utformning medför en onödig exponering för magnetiska fält. När det gäller magnetiska fält, blir exponeringen ofta högre från lysrören i våningen under än från de egna taklysrörerna. Lysrörsarmaturer avger också elektriska fält. Om lysrörsarmaturen är försedd med ett skyddsjordat metallraster skärmas en del av de elektriska fälten. Flera tillverkare (bl.a. Fagerhult och Thorn Järnkonst) kan ge instruktioner hur ojordade metallraster i deras

armaturer kan jordas på ett säkert sätt. Fagerhult producerar också lysrörsarmaturer med ett jordat nät runt om lysrören för att reducera de elektriska fälten.

Alla lysrör, även lysrörsarmaturer i taket verkar störa elöverkänsliga. Ett byte till skyddsjordade glödlampsarmaturer brukar upplevas som en förbättring. Bl.a. Fagerhult har ett strömskenesystem med jordade takarmaturer.

Även skrivbordsarmaturer av glödlampstyp kan ge avsevärda 50 Hz elektriska fält. De flesta moderna skrivbordslampor är ej skyddsjordade, utan dubbelisolerade. Har lampan metallstativ brukar hela stativet bli kapacitivt spänningssatt. Vi får nu en utbredd antenn som emitterar 50 Hz elektriska fält. En liknande effekt får man om en nätsladd ligger nära ett bordsunderrede i metall. Bordsunderredet blir kapacitivt spänningssatt och fungerar som en utbredd antenn för elektriska fält. Ofta har man någon kroppsdel mycket nära detta underrede, vilket medför att människokroppen blir exponerad och även själv spänningssatt. För att komma bort från detta bör man använda skyddsjordade glödlampsarmaturer, samt i förekommande fall ansluta metallunderredet på bord mm till jordpotential, se avsnitt 5.8.

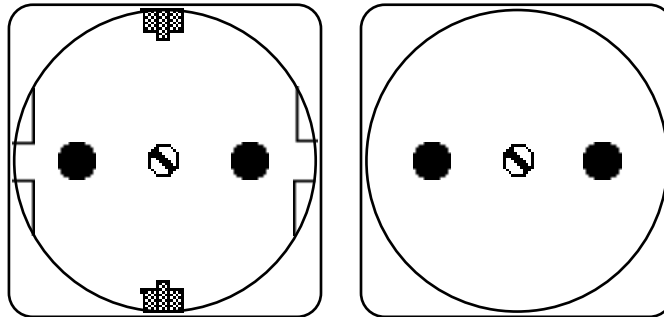
För att få lägsta fält från armaturer kan man använda skyddsjordade glödlampsarmaturer. En glödlampa avger mycket låga magnetiska fält. Det visar sig, att även skyddsjordade lampor kan avge avsevärda elektriska fält. Detta beror på, att de olika metalldelarna ofta inte är ledande förbundna med varandra. Någon del är ansluten till skyddsjord men övriga metalldelar är isolerade via diverse plastleder m.m. Några tillverkare har börjat intressera sig för dessa frågor och tagit fram armaturer som är helt skyddsjordade och i vissa fall även försedda med en skärmd nätsladd, vilket innebär att man även eliminerar de elektriska fälten från sladden. Ett exempel på en skrivbordslampa som konstruerats för att ge låga fält är Fagerhult Omni. Detta är en skyddsjordad glödlampsarmatur som är försedd med skärmd kabel.

Som visades i avsnitt 3.3 kan ojordade lampor avge högre elektriska fält då de är släckta. Förklaringen till detta är, att våra eluttag är opolariserade i kombination med att man använder enpoliga sladdströmbrytare. Det innebär, att antingen fas eller neutralledare bryts när lampan släcks, se figur 3.10. Om neutralledaren bryts har vi en ensam spänningssatt ledare ut i lampan efter brytaren, vilket ger en effektiv kapacitiv koppling till stativet. När lampan tänds, får vi också en neutralledare fram till glödlampan, vilket medför lägre fält. Vrider man på kontakten, kommer däremot fasen att brytas i släckt läge, vilket är bättre ur fältsynpunkt. Hur stickproppen skall vändas kan undersökas med en enkel elindikator som elektriker använder för att hitta kablar i väggar. För att få en säkrare verkan kan man byta till en tvåpolig strömbrytare. Det finns sådana som integrerats i stickproppen.

Så kallade lågvoltsbelysningar (halogenlampor), kan också ge fält. Armaturen matas med 230 V, varför den kapacitiva spänningssättningen kan vara lika hög. För att sänka spänningen används en transformator som alstrar magnetiska fält. Ibland sitter strömbrytaren på lågvoltssidan, vilket innebär att transformatorn ger läckfält och drar ström även när lampan är släckt. Några konstruktioner har separerade ledare för fram- och återgående ström till halogenlampan, vilket medför att man får magnetiska fält från dessa. Det finns t ex lågvoltshalogensystem där spotlights strömförsörjs via två ledande wirar som spännes upp i rummet med ca 1 dm:s avstånd. Då strömstyrkan är hög avges betydande magnetfält. Många småapparater som

telefonsvarare, radioapparater etc. har nätdelar som avger magnetfält på nära håll. Exponeringen kan reduceras kraftigt om apparaterna placeras en meter från personerna.

Åtgärder som berör elektriska installationer skall utföras av kompetent personal, i de flesta fall av behörig installatör. Det är mycket viktigt att inte åsidosätta elsäkerhetsbestämmelserna för att inte skapa elolycksfallsrisker. Tidigare var i stort sett alla åtgärder som modifierade en S-märkt produkt otillåtna. Detta har ändrats i och med att man infört krav på att alla elinstallationer i nybyggda hus skall utföras i skyddsjordat utförande. Med alla eluttag skyddsjordade, se figur 5.19, kan man inte använda klass noll stickproppar. Elsäkerhetsverket har utfärdat bestämmelser, som i vissa fall tillåter att man bygger om klass noll armaturer till klass 1 (skyddsjordat utförande). En åtgärd som att jorda belysningar, underreden etc. innebär en viss ökning av elolycksfallsrisken, även om elsäkerhetsbestämmelserna följs. För att undvika detta kan man installera en jordfelsbrytare som skyddar vid en eventuell felfunktion<sup>4</sup>.



Figur 5.19. Skyddsjordat respektive ojordat eluttag.

## 5.9 Jordning av bordunderreden mm

Då en nätkabel ligger nära ett metallföremål som ej är förbundet med jord eller någon spänning, uppstår en spänningssättning av föremålet via kapacitiv koppling. I en vanlig nätkabel finns det en spänning på ca 230 V, vilken ger upphov till ett elektriskt fält. Om denna kabel ligger nära ett metallben till ett skrivbord kommer det elektriska fältet att spänningssätta benet. Då vanligen hela skrivbordsunderredet är av metall kommer inte bara benet att bli spänningssatt utan hela underredet. Detta beror på att en god ledare, som metall, får samma spänning över hela ledaren. Spänningssättningen innebär ingen direkt elolycksfallsrisk då den

<sup>4</sup> Sidan: 79

[0]Det är även krav på jordfelsbrytare enligt ELSÄK-FS 1999:5 471.4.2 ”Vid nyuppförande av bostäder, grundskolor, fritidshem och daghem skall den elektriska installationens gruppledning skyddas av jordfelsbrytare.....” Detta krav fanns delvis med redan i ELSÄK-FS 1994:7.

ström som man kan få genom kroppen om man tar i underredet blir ytterligt liten. Nätssladden är isolerad, så den har ingen direkt metallisk kontakt, varför endast en mycket liten kapacitiv ström kan flyta.

Ett enkelt sätt att undvika denna spänningssättning är att metalliskt förbinda underredet med jordpotential. En sådan jordförbindelse får dock endast utföras på godkänt sätt för att inte elsäkerheten skall äventyras. Följande jordningsmetoder får användas.

### ***Fast jordning***

Sedan lång tid tillbaka är det tillåtet att med en fast förbindelse jorda föremål med en kabel som går till en jordplint, t ex elcentralens jordpunkt. Detta arbete måste utföras av behörig elektriker. Då detta kan vara en ganska komplicerad åtgärd, som innebär nydragning av kablar, tillåter Elsäkerhetsverket numera även andra lösningar.

