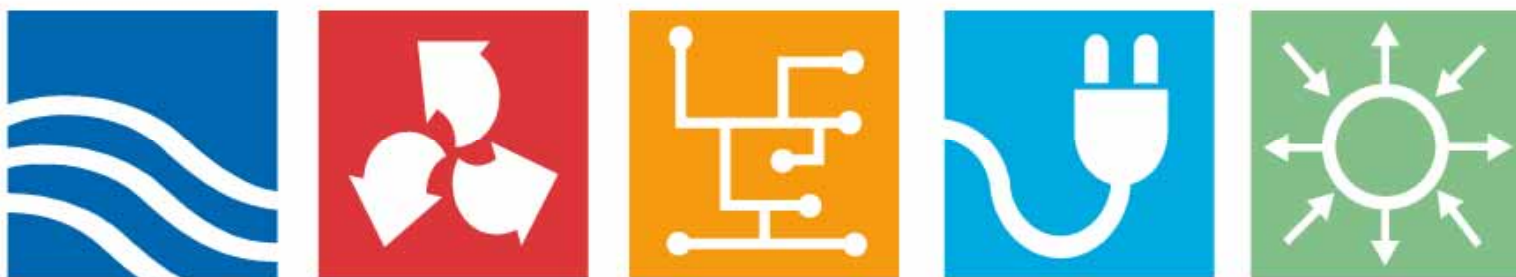




Elektriska och magnetiska fält i publika miljöer och vid yrkesmässig exponering

Del 1: Förekommande fält, inverkan på människokroppen och regelverk för exponering

Elforsk rapport 06:90



Göran Olsson

April 2006

ELFORSK

Elektriska och magnetiska fält i publika miljöer och vid yrkesmässig exponering

Del 1: Förekommande fält, inverkan på människokroppen och regelverk för exponering

Elforsk rapport 06:90

Elektriska och magnetiska fält i publika miljöer och vid yrkesmässig exponering

Del 1: Förekommande fält, inverkan på
människokroppen och regelverk för
exponering

Elforsk rapport 06:90

Göran Olsson
STRI AB

Förord

Elforsk har sedan 1990-talet bedrivit verksamhet inom området kraftfrekventa elektriska och magnetiska fält (EMF). Verksamheten omfattar forskning kring möjligheter att bestämma och begränsa EMF samt bevakning av forskningen kring effekter av EMF,. Arbetet i denna rapport har initierats och granskats av Svensk Energis EMF-grupp bestående av Eva Bergius (ordf) Svenska Kraftnät, Helena Andersson (sekr) Svensk Energi, Lennart Engström Vattenfall Eldistribution, Bengt Hanell Elforsk, Gunnar Hovsenius Elforsk, Åke Sjödin Elforsk, Henry Söderman Fortum Distribution, Ulf Thorén E.ON Elnät Sverige, Marianne Windell Vattenfall Eldistribution. De företag som bidragit till finansieringen av projektet är: Fortum Eldistribution, Göteborg Energi, Jämtkraft, LuleKraft, Mälarenergi, Skellefteå Kraft, Svenska Kraftnät, E.ON Nät, E.ON, Umeå Energi, Vattenfall, Vattenfall Distribution, Vattenfall Elproduktion och Öresundskraft.

Stockholm april 2006

Bengt Hanell

Elforsk AB

Programområde Överföring och distribution

Sammanfattning

Denna rapport ger en sammanfattning av kunskapsläget vid halvårsskiftet 2005, vad det gäller fält, inverkan på människokroppen och olika regelverk för exponering.

Idag exponeras människor för elektriska och magnetiska fält både i arbetslivet och i allmänna miljöer och exponeringen omfattar hela frekvensområdet upp till mikrovågsområdet. De kraftfrekventa elektriska fälten varierar från 10 – 20 V/m i bostäder och kontor till mellan 5 och 10 kV/m under större kraftledningar. I samband med arbete på högspänningsutrustning kan dock enstaka personer exponeras för betydligt högre fält. Motsvarande magnetiska fält förekommer från < 10 nT i bostäder och kontor till något tiotal μ T under ledningar och i ställverk. Inom bl a elektrostålindustrin kan fälten vara betydligt högre och lokalt överstiga 500 μ T.

1999 utfärdade EU en rekommendation om begränsning av allmänhetens exponering för elektriska och magnetiska fält och våren 2004 följdes denna av ett direktiv om begränsning av de fält som arbetstagare kan utsättas för. Båda dokumenten syftar till att förhindra negativa *akuta* effekter på människokroppen. Det vetenskapliga underlaget till båda dessa dokument har tagits fram av organisationen ICNIRP. Inom ICNIRP gjorde man bedömningen att det då – 1997 – inte fanns underlag för att göra en bedömning om ev långtidseffekter. Här i Sverige har EU-rekommendationen omarbetats till en föreskrift utgiven av SSI och Arbetsmiljöverket arbetar med att ta fram en föreskrift med EUs direktiv som grund.

Den grundläggande begränsningen eller gränsvärdet i ICNIRPs dokument, och i föreskrifterna, är en strömtäthet i det centrala nervsystemet. Även om det råder en viss oklarhet om exakt vilka organ som avses, så torde hjärnan, ryggmärgen och ögat (närhinnan) höra till de närmast aktuella. Gränsvärdet har baserats på kända akuta och negativa effekter på människan. Värdet 10 mA/m² för arbetstagare har sannolikt baserats på den nedre gränsen för fosfener, men valet av nivå stöds också av att det på senare år visat sig att det centrala nervsystemet kan påverkas av strömtätheter av denna storleksordning. Gränsvärdet för allmänheten har satts till 2 mA/m².

I litteraturen ges många exempel på beräkning av inducerade strömmar orsakade av yttre B- och E-fält. De enkla tillvägagångssätten baseras på homogena kroppar med en konstant inre konduktivitet. Dessa metoder ger tyvärr inte någon säker information om strömmen i de kritiska organen. Det finns emellertid publicerade resultat från beräkningar med mer komplexa modeller och för olika exponeringsscenarier. Dessa alternativa beräkningar tyder på att ICNIRPs relation mellan strömtäthet och B- och E-fält är konservativ. En närmare beskrivning av de olika metoderna för att beräkna dessa inducerade strömmar ges i del 2 av denna rapport.

Det högsta acceptabla elektriska fältet kan också begränsas av s k kontaktströmmar. De kan uppträda när en människa laddas upp av ett E-fält och tar i ett jordat föremål. De kan också uppkomma när en människa tar i ett annat uppladdat föremål – exempelvis en bil. Även detta område behandlas utförligare i rapportens del 2.

Summary

This report summarizes the knowledge up to mid-year 2005, about field levels, effects on the human body and regulations for exposure.

People are exposed to electric and magnetic fields both in working life and in public areas. This exposure covers the whole frequency range up to and including microwaves. Power-frequency electric fields vary from 10 – 20 V/m in homes and offices up to 5 – 10 kV/m in the vicinity of larger overhead lines. Small groups of workers can be exposed to much higher fields during work close to high-voltage equipment. The corresponding magnetic fields vary from < 10 nT in homes and offices up to several tenths of μ T close to power-lines and in substations. Much higher values – above 500 μ T – can be found in the electro steel industry and close to welding equipment.

The EU has issued a recommendation in 1999 about restriction of the general public's exposure to electrical and magnetic fields. This recommendation was followed by a directive issued in spring 2004 regarding employers responsibilities for employees exposure to EMF. Both documents aim to prevent short-term adverse effects in the human body. The scientific background work for both these documents has been carried out by the organisation ICNIRP. Bases for assessment about long-term effects did not exist according to ICNIRP in 1997. Here in Sweden the EU recommendation has been revised, and a directive issued by the Swedish Radiation Protection Authority (SSI). The Swedish Work Environment Authority (Arbetsmiljöverket) is working on a national directive with EU's directive as foundation.

The fundamental restrictions in the regulations are based on the current density in the some critical organs. Although, it is not entirely clear about which organs should be considered, the brain, the spinal cord (marrow) and the eye (the retina) are probably the most relevant ones. The basic restriction value of 10 mA/m² for employees has probably been based on the lower boundary for phosphenes, but the central nervous system can also be influenced by current densities of this magnitude. The basic restriction value for the general public is set to 2 mA/m².

Examples are given in the literature about calculations of induced currents caused by external B- and E-fields. Simple model calculations are based on homogeneous bodies of constant conductivity. Unfortunately these methods do not give any reliable information about the current in critical organs. However, there are published results from calculations with complex models and different exposures situations. These alternative calculations indicate that the relationship between current density and external fields is conservative in the ICNIRP's results. More about calculation methods and the relationship between fields and current density can be found in Part 2 of this report.

It is also possible that contact currents can limit the highest acceptable electrical field. Contact currents can appear when a person is charged by an E-field and touches an earthed object, or when a person touches a charged object - for example a lorry with dry tires. This will also be further discussed in Part 2 of this report.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	MÅL.....	8
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	9
2	ORDFÖRKLARINGAR OCH FÖRKORTNINGAR (GEMENSAM FÖR DEL 1 OCH DEL 2).....	10
3	ELEKTRISKA OCH MAGNETISKA FÄLT I OLIKA MILJÖER.....	12
3.1	ELEKTRISKA FÄLT	12
3.2	MAGNETISKA FÄLT	13
4	ELEKTRISKA OCH MAGNETISKA FÄLT AKUTA INVERKAN PÅ MÄNNISKOKROPPEN	14
4.1	KROPPENS EGNA FÄLT.....	14
4.2	PERCEPTIONSNIVÅER OCH VARIATIONER MELLAN INDIVIDER	16
4.3	MÄNNISKOKROPPENS OMEDELBARA REAKTIONER PÅ YTTRE FÄLT	16
4.4	LÅNGTIDSEFFEKTER AV ELEKTRISKA OCH MAGNETISKA FÄLT	20
5	ORGANISATIONER OCH REGELVERK FÖR EXPONERING	22
5.1	KÄLLOR TILL INFORMATION	22
5.2	IARC.....	23
5.3	ICNIRP.....	24
5.4	ICNIRP GUIDELINES 1998	24
5.5	ICNIRP STATEMENT 1999	26
5.6	EU	27
5.7	NIEHS.....	31
5.8	NRPB I STORBRITANNIEN	31
5.9	SVERIGE	33
5.10	STANDARDER	34
6	GRÄNSVÄRDEN OCH PÅVERKAN PÅ MÄNNISKAN – EN ÖVERSIKT.....	45
7	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER.....	47
8	REFERENSER	49

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Elektriska och magnetiska fält (EMF) i vår omgivning påverkar oss i varierande grad. Vissa fält har vi varit utsatta för sedan urminnes tid, medan andra har tillkommit i takt med samhällets tekniska utveckling.

Till den förra gruppen kan vi bl a räkna det jordmagnetiska fältet som är i stort sett statistiskt och runt den 60:e breddgraden vanligen av storleksordningen 50 μT . Över mer betydande magnetiska järnmalmer kan dock fältet bli mer än dubbelt så stort. Likaså i stort sett statiska är de elektriska fält som byggs upp inför åskväder. Fältstyrkan vid markytan växer då från 10 upp till mer än 100 kV/m. Från det stora antalet åskväder runt ekvatorn får vi också ett "magnetiskt brus", nästan kontinuerligt och vanligen 0,01 – 0,1 Hz.

Den senare gruppen är ständigt växande, både i fråga om antalet källor och frekvensinnehåll. Uppbyggnaden av rundradiosystemet, samhällets elektrifiering, radar- och mikrovågstekniken och kanske framförallt den snabba utbyggnaden inom mobiltelefonområdet, har inneburit att i princip hela samhället täcks av elektriska och magnetiska fält av olika frekvenser.

Till en början dominerades samhällsdebatten av innovationernas tekniska och positiva sidor och frågan om fälts eventuella påverkan på människan var ingen väsentlig fråga. Det var i stort sett bara inom de mycket små grupper, till vardags i direktkontakt med radiosändare och radaranläggningar, som frågan överhuvudtaget diskuterades.

Det kom att dröja ända fram till mitten av 70-talet innan den mer allmänna debatten kom igång om de elektriska och magnetiska fältens inverkan på människokroppen. Debatten fick ytterligare näring 1979 när Wertheimer och Leeper presenterade resultat som tydde på en statistisk koppling mellan förekomsten av barnleukemi och närheten till kraftledningar [1]. I Sverige fortsatte debatten med den planerade 800 kV ledningen från Forsmark och övergick i början på 90-talet i en mer allmän diskussion om högspänningsledningar i tätortsnära områden. Framförallt diskuterades sambandet mellan tämligen låga magnetfält (0,2 – 0,4 μT) och olika tumörsjukdomar. Åt de elektriska fälten däremot, ägnades vid den här tiden inte så mycket intresse. Parallellt med dessa diskussioner byggdes mobiltelefonsystemen ut och debatten kom också alltmer att fokuseras på det högre frekvensområdet. Under de allra senaste åren har dock de elektriska fälten åter kommit i blickpunkten. Troligen är det EU-direktivet och dess förhållandevis snäva gränser för E-fältet som fått frågan att åter bli högaktuell.

1.2 Mål

Målet med denna studie har varit att i en rapport sammanfatta grundläggande kunskap om befintliga regelverk, deras medicinska bakgrund och hur de skall kunna tolkas och användas. Rapporten består av två separata delar.

Denna Del 1 (Elforsk rapport 06:90) inleds med en mer översiktlig beskrivning av förekommande fält, både i publika miljöer och i arbetslivet. Materialet har hämtats ur publicerade arbeten, i huvud-sak konferenspublikationer och artiklar i tidskrifter.

Därefter följer i Del 1 ett försök att sammanfatta kunskapsläget om de elektriska och magnetiska fältens mer akuta inverkan på människokroppen. Frågan är kontroversiell och det finns en risk att varje försök till uppsummering kan tolkas som en partsinlaga. Redan här kan det dock sägas att frågan om eventuella långtidseffekter är om möjligt än mer omstridd. Sammanfattningen begränsas till effekter av lägre frekvenser, runt 50 Hz och därmed utelämnas allt som har med det högre frekvensområdet (mobiltelefon-frekvenser) att göra.

Långtidseffekter av elektriska och magnetiska fält behandlas endast översiktligt. För en fylligare beskrivning hänvisas till de arbeten som publicerats av Elforsk. Det korta avsnittet i denna rapport bygger till största delen på en rapport av Petra Lundberg och Rolf Lindgren, som i Elforskrapporten 05:10 sammanfattat EMF-forskningen under perioden 1993 – 2003 [2].

Del 1 ger också en vägledning till de kommande föreskrifterna inom området med tonvikt på arbetstagares exponering och arbetsgivarens ansvar och skyldigheter.

I Del 2 (Elforsk rapport 06:91) ges en översikt av de olika möjligheter som finns för att beräkna de strömmar som de elektriska och magnetiska fälten inducerar i människokroppen. Både analytiska lösningar och numeriska metoder presenteras och det visas att de båda grupperna kompletterar varandra. Med enkla modeller och analytiska lösningar kan principerna och huvuddragen förklaras, medan mer anatomiskt riktiga modeller och numeriska metoder krävs för att bättre kunna beskriva strömtätheten.

I Del 2 behandlas också kontaktströmmar och de samband som finns med det elektriska fältet i olika situationer.

1.3 Avgränsningar

Den här studien fokuserar på de *akuta* effekterna av kraftfrekventa (50/60 Hz) elektriska och magnetiska fält. Ett kortare avsnitt ingår förvisso om långtidseffekter, men detta bara för att ge en orientering om frågan.

2 Ordförklaringar och förkortningar (Gemensam för Del 1 och Del 2)

ALS	Amyotrofisk lateralskleros. Ett sjukdomstillstånd vid vilket de nervceller i hjärnan och ryggmärgen, som styr kroppens vilje-mässiga rörelser, skadas och så småningom förstörs.
Alzheimers sjukdom	Sjukdomstillstånd vid vilket patienten drabbas av tidiga minnesproblem och av koncentrationssvårigheter.
Anisotropi	Olika egenskaper i olika riktningar.
Basic restriction	Gränsvärde. Termen används av ICNIRP och i EUs rekommendation om begränsning av allmänhetens exponering. Se grundläggande begränsning
CD, CDV	Committee Draft (for vote). Koncept till IEC-standard.
Duplex	Ledarkonfiguration med två ledare per fas.
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization. En organisation som verkar för gemensamma europeiska standarder inom elområdet.
Controlled environment.	Ett område som är tillgängligt för dem som är medvetna om risken för exponering och då denna upplysning är en följd av deras anställning, eller har uppnåtts genom varningsskyltar.
Elektrofosfener	Störningar på synsystemet orsakade av ett yttre elektriskt fält.
ELF	Extremely low frequency. Frekvenser under 300 Hz.
EN	Beteckning på standarder utgivna av CENELEC.
Endogena fält	Fält inne i kroppen.
Epidemiologi	Studiet av sjukdomar i samhället, i synnerhet hur de sprids och hur de kan kontrolleras. Epidemiologi baseras till stor del på statistiska studier.
Fosfener	Se elektro- respektive magnetofosfener.
Gnisturladdning	Den kortvariga strömpuls som uppkommer vid kontakt mellan ett uppladdat föremål (e v en människa) och jord.
Grundläggande begränsning.	Gränsvärde. Se Basic restriction.
IARC	International Agency for Research on Cancer. En organisation inom WHO som koordinerar forskning inom cancerområdet.

ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. En internationellt sammansatt kommitté som arbetar med hälsoeffekter av icke-joniserande strålning.
IEC	International Electrotechnical Commission. En standardiseringsorganisation verksam inom elområdet.
In vitro	”I glaset”. Experiment som utförs utanför kroppen.
Isotropi	Lika egenskaper i alla riktningar.
Kontaktström	Den ström som uppkommer vid kontakt mellan ett uppladdat föremål (e v en människa) och jord.
Kontrollerad miljö	Från engelskans Controlled environment. Se detta ord.
Kvadrupel	Ledarkonfiguration med fyra ledare per fas.
Magnetofosfener	Störningar på synsystemet orsakade av ett yttre magnetiskt fält.
Melatonin	Hormon som bildas i talldkörteln och som styr sömnrhythmen.
NIEHS	National Institute of Environmental Health Sciences. En institution i USA som bl. a. har utvärderat sambandet mellan emf och cancer.
NRPB	National Radiological Protection Board. En brittisk institution med uppgift att bygga upp och sprida kunskap om olika former av strålning.
prEN	Koncept till EN-standard.
RALF	Rådet för Arbetslivsforskning
Reference value	En mätbar storhet för exponering. Se Referensnivå.
Referensnivå	En mätbar storhet för exponering.
Reobas	Nervceller påverkas av elektriska impulser över en viss nivå – tröskelvärde. Reobasen är tröskelvärde för en oändligt lång impuls.
TC	Technical Committee. Större arbetsgrupp inom CENELEC och IEC. En TC kan bestå av flera WG.
Triplex	Ledarkonfiguration med tre ledare per fas.
Voluntärförsök	Försök med frivilliga försökspersoner.
WG	Working Group. Mindre arbetsgrupper inom CENELEC och IEC som vanligen behandlar ett väl avgränsat ämnesområde.

3 Elektriska och magnetiska fält i olika miljöer

De nedan redovisade uppgifterna om förekommande elektriska och magnetiska fält bygger i sin helhet på litteraturuppgifter. Detta medför tyvärr att vissa intressanta uppgifter kan saknas; som ex vis strömmar och avstånd. Ambitionen har dock bara varit att ge en översikt av förekommande fält i publika och arbetsrelaterade miljöer.

3.1 Elektriska fält

En grupp vid universitetet i Tammerfors, Finland, bestående av bl. a. J. Isokorpi, Tommi Keikko, Leena Korpinen och S. Reivonen, har varit särskilt produktiva och publicerat ett stort antal artiklar i ämnet. E-fältet under kraftledning redovisas i tre artiklar [3], [4], [5]. I ett spann på en 400 kV ledning har ett högsta E-fält på 9,3 kV/m mätts upp. Den förhållandevis höga nivån förklaras med att avståndet upp till faslinorna var ovanligt lågt. För spann med mer normal linhöjd redovisas ett maximalt E-fält på vanligen 5 – 7 kV/m. För 110 kV ledningar redovisas maxnivåer på upp till 1,5 kV/m.

Gruppen vid universitet i Tammerfors har också studerat ställverk av olika spänningsnivåer [3], [6]. I ett 400 kV ställverk har ett högsta E-fält på 11,2 kV/m mätts upp. Längs tre mätlinjer i ett annat 400 kV ställverk redovisas värden som i allmänhet varierar mellan 5 och 10 kV/m (vid 402-405 kV). För en 110/20 kV transformatorstation redovisas E-fält på upp till 4,6 kV/m. E-fältet omedelbart utanför ett 400 kV ställverk har visats vara lågt; normalt betydligt under 1 kV/m [7].

Det ovanstående torde vara väl så giltigt även för svenska förhållanden. För en konventionellt byggd ($d=9$ m, $h=11$ m) 400 kV-ledning uppgår det maximala E-fältet till 7 – 8 kV/m och för motsvarande 220 och 130 kV ledningar till ca 4 respektive ca 2 kV/m. Den modernare T-stolpen för 400 kV uppvisar ett betydligt lägre E-fält, ca 3 kV/m, och dessutom i ett smalare område.

Elektriska och magnetiska fält i ett urval av svenska och norska bostäder och kontor redovisas i en artikel från 1996 av Kjell Hansson Mild, Monica Sandström och Anders Johansson [8]. I de svenska hemmen var medelvärdet 54 V/m och det högsta punktvärdet 146 V/m. Motsvarande norska värden var högre, men skillnaden kan åtminstone delvis förklaras med ett fel i den elektriska installationen i bostaden. För kontoren redovisas lägre fält. Medelvärdet i 44 svenska kontor uppmättes till 38 V/m och i tre kontor i Norge uppmättes 12 – 18 V/m.

En ytterligt extrem arbetssituation har de personer som utför underhållsarbete på ledningar och i ställverk med AMS (Arbete Med Spänning). Speciellt barhandsmetoden medför korta avstånd till spänningsförande anläggningsdel, men även isolerstångsmetoden leder till korta arbetsavstånd. Det elektriska fältet kan i dessa situationer uppgå till ett antal tiotal kV/m. Främst för de som arbetar med barhandsmetoden finns sk ledande dräkter, d v s overaller med invävd metalltråd, som minskar E-fältet med 95 – 99 %.

3.2 Magnetiska fält

Keikko m. fl. redovisar även mätningar av det magnetiska fältet. För en mätprofil under ett antal skenor i ett 400 kV ställverk redovisas B-fält upp till 18 μT , med de högsta värdena under ett par skenstråk för 911 respektive 1189 A [7]. I den ovan nämnda artikeln om mätningar i en 110/20 kV transformatorstation [3] redovisas även mätningar av det magnetiska fältet. Det högsta B-fältet uppmättes invid en 20 kV-kabel och uppgick till 18,6 μT .

Gruppen från Tammerfors har också studerat B-fältet invid ett gasisolerat ställverk (GIS) för 110 kV [9]. Vid studien försågs sju arbetare med dosimeter och fältet loggades under 24 arbetstimmar. Under den absoluta merparten (> 90 %) av tiden översteg inte fältet 10 μT , men under några tiondels procent översteg fältet 500 μT och i ett fall översteg fältet dosimeterns maximala mätområde på 1 000 μT . Genomförda momentanmätningar visade på ett B-fält av i storleksordningen 5 – 25 μT invid GIS-ställverket och ca 145 μT i en tunnel för 110 kV kabel.

En annan speciell källa för magnetfält som studerats är en elektrisk ljusbågsugn [10]. Fältet har mätts, och även beräknats, invid en ugn på 75 MVA. Strömmen till elektroderna var i medeltal 113,9 och 101,3 kA. På ett avstånd av 1,3 m från ugnens yttervägg uppmättes 782 μT , på 2 meters avstånd 602 μT och på 4 meters avstånd 366 μT .

Industrimiljöer uppvisar kraftigt varierande magnetfält. En inventering redovisad av Kjell Isacson pekar ut svetsning och avmagnetisering som områden med särskilt höga fält [11]. I båda fallen lär fälten kunna nå upp till och i vissa fall överstiga 1 000 μT . Invid verkstadsmaskiner och mer allmänna verkstadsmiljöer synes nivån kunna uppgå till ca 10 μT .

I de svenska bostäderna uppmättes 40 nT som medelvärde och på kontoren 135 nT. Spridningen är stor, för bostäderna mellan 4 och 154 nT och för kontoren från några få upp till 1200 nT [8].