### ***Jordning med speciell stickpropp***

För att eliminera statisk elektricitet finns det speciella jorddon s.k. ESD-proppar (Electro Static Discharge). I dessa förbinds föremålet till jord via en stor resistans för att förhindra gnisturladdning. Denna resistans är dock för stor för att en ESD-propp skall kunna användas effektivt för att jorda kapacitivt spänningssatta metallföremål. Man tillåter därför en variant med lägre eller inget motstånd till jord under förutsättning att:

- 1). Stickproppen uppfyller kraven i SEMKO PA 8511, ESD-skyddsdon. Detta innebär bl.a. att stickproppen skall ha stift av isolermaterial.
- 2). Stickproppen ej är demonterbar.
- 3). Jordledaren är fast ansluten till såväl stickproppen som bordsstativet. Vad beträffar anslutningen till bordsstativet accepteras en ringkabelsko.
- 4). Jordledarens färg får **ej** vara grön-gul. Transparent rekommenderas och isoleringen skall uppfylla kraven för grundisolering

Stickproppen är godkännandepliktig enligt STEV-FS 1989-2 §4.

Godkända stickproppar bör fungera bra för sitt ändamål. Om föremålet som skall jordas består av flera metalldelar, som ej befinner sig i god elektrisk kontakt, måste dessa förbindas med hjälp av skruvförband med tandbrickor, kablar eller dylikt. Aluminiumdetaljer som eloxerats kan vara svåra att förbinda elektriskt då eloxeringen är en god isolator.

Elsäkerhetsverket gav 930226 ut ett tekniskt meddelande 1/93 §6c där man säger att jordning av skrivbord får endast ske i jordad miljö (normal kontorsmiljö). Detta innebär att "alla vägguttag har utförande med jorddon, belysningsarmaturer är skyddsjordade eller extraisolerade, vattenradiatorer kan finnas invid skrivborden, datorer och övrig utrustning är skyddsjordade (klass I) eller extraisolerade (klass II)".

"Person som arbetar vid ett via särskild jordledare anslutet skrivbord i 'jordad miljö', löper begränsad risk att utsättas för skadlig strömgenomgång. Om det skulle uppstå två fel i en utrustning, t ex två isolationsfel på samma bruksföremål eller ett isolationsfel och samtidigt ett



avbrott på skyddsledaren, uppstår fara... Strömbegränsande motstånd minskar risken för skadlig strömgenomgång vid ett dubbelfel. Observera att den särskilda jordanslutningsledaren aldrig får utgöra ersättning för föreskriven skyddsledare!"

I ojordad miljö tillåts **ej** jordning, vare sig med eller utan strömbegränsande motstånd.

"Inkoppling av fabriksstillverkad särskild jordledare, med SEMKO-godkänd fastgjuten stickpropp, är arbete som får utföras av person som har erforderlig kännedom om gällande krav."

### ***Jordning och elsäkerhet***

Användningen av jordpropparna är tillåten utan krav på några ytterligare säkerhetsåtgärder. I och med att man inför nya jordade föremål i rummet ökar man risken något för elolycksfall. Om man vill minska denna risk kan man använda elinstallationer med jordfelsbrytare. Vid användning av jordfelsbrytare är det inte lämpligt att lägga centrala datorresurser på en gemensam jordfelsbrytare då en brytning skulle medföra informationsförluster.

## **5.10 Reduktion av fält från bildskärmar**

De magnetiska fälten från bildskärmar är svåra att reducera med skärmning. Den teknik som allmänt används är att sätta in kompenstationsspolar i bildskärmen vilka alstrar ett motriktat fält. Detta eliminerar till stor del magnetfältet, (Hamnerius, 1988, Höjevik m.fl., 1991). Många tillverkare använder denna teknik för att reducera linjefrekventa och bildfrekventa magnetfält.

De magnetiska fälten reduceras **ej** med bildskärmsfilter, däremot kan elektriska fält reduceras med filter. De flesta filter eliminerar det elektrostatiska fältet. För att även reducera det elektriska växelfältet krävs att filtret har hög ledningsförmåga. En del filter på marknaden har inte tillräcklig ledningsförmåga för att effektivt reducera linjefrekventa elektriska fält. Om man skall köpa filter bör man välja en typ med hög ledningsförmåga, då reducerar man även det elektriska växelfältet. De flesta moderna bildskärmar har låga elektriska växelfält, varför filter inte behövs.

För att filter och andra åtgärder, som reducerar elektriska fält, skall fungera, måste apparaterna och filtren vara anslutna till skyddsjord. Detta kan ofta vara ett problem när man ansluter datorn till ett ojordat uttag i t ex hemmet. En bildskärm kan, när den är ansluten till ett ojordat uttag, ge tio gånger så höga elektriska fält som när den ansluts till ett jordat uttag.

Majoriteten av de bildskärmar som säljs idag är platta bildskärmar utförda i olika tekniker. Även dessa kan avge fält. Plasmaskärmar ger ofta högre elektriska växelfält än konventionella skärmar. LCD-skärmar (vätskekristall) borde avge mycket låga fält då både spänning och ström i skärmen är låga. Många LCD-skärmar är dock försedda med bakgrundsbelysning vilken brukar alstra elektriska fält vid frekvenser över 1 kHz. Är skärmen försedd med ett nätaggregat så kan den mycket väl avge även magnetiska fält över de rekommenderade nivåerna.

### 5.11 Reduktion av radiofrekventa fält

De åtgärder som diskuterats i de tidigare avsnitten berör främst kraftfrekventa och lågfrekventa elektriska och magnetiska fält. Högfrekventa och radiofrekventa fält kan i många fall inte reduceras på dessa sätt. Lågfrekventa elektriska fält reduceras ofta enkelt genom att jorda metallföremål. Genom att ansluta föremålet med en ledare till jordpotential kommer föremålet att anta jordpotential. Detta gäller endast vid låga frekvenser. Vid högre frekvenser är impedansen i jordledningen för hög, för att hålla föremålet vid jordpotential. Detta innebär att skyddsjordledningarna i ett hus inte kan eliminera högfrekventa fält. Mätningar tyder, tvärt emot, på att högfrekventa signaler istället sprids via skyddsjordledningarna mellan olika rum. Vid en mätning i kontorslokaler fann man att lysrör med högfrekvensdon, gav ett betydligt större bidrag, till de elektriska fälten i kHz-området, än bildskärmar av katodstrålerörstyp, Lundmark m.fl., 2002. När man stängde av belysning och bildskärmar i det uppmätta rummet, såg man fortfarande elektriska signaler i kHz-området, vilket man tolkade som bidrag från apparatur i andra rum som spreds via skyddsjordssystemet, se figur 5.20.



Figur 5.20. Lysrörslampor som drivs med högfrekvensdon kan alstra elektriska fält i kHz-området.

För avsiktliga sändare av radiofrekvent strålning, som basstationer för mobiltelefoni, DECT, trådlösa datornät etc., är strålningen väsentlig för funktionen. Reduktionsåtgärderna får här inriktas på att undvika onödig exponering. Detta kan ske genom att placera dessa sändare, så att de inte är i direkt närhet, av platser i byggnaden där personer stadigvarande vistas. För fasad- och takmonterade mobiltelefonbasstationer, bör antenner placeras, så att inga byggnadsdelar ligger inom antennens huvudlob (där den högsta intensiteten finns), inom ett avstånd på några tiotal meter från antennens front. En bas-

stationsantenn har ett restriktionsområde på ett par meter, framför antennen, där personer ej får vistas under drift. Vid underhåll på byggnaden, inom detta område, måste basstationssändaren slås av.

För fasadmonterade basstationsantennerna bör antennlobens bredd anpassas, så att huvudloben inte träffar väggen som antennen sitter på.

## 6 Kostnader för reduktionsåtgärder

I detta avsnitt anges kostnader för olika reduktionsåtgärder. De angivna priserna bygger på uppgifter från Svante Wijk och medarbetare på NCC Teknik, Göteborg. Prisuppgifterna avser 2003 års prisnivå. Priserna är antingen framtagna genom att någon av de största leverantörerna tillfrågats eller också har erfarenhetsvärden från genomförda projekt hos NCC använts.

I praktiken kan priserna för olika produkter och åtgärder variera beroende på om kunden har avtalade rabatter samt beroende på beställningens volym. Eftersom vi inte tagit in priser från flera olika leverantörer kan priserna och modellerna på produkterna variera även av den anledningen. Priserna från leverantörer är bruttopriser exklusive moms.