4 Elektriska och magnetiska fälts akuta inverkan på människokroppen

I detta avsnitt görs ett försök att sammanfatta kunskapsläget om de elektriska och magnetiska fältens inverkan på människokroppen. Framställningen begränsas, som ovan sagts, till effekter av kraftfrekventa fält. Detta innebär dock inte att det sagda bara gäller strikt för 50/60 Hz, utan också i allmänhet också för ett något vidare område upp till ca 1 kHz.

4.1 Kroppens egna fält

I vår egen kropp har vi flera källor för svaga elektriska fält. Hjärnan, nerverna, skelettmuskulaturen och hjärtat fungerar alla tack vare elektriska processer. Den dominerande källan är hjärtat, som under en del av hjärtcykeln sänder ut en lågfrekvent signal. Huvuddelen av signalen ligger under 100 Hz och vid 50 Hz finns en betydande komponent.

Hart och Gandhi redovisar i en artikel [12] hur de lågfrekventa komponenterna av det E-fält som hjärtat ger upphov till sprider sig i kroppen. Då det inte går att mäta detta fält direkt i människa, har man fått lösa uppgiften med en kombination av mätningar och beräkningar.

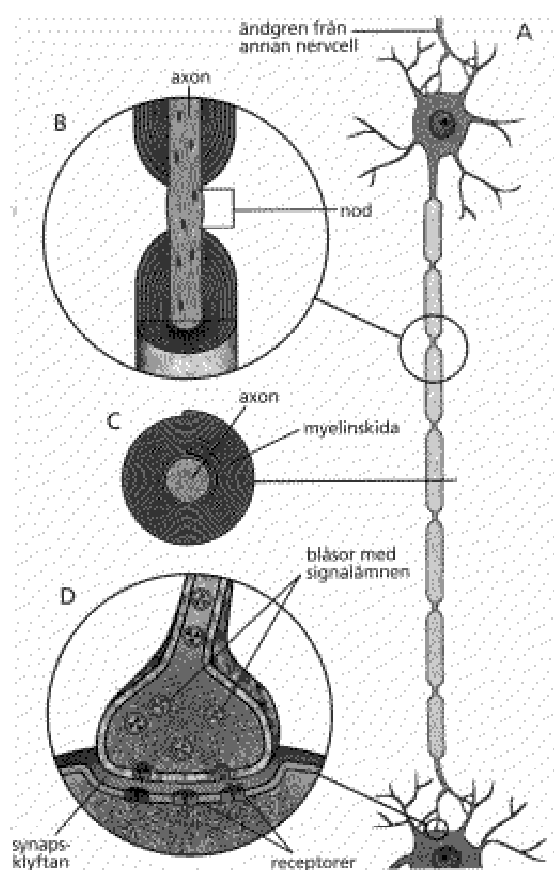
Resultatet av dessa beräkningar visar helt naturligt på jämförelsevis höga fältstyrkor och strömtätheter i hjärtat och de organ som ligger i bukhålan. Se Tabell 4.1 för mer detaljer.

	Konduktivitet (S/m)	E-fält (mV/m) 40-70 Hz			Strömtäthet (mA/m ²) 40-70 Hz		
		Minv	Medelv	Maxv	Minv	Medelv.	Maxv
Hjärnan	0,170	0,003	0,04	0,97	0,0002	0,006	0,12
Cerebrospinalvätskan	1,500	0,008	0,03	0,09	0,001	0,018	0,074
Ögat (glaskroppen)	1,500	0,008	0,02	0,06	0,002	0,016	0,057
Hjärtat	0,499	2,26	25,4	390	0,32	11,1	151
Levern	0,120	0,42	2,15	26,2	0,029	0,26	3,5
Njurarna	0,270	0,23	0,54	1,48	0,022	0,12	0,30

Tabell 4.1. Beräknade fält och strömtätheter orsakade av hjärtat. Något omarbetad efter [12].

Signalnivån i övriga delar av kroppen är vanligtvis betydligt lägre. Nerverna utgör möjligen ett undantag, som naturligtvis inte får störas av hjärtat, men där samtidigt en yttre påverkan kan få direkta och ögonblickliga följder på kroppens funktioner. I en utförlig artikel av Ronald W P King [13] ges en bra beskrivning av nervernas ”elektriska funktioner” och framställningen i det närmast följande bygger till stor del på hans beskrivning.

Det vi i dagligt tal kallar nerver utgörs av en ”bunt” sk axoner eller nervtrådar och i detta (begränsade) sammanhang är det axonet som är av störst betydelse (Figur 4.1.). En nervcell eller neuron består av en cellkropp med två typer av utskott: dendriter (mottagare) och nervtråd eller axon (sändare). En nervcell kan ha flera dendriter, men bara ett axon. I ändan på axonet finns ett nervändslut (halva synapsen) som kemiskt kommunicerar med den andra halvan av synapsen som sitter i mottagarneuronets cellmembran. Axonet kan ses som en ledare omsluten av ett tunt isolerande membran.



Figur 4.1
Nervcell med axon, noder och myelinskida. Något omarbetad efter Widén, Centrala nervsystemets funktioner [14]

När membranet är i sitt vilostadium är det en god isolator med en konduktivitet på 0,1 – 1 $\mu\text{S/m}$. ”Ledaren” i axonet är en vätska (axoplasm) med en konduktivitet på ca 0,8 S/m. De flesta axoner skyddas av en fettrik vävnad kallad myelinskidan. Denna är inte kontinuerlig, utan lämnar axonet bårt med 1 – 2 mm:s mellanrum. Dessa oskyddade partier kallas noder.

Genom membranet kan det ske ett utbyte av joner och detta resulterar i en potentialskillnad över det tunna membranet på 70 – 90 mV, med lägre potential innanför membranet.

4.2 Perceptionsnivåer och variationer mellan individer

Perception, varseblivning eller sinnesförmimelse är en komplex process där signaler från omvärlden vägs samman till ett intryck eller en känsla. Det är en känslig process och "signalbehandlingen" varierar märkbart från person till person. Perceptionsnivån – tröskeln där kroppen reagerar – kommer därför att vara olika hos olika individer. Statistiskt brukar detta beskrivas som en log-normal funktion. Ett tydligt exempel är reaktionen på ett yttre elektriskt fält. Om fältet avsätts på abscissan med linjär skala och perceptionsnivån på ordinatan med log-skala, fås ett i stort sett linjärt samband mellan fält och perception. Genomförda volontärstudier visar att perceptionsgränsen för 1 % av gruppen kan vara i storleksordningen 1 kV/m, medan 50 %-nivån kan ligga på 5-10 kV/m. Säkerligen kan vissa av dessa skillnader förklaras med kroppens form. En längre person, t ex, bör kunna påverkas mer av ett elektriskt fält. Likaså kan man tänka sig att ett barn, med ett mindre tvärsnitt hos kroppen, blir känsligare. En studie visar att kvinnor, med mindre hår på armarna, reagerar mindre på ett elektriskt fält än män. En annan studie visar däremot att kvinnor reagerar kraftigare än män på direkt strömgenomgång [15].

Sammantaget visar detta på nödvändigheten att ha goda marginaler mellan den normala perceptionsnivån och den fastställda skyddsnivån, om man eftersträvar ett skydd för stora grupper – dvs allmänheten. För mer begränsade grupper – som arbetstagare inom ett visst område – kan man i vissa fall acceptera snävare gränser.

4.3 Människokroppens omedelbara reaktioner på yttre fält

Kroppen kan känna av elektriska och magnetiska fält på en rad olika sätt:

- Genom gnisturladdningar mellan kroppen och ett föremål på annan potential.
- Genom kontaktströmmar mellan kroppen och ett föremål på annan potential.
- Genom att kroppens hår rör sig i ett elektriskt fält.
- Genom retning av ögat – sk elektro- eller magnetofosfener.
- Genom påverkan på det centrala nervsystemet.
- Genom påverkan på det perifera nervsystemet.
- Genom direkt påverkan på hjärtrytm.
- Genom förändrade kognitiva funktioner.

4.3.1 Gnisturladdningar

En person som befinner sig i ett elektriskt fält laddas upp av fältet. Uppladdningen blir märkbar om personen har isolerande skor eller står på ett annat isolerande underlag. Om personen närmar sig ett jordat föremål, kommer en urladdning att ske. Urladdningen är ett kortvarigt fenomen, med en varaktighet på något tiotal μ sek. Toppvärdet på strömmen kan vara i storleksordningen väl över 200 mA. Motsvarande fenomen fås om en person med kontakt mot jord nuddar vid ett föremål som laddats upp i fältet, ex vis

en bil på gummihjul. Om personen i fältet får en stabil kontakt mot jord övergår gnisturladdningen till en kontinuerlig kontaktström ström.

Inom ramen för 1970-talets UHV-projekt i USA gjordes omfattande studier av gnisturladdningar och kontaktströmmar. En utmärkt sammanfattning av detta material ges av Deno och Zafanella i ett avsnitt i "Transmission Line Reference Book. 345 kV and Above" från 1982 [15]. Ett av flera beskrivna fall är urladdningen mellan en fingertopp och en jordad stång. Se Tabell 4.2 nedan värden för perception och besvär.

	1 %-värde för perception (kV/m)	50 %-värde för perception (kV/m)	1 %-värde för besvär (kV/m)	50 %-värde för besvär (kV/m)
Urladdning mellan fingertopp och en jordad stång	0,5	2,7	1,0	5,0

Tabell 4.2. Perceptions- och besvärnivåer för gnisturladdningar.

4.3.2 Kontaktströmmar

Kontaktströmmar kan ses som en mer kontinuerlig fortsättning på en kortvarig gnisturladdning. De kan uppstå om den person som laddas upp av fältet, har en stabil förbindelse till jord. Givetvis kan kontaktströmmar också uppträda om personen tar ett ordentligt tag i en bil och samtidigt har god jordförbindning; ex vis står barfota på ett blött underlag.

För kontaktströmmar finns det två gränser som är av intresse. Först perceptionsgränsen som utgör gränsen för vad som överhuvudtaget kan förnimmas och sedan en betydligt högre nivå, den så kallade "let-go" strömmen, över vilken det inte är möjligt att släppa taget om ett föremål. Över "let-go" nivån är det alltså inte möjligt att fullt kontrollera muskelrörelserna. I det här sammanhanget kan det vara värt att nämna jordfelsbrytaren, som skall skydda människan mot höga kontaktströmmar. De centralmonterade har ofta en skyddsnivå på 30 mA, medan de som ansluts direkt före en apparat skall lösa ut vid 10 mA. Även den senare nivån är hög jämfört med värdena i Tabell 4.3. nedan.

I Tabell 4.3 nedan redovisas data från Deno och Zaffanella [15], som sammanställt information om kontakströmmar. Även ICNIRP [16] behandlar kontaktströmmar, men framställningen är förhållandevis kortfattad.

Grupp	1 %-värde för perception (mA)	50 %-värde för perception (mA)	1 %-värde för "let-go" ström (mA)	50 %-värde för "let-go" ström (mA)
Män	0,5	1,0	9,5	16
Kvinnor			6,5	10,5

Tabell 4.3. Perceptions- och "let-go" nivåer för kontaktströmmar.

4.3.3 Rörelser hos kroppshår

Ett yttre elektriskt fält kan kännas av genom att håren på ex vis underarmen börjar röra sig. Känsligheten varierar med luftfuktigheten och naturligtvis med hårens längd. Kvinnor, som har mindre kroppsbehåring, är naturligtvis generellt mindre känsliga i detta avseende. Deno och Zafanella [15] redovisar en mer omfattande studie på kroppshår genomförd som en del av det stora UHV-projektet. Följande kan återges från deras arbete:

	1 %-värde för perception (kV/m)	50 %-värde för perception (kV/m)
Hår på handen	< 1	7
Hår på huvudet	1	23

Tabell 4.4. Rörelser hos kroppshår.

4.3.4 Elektro- och magnetofosfener

Ögats känslighet för elektriska och magnetiska fält har varit känd under större delen av 1900-talet. Känslighetsmax ligger runt 20 Hz, men det är ännu inte riktigt klarlagt vad som egentligen händer i ögat och vad som orsakar dessa ljusfenomen. En teori [17] är att orsaken ligger i förändringar i den s k synapspotentialen i näthinnan. Potentialförändringar på 1 mV, eller möjligen så lite som 60 μ V, kan vara tillräckliga för att åstadkomma en stimulans av synapserna i näthinnan [18]. Det finns även en "mekanisk" variant av fosfener som kan uppträda om man trycker på ögat från sidan, men detta är inte av intresse i detta sammanhang.

Lindenblatt och Silny [19] ger god översikt av tidigare arbeten inom området. De redovisar likaså resultaten av en undersökning av ögats konduktivitetsfördelning med syfte att kunna ge en förklaring till de lokalt höga fältstyrkor som bör finnas för att detta fenomen skall kunna uppträda. Konduktiviteten är mer inhomogen än vad man tidigare trott och övergången mellan glaskroppen och de blodkärl som finns i ögats inre del kan vara en punkt där strömtätheten uppnår förhållandevis höga nivåer. En noterbar sak är att man inte lyckats finna någon del i ögat med en tydligt avvikande konduktivitet runt 20 Hz, vilket skulle kunna ha förklara den maximala känsligheten vid 20 Hz.

Reilly [17], som sammanfattar en del tidigare arbeten, konstaterar att magnetofosfener kan uppträda vid en beräknad lokal fältstyrka i kroppen vid 20 Hz på 53 mV/m motsvarande en strömtäthet i näthinnan på 8 mA/m². Motsvarande uppgifter från Saunders och Jefferys [20] tyder på 10 mA/m² vid 20 Hz och kanske 50 % högre värden vid 50 Hz.

I ICNIRP Guidelines [16] refereras till ett volontärförsök med magnetofosfener där stimulans noterats vid ett yttre fält på 3-5 mT.

En grundläggande studie presenterades 1980 av Per Lövsund [21]. I hans avhandling redovisas ett antal studier med försökspersoner som exponerats för yttre magnetfält och

detta under väl kontrollerade förhållanden. Vid hans försök placerades försökspersonerna med huvudet mellan polerna i U-formad magnet. Avståndet mellan polernas avfasade spetsar kunde anpassas så att de låg an mot tinningarna. Det magnetiska fältet i området runt ögat och näthinnan blev på detta sätt kraftigt inhomogent. Försöken genomfördes vid en frekvens i taget och med en varierande magnetisk flödestäthet. Försökspersonerna fick reagera både på ett ökande och på ett minskande fält. Reaktionströskeln låg vid ca 10 mT och känslighetsmax noterades vid 20 –30 Hz. Motsvarande lokala beräknade fältstyrka i näthinnan är i storleksordningen 53 mV/m vid 20 Hz, motsvarande i strömtäthet på 8 mA/m² [18]. Emellertid påpekar Bailey i en artikel i Health Physics [22] att en senare, mer noggrann, beräkning visat att strömtätheten vid Lövsunds experiment var betydligt högre – ca 27 mA/m² i medeltal och ca 70 mA/m² som maxvärde.

I samband med dessa studier av fosfener har försökspersoner klagat över huvudvärk, trötthet, ofrivilliga muskelsammandragningar mm. Dessa symptom har ett klart samband med exponeringen och kan vara märkbara upp till 10 min efter att exponeringen avbrutits [20], [21].

4.3.5 Påverkan på det centrala nervsystemet

Flera författare beskriver stimulering av det centrala nervsystemet (CNS), förutom den ovan nämnda påverkan på näthinnan. Saunders och Jefferys [20] sammanfattar flera arbeten med konstaterandet att det centrala CNS bör kunna påverkas av lokala inre fältstyrkor på ca 1 V/m, motsvarande ca 100 mA/m² vid en konduktivitet hos hjärnans grå substans på 0,1 S/m. Samma författare nämner också ett par studier som kan tyda på viss påverkan vid lägre strömtäthet. En studie som vid 10 – 40 mA/m² bl a visade på förändrad semantisk förmåga hos ett antal försökspersoner och en annan som redan vid 2 – 6 mA/m² visade på försämrad minnesförmåga.

4.3.6 Påverkan på det perifera nervsystemet

Påverkan på det perifera nervsystemet har framförallt behandlats av J. Patrick Reilly, verksam vid Johns Hopkins University, USA [17]. Reilly har bl a studerat påverkan på synapser, nervceller och hjärtats muskulatur och det är framförallt dessa arbeten som har legat till grund för IEEE-standarden C95.6 "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz".

Enligt Reilly uppvisar olika nervceller olika tröskelnivåer för elektrisk påverkan – den sk reobasen. Ögat synapser är känsligast och har dessutom en ganska lång tidskonstant. Representativa nerver för hjärnan och för kroppen som helhet, uppvisar både en betydligt högre tröskelnivå och en betydligt kortare tidskonstant. Hjärtats nerver, slutligen, uppvisar en ännu högre tröskelnivå.

Dessa tröskelnivåer och tidskonstanter kan sedan användas för att beräkna medianvärdet för perception för det yttre 50-Hz magnetfält som krävs för att påverka dessa nerver.

Synapserna uppvisar den lägsta nivån med 8,14 mT som medianvärde. En nerv med diametern 20 μm i kroppen är mindre känslig och har en tröskelnivå på 85-86 mT. För hjärtat är motsvarande siffra 200 mT och för hjärnans nerver hela 534 mT.

Detta är de teoretiska gränserna för påverkan på kroppen och för att få gränsvärden för exponering, måste de givetvis kompletteras med en betydande säkerhetsmarginal.

De gränsvärden eller Maximum Permissible Exposure (MPE) som det ovanstående resonemanget slutligen resulterar i, framgår av IEEE C95.6 och återges i Tabellerna 5.11 och 5.12.

4.3.7 Påverkan på hjärtrytmen

ICNIRP [16] rapporterar om ett kombinationsförsök med 9 kV/m och 20 μT (60 Hz), som resulterat i en något sänkt hjärtfrekvens. Försök med både högre och lägre fältstyrkor/flödestätheter gav däremot inget märkbart resultat. Vid mycket höga strömtätheter, i storleksordningen 1 A/m², påverkas hjärtats funktion allvarligt och situationen blir direkt livshotande.

4.3.8 Kognitiva funktioner

Det här är ett speciellt område, med svaga orsakssamband, men nog så intressant. Saunders och Jefferys [20] hänvisar till undersökningar från 1985 - 87 där försökspersoner utsattes för direktstimulans via elektroder fästa på huvudet. Strömtätheten i hjärnan beräknades uppgå till mellan 10 och 40 mA/m² och den ekvivalenta yttre fältstyrkan till 36 kV/m. Den exponerade gruppen uppvisade endast små förändringar i svarsförmågan. En senare undersökning där försökspersonerna exponerades för 600 μT , motsvarande mellan 2 och 6 mA/m² i hjärnan, visade på en viss försämrad uppmärksamhet och minnesförmåga.

4.4 Långtidseffekter av elektriska och magnetiska fält

Området har bevakats av bl a Rolf Lindgren, SwedPower AB, som för Elforsks räkning och under en längre tid har tagit fram årsrapporter och andra sammanställningar. Arbetet resulterade hösten 2005 i en sammanfattande rapport för perioden 1993 – 2003 [2]. I arbetet med den senare rapporten var också Petra Lundberg verksam. Följande korta översikt över långtidseffekter bygger till stor del på denna 10-års översikt.

Detta är ett generellt mycket komplicerat område som huvudsakligen bygger på statistisk behandling av olika sjukdomstillstånd hos stora befolknings- eller yrkesgrupper. En särskilt påtaglig svårighet är bristen på kontroll över oberoende riskfaktorer och som kan minska tilltron till de slutsatser som dras.

Följande sjukdomstillstånd eller problemställningar diskuteras i samband med långtidseffekter:

Cancer i olika former har varit föremål för en mycket omfattande forskning och flera epidemiologiska studier visar på ett statistiskt samband mellan långtidsexponering för lågfrekventa magnetfält och cancer. Det tydligaste sambandet gäller leukemi hos barn.

Risikökningen är dock generellt liten och ännu saknas trovärdiga mekanismer. Frågan har tidigare även behandlats av Anders Ahlbom, verksam vid Karolinska Institutet i Stockholm och aktiv inom ICNIRP. Han publicerade tillsammans med ICNIRP-kolleger i slutet av 2001 en mycket omfattande sammanställning av den epidemiologiska litteraturen inom EMF-området [23] och även han pekar på ett visst statistiskt samband mellan lågfrekventa magnetfält $>0,4 \mu\text{T}$ och leukemi hos barn.

Förändringar i melatoninhalten är också en form av påverkan som diskuterats flitigt under en längre tid. Melatonin är ett hormon som styr kroppens sömnrhythmus och en minskning av melatoninhalten i blodet skulle kunna påverka dygnsrytmen. Detta har tagits upp som en förklaring till den sk ställverkssjukan som drabbat vissa enskilda personer som exponerats under en längre tid för höga elektriska fält. Sambandet mellan magnetiska fält och halten melatonin i blodet har också studerats, men med varierande resultat.

Om kognitiva funktioner och påverkan på det centrala nervsystemet skriver Lundberg och Lindgren: *”Ett antal hälsoundersökningar och epidemiologiska studier antyder samband mellan EMF och kognitiva funktioner samt diffusa centralnervösa symptom. Resultaten visar på överensstämmelse med hypotesen att magnetfälten utövar en kronisk stresseffekt på det centrala nervsystemet. Ett relativt starkt samband har visats mellan amyotrofisk lateralskleros (ALS) och elarbete, men EMF är bara en av flera tänkbara förklaringar. Motsvarande, fast svagare samband, är även visat för Alzheimers sjukdom.”*

Eventuella reproduktionsstörningar orsakade av lågfrekventa magnetfält har studerats både hos djur och hos människor, men utan att man funnit några entydiga och säkra samband däremellan. Det finns, både vad det gäller djur och människor, undersökningar som visar på statistiska samband och undersökningar som inte resulterar i något samband. Bilden är således splittrad, men sammanfattande översiktartiklar konstaterar att det inte finns säkra statistiska samband mellan lågfrekventa magnetfält och reproduktionsstörningar.

Lundberg och Lindgren lyfter fram påverkan på immunsystemet som ett *”potentiellt”* viktigt område. Studier på råttor och möss har nämligen visat att en exponering skall initialt kunna verka aktiverande på immunsystemet, medan en längre tids exponering skall kunna verka begränsande. Även studier på människor pekar i samma riktning.

Avslutningsvis tar man i sin rapport upp forskningen om olika fältvariabler. Med detta menas inte bara fältets amplitud, utan också fältets variationer i tiden, frekvensinnehåll, intermittenta fält och fönstereffekter vad det gäller amplitud och frekvens. I synnerhet fönstereffekten försvårar naturligtvis möjligheten att ställa upp gränsvärden för långvarig exponering.

Långtidseffekter av kraftfrekventa elektriska och magnetiska fält har studerats sedan början av 70-talet, utan att man kunnat nå fram till några mer säkerställda samband och mekanismer. Detta innebär inte med nödvändighet att sambanden saknas, men intresset börjar nu alltmer flyttas över till frekvensområdet för mobiltelefoni.

5 Organisationer och regelverk för exponering

I detta avsnitt görs ett försök att ge en översikt över de organisationer och dokument som har en avgörande betydelse för hur samhället ser på frågan om exponering och bedömning av olika exponeringssituationer.

5.1 Källor till information

I grunden ligger naturligtvis det arbete som utförs av forskargrupper världen över. Materialet publiceras i tidskrifter och vid konferenser. Några av de mer användbara vid informationssökning listas nedan:

- American Journal of Epidemiology. <http://aje.oupjournals.org/>
- Arbetslivsinstitutet: <http://www.arbetslivsinstitutet.se>
- Arbetsmiljöverket, Sverige: <http://www.av.se/>
- Bioelectromagnetics. <http://www.bioelectromagnetics.org/>
- Cenelec: <http://www.cenelec.org>
- Elforsk: <http://www.elforsk.se>
- Elsäkerhetsverket: <http://www.elsakerhetsverket.se/>
- Epidemiology. <http://www.epidem.com/>
- Health Physics. The Radiation Safety Journal. <http://www.health-physics.com/>
- IARC: <http://www.iarc.fr/>
- ICNIRP: <http://www.icnirp.de/>
- IEC: <http://www.iec.ch>
- IEEE. <http://ieeexplore.ieee.org/>
 - IEEE Transactions on Biomedical Engineering
 - IEEE Transactions in Industry Applications
 - IEEE Transactions on Magnetics
 - IEEE Transactions on Power Delivery
 - IEEE Transactions on Power Systems
 - Proceeding of the IEEE
 - Proceedings of the IEEE/EMBS (Eng. in Med. and Biology Society)
 - IEEE International Conference on Bioelectromagnetism
 - IEEE Engineering in Medicine and Biology
- ISH, International Symposium on High Voltage Engineering
- Journal of Computational Physics. <http://www.ingenta.com/journals/browse/ap/cp>
- NIEHS: <http://www.niehs.nih.gov/>
- NRPB: <http://www.nrpb.org/>
- Physics in Medicine and Biology. <http://www.iop.org/EJ/journal/PMB>
- Statens Strålskyddsinstitut, Sverige: <http://www.ssi.se/>

Nedan ges kortfattade beskrivningar av några av de mer centrala organisationerna och de dokument de publicerat.