Vid beräkningar gjorda utifrån NCCs erfarenhetsvärden har ett kontor på 4000 kvm samt ett bostadshus med 12 lägenheter använts. Så långt det varit möjligt har priserna delats upp enligt följande:

Materialkostnader. Anges som merkostnad, procentuell merkostnad alternativt faktisk kostnad.

Merarbete som en åtgärd kräver. Arbetet anges som merkostnad eller mertid

Vid ombyggnad är det oftast större ett merarbete för att utföra olika åtgärder. Vi har dock inte försökt ange några kostnader för detta, eftersom priserna varierar kraftigt beroende på omständigheterna i olika byggnader. För de flesta åtgärder är priset dock det samma vid ombyggnad respektive nybyggnad eller för kontor respektive bostäder.

I takt med att medvetenheten ökar kring elektriska och magnetiska fält och de åtgärder som finns, ökar försäljningen av skärmade produkter. Detta leder i sin tur till att priserna för många av dessa produkter kommer att sjunka inom den närmaste framtiden.

### 6.1 Reduktion av fält från yttre källor

#### *Skärmlinor*

Vid avskärmning nära en mindre byggnad sätts en mindre slinga på ca 100 meter upp. Skärmslingan läggs i så fall med 6-9 varv hopbuntade, se figur 6.1. Vid längre sträckor räcker det med ett varv.

Kostnaden för att skärma en 400 kV ledning med 100 meter skärmslinga och 6 varv blir cirka 450 000 kr. Om en sträcka på 3000 meter ska skärmas blir kostnaden cirka 1 800 000 kr.



Figur 6.1 Skärmslinga som reducerar magnetfältet från den intilliggande kraftledningen, källa Svenska Kraftnät.

### *Flytta yttre ledningar*

Eftersom förutsättningarna varierar mycket kraftigt från fall till fall väljer vi att inte ange några prisuppgifter för att flytta kraftledningar. Kostnaderna är dock betydande för större ledningar.

## **6.2 Reduktion av magnetiska fält från elinstallationer**

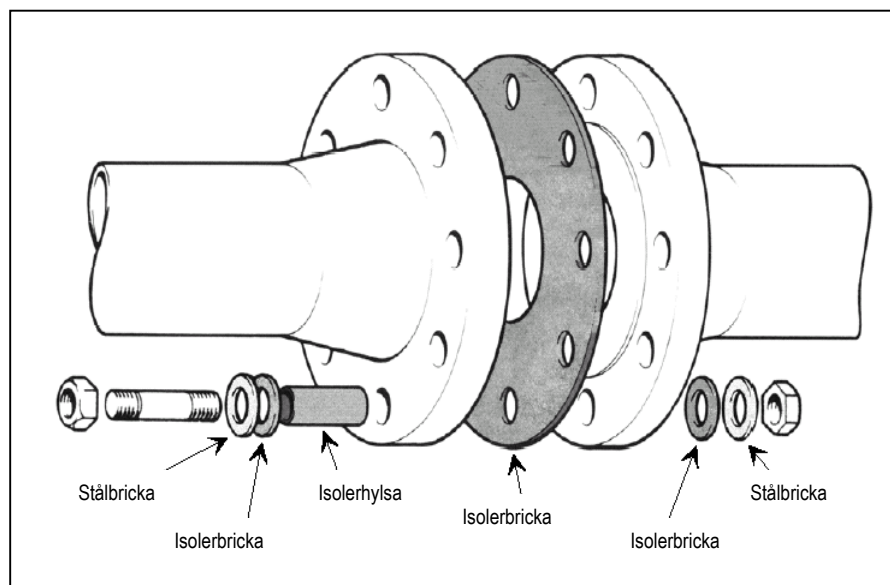
### *Byte till 5-ledarsystem*

Idag är det standard att installera 5-ledarsystem i framförallt kontor. Vid renovering och ombyggnad kan det bli aktuellt att uppgradera till 5-ledarsystem. Totalkostnaden för detta är cirka 46 kr/m<sup>2</sup>. Materialkostnaden är 15 kr/m<sup>2</sup> och arbetet cirka 0,1 h/m<sup>2</sup>. Som underlag för ovanstående priser ligger 30 kr/m kabel.

Att installera ett övervakningssystem till ett 5-ledarsystem kostar cirka 1800 kr/utgående grupp. Av detta är cirka 1500 kr materialkostnad och återstående (cirka 1 timma/grupp) utgörs av merarbete för installation.

### *Isolationsskarvar*

Flänsisolering i t ex fjärrvärmesystem kostar från 350 kr (20 mm) till 1000 kr (150 mm), se figur 6.2.



Figur 6.2. Flänsskarvisolering, källa Kolbach.

### ***Elvärmegolv***

Serieresistiv tvåledarkabel med konstant effekt (6,6 mm) kostar cirka 400-500 kr/m<sup>2</sup>.

Priserna avser total materialkostnad inkl. spackel m.m. men exklusive översta golvläggningen. Med arbete inräknat hamnar kostnaden på 700-1000 kr/m<sup>2</sup>.

Idag läggs det in tvåledarkablar som standard, se figur 6.3.



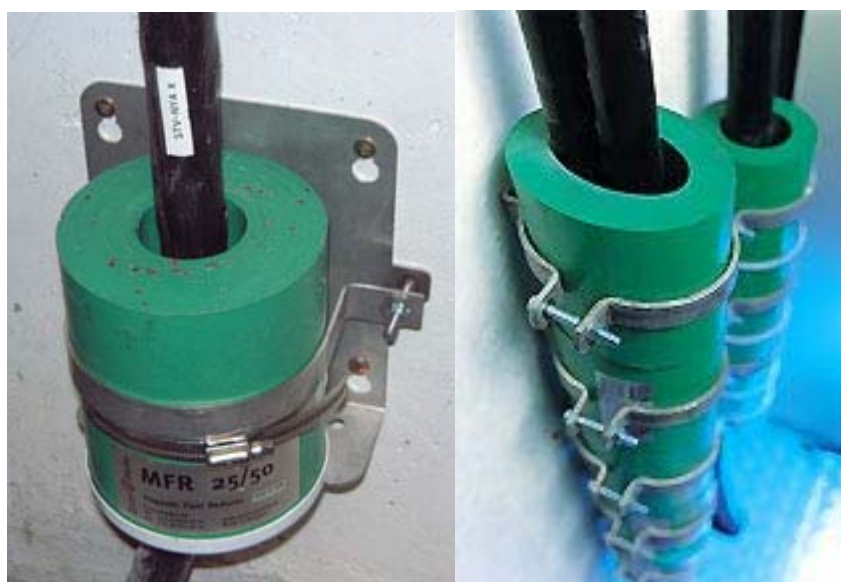
Figur 6.3. Förläggning av elvärmegolv, foto Thorin & Thorin.

### 6.3 Reduktion av vagabonderande strömmar med sugtransformator kärnor

#### *Installation av MFR-kärnor*

Installationskostnaderna kan variera beroende på hur komplicerat det är att montera dem i den aktuella lokalen. Det kan krävas 1-8 kärnor beroende på storleken på kabeln, storleken på den vagabonderande strömmen etc.

Priset för en icke delbar kärna är ca 3700 kr/kärna, medan en delbar kostar ca 4900 kr/kärna, se figur 6.4. Arbetskostnaden ligger på 2000 – 3000 kr per åtgärdad kabel. Om strömmarna är kraftiga kan krävas en elektronisk styrning vilken kostar ca 20 000 kr.



Figur 6.4. a) Delbar enkelkärna monterad på kabel, b) För att erhålla ökad sugtransformatorverkan kan flera kärnor användas på samma kabel. Parallellkopplade kablar bör monteras så att kärnan omsluter båda kablarna för bästa verkan, foto EnviroMentor AB.

### 6.4 Skärmning av magnetfält från elektrisk utrustning

#### *Skärmning av rum för ställverk*

Kostnaden är cirka 7500 kr/m<sup>2</sup> golvyta för rummet som ska skärmas. Kostnaden är beräknad efter att taket och övre hälften av väggarna skärmas. För beräkningen har ett nätstationsrum på cirka 20 m<sup>2</sup> använts och skärmningen gäller för nätfrekventa magnetfält.

Ett annat utförande är att placera en huv över ställverket för avskärmning, se figur 6.5. Kostnad för detta är ca 10 000 kr/m<sup>2</sup> huv.