5.2 IARC

IARC (International Agency for Research on Cancer) är en internationellt sammansatt organisation inom WHO som koordinerar forskning om mekanismerna bakom cancer och om strategier för cancerkontroll.

En av IARCs uppgifter är att bedöma cancerrisken för människor som exponeras för olika faktorer (agents), blandningar av faktorer eller exponeringssituationer. Bedömningen sker genom en kritisk utvärdering av tillgängliga data i enlighet med vissa kriterier och syftar till att kunna klassa en faktor etc till en viss kategori.

Kategorierna hänför sig enbart till en bedömning av om exponeringen är cancerframkallande, inte till styrkan av sådan påverkan och inte heller till vilken mekanism som är inblandad. Det är alltså fråga om en ren riskidentifiering och inte en riskbedömning.

Vid IARCs slutgiltiga bedömning klassas faktorn etc till någon av följande kategorier:

- Grupp 1: Faktorn/blandningen/exponeringssituationen är cancerframkallande för människor, eller exponeringssituationen innefattar exponeringar som är cancerframkallande för människor.
(Ex vis dioxin och tobaksrökning.)
- Grupp 2A: Faktorn etc är troligen cancerframkallande för människor, eller exponeringssituationen innefattar exponeringar som troligen är cancerframkallande för människor.
(Ex vis akrylamid och UV-strålning.)
- Grupp 2B: Faktorn etc är möjligen cancerframkallande för människor, eller exponeringssituationen innefattar exponeringar som möjligen är cancerframkallande för människor.
(Ex vis DDT.)
- Grupp 3: Faktorn etc kan inte klassas avseende carcinogenicitet för människor.
(Ex vis fenol och kvicksilver.)
- Grupp 4: Faktorn etc är troligen inte carcinogen för människor.

I juni 2001 offentliggjorde IARC sin bedömning av "Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields" [24] och följande kunde då konstateras:

Statiska elektriska fält hänförs till Grupp 3.

Statiska magnetiska fält hänförs till Grupp 3.

Extremt lågfrekventa elektriska fält hänförs till Grupp 3.

Extremt lågfrekventa magnetiska fält hänförs till Grupp 2B.

Till grund för denna bedömning, att de lågfrekventa magnetiska fälten möjligen är cancerframkallande för människor, ligger begränsade belägg vid epidemiologiska

studier för samband mellan kronisk lymfatisk leukemi vid yrkesmässig exponering och för leukemi hos barn vid exponering i bostaden.

En klassning till 2B kan tyckas som vagt besked, men IARC är en betydelsefull organisation och beslutet kan komma att få stor betydelse för det nationella arbetet.

5.3 ICNIRP

5.3.1 Organisation och tidigare arbeten

Det mycket omfattande materialet sammanställs och värderas av olika institutioner. En sådan är ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) som ombildades 1992 från INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee). INIRC, i sin tur, bildades 1977 ur en arbetsgrupp inom IRPA (International Radiation Protection Association). Arbetet inom ICNIRP bedrivs i nära samarbete med WHO.

Arbetet inom IRPA/INIRC resulterade 1990 i sk ”Interim Guidelines” [25] avseende exponering för 50/60 Hz elektriska och magnetiska fält och 1994 publicerade ICNIRP riktlinjer för statiska magnetfält [26].

5.4 ICNIRP Guidelines 1998

Hösten 1997 blev man inom ICNIRP färdig med en reviderad utgåva av 1990 års ”Guidelines” [16]. Denna, som täcker hela frekvensområdet 1 Hz - 300 GHz, publicerades våren 1998 och har sedan dess varit vägledande för framtagningen av både internationella och nationella föreskrifter. Det är dock viktigt att komma ihåg att detta arbete baseras på ”publicerad kunskap” fram till hösten 1997.

Dessa ”Guidelines” inleds med ett par definitioner och en genomgång av fundamentala samband. Definitionerna, som är väl värda att återge, ges på originalspråket för att minska risken för missförstånd:

Basic restrictions: Restrictions on exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields that are based directly on established health effects are termed ”basic restriction”.

Reference levels: These levels are provided for practical exposure assessment purposes to determine whether the basic restrictions are likely to be exceeded..... Compliance with reference level will ensure compliance with the relevant basic restriction. ...If the measured or calculated value exceeds the reference level, it will not necessarily follow that the basic restriction will be exceeded.

Likaså viktigt är konstaterandet att ”... these guidelines are based on short-term, immediate health effects such as stimulation of peripheral nerves and muscles, shocks and burns caused by touching conducting objects...” ICNIRP gjorde 1997 bedömningen att det saknades underlag för att kunna sätta en begränsning avseende långtidseffekter.

Framställningen fortsätter med en genomgång av olika hälsoeffekter, såväl epidemiologiska studier som studier inriktade på bostadsmiljö och arbetsliv. Studier med försökspersoner presenteras liksom djurförsök och studier på cellnivå.

Vidare finns ett avsnitt om indirekta effekter av elektriska och magnetiska fält. Det som avses här är kontaktströmmar, dvs de små strömmar som man känner av vid beröring av föremål på en annan potential. Table 2 i "Guidelines" ger nivåer för dessa strömmar; delen som gäller 50/60 Hz återges i Tabell 5.1 nedan.

Indirekta effekter	Tröskelvärde för kontaktström (mA) vid 50 – 60 Hz
Märkbart vid beröring	0,2 – 0,4
Smärta vid kontakt med ett finger	0,9 – 1,8
Kraftig chock, tröskelnivå får svårigheten att släppa kontakten	8 -16
Kraftig chock, andningssvårigheter	12 -23

Tabell 5.1. Tröskelnivåer för kontaktströmmar.

Avslutningsvis summeras de biologiska och epidemiologiska effekterna med: "A threshold current density of 10 mA/m^2 at frequencies up to 1 kHz has been estimated for minor effects on nervous system functions." och "In the frequency range from a few Hz to 1 kHz, for levels of induced current density above 100 mA/m^2 , the thresholds for acute changes in the central nervous system excitability and other acute effects such as reversal of the visually evoked potential are exceeded. In view of the safety considerations above, it was decided that, for frequencies in the range 4 Hz to 1 kHz, occupational exposure should be limited to fields that induce current densities less than 10 mA/m^2 , i. e. to use a safety factor of 10. For general public an additional factor of 5 is applied, giving a basic exposure restriction of 2 mA/m^2 ."

Basic restrictions anges i "Table 4" och värdena för det lägre frekvensområdet återges i Tabell 5.2 nedan.

Grupp	Frekvensområde	Strömtäthet i huvud och bål (mA/m^2) rms
Arbetstagare	- 1 Hz	40
	1 – 4 Hz	40/f
	4 Hz – 1 kHz	10
Allmänheten	- 1 Hz	8
	1 – 4 Hz	8/f
	4 Hz – 1 kHz	2

där f är frekvensen i Hz. Strömtätheten skall räknas som medelvärdet över 1 cm^2 och vinkelrät strömriktningen.

Tabell 5.2. Basic restrictions enligt ICNIRP.

Från "basic restrictions" har sedan "reference values" beräknats med antagandet om en maximal koppling mellan yttre fält och inducerad ström. Tanken är att om kroppen som helhet inte exponeras för nivåer överstigande "reference values", så skall inte heller "basic restrictions" överskridas i någon del av kroppen.

ICNIRP betonar att beräkningen av "reference values" har gjorts med en mycket enkel modell, utan hänsyn till vare sig någon detaljerad anatomi eller inhomogen/anisotropisk konduktivitetsfördelning. Det påpekas också att för arbetstagare kan den elektriska fältstyrkan fördubblas om det inte finns risk för andra akuta effekter (kontaktströmmar).

För allmänheten har "reference values" beräknats ur motsvarande för arbetstagare. Den elektriska fältstyrkan har halverats och den magnetiska flödestätheten har delats med en faktor 5. Den högre skyddsnivån för allmänheten motiveras av att det i denna större grupp kan finnas mer känsliga personer, som t ex barn och äldre och personer med olika sjukdomstillstånd.

I Tabell 5.3 återges "reference values" för de lägre frekvenserna. Motsvarande uppgifter återfinns i Table 6 och 7 i "Guidelines".

I normalfallet skall inverkan av de elektriska och magnetiska fälten bedömas var för sig. Strömtätheten skall beräknas för vart fält för sig och jämföras med gränsvärdet.

5.5 ICNIRP Statement 1999

Det är självklart att ICNIRP Guidelines gav upphov till en hel del frågor. För att besvara dessa publicerade ICNIRP 1999 vad man kallade "ICNIRP Statement – Use of the ICNIRP EMF Guidelines" [27].

Enligt denna vägledning skall strömtätheten maximeras till 10 mA/m^2 i huvud, nacke och bål.

Grupp	Frekvensområde	Elektrisk fältstyrka E rms (V/m)	Magnetisk fältstyrka H rms (A/m)	Magnetisk flödestäthet B rms (μT)
Arbetstagare	- 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5
	1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$
	8 – 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$
	0,025 – 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$
Allmänheten	- 1 Hz		$3,2 \times 10^4$	4×10^4
	1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$
	8 – 25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$
	0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$

f är frekvensen i angiven enhet. Vid 50 Hz är f således lika med 0,05.

Tabell 5.3. Reference values enligt ICNIRP. Uttryckt som opåverkat fält.

Motsvarande "reference values" finns även för kontaktströmmar. Nedan, i Tabell 5.4, anges dessa. Motsvarande återfinns i Table 8 i "Guidelines".

Grupp	Frekvensområde	Max kontaktström (mA)
Arbetstagare	- 2,5 kHz	1,0
Allmänheten	- 2,5 kHz	0,5

Tabell 5.4. Reference values, kontaktströmmar, enligt ICNIRP.

5.6 EU

Europeiska Unionen utfärdade den 5 maj 1994 en resolution om bekämpande av skadliga effekter av icke-joniserande strålning. I denna föreslogs lagstiftningsåtgärder för att begränsa arbetstagarnas och allmänhetens exponering för sådan strålning.

5.6.1 Allmänhetens exponering

Den 12 juli 1999, d v s drygt ett år efter att ICNIRP Guidelines publicerats, utfärdade Europeiska Unionens Råd en rekommendation om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält (0-300 GHz) [28]. Denna publicerades i Europeiska Gemenskapens officiella tidning den 30 juli 1999 och finns på medlemsländernas olika språk. Det tekniska innehållet baseras på ICNIRPs båda publikationer från 1994 och 1998. Rekommendation anger en minsta skyddsnivå och medlemsländerna får besluta om en högre skyddsnivå.

Medlemsstaterna rekommenderas att anta rambestämmelser om grundläggande begränsningar (Basic restrictions enligt ICNIRP) och referensnivåer (Reference values enligt ICNIRP), men det anges inget senaste datum när detta skall vara genomfört.

Grundläggande begränsningar avhandlas i Bilaga II. Avsnittet - 1 000 Hz återges i Tabell 5.5:

Frekvensområde	Magnetisk flödestäthet (mT)	Strömtäthet (mA/m ²) effektivvärde
0 Hz	40	-
>0 – 1 Hz	-	8
1 – 4 Hz	-	8/f
4 – 1 000 Hz	-	2

f är frekvensen i Hertz.

Tabell 5.5. EU. Allmänhetens exponering. Grundläggande begränsningar.

Enligt noterna syftar begränsningen för strömtäthet till att skydda mot ögonblickliga negativa effekter på vävnader i det centrala nervsystemet i huvudet och i bål原因. Det

anges vidare att det inte finns underlag för att ändra dessa begränsningar i fråga om kortvarig exponering, men däremot kan man acceptera en högre strömtäthet i andra kroppsdelar. Strömtätheten bör beräknas som ett medelvärde över 1 cm^2 .

Motsvarande avsnitt om referensnivåer återfinns i Bilaga III. I Tabell 5.6 återges avsnittet upp till 0,8 kHz.

Frekvensområde	Elektrisk fältstyrka, E (V/m)	Magnetisk fältstyrka, H (A/m)	Magnetisk flödestäthet, B (μT)
0 - 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
1 - 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$
8 - 25 Hz	10 000	$4\,000/f$	$5\,000/f$
0,025 - 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$

f är frekvensen enligt frekvenskolumnen. Vid 50 Hz är f således lika med 0,05.

Tabell 5.6. EU. Allmänhetens exponering. Referensnivåer.

Rekommendationen innehåller även referensnivåer för kontaktströmmar. Tabell 5.7 återger den lågfrekventa delen.

Frekvensområde	Maximal kontaktström (mA)
0 Hz - 2,5 kHz	0,5

Tabell 5.7 EU. Allmänhetens exponering. Referensnivåer för kontaktströmmar.

I det fall då exponering sker för fält med olika frekvenser (övertoner), skall hänsyn tas till additiva effekter. För lägre frekvenser, - 10 MHz för grundläggande begränsningar och - 1 MHz för referensnivåer, skall de relativa bidragen för varje frekvens summeras.

5.6.2 Arbetstagares exponering

Grunden till EUs arbete inom detta område är ett förslag till ett direktiv om fysikaliska arbetsmiljöfaktorer. Förslaget presenterades för första gången redan 1993. Den ursprungliga tanken var att direktivet skulle omfatta buller, vibrationer, optisk strålning och elektromagnetiska fält, men den stora tekniska skillnaden mellan de olika områdena ledde till att man 1999 beslutade att ge ut fyra separata direktiv. Direktiven rörande buller och vibrationer har redan givits ut. Arbetet med elektromagnetiska fält är precis avslutat och arbetet med optisk strålning har nyligen inletts.

Den senare delen av arbetet inom EU har gått via ett antal utgåvor av förslag, daterade från senare delen av 2002 och fram till ett nu färdigt direktiv. Den vidare framställningen bygger i huvudsak på direktivets text som den publicerats i Europeiska Gemenskapens officiella tidning den 24 maj 2004 [29]. Speciella uttryck och begrepp har hämtats från den officiella svenska språkutgåvan [30].

I direktivet ges inledningsvis några allmänna kommentarer. En viktig punkt är att direktivet lägger fast en minsta skyddsnivå och det är fritt för medlemsländerna att införa ett strängare regelverk. Om däremot ett medlemsland redan har ett nationellt regelverk som är strängare, så skall inte direktivet tas som ett skäl för att sänka en befintlig skyddsnivå.

Direktivet omfattar hela frekvensområdet 0 Hz – 300 GHz, alltså även statiska fält och baseras på kända och kortsiktiga negativa effekter på kroppen som orsakas av inducerade strömmar, energiabsorption och kontaktströmmar.

Direktivet omfattar inte eventuellt förekommande långsiktiga effekter.

I Direktivet definieras ”gränsvärden för exponering” (exposure limit values) och ”insatsvärden för exponering” (action values). De förra motsvarar ”basic restrictions” och ”grundläggande begränsning” enligt ICNIRP och EU – allmänheten och de senare ”reference values” respektive ”referensnivåer”.

Beräkningar och mätningar av exponering skall ske enligt harmoniserande CENELEC-standarder, men i avvaktan på dessa, får medlemsländerna tillämpa andra standarder och riktlinjer.

Under rubriken ”Arbetsgivarens skyldigheter” anges bl a:

Arbetsgivaren skall bedöma, och om nödvändigt, mäta och/eller beräkna nivåerna på de elektromagnetiska fält som arbetstagarna exponeras för.

Om insatsvärdena överskrids skall arbetsgivaren bedöma, och om nödvändigt, beräkna om gränsvärdena för exponering överskrids. Bedömningar, mätningar och beräkningar skall genomföras av behöriga instanser eller personer och med lämpligt intervall. Resultatet skall bevaras i sådan form att uppgifterna kan användas vid en senare tidpunkt.

Arbetsgivaren skall göra en riskbedömning och fastställa vilka vidare åtgärder som är nödvändiga. I riskbedömningen får arbetsgivaren bestyrka att en mer omfattande bedömning är onödig.

Med beaktande av tekniska framsteg och tillgängliga åtgärder för att påverka en risk vid källan, skall riskerna elimineras eller nedbringas till lägsta möjliga nivå (jmf den s k försiktighetsprincipen).

Om insatsvärdena överskridits och en bedömning visar att även gränsvärdena överskridits och att säkerhetsrisker inte kan uteslutas, skall arbetsgivaren utarbeta och genomföra en handlingsplan som syftar till att förebygga exponering som överskrider gränsvärdena.

Om en riskbedömning visar att en arbetsplats kan medföra exponering över-stigande insatsvärdena och att det inte kan uteslutas att gränsvärdena överskrids eller att

säkerhetsrisker inte kan uteslutas, skall arbetsplatsen markeras med lämpliga skyltar. Där det så är möjligt, skall tillträde till sådana områden begränsas.

Arbetstagare får under inga omständigheter utsättas för exponeringar överstigande gränsvärdena.

Om ändå gränsvärdena för exponering överskrids, skall arbetsgivaren vidta omedelbara åtgärder för att sänka exponeringen till en nivå som underskrider gränsvärdet. Han skall dessutom fastställa orsakerna till överskridandet och ändra de skyddande och förebyggande åtgärderna för att undvika att detta upprepas.

Arbetsgivaren skall säkerställa att de arbetstagare (och/eller deras representanter), som exponeras för risker i samband med elektromagnetiska fält på arbetsplatsen, får all nödvändig utbildning och informeras om resultatet av den genomförda riskbedömningen.

Under "Övriga bestämmelser" sägs att arbetstagare som kan utsättas för negativa hälso- eller säkerhetseffekter i samband med elektromagnetiska fält, skall ha rätt till hälsokontroll (detta har varit en särskilt omtvistad punkt då det är svårt att veta vad man egentligen skall leta efter vid en riktad hälsoundersökning).

Under "Slutbestämmelser", anges att medlemsländerna skall lämna in en rapport till EU-kommissionen om den praktiska tillämpningen av direktivet och i denna ange synpunkter som framförts av arbetsmarknadens parter.

Medlemsländerna skall ikraftsätta de bestämmelser som är nödvändiga att följa detta direktiv senast 4 år efter att direktivet trätt i kraft, dvs publicerats i Europeiska Unionens officiella tidning. I praktiken innebär detta att de nationella föreskrifterna skall börja gälla senast den 29 april 2008.

Själva gränsvärdena och insatsvärdena har inte ifrågasatts i någon nämnvärd omfattning under EUs behandling. De aktuella gränsvärdena för lägre frekvenser återges nedan:

Frekvensområde	Strömtäthet (i huvud och bål), J (mA/m ²) (rms)
Upp till 1 Hz	40
1 – 4 Hz	40/f
4 – 1000 Hz	10

f är frekvensen i Hertz.

Tabell 5.8. EU. Arbetstagares exponering. Gränsvärden
(=Grundläggande begränsningar).

I noterna anges, precis som i fallet med allmänhetens exponering, att gränsvärdena syftar till att skydda mot ögonblickliga negativa effekter på vävnader i det centrala

nervsystemet i huvudet och i bålén. Det anges vidare att det inte finns underlag för att ändra dessa begränsningar i fråga om kortvarig exponering och att högre strömtäthet kan tillåtas i andra kroppsdelar. Strömtätheten bör beräknas som ett medelvärde över 1 cm^2 .

Motsvarande insatsvärden återges i Tabell 5.9 nedan:

Frekvensområde	Elektrisk fältstyrka, E (V/m)	Magnetisk fältstyrka, H (A/m)	Magnetisk flödestäthet, B(μT)
0 – 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$
8 – 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$
0,025-0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$

f är frekvensen enligt frekvenskolumnen. Vid 50 Hz är f således lika med 0,05.

Tabell 5.9. EU. Arbetstagares exponering. Insatsvärden. (= Referensnivåer)

5.7 NIEHS

NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) i North Carolina, USA, är en av flera institutioner inom National Institutes of Health, som i sin tur sorterar under U.S. Department of Health and Human services. NIEHS har en övergripande roll i att minska det "mänskliga lidandet" pga sjukdomar och bedriver och stödjer forskning inom en rad olika områden. Ett av dessa mer omfattande områden är elektriska och magnetiska fält och där NIEHS samarbetat med Department of Energy (DOE). Tillsammans drev man 1992-1998 projektet EMF Rapid (Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination). Inom projektet var NIEHS ansvarig för studier avseende tänkbara hälsoeffekter av emf.

Till projektets avslut gjordes en bedömning av sambandet mellan emf och cancersjukdomar och man fann att ELF (Extremely low frequency, < 300 Hz) emf är en möjlig carcinogen för människor [31]. Det är alltså en bedömning som är i sak är identisk med IARC:s bedömning 2001.

5.8 NRPB i Storbritannien

National Radiological Protection Board (NRPB) i Storbritannien är en mycket användbar och lättillgänglig källa för information om dessa frågor.

NRPB bildades 1970 och myndigheten är sedan dess huvudansvarig för insamling och spridning av information om olika former av strålning, både joniserande- och icke-joniserande strålning. Sedan början av 90-talet har man publicerat rapporter om effekter av elektromagnetiska fält och idag är en stor del av dessa tillgängliga via NRPB:s hemsida www.nrpb.org.

Inom NRPB har man tagit del av och värderat en betydande del av de rapporter som publicerats rörande elektromagnetiska fält (0 – 300 GHz) och dess påverkan på

människokroppen. Detta arbete sammanfattades 2003 i ett "Consultation document" med titeln *Proposals for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0 – 300 GHz)* [32]. Avsikten med ett "Consultation document" är att andra institutioner och enskilda skall ha möjlighet att kommentera och ha synpunkter på innehållet. I detta fall "stängdes" dokumentet efter 3 månader den 28 juli 2003 och då hade ca 50 kommentarer lämnats in till NRPB. Kommentarererna sammanfattades och publicerades i juli 2004 som ett eget dokument med titeln *Summary of comments received on the May 2003 Consultation Document and responses from NRPB* [33].

Grunddokumentet och kommentarerna resulterade sommaren 2004 i ytterligare två rapporter. En rapport med titeln *"Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0–300 GHz)"* [34]. Denna innehåller en kritisk genomgång av huvudparten av det material som publicerats inom detta område. Den andra rapporten har titeln *"Advice on Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0–300 GHz)"* [35]. Denna är en sammanfattning av den förstnämnda men lägger också tonvikten på konkreta råd för exponering.

Tillsammans utgör dokumenten från NRPB en lättillgänglig och utmärkt källa för information. Fylliga referenslistor gör det dessutom lätt att vid behov tränga djupare in i materialet.

I korthet kan man sammanfatta NRPBs slutsatser enligt följande:

- ICNIRPs riktlinjer skall ligga till grund för nationella föreskrifter i Storbritannien.
- Begränsningar eller maximala exponeringsnivåer skall skydda mot akuta effekter på det centrala nervsystemet.
- Allmänheten skall ha en högre skyddsnivå än de som exponeras i arbetslivet. En orsak är att det bland allmänheten kan finnas personer med en högre känslighet för elektromagnetiska fält än normalt. Det kan vara barn, gamla och personer med epilepsi eller andra sjukdomar.
- Vid ett yttre elektriskt fält understigande 5 kV/m är risken smärtsamma urladdningar mellan person och jord mycket liten.
- Vid ett inre elektriskt fält på 100, möjligen 50 mV/m, är risken för akuta effekter på det autonoma och det centrala nervsystemet hos normalt friska och vuxna personer mycket liten. Särskilt känsliga personer skall dock inte utsättas för inre fältstyrkor över 20 mV/m.
- Baserat på detta fås att personer som exponeras i arbetslivet ej skall utsättas för högre inre fältstyrkor än 100 mV/m. Med en medelkonduktivitet inom det centrala nervsystemet på 0,1 S/m fås en inre strömtäthet på 10 mA/m² ($J = \sigma \times E$).
- För allmänheten fås med samma resonemang 20 mV/m respektive 2 mA/m².

- Ytterligare forskning behövs och i synnerhet vad det gäller mekanismen bakom fosfener och om tröskelnivån för fosfener kan extrapoleras till den övriga delen av hjärnan.

5.9 Sverige

Arbetet med att ta fram svenska nationella föreskrifter om icke joniserande strålning pågår sedan några år inom tre olika myndigheter:

Statens strålskyddsinstitut (SSI) som har huvudansvaret för begränsning av allmänhetens exponering publicerade hösten 2002 skriften ”Statens strålskyddsinstituts allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält” (SSI FS 2002:3) [36]. Innehållet bygger till största delen på EUs rekommendation från 1999 [28] och även vokabulären är densamma.