Figur 6.5. Skärmning av ställverk med en huv

### ***Skärmad transformator***

Merkostnaden för en skärmad transformator jämfört mot en oskrämad är cirka 80 % högre. Det tillkommer inget merarbete vid inkoppling.

### ***Skärmat lågspänningsställverksskåp***

Merkostnaden i material jämfört mot ett vanligt skåp ligger på 2000-2500 kr per meter ställverksskåp. Vid uppställning av skåpet på plats tillkommer ett par timmars merarbete (ca 1000 kr) för ytterligare svetsning.

För kostnadsberäkningen ingår skärmning med 5 mm aluminium i tak och på sidorna av skåpet. Framsidan skärmas ej.

### ***Strömskenor/kompaktskenor***

Strömskenor används för att överföra stora strömmar, se figur 6.6.

Distributionsskena, plåtklädd kostar ca 2500 kr/m (Säljs i 5 meters längder).

Kompaktskena, plåtklädd kostar ca 3000 kr/m (Säljs i 4 meters längder).

Distributionsskenan tar cirka 0,8 h/m att installera, medan kompaktskenan tar något kortare tid, 0,7 h/m.

Båda skenorna är plåtklädda, men i kompaktskenan ligger ledarna så tätt att mycket låga magnetfält erhålls.





Figur 6.6. Kompaktskena för matning från ställverk på plan 1 till plan 12, källa: Schneider Electric.

## 6.5 Jordning och potentialutjämning

### *Byte från ojordat till jordat i bostad*

Att byta från ojordat elsystem till jordat elsystem i ett flerbostadshus kostar cirka 9000 kr/lägenhet. Av detta är 6000 kr/lägenhet material och återstående 3000 kr/lägenhet (ca 10 h) är arbetskostnad.

### *Potentialutjämning*

Kostnaden ligger på 15 000 kr/objekt och av detta utgör 5000 kr i materialkostnader. Återstående är arbetskostnad, cirka 35 timmar/objekt.

### *Stomjordning*

I genomsnitt hamnar kostnaden på 50.000 – 150.000 kr per objekt. Av detta utgör 30 % kostnader för material och 70 % för arbete. Kostnadsdifferensen kan vara stor mellan olika objekt beroende på de specifika förutsättningarna.

## 6.6 Reduktion av elektriska fält från elkablar m.m.

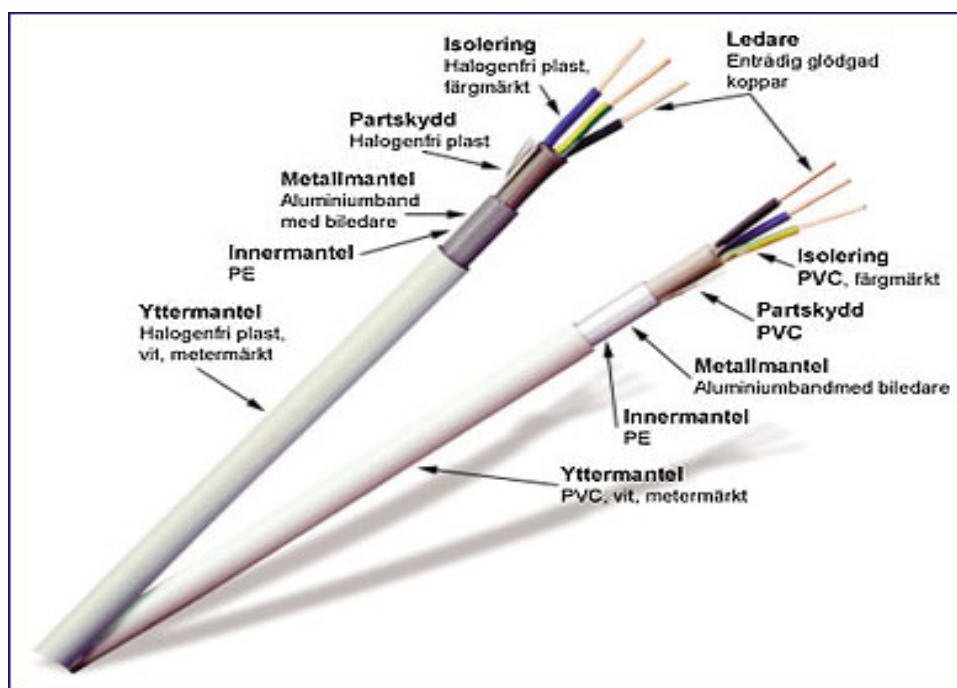
Priserna i detta avsnitt avser ett genomsnitt för de vanligast använda kablarna/trådarna.

### *Skärmad kabel (utanpåliggande)*

Dragning av skärmad kabel kostar ca 10 % mer än för standardkabel, se figur 6.7. Av dessa 10 % utgör 7 % material och 3 % merarbete. Prisexempel inkl. montage/klamning:

100 meter standardkabel kostar ca 6400 kr.

100 meter skärmad kabel kostar ca 7200 kr.



Figur 6.7. Exempel på skärmad kabel

### *Skärmad kabel (rörförlagd)*

Dragning av skärmad kabel förlagd i rör kostar ca 430 % mer än för standardkabel. Av detta utgör 410 % material och 20 % merarbete. Prisexempel inkl. arbete:

100 meter lös standardtråd förlagd i rör kostar ca 1600 kr.

100 meter skärmad kabel kostar ca 8500 kr.

100 meter standardrör kostar ca 3500 kr.

### *Skärmade rör*

Förläggning av skärmade rör kostar cirka 90 % mer än standardrör varav 80 % är material och 10 % merarbete. Prisexempel inkl. arbete:

100 meter standardrör kostar ca 3500 kr.

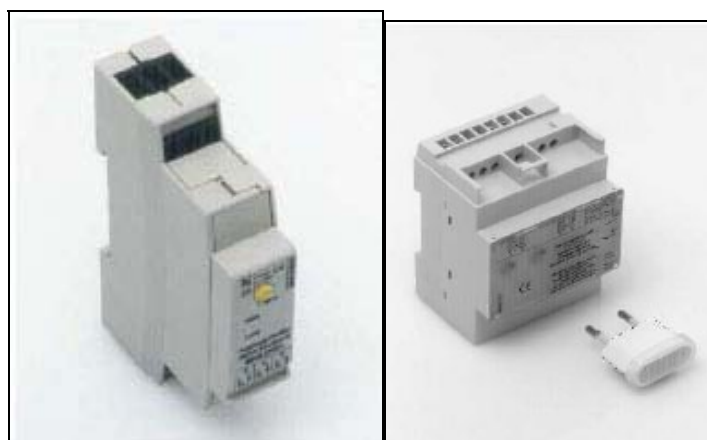
100 meter skärmade rör kostar ca 6700 kr.

### ***Skärmade fönsterbänkskanaler***

Merkostnaden för att installera skärmade fönsterbänkskanaler för kontor kostar cirka 1,25 kr/m<sup>2</sup> golvyta (inkl. material och mertid) jämfört mot oskärmade. Merkostnaden för materialet ligger på ca 0,6 kr/m<sup>2</sup>. För ett kontorshus på 4000 m<sup>2</sup> blir merarbetet cirka 8 h. För motsvarande byggnad blir därför materialkostnaden cirka 2500 kr.

### ***Automatisk nätfrånkopplare***

En 1-polig nätfrånkopplare som bryter fasen automatiskt efter det att lasten har brutits kostar cirka 1000 kr, se figur 6.8a. Denna typ av frånkopplare är den som vanligast installeras. För elöverkänsliga personer rekommenderas den 2-poliga nätfrånkopplaren som kostar cirka 1500 kr för att bryta även neutralledaren eftersom den kan vara behäftad med störningar, se figur 6.8b.



Figur 6.8. a) Enpolig standard nätfrånkopplare. b) Tvåpolig nätfrånkopplare, källa RTK.

### ***Skärmning av rum med aluminiumtapet***

Tapeter som ska användas beläggs med ett aluminiumskikt. Det är mycket svårt att ange ett pris eftersom det är helt beroende på volym/mängd tapeter som ska beläggas.

## 6.7 Reduktion av fält från belysning och apparater

### *Brytare med skärmd ram*

Installation av brytare med skärmd ram kostar cirka 50 % mer än utan skärmning. Av dessa 50 % är 35 % material och 15 % merarbete.

### *Armaturer*

Merkostnaden för en avskärmd taklampa med HF-don är cirka 300 kr (15 %). För en avskärmd skrivbordslampa är motsvarande merkostnad ca 600 kr (20 %). Eftersom det finns en mängd olika leverantörer kan priserna variera.

## 6.8 Jordning av bordunderreden mm

### *Jordning av skrivbord*

Jordning av underrede kostar ca 100 kr per bord, plus 10-15 minuters arbete/ bord.

### *Jordning av både kabelrännor och underrede på skrivbord:*

Kostnad för inkoppling ca 100 kr plus två kabelrännor à 200 kr, vilket ger en totalkostnad på 500 kr per bord.

## 7 Myndigheternas bedömningar

I detta avsnitt redovisas myndigheters och organisationers syn på frågorna om begränsningar av exponeringen för elektromagnetiska fält. Vi börjar med en internationell genomgång och går därefter in på den svenska bedömningen.

### 7.1 Internationellt

#### *ICNIRP*

ICNIRP (International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection, 1998) har givit ut riktlinjer för exponeringen för elektromagnetiska fält inom frekvensområdet 0 - 300 GHz. Dessa gäller internationellt, men är givetvis inte lagtvingande. ICNIRPs riktlinjer bygger på två allmänt accepterade hälsoeffekter.

- 1) Lågfrekventa fält kan inducera ström, som om den är tillräckligt stark, kan excitera nervsignaler.
- 2) Högfrekventa fält kan alstra en skadlig uppvärmning av vävnader i kroppen.

Utgående från dessa akuta hälsoeffekter, har ICNIRP satt upp grundläggande begränsningar som, för arbetsexponering ligger 10 gånger under den nivå, där effekten dokumenterats. För allmänhetens exponering har man lagt till en säkerhetsfaktor på 5 gånger, för att täcka in variationer i känslighet för barn, gamla och sjuka. De grundläggande begränsningarna säkerställer att elektriska och magnetiska fenomen som kan uppträda i kroppen, inte stör funktioner i nervsystemet eller ger upphov till skadlig värmeutveckling.

För lågfrekventa fält innebär de grundläggande begränsningarna, att den inducerade strömtätheten, medelvärdesbildad över  $1 \text{ cm}^2$ , är  $10 \text{ mA/m}^2$  för yrkesexponering och  $2 \text{ mA/m}^2$  för allmänhetens exponering. Då dessa grundläggande begränsningar är svåra att mäta, i en praktisk situation, har ICNIRP infört något man kallar referensvärden. Referensvärdena anges i storheter som kan mätas utanför kroppen och är härledda ur de grundläggande begränsningarna och säkerställer att dessa inte överskrids. Även om ett referensvärde överskrids innebär det inte nödvändigtvis att de grundläggande begränsningarna överskrids. Om ett referensvärde överskrids ska man istället göra en grundligare utredning för att säkerställa att grundläggande begränsningar inte överskrids. Referensvärden varierar med frekvensen, för 50 Hz är referensvärdet för magnetiska fält  $500 \mu\text{T}$  för arbetsexponering och  $100 \mu\text{T}$  för allmänhetens exponering.

#### *EU*

Europarådet gav 1999 ut rekommendationer om exponeringsbegränsningar för allmänheten, Council Recommendation 1999/519/EC. Dessa baserades på ICNIRPs riktlinjer. Europarådets rekommendationer har, på olika sätt, införts i de flesta EU-länderna, i Sverige via SSI (se vidare avsnittet om Sverige).

För yrkesexponering kom ett förslag till direktiv (Commission Proposal COM(92) 560 final) redan 1992. Detta direktiv har sedan blivit vilande, men under Danmarks ordförandeskap 2002, aktiverades arbetet på att färdigställa direktivet.

### WHO

WHO koordinerar arbetet med bedömning av hälsorisker av elektromagnetiska fält vid kontoret i Geneve, under "the WHO International EMF Project". WHO organet International Agency for Research on Cancer (IARC), utreder cancerrisker. IARC klassar olika agens cancerrisker, enligt en strikt procedur. Denna klassning är indelad enligt Tabell 7.1.

Tabell 7.1 Sammanställning av IARCs klassning av cancer

Klass	Benämning	Bevis för cancer
1	Är cancerframkallande	Tillräckliga bevis
2A	Troligen cancerframkallande	Begränsade bevis
2B	Möjlig cancerframkallande	Mer begränsade bevis
3	Kan inte klassas som cancerframkallande	Otillräckliga bevis
4	Troligen inte cancerframkallande	Bevis saknas

Under 2002 studerade en expertgrupp vid IARC forskningen om cancerrisker av statistiska och extremt lågfrekventa elektromagnetiska fält. Arbetet finns dokumenterat i en bok, som sammanställer och kommenterar en betydande del av forskningen på området, fram till och med år 2001, IARC (2002).

Enligt IARC är

- Bevisen begränsade för att det skulle finnas ett samband mellan ELF-magnetfält och barnleukemi.
- Bevisen otillräckliga för att det skulle finnas ett samband mellan ELF-magnetfält och alla andra cancertyper.
- Bevisen otillräckliga för ett samband mellan magnetfält och cancer i försöksdjur.

IARC's bedömning när det gäller **statiska** elektriska och magnetiska fält samt lågfrekventa **elektriska** fält är, att nuvarande data, inte räcker för att man skall kunna bedöma om de är cancerframkallande eller inte (grupp 3). För **lågfrekventa magnetfält** görs bedömning att de **möjlig** skulle kunna vara cancerframkallande, grupp 2B. Expertgruppen gjorde bedömningen att barncancerstudierna utgjorde ett begränsat bevis (limited evidence) för en överrisk för cancer, medan bedömningen av studier på vuxna blev att bevisningen var ofullständig (inadequate evidence). IARC ställningstagande bygger framförallt på epidemiologiska studier av barncancer och magnetfältsexponering. Man skriver i pressmeddelande då man presenterade klassningen:

En kombinerad (pooled) analys av data från ett antal väl utförda studier visar ett ganska konsistent statistiskt samband mellan barnleukemi och exponering i hemmet för kraft-

frekventa magnetiska fält med fältstyrkor över 0,4  $\mu\text{T}$ , med en ungefär fördubblad risk. Det är osannolikt att detta beror på slumpen, men resultatet skulle kunna ha påverkats av selektionsbias.

### *Införande av rådets rekommendation i några olika länder*

#### *Finland*

Finland anser sig ha implementerat EU:s rekommendation genom ny lagstiftning: ”Förordning om minskad exponering av allmänheten för icke-joniserande strålning”. Lagen anknyter till EU-rådets rekommendation.

#### *Tyskland*

Tyskland anser att deras nuvarande regelverk täcker in EU:s rekommendation. Regelverket behandlar dock bara stadigvarande utrustning som exempelvis kraftledningar, kablar och ställverk etc. Tyskland har infört följande krav genom sin lagstiftning: För byggnader med mer än sporadisk närvaro av människor: Maximalt 100  $\mu\text{T}$  vid 50 Hz, tillfälligt överskridande, mindre än 5 % av dagen, accepteras upp till 200  $\mu\text{T}$ .

#### *Schweiz*

2000 ändrade Schweiz sitt regelverk så att frekvensberoende magnetfältsbegränsningar infördes för frekvenser upp till 300 GHz. Vid 50 Hz får allmänheten exponeras för upp till 100  $\mu\text{T}$ <sup>5</sup>, förutsatt att inte den elektriska fältstyrkan, beröringsströmmen eller den kroppsliga avledningsströmmen, överskrider sina respektive gränsvärdena.

De schweiziska lagarna har även behandlat problemet att inte hela den tillåtna exponeringen ska upptas av en enda källa, genom införandet av ”anläggningsgränsvärden”. Anläggningsgränsvärdena begränsar den, av en enskild källa alstrade exponeringen, på platser som nyttjas, eller enligt stadsplanerna kan komma att nyttjas, på ett sådant sätt att allmänheten uppehåller sig där. Om exponeringen på någon plats blir för hög åligger det myndigheterna, att skärpa anläggningsgränsvärdena för de anläggningar som bidrar till exponeringen av den aktuella platsen.

För ställverk, brytare och transformatorstationer är anläggningsgränsvärdet vid 50 Hz, 1  $\mu\text{T}$  (för effektivvärdet av den magnetiska flödestätheten). Också för nya kablar och luftledningar, med märkspänningar på minst 1 kV, är anläggningsgränsvärdet 1  $\mu\text{T}$ , för gamla ledningar gäller att sanering måste ske inom tre år, om emissionen överstiger 1  $\mu\text{T}$ . Ledningskonfigurationen skall optimeras med avseende på den emitterade magnetiska flödestätheten, Schweizerische Bundesrat (2002).