Grundläggande begränsningar (strömtäthet vid 50 Hz) anges i Tabell 1 och Referensvärden (elektrisk fältstyrka och magnetisk flödestäthet vid 50 Hz) anges i Tabell 2. Presentationen av tabellerna avviker något mot EU-dokumentet, men det tekniska innehållet är givetvis detsamma.

Parallellt med SSIs arbete har Elsäkerhetsverket på uppdrag av regeringen gjort en utredning om åtgärder och metoder för att reducera elektromagnetiska fält från kraftledningar. Utredningen resulterade hösten 2002 i en rapport med titeln ”Reduktion av magnetfält från kraftledningar” [37].

Elsäkerhetsverket bygger sin rapport på ICNIRPs riktlinjer [16] och EUs rekommendation begränsning om allmänhetens exponering [28], men också på IARCs bedömning (International Agency for Research on Cancer) av cancerrisker och den mycket omfattande rapporten från Rådet för Arbetslivsforskning (RALF) [38] med en bedömning av sambandet mellan lågfrekventa magnetfält och barnleukemi. Denna kombination av både akuta effekter och epidemiologiska studier har medfört att rapporten presenterar två tröskelvärden; 100 och 0,4 μT . Det förra avseende akuta effekter och det senare effekter av låntidsexponering. I rapportens senare del redovisas också ett antal kostnadsberäkningar för att bygga om olika kraftledningar för att begränsa det magnetiska fältet till $< 0,4 \mu\text{T}$.

Det är möjligt att det är just den här ”blandningen” av två olika exponeringsnivåer som är orsaken till att Elsäkerhetsverkets rapport fått utstå en hel del kritik.

Den tredje myndigheten som verkar inom området är Arbetsmiljöverket, som ansvarar för frågan om en begränsning av exponeringen i arbetslivet. Inom Arbetsmiljöverket behandlas frågan om elektromagnetiska fält tillsammans med andra fysikaliska miljöfaktorer som buller, vibrationer och optisk strålning. Dessa områden omfattas nämligen alla av EUs ramdirektiv 89/391/EEG.

Arbetet med att ta fram en svensk (tvingande) föreskrift om en begränsning av elektromagnetiska fält inleddes under hösten 2003 och beräknas kunna avslutas under 2006

eller möjligen under 2007. I allt väsentligt kommer denna att bygga på det motsvarande EU-direktivet.

5.10 Standarder

5.10.1 CENELEC och IEC

5.10.1.1 Organisation

Standardiseringen av krav och prov rörande icke joniserande strålning och dess påverkan på människan behandlas av kommittéer både inom CENELEC och IEC. Merparten, men inte allt, av arbetet bedrivs inom kommittéerna CENELEC TC 106X och IEC TC 106.

CENELEC TC 106X arbetar med stöd av EU-direktivet 1999/519/EC, som behandlar allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält, 0 Hz till 300 GHz. Arbetet har fram till dags dato (i maj 2005) resulterat i runt 35 standarder och förslag till nya standarder, men en betydande del (ca 2/3) av dessa behandlar det högre frekvensområdet (trådlös kommunikation mm) och speciella tillämpningar som induktionsvärmare mm.

IECs parallella kommitté IEC TC 106 har varit verksam sedan oktober 2000 och arbetar med standardisering av mätningar och beräkningar med anledning av människans exponering för elektromagnetiska fält. Fastställande av gränsvärden eller biologiska/medicinska studier ingår däremot inte i dess uppgifter.

25 länder är fullvärdiga medlemmar (med rösträtt) i IEC TC 106. De nordiska länderna är representerade liksom naturligtvis alla större europeiska länder. Dessutom är också Australien, Japan, Kanada, Kina, Ryssland och USA fullvärdiga medlemmar. Sex medlemsländer har observatörsstatus.

Inom IEC TC 106 bedrivs arbetet i fem arbetsgrupper, Working Groups (WG), med följande arbetsområden:

WG 1: Mätning och beräkning av lågfrekventa (- 100 kHz) elektriska och magnetiska fält och i kroppen inducerade strömmar.

1: Mätning och beräkning av lågfrekventa elektriska och magnetiska fält. Krav på instrument och vägledning för mätningar. IEC 61786 (TC 85).

2: Beräkning av inducerade strömmar och inre E-fält:
Projekt IEC 62226.

Del 1: Allmän del och enkla beräkningsmodeller.

Del 2: Beräkning av inducerad ström och inre E-fält:

Sektion 1: 2D-modeller.

Sektion 2: 3D-modeller.

Del 3: Beräkning av inducerad ström och inre E-fält:

Sektion 1: Analytiska modeller.

Sektion 2: Numeriska modeller.

Del 4: Elektriska parametrar hos mänskliga vävnader.

3: Mätmetoder och instrument för inducerade strömmar.

WG 2: Beskrivning av lågfrekventa (- 100 kHz) elektriska och magnetiska fält alstrade av specifika källor, som kraftledningar, järnvägar, industrisystem och hushålls-utrustning.

WG 3: Mätningar och beräkningar för högre frekvenser (100 kHz – 300GHz).

WG 4: Högfrekventa fält från specifika strålningskällor.

WG 5: Allmänna standarder. Projekt 62311.

5.10.1.2 EN- och IEC-standard

Begränsar man inventeringen till frekvensområdet runt 50 Hz (low frequency range), finns det ett tiotal standarder och långt framskridna förslag som idag är av särskilt intresse. Dessa standarder återfinns inte i referenslistan, men de nedan angivna beteckningarna medger en enkel åtkomst exempelvis via organisationernas hemsidor.

EN 50392:2004

Generic standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz).

Denna standard antogs i januari 2004 och i mars samma år fastställdes motsvarande svenska standard (SS-EN). Dess omfattning begränsas till sådan utrustning och apparater som kan användas av allmänheten och i enlighet med vad som framgår av EU-direktivet 1999/519/EG av den 12 juli 1999. Vidare gäller standarden bara sådan utrustning där ingen annan produktstandard finns som behandlar exponeringen. Den gäller däremot inte sådan utrustning som omfattas av EN 50371 (allmänhetens exponering från utrustning med låg effekt i området 10 MHz – 300 GHz), eller medicinsk utrustning enligt Rådets direktiv 93/42/EEC.

Efter ett inledande avsnitt med definitioner av olika begrepp följer avsnitt om krav på utrustning och metoder för att avgöra om kraven är uppfyllda. Generellt föreskrivs att utrustningen skall uppfylla ”Grundläggande begränsningar” (Basic restrictions) enligt Bilaga 2 i EU-direktivet 1999/519/EG.

Vidare påpekas att ”Referensnivåer” (Reference levels) enligt Bilaga 3 har beräknats från de grundläggande begränsningarna med antagandet att förutsättningarna är de sämsta tänkbara, d v s att kopplingen dem emellan är maximal. Detta innebär att om exponeringsnivån understiger referensnivåerna, så kommer de grundläggande

begränsningarna likaså att underkidas. Däremot kan referensnivåerna överskridas utan att de grundläggande begränsningarna behöver överskridas.

En apparat eller utrustning som inte kan producera högre värden än 50 % av de grundläggande begränsningarna vid normalt arbetsavstånd, kan direkt och utan vidare utredning anses uppfylla kraven för B- och E-fält och kontaktströmmar enligt denna standard.

För övrig utrustning, som inte uppfyller detta 50 %-villkor, finns ett flödesschema för hur bedömningen skall genomföras. I korthet gäller att utrustning som genererar fält och strömmar under referensnivå på normalt arbetsavstånd skall likaså anses uppfylla kraven enligt denna standard. Detsamma gäller utrustning där exponeringsnivåerna underskrider vad som anges i en relevant produktspecifikation. I övriga fall, d v s där referensnivåer överskrids och produktspecifikationer saknas eller överskrids, skall en kontroll göras mot de grundläggande begränsningarna. Denna kontroll kan utgöras av en beräkning och/eller en mätning.

Hänsyn skall tas till övertoner och deras påverkan skall summeras inom två frekvensområden; 1 Hz – 10 MHz och 100 kHz – 300 GHz. Bidragen från olika frekvenser vägs i förhållande till aktuell grundläggande begränsning eller referensnivå.

Den avslutande summeringen av strömtäthet kan göras med eller utan hänsyn till fasläget hos de olika bidragen. Det mest konservativa (värsta) resultatet fås om fasläget hos de olika komponenterna bedöms vara lika.

I Bilaga A (Annex A, informativt) ges anvisningar för beräkning av fältet från vissa antennkonfigurationer (ej aktuellt för 50/60 Hz).

Bilaga B (Annex B, informativt) beskriver bedömning av SAR-nivåer (ej aktuellt för 50/60 Hz).

Bilaga C (Annex C, informativt) ger inledningsvis en kort beskrivning av sex olika anatomiska och "kroppslika" modeller som har kommit till användning inom detta område. Möjligheten att använda en rotationsellipsoid med konstant konduktivitet nämns också, men det påpekas att man med en sådan kan överskatta de strömmar som induceras i kroppen. Konduktiviteten hos kroppens vävnader är av helt avgörande betydelse för de inducerade strömmarnas storlek. I en tabell anges konduktivitetsvärden för ca 45 olika vävnader och för frekvenser från 10 Hz upp till 10 GHz.

Bilagan avslutas med några beräkningsexempel utförda delvis med ett kommersiellt tillgängligt program.

Bilaga D (Annex D, informativt) beskriver mätning av inducerade strömmar i människokroppen och av kontaktströmmar. För mätning av de förra nämns möjligheten att använda en strömtång som får omsluta ex vis en vrist eller handled.

Bilaga E (Annex E, informativt) beskriver mätning av SAR-nivåer (ej aktuellt för 50/60 Hz).

Bilaga F (Annex F, informativt) beskriver mätning av E och H-fält, men utan att direkt gå in på några detaljer.

Bilaga G (Annex G, informativt) ger en kortfattad beskrivning av olika numeriska metoder.

prEN 50413:2003

Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

Detta förslag tills standard röstades ner under 2005 och det är i dagsläget osäkert oklart vad som kommer att hända med förslaget – om det skall revideras eller möjligen helt skrivas om.

Förslaget inleds med ett avsnitt med definitioner av olika begrepp och därefter följer allmänna avsnitt om kalibrering, mätning och avrapportering.

I bilaga A (Annex A, normativt) beskrivs modeller för att validera beräkningsprogram. Bl a ges analytiska modeller för att beräkna strömtätheten i en sfäroid (rotations-ellipsoid) som befinner sig i ett homogent yttre B- och respektive ett homogent E-fält.

Bilaga B (Annex B, informativt) ger en kortfattad beskrivning av olika numeriska beräkningsmodeller.

CLC/TR 50442:2005

Guidelines for product committees on the preparation of standards related to human exposure from electromagnetic fields.

En kortfattad rapport som främst vänder sig till de kommittéer som arbetar med att ta fram produktorienterade EMF-standarder. I rapporten beskrivs bl a de olika typer av standarder som förekommer inom området och skillnaden mellan å ena sidan allmänna standarder (Basic standards och Generic standards) och produktstandarder (Product EMF standards) beskrivs utförligt.

prEN 50XXX

Generic standard for workers environment

Ännu ej utgiven standard. Innehållet är ännu okänt.

R014-001:1999 (CENELEC Report) (Utgiven av TC 14)

Guide for the evaluation of electromagnetic fields around power transformer

En kortfattad rapport utarbetad av CENELECs transformatorkommitté (TC14) och inriktad mot miljön runt krafttransformatorer. Ett avsnitt behandlar magnetiska fält från anslutningarna på lågspänningssidan och ett avsnitt tar upp de elektriska fälten från anslutande skenstråk. Själva transformatorn i sig bedöms vanligen inte ge upphov till några E-fält, då låda eller annan kapsling ger en effektiv skärmning.

I Annex B beskrivs hur det elektriska fältet från en ledare över ett oändligt plan kan beräknas genom spegling i jordplanet. Metoden är enkel, men användbar för att uppskatta E-fältet i ställverk och under kraftledningar.

EN 62226-1:2005 (= IEC 62226-1:2004-11)

Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body -- Part 1: General.

Inledning till det med IEC gemensamma projektet 62226. Standarden innehåller huvudsakligen definitioner av olika begrepp inom området och avslutas med en omfattande bibliografi.

EN 62226-2-1:2005 (= IEC 62226-2-1:2004-11)

Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body -- Part 2-1: Exposure to magnetic fields - 2D models.

Beskriver inledningsvis olika beräkningsmodeller för B-fälts exponering och definierar begreppen strömtäthet och kopplingsfaktor ($K = J_{\text{nonuniform}}/J_{\text{uniform}}$). $K \leq 1$.

Standarden avslutas med en serie beräkningar av strömtätheten i en mycket enkel modell av en människa. I modellen utgörs kroppen av en skiva med konstant konduktivitet ($\sigma = 0,2 \text{ S/m}$) och med radien $R = 100$ och 200 mm . Det magnetiska fältet (B) i skivans kant närmast källan är i samtliga fall $1,25 \text{ }\mu\text{T}$. Det magnetiska fältet beräknas för tre olika konfigurationer: lång rak ledare, två parallella ledare som för en motriktad ström samt från en liten spole.

Det visas att strömtätheten blir maximal med ett homogent magnetfält. Ett fält som är nära nog homogent fås om avståndet mellan källan och skivan är stort; i storleksordningen 10 gånger skivans radie.

prEN62311:200X (= IEC 62311 Ed 1, doc no 106/70/CDV)

Generic product standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

Ett inledande avsnitt om bedömning av fält och exponeringsvillkor. Tyngdpunkten ligger dock inom det högre frekvensområdet.

I Annex C (informativt) beskrivs olika modeller för numeriska beräkningar, liksom konduktivitet hos olika vävnader.

Annex D (informativt) behandlar mätning av inducerade strömmar i kroppen och av kontaktströmmar.

Annex E, F och G gäller främst högre frekvenser.

prEN62311:200X/prAA:200X

Kommande Amendment till EN 62311

BT(ES)/NOT)16 Ännu bara ett tidigt förslag till standard. (Projekt nummer 16488).

Standardised procedures to measure power-frequency electric and magnetic fields produced by high-voltage electrical lines.

Syftet med denna standard är att lägga fast en metodik för mätning av de elektriska och magnetiska fälten från både luftledningarna och kablar.

IEC 60833. Ed 1. 1987-11 Utgiven av IEC TC 42

Measurement of power-frequency electric fields.

Standarden ger krav på instrument, kalibrering och vägledning för mätning av 50/60 Hz elektriska och magnetiska fält. Det tekniska innehållet återges även i IEC 61786 och i IEEE Std 644.

IEC 61786. Ed 1. 1998-08 Utgiven av IEC TC 85

Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements.

Standarden ger krav på instrument, kalibrering och vägledning för mätning av lågfrekventa (15 Hz – 9 kHz) elektriska och magnetiska fält.

Några speciella krav på instrument för mätning av magnetiska fält:

- Instrument skall ha en högsta onoggrannhet av $\pm (10 \% \text{ av avläst värde} + 20 \text{ nT})$.
- Instrument skall inte påverkas nämnvärt ($< 20 \text{ nT}$) av elektriska fält på upp till 20 kV/m . I vissa fall kan kravet behöva utsträckas till 100 kV/m .
- Instrumentets funktion skall inte påverkas av yttre E-fält på upp till 3 V/m inom området 150 kHz till 1 GHz .
- Instrumentet skall mäta ett sant RMS-värde även om B-fältet har en crest-faktor på 3.

Vid kalibrering skall bl a följande beaktas:

- Den magnetiska flödestätheten inne i kalibreringsspolen skall vara känd med en högsta onoggrannhet på $\pm 3 \%$.
- Den totala osäkerheten vid kalibreringen skall inte vara större än $\pm (5\% + 10 \text{ nT})$. Instrumentets onoggrannhet skall därvid specificeras med en täckningsfaktor = 2, dvs med onoggrannheten $\pm (10\% + 20 \text{ nT})$.
- Strömmen till spolarna skall ha en övertonshalt $\leq 1 \%$.

Vid kalibrering av system med tre ortogonala spolar skall systemets riktningskänslighet kontrolleras. Om B-fältet är parallellt med en axel, får de två övriga spolarna uppvisa ett maximalt utslag på 3% av den första.

Mätning av den magnetiska flödestätheten skall ske med ett 3-axligt instrument, utom i de fall då fältets riktning är av intresse.

Band-pass filter skall väljas med hänsyn till det som skall mätas! Vid mer generella mätningar i elkraftmiljö skall filter väljas så att frekvenser upp till 500 Hz inkluderas. Smalare band får dock användas om det kan visas att detta inte påverkar resultatet.

Några speciella krav på instrument för mätning av elektriska fält:

- Instrument skall visa RMS-värdet av ett homogent fält med en högsta onoggrannhet av $\pm (10 \% \text{ av avläst värde} + 2 \text{ V/m})$.
- Instrument skall inte påverkas nämnvärt ($< 1 \text{ V/m}$) av ett magnetiskt fält på upp till 1 mT .

Vid kalibrering skall bl a följande beaktas:

- Det elektriska fältet i kalibreringsgapet skall vara homogent. Fältstyrkan i gapets centrum får ej avvika med mer än 1% från fältstyrkan i ett oändligt stort gap.
- Den elektriska fältstyrkan i gapet skall vara känd med en högsta onoggrannhet på $\pm 3 \%$.
- Den totala osäkerheten vid kalibreringen skall inte vara större än $\pm (5\% + 1 \text{ V/m})$. Instrumentets onoggrannhet skall därvid specificeras med en täckningsfaktor = 2, dvs med onoggrannheten $\pm (10\% + 2 \text{ V/m})$.
- Matande spänning till kalibreringsgapet skall ha en övertonshalt $\leq 2 \%$.

Band-pass filter skall väljas med hänsyn till det som skall mätas! Vid mätningar i elkraftmiljö skall filter med centerfrekvensen 50 (ev 60) Hz väljas.

I Bilaga A (Annex A, normativt) ges anvisningar för kalibreringsspolar för B-fält instrument och för gap för E-fältstyrkemätare.

I Bilaga B (Annex B, normativt) redovisas felkällor vid mätning av B- och E-fält. Redovisningen är betydligt mer detaljerad än den som ges i huvudtexten.

I Bilaga C (Annex C, informativt) ges en allmän beskrivning av magnetiska fält.

I Bilaga D (Annex D, informativt) ges en allmän beskrivning av instrument för mätning av magnetisk flödestäthet, liksom för olika mätförfaranden. Avslutningsvis ges en mer detaljerad anvisning för mätning i ett ställverk och i vilken grad driftpersonalen exponeras.

I Bilaga E (Annex E, informativt) ges en allmän beskrivning av instrument för mätning av den elektriska fältstyrkan, liksom för olika mätförfaranden. Det betonas att det är mycket svårt att mäta den elektriska fältstyrka som en människa verkligen utsätts för, eftersom kroppen påverkar det yttre fältet i så betydande grad. Avslutningsvis ges en mer detaljerad anvisning för mätning i ett ställverk och i vilken grad driftpersonalen exponeras.

IEC 62110 Ed 1.0 (Draft 106/75/NP)

Measurement procedures for electric and magnetic fields generated by AC power lines with regard to human exposure

Behandlar tämligen kortfattat instrument, mätpunkternas placering och vad som bör finnas med i rapporten.

I Annex A (informativt) redovisas ett antal grafer över magnetfält invid luftledning och kablar.

Annex B (informativt) kommer att innehålla motsvarande information om E-fältet.

Annex C (informativt) behandlar beräkning av det magnetiska fältet och framförallt nära luftledningar.

Annex D (informativt) kommer att innehålla motsvarande information om E-fältet.

Annex E (informativt) kommer att ta upp val av mätpunkter nära kraftledningar.

Annex F (informativt) innehåller en kort bibliografi.

IEC 62226-1:2004-11. (= EN 62226-1:2005)

Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body -- Part 1: General.

IEC 62226-2-1:2004-11 (= EN 62226-2-1:2005)

Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body -- Part 2-1: Exposure to magnetic fields - 2D models.

IEC 62226-3-1 Ed 1.0 (Draft 106/72/NP)

Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body by electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range. Part 3: Electric Field. Analytical and 2D numerical models

En tydlig och innehållsrik standard med följande huvudpunkter:

Geometriska modeller av människan, både man och kvinna.

Analytiska uttryck för beräkning av inducerad ström.

Numeriska metoder och även kombinationer med analytiska uttryck

Analytiska uttryck för beräkning av strömmen mellan en människa och jord.

I Annex A (normativt) ges ett analytiskt uttryck för att beräkna strömtätheten i en sfäroid.

Annex B (normativt) Beskriver hur en modell av en man och en kvinna tagits fram och ger vissa standardmått för dessa.

Annex C (normativt) beskriver motsvarande för ett barn.

Annex D (informativt) behandlar kortfattat numeriska metoder.

IEC 62233 Ed 1.0 (Draft 106/77/CDV)

Measurement methods for low frequency magnetic and electric fields of domestic appliances with regard to human exposure.

Standard inriktad mot mätning av fält från hushållsapparater.

IEC 62311 Ed 1.0 (106/70/CDV) (=prEN62311:200X)

Generic product standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

5.10.2 IEEE

Standarder från IEEE, eller Institute of Electrical and Electronics Engineers, är vägledande i USA, men också i många andra länder på grund av varu- och tjänsteutbyte. Samarbetet med CENELEC-IEC är i många fall mycket uppenbart, men i andra finns det tydliga skillnader mellan kontinenterna. EMF-området intar en mellanställning, där vissa delar är gemensamma och andra skiljer sig märkbart åt. En del av IEEE:s EMF-standarder är samlade i gruppen C95. Gruppen täcker hela frekvensområdet från 0 Hz

och uppåt. För innehållet i C95 och i Std 1460 ansvarar ICES (International Committee on Electromagnetic Safety).

IEEE Std C95.6-2002. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 – 3 kHz.*

Std C95.6 [18] är en standard som saknar motsvarighet inom CENELEC(EN)-IEC. Den motsvarar närmast en föreskrift, då den även anger gränsvärden för exponering. Standarden bygger till stor del på de samband om exitering av nerver som tagits fram av J Patrick Reilly.

Nedan sammanfattas de gränsvärden som är aktuella för frekvensområdet runt 50/60 Hz:

Table 1 i C95.6 ger *Basic restrictions* för olika kroppsdelar. Detta är således basen för gränsvärdessättningen. Observera att *Basic restrictions* uttrycks som en inre fältstyrka och inte som en strömtäthet, som vi är vana vid från ICNIRP-EU

Exponerad vävnad	f_e (Hz)	Allmänheten	Kontrollerad miljö
		E_0 rms (V/m)	E_0 rms (V/m)
Hjärnan	20	$5,89 \cdot 10^{-3}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$
Hjärtat	167	0,943	0,943
Händer, vristar, fötter och anklar	3350	2,10	2,10
Annan vävnad	3350	0,701	2,10

$$E_i = E_0 \text{ om } f \leq f_e \quad \text{och} \quad E_i = E_0 (f / f_e) \text{ om } f > f_e$$

Tabell 5.10. IEEE C95.6. Table 1.

Från Table 1 och *Basic restriction* är det möjligt att ta fram maximala exponeringsnivåer, motsvarande *Reference levels* hos ICNIRP. I Std C95.6 benämns dessa *Maximum permissible exposure* (MPE). I Tabell 5.11- 5.12 ges dessa för magnetiska fält och i Tabell 5.13 för elektriska.

Frekvensområde (Hz)	Allmänheten (B rms, mT)	Kontrollerad miljö (B rms, mT)
20-759	0,904	2,71

Gäller för huvud och bål och avser lokalt maxvärde. Rms skall bildas under 0,2 sek.

Tabell 5.11. IEEE C95.6. Table 2.

Frekvensområde (Hz)	Allmänheten (B rms, mT)	Kontrollerad miljö (B rms, mT)
10,7-3000	3790/f	3790/f

Gäller för armar och ben och avser lokalt maxvärde. Rms skall bildas under 0,2 sek.

Tabell 5.12. IEEE C95.6. Table 3.

Allmänheten		Kontrollerad miljö	
Frekvensområde (Hz)	E rms (V/m)	Frekvensområde (Hz)	E rms (V/m)
1-368	5 000 ^{a, d}	1-272	20 000 ^{b, e}

- a. I kraftledningsgata och vid normal last är MPE 10 kV/m.
- b. Smärtsamma urladdningar förekommer vid 20 kV/m och kan förekomma vid 5-10 kV/m.
- c. –
- d. Vid 5 kV/m kan smärtsamma gnisturladdningar förekomma för ungefär 7 % av den vuxna befolkningen.
- e. Gränsen 20 kV/m får överskridas om arbetstagaren ej är inom räckhåll för jordat föremål.

Tabell 5.13. IEEE C95.6 Table 4.

Även för kontaktströmmar finns MPE, se Tabell 5.14 nedan