---

<sup>5</sup> Vid samtidig exponering för andra frekvenser finns begränsningar för de viktade summorna av exponeringen.

## 7.2 EU:s EMC och bildskärmsdirektiv

EU har givit ut ett antal direktiv som berör olika produkter. Syftet med dessa direktiv är att undanröja handelshinder inom EU samt ställa olika krav på produkter som får säljas inom EU. Intressanta ur elektromagnetisk fältsynpunkt är EUs EMC-direktiv, 89/336/EEC och bildskärmsdirektivet 90/270/EEC. Dessa direktiv är utformade efter den s.k. "new approach" vilket innebär att kraven uttrycks i generella termer istället för i gränsvärden. Efter det att direktivet antagits utarbetas sedan standarder med gränsvärden för olika produkter.

EMC = ElectroMagnetic Compatibility, på svenska elektromagnetisk förenlighet (EMC). Med detta avses elektriska utrustningars och apparaters förmåga att fungera tillsammans utan att störa varandra. EMC är därför något vi skall eftersträva! De väsentliga kraven i EMC-direktivet uttrycks:

"Apparaten skall vara konstruerad så att:

- a). De elektromagnetiska störningar den alstrar inte överskrider nivåer som tillåter radio- och telekommunikationsutrustning och annan apparatur att fungera på avsett sätt.
- b). Apparaten skall ha ett adekvat inbyggd skydd mot elektromagnetiska störningar så att den fungerar på avsett sätt.

Direktivet omfattar i stort sett all elektrisk och elektronisk utrustning som kan avge elektromagnetiska störningar eller bli störd. EUs medlemsländer har infört direktivet i sin nationella lagstiftning med straffsanktioner om en leverantör marknadsför varor som ej uppfyller kraven efter 960101 då direktivet blev tvingande. Produkterna skall förses med CE-märke som talar om att de uppfyller EU:s gällande direktiv.

Kraven på produkterna är att de skall ligga under vissa nivåer, avseende utstrålade och ledningsbundna störningar, vidare skall de tåla vissa nivåer av påstrålade och ledningsbundna störningar. Många befintliga produkter, som sålts före direktivets ikraftträdande, klarar inte dessa krav. Direktivet innebär en skärpning och att många tillverkare har fått vidtaga åtgärder för att klara dem. Typiska åtgärder är förbättrad skärmning och filter på in och utgående kablar. Dessa åtgärder leder till minskade fältnivåer från produkterna vilket är positivt.

EU:s bildskärmsdirektiv 90/270/EEC som införts i svensk lagstiftning via Arbetarskyddsstyrelsens föreskrift AFS 1992:14 säger:

"Emissioner från bildskärmen och tillhörande utrustning såsom buller, värme och elektriska och magnetiska fält, får inte vara störande eller orsaka användaren besvär eller obehag som utgör risk för dennes säkerhet och hälsa." Detta är naturligtvis utmärkt, men ej så lätt att tillämpa i praktiken då direktivet inte talar om under vilka nivåer emissionerna måste vara. Standarder som specificerar detta är emellertid under utarbetande.



### 7.3 Nationell svensk bedömning

Vilken är de svenska myndigheternas bedömning? Fram till nittiotalet fanns inga svenska rekommendationer eller gränsvärden, som begränsade lågfrekventa magnetfält.

Dåvarande ansvariga myndigheten för elsäkerhet, NUTEK, kom med ett pressmeddelande 920930, efter det att de två svenska cancerepidemiologiska studierna presenterats, där man sade "Resultaten av de nu redovisade epidemiologiska studierna motiverar en ändring av NUTEKs bedömning. I det fortsatta arbetet med föreskrifter för elanläggningar kommer NUTEK att utgå från förutsättningen att det finns ett samband mellan exponering för kraftfrekventa magnetfält och cancer. NUTEK kommer nu att närmare analysera den aktuella risken och överväga införandet av gränsvärden i elsäkerhetsföreskrifterna."

Föregångaren till NUTEK, Statens Energiverk sa redan 900201, att man skulle inta en försiktighetsstrategi, som innebär att man vid nyanläggning av skolor, lekplatser och daghem skall placera dem så långt från kraftledningar att flödestätheten ligger under 0,2 – 0,3  $\mu\text{T}$ .

Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer (1995) granskade frågan om risken för cancer vid yrkesmässig exponering för lågfrekventa magnetfält. Gruppens slutsats var att "Epidemiologiska studier visar ett visst, trovärdigt men svagt, stöd för hypotesen om ett samband mellan hjärntumörer och vissa former av leukemi och exponering för magnetfält. En samlad bedömning av djurstudier och epidemiologiska undersökningar är att yrkesmässig exponering för magnetfält möjligen kan vara cancerframkallande för människor. Det saknas dock underlag för att avgöra om det finns ett dos-responssamband. Kriteriegruppen konstaterar sammanfattningsvis att det vetenskapliga underlaget inte räcker för att ta fram ett gränsvärde. Detta utesluter inte andra åtgärder - t. ex. baserade på någon form av försiktighetsstrategi."

Med detta som underlag hade fem myndigheter under 1996 gemensamt utarbetat "Myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält - en vägledning för beslutsfattare". De fem myndigheterna var Arbetarskyddsstyrelsen, Boverket, Elsäkerhetsverket, Socialstyrelsen och Statens strålskyddsinstitut.

"Myndigheterna rekommenderar gemensamt följande försiktighetsprincip: **Om åtgärder, som generellt minskar exponeringen, kan vidtas till rimliga kostnader och konsekvenser i övrigt bör man sträva efter att reducera fält som avviker starkt från vad som kan anses normalt i den aktuella miljön. När det gäller nya elanläggningar och byggnader bör man redan vid planeringen sträva efter att utforma och placera dessa så att exponeringen begränsas.** Det övergripande syftet med försiktighetsprincipen är att på sikt reducera exponeringen för magnetfält i vår omgivning för att minska risken att människor eventuellt kan skadas."

En förklaring av vad menas med normal magnetfältnivå ges i skriften "Medianvärdet för bostäder och daghem i större städer är cirka 0,1  $\mu\text{T}$ . I mindre städer och på landsbygden är värdena ungefär hälften. I storstadsområdena har cirka 10 procent av bostäderna minst ett rum med ett magnetfält över 0,2  $\mu\text{T}$ . Nära kraftledningar och transformatorstationer är magnetfälten högre. Mitt under en kraftledning kan det vara ungefär

10  $\mu\text{T}$ . Man beräknar att cirka 0,5 procent av bostadsbeståndet har ett magnetfält över 0,2  $\mu\text{T}$  på grund av närhet till elektriska ledningar av olika typer. Mätningar har gjorts för ett stort antal yrkeskategorier på deras arbetsplatser. Medianvärdet för dessa var cirka 0,2  $\mu\text{T}$ . I många industrimiljöer varierar naturligt nog värdena avsevärt. Det högsta dagsmedelvärdet 1,1  $\mu\text{T}$  mättes för yrkesgruppen svetsare.“

Det finns andra organisationer, som ej är myndigheter, som uttalat sig, de strängaste kraven kommer från Vasakronan AB (f d Byggnadsstyrelsen). Vid nybyggnation av byggnader för Vasakronan kräver man femledarsystem och användning av skärmade kablar så att det magnetiska fältet (5 Hz - 2 kHz) skall vara under 0,2  $\mu\text{T}$ , 0,8 m över golv, i de punkter där personer har sina arbetsplatser och det elektriska fältet (5 Hz - 2 kHz) skall vara under 10 V/m.

Krav på att årsmedelvärdet av magnetfältet skall vara under 0,2  $\mu\text{T}$  vid nybyggnation har ställts på kommunal eller länsnivå i Stockholm respektive Skåne.

Statens strålskyddsinstitut har under år 2002, givit ut ”allmänna råd” för allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält, som bygger på Europarådets rekommendation från den 12 juli 1999, om allmänhetens exponering för fält med frekvenser mellan 0 och 300 GHz, SSI (2002). De nivåer som SSI rekommenderar är samma som i ICNIRPs riktlinjer.

Elsäkerhetsverket sände under våren 2003 ut en rapport ”**Reduktion av magnetfält från kraftledningar**” på remiss. I denna preciserar Elsäkerhetsverket, som är en nationell myndighet, vilken nivå som skall gälla vid nya och förnyade kraftledningskoncessioner.

Som skrivs i rapporten är forskningsläget inte tillräckligt för att sätta gränsvärden baserade på de epidemiologiska studierna. Elsäkerhetsverket väljer, som en försiktighetsåtgärd, nivån 0,4  $\mu\text{T}$ , för magnetfält från kraftledningar. Tyvärr har inte Elsäkerhetsverket, vid tidpunkten för denna rapport utarbetande, givit ut någon definitiv version av rapporten efter remissbehandling.

## 8 Slutsatser

Denna genomgång visar att det finns en mängd källor till elektriska och magnetiska fält i byggnader. I kapitel 5 redovisas en rad olika metoder för att reducera fälten. I detta avsnitt sammanfattas de viktigaste åtgärderna och det görs också en värdering av dem, byggt på erfarenheter från en mängd verkliga reduktionsprojekt. Det finns tekniska lösningar för att åtgärda fält i de flesta fall, viktigt att tänka på är att de bästa och mest kostnadseffektiva lösningarna, är de som planeras redan i projekteringsfasen. När väl projektet startat och är igång tenderar lösningarna att bli betydligt dyrare.

Elektriska fält från yttre källor skärmas oftast av normala byggnadsmaterial, däremot skärmas ej de magnetiska fälten. När det gäller magnetfält från yttre källor som kraftledningar och tågtrafik finns det inga enkla billiga åtgärder för fastighetsägaren. Skärmning av själva huset har endast tillgripits i några få speciella fall, då detta leder till stora kostnader. Detta eftersom skärmens dimensioner måste vara av samma storleksordning som husets dimensioner, för att erhålla någon verkansfull reduktion.

Flyttning av kraftledningen, byte till andra kraftledningsstolpar eller markkabel är åtgärder som använts i vissa fall. Dessa åtgärder är förknippade med stora kostnader, speciellt markkabel är dyrt eftersom detta förutom kabelkostnader kräver två övergångsstationer mellan kraftledning och kabel.

Den vanligaste källan till förhöjda magnetfält i byggnader är inte yttre källor utan vagabonderande strömmar i fastighetens elnät och serviskablar. Vid nybyggnation krävs numera femledarsystem, detta förhindrar uppkomsten av vagabonderande strömmar.

En svaghet med femledarsystemet är att det räcker med en oavsiktlig förbindning mellan neutralledare och skyddsjord för att systemet skall sluta att fungera som ett femledarsystem. Det finns ett flertal fastigheter med femledarsystem, som trots detta har vagabonderande strömmar, på grund av fel i systemet. Därför rekommenderas kombinationen med jordfelsövervakning.

I befintliga byggnader är en ombyggnad från fyrledarsystem till femledarsystem ofta relativt kostsam. Här har det visat sig att installation av sugtransformator kärnor är en pålitlig och oftast mer kostnadseffektiv lösning.

En fördel med lösningen med sugtransformator kärnor är att dessa inte förutsätter något perfekt elsystem för sin funktion, vilket ger en robust lösning. För att ett femledarsystem skall fungera krävs att det är fem separerade ledare i serviskabeln hela vägen till nätstationen. Bygger man ett småhus är detta ofta svårt att åstadkomma, då serviskabeln ansluts till fyrledarnätet i ett kabelskåp. I detta fall kan vagabonderande strömmar förhindras med kärnor.

I detta sammanhang kan det vara på sin plats att nämna några åtgärder som *ej* fungerar mot vagabonderande strömmar. På inte så få ställen har man försökt skärma en kabel som alstrar magnetfält med hjälp av aluminium- eller järnplåtar. Plåt-skärmning är en verkningsfull åtgärd för transformatorer, ställverk etc. Däremot går det *inte* att skärma en vagabonderande ström i en kabel. Detta kan verka överraskande, men har sin fysikaliska förklaring då skärmen måste omsluta både den fram och återgående strömmen, för att kunna sätta upp en motverkande virvelström. I fallet med den vagabonderande strömmen i kabeln, går ju återgångsströmmen någon helt annan väg, t.ex. i en vattenledning som troligen *ej* är nära skärmplåten.

Ett annat sätt att minska magnetfält från en kabel är att tvinna ledarna. Detta fungerar bara om lika stor ström går fram och tillbaka i kabeln, vilket innebär att det *inte* fungerar för att reducera vagabonderande strömmar.

Att införa ett elektriskt avbrott, i till exempel en vattenledning, kan hjälpa för att stoppa vagabonderande strömmar i ett småhus, men är vanligtvis verkningslöst i en större byggnad, då det oftast finns en mängd alternativa vägar för de vagabonderande strömmarna.

Inbyggda nätstationer, större elcentraler, strömskenor mm. är ofta betydande källor till magnetfält. Här bör man ge akt på två saker; komponenterna i sig samt vagabonderande strömmar. Fälten från de olika komponenterna som transformatorer och ställverksskåp kan skärmade med hjälp av aluminiumskärmar. Det är viktigt att analysera fältbild och källor före skärningsarbetet påbörjas, för att kunna placera skärmarna på rätt plats, så en verkningsfull och kostnadseffektiv åtgärd erhålls.

Som nämnts hjälper inte skärmningen mot vagabonderande strömmar. Dessa strömmar måste åtgärdas separat på ovan beskrivet sätt. Det finns flera exempel på att man genomfört skärmningar av nätstationer till betydande kostnader och trots detta haft kvar huvuddelen av magnetfältet. Orsaken har ofta varit *ej* åtgärdade vagabonderande strömmar, i kombination med att skärmarna inte placerats optimalt.

Elektriska fält från byggnadens elinstallationer är betydligt lättare att reducera. Här har det kommit fram en rad lösningar på marknaden, som fungerar bra, t.ex. skärmande kablar, rör och kabelrännor. Det finns också ett gott urval av skärmda elapparater. Om man vid nybyggnation bygger konsekvent med skärmda installationer kommer elsystemets elektriska fält att vara låga inne i huset.

Detta är dock ingen garanti för låga elektriska fält i byggnaden, efter det den tagits i bruk. Om man inte fullföljer med skärmda lamp- och apparatsladdar liksom elutrustning i jordat utförande, kan de elektriska fälten, trots installationen, bli förhöjda.

Sammanfattningsvis finns det många källor till elektriska och magnetiska fält i byggnader, men det finns också fungerande tekniska lösningar för att reducera fälten. De flesta åtgärderna kan genomföras till rimliga kostnader, men vissa åtgärder, som har att göra med högspänningsledningar, kan leda till betydande kostnader.

## **9 Tack**

Ett stort tack till referensgruppen samt Svante Wijk, Martin Nilsson, Martin Lundmark, Janolof Hagelberg, Mats Wahlberg och Martin Ohldin för värdefulla synpunkter. Denna rapport har framtagits med finansiellt stöd från SBUF och SSI.

## LITTERATUR

Almgren, S Hansson, M. och Karlsson, J. (2002) ”Metod för att mäta lågfrekventa magnetfält i inomhuslokaler” Examensarbete, institutionen för Elektromagnetik, Chalmers.

Arbetskyddstyrelsen m fl (1996) ”Myndigheternas försiktighetsprincip om lågfrekventa elektriska och magnetiska fält - en vägledning för beslutsfattare” Arbetskyddstyrelsen ADI 477.

Bergqvist, U. Anger, G. Birke, E. Hamnerius, Y. Hillert, L Larsson, L.-E. Törnevik, C. och Zetterblad, J. (2001) Exponering för radiofrekventa fält och mobiltelefoni. SSI rapport : 2001:09, april 2001.

Blomqvist, A.-C. Hamnerius, Y. and Klittervall, T. (1995) "Elkontoro - Elsanering och överkänslighet i kontorsmiljö" SAN, pp 1 - 24, Stockholm 1995.

Boverket (1998) ”Förbättrad elmiljö vid nybyggnad. Furiren 3 i Kristianstad, Boverket Byggnadsavdelningen, Diariernr: B6087-1688/96.

Elsäkerhetsverket. (1999) ”Starkströmsföreskrifterna; Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utförande och skötsel av elektriska starkströmsanläggningar samt allmänna råd om tillämpningen av dessa”, ELSÄK-FS 1999:5,

Elsäkerhetsverket. (2001) ”Aktuellt”, nr 1, 2001.

Elsäkerhetsverket. (2002) Reduktion av magnetfält från kraftledningar. Remissutgåva.

Fransson, L. & Hamnerius, Y. (1989) "Magnetfält i kontorsarbetsmiljö" Inst för teknisk elektronfysik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Rapport nr 39.

Fransson, L. & Hamnerius, Y. (1990) "Reduktion av magnetiska fält från nätstationer" Inst f teknisk elektronfysik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Rapport nr. 48.

Hamnerius, Y. (1986) Redaktör "Bildskärmsarbete och hälsa" Chalmers forskarförhör, Rapport nr 5, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Hamnerius, Y. (1987) "Arbete vid bildskärm" Teldok, Referensdokument H, Stockholm.

Hamnerius, Y. (1988) "Anordning vid bildrör för att reducera den magnetiska fältstyrkan i bildrörets omgivning", Sv patent nr 8605303-0.

Hamnerius, Y. (1996) ”Elektriska och magnetiska fält i byggnader”, Rapport nr 20, Inst. f elektromagnetik, Chalmers tekniska högskola.

Hasselgren, L.& Hamnerius, Y. (1993) "Calculation of low frequency magnetic shielding of a substation using a two-dimensional finite element method" Department of Microwave technology, Chalmers Univ. of Tech., Göteborg, Report No. 2.

Hasselgren, L. (1993) "Magnetic shielding at extremely low frequency and optical fiber end diffusors", Report No. 156L, Institutionen för mikrovågsteknik, CTH. (Licentiatavhandling)

Hasselgren, L. Möller E. & Hamnerius Y. (1994) "Calculation of magnetic shielding of a substation at power frequency using FEM" IEEE Trans. Power Delivery, **9:3**, 1398-1405.

Hasselgren L. & Hamnerius Y. (1995) "Calculation of low frequency magnetic shielding of a substaion using a two-dimensional finite element method" European Trans. on Electrical Power Engineering.ETEP **5**: 81-90.

Höjevik, P., Hamnerius, Y.& Galt, S. “A Method for Reduction of Magnetic Fields from Video Display Terminals”, Technical Report No. 106L, School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology, Sept. 1991

IARC 2002, “IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans” Volume 80, Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields.

ICNIRP 1998, Guidelines on limits of exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, April 1998, Volume 74, Number 4

Ivarsson, O. & Hasselgren, L. (1993) "Mätningar och numeriska beräkningar av magnetfält i intilliggande fastigheter från elektriskt järnvägsspår" Rapport nr 4 Inst f mikrovågsteknik, CTH, Göteborg.

Johansson, B. (2003) EnviroMentor AB, personlig kommunikation.

Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer (1995) "Magnetfält och cancer - ett kriteriedokument" Arbeta och hälsa 1995:13.

Linde, T. (1995) "Aktiv kompensering av kraftfrekventa magnetfält i vår närmiljö" Arbetsmiljöinstitutet, Umeå, Undersökningsrapport 1995:8.

Lindgren, M., Gustavsson, M., Hamnerius, Y. and Galt, S. (1999) "Mapping of magnetic fields in city environment", In Bersani F. Ed. Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York, pp. 821-824.

Lindgren, M., Gustavsson, M. and Hamnerius, Y (2001) "ELF Magnetic Fields in a City Environment" Bioelectromagnetics **22**, pp. 87 – 90.

Lindgren, R. (1995) "Fyrledaren minskar fältet 24 gånger" ELFORSK El och Magnetfält, Nr 3: 1.

LPG Allgon (2003) hemsida ([www.lgpallgon.se](http://www.lgpallgon.se)), besökt 2 September 2003

Lundmark, M., Larsson, A. och Hagelberg, J. (2002) "Förstudie gällande förekomst av elektriska fält i kontorsmiljöer inom frekvensområdet 10 kHz – 30 MHz". Teknisk rapport Luleå tekniska universitet 2002:16.

Mann, S.M., Cooper, T.G., Allen, S.G., Blackwell, R.P. och Lowe, A.J. (2000) "Exposure to Radio Waves near Mobile Phone Base Stations". NRPB-R321, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ, Storbritannien.

Miljöförvaltningen Malmö stad 1998, *Miljöprogram för Malmö stad 1998 – 2002: 2.15 Elektromagnetiska fält*, <http://www.malmo.se/see/work/2026/miljwebb.pdf>.

Miljöförvaltningen Stockholms stad 2002, *Miljöutredning – på väg mot en hållbar utveckling: Elektromagnetiska fält*, Stockholms miljöprogram 2002 – 2006, <http://www.slb.mf.stockholm.se/tyckom/pdf/miljoutredning020507.pdf>.

Moberg, B. & Carlander, A. (1995) "Mätning av lågfrekventa magnetfält, radon och gammastrålning inom Bostadsmiljöprojektet" Examensarbete, Inst. f. mikrovågsteknik, CTH.

MPR (1990) "Provningsmetoder för bildskärmar" MPR 1990:7, Borås.

Nissen, J., Paulsson, L-E., Pettersson, B. & Svartengren, M. (1994) "Magnetfältsmätningar i bostäder och daghem." Rapport från Socialstyrelsen och Statens Strålskyddsinstitut.

Salinas, E. and Aspemyr, L. (1999) "Measurements and Reduction of 50 Hz Magnetic Fields from the New Substation at the Department of Electric Power Engineering" Technical Report No. 14R, ISSN: 1401-6176, Department of Electric Power engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, August 1999.

Salinas, E., Aspemyr, L., Daalder, J., Hamnerius, Y. and Luomi, J. (1999) "Power Frequency Magnetic Fields from In-house Secondary Substations" Proceedings of CIRED'99, 15th Conference on Electricity Distribution, Technical Reports, pp. 161-164. University of Liège, Belgium, June 1999.

Salinas, E., Bondeson, A., Daalder J. and Hamnerius Y. (2001a) "Towards a Global Strategy to Mitigate Power Frequency Magnetic Fields from Secondary Substations" Proceedings of CIRED'2001, 16th Conference on Electricity Distribution, IEE Conference Publication No 482, Paper 2.5, Amsterdam, 2001.

Salinas, E. (2001b) "Mitigation of Power-Frequency Magnetic Fields, With Applications to Substations and Other Parts of the Electric Network" Doktorsavhandling, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg.



Sandström, M., Hansson Mild, K., Lönnberg, G., Stenberg, B. & Wall, S. (1991) "Inomhusmiljö och hälsa bland kontorsarbetare i Västerbotten. Elektriska och magnetiska fält: en fall - referentstudie bland bildskärmsarbetare" Arbetsmiljöinstitutets undersökningsrapporter 12, 1991.

SEK (2002) "Potentialutjämnning i byggnader" SEK Handbok 413.

Smythe, W. R.(1950) "Static and Dynamic Electricity" , McGraw-Hill, York (Pa, USA), pp. 269-270.

Socialstyrelsen (1995) "Elektriska och magnetiska fält och hälsoeffekter, SoS-rapport 1995:1.

Statens strålskyddsinstitut 2002, Statens strålskyddsinstitutets allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält; beslutade den 28 oktober 2002, SSI FS 2002:3.

Suess, M. & Benwell-Morison, D. (1989) "Nonionizing Radiation Protection" Second edition, WHO Regional Publ. European Series No. 25, Copenhagen .

Swedac (1990) "Användarhandbok för utvärdering av bildskärmar" MPR 1990:9, Borås.

Schweizerische Bundesrat (2002) Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV).

TCO (1991). Bildskärmsfakta. TCO, Stockholm.

TCO (1999), *TCO '99-Mandatory and recommended requirements for CRT-type Visual Display Units (VDUs)*,

[http://www.tcodevelopment.com/s/arbetsmiljo/index\\_db.html?tco99.html~main](http://www.tcodevelopment.com/s/arbetsmiljo/index_db.html?tco99.html~main),

Trulsson J. (2003) In situ measurement of exposure to electromagnetic field strength from UMTS base stations. Examensarbete, rapport inst. för Elektromagnetik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Uddmar, T. (1999). RF Exposure from Wireless Communication. Institutionen för Elektromagnetik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Uddmar, T. och Hamnerius, Y. (2000). Measurements of radio frequency exposure in two Swedish vil-lages. Institutionen för Elektromagnetik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

WHO EMF project 2003 <http://www.who.int/peh-emf/en/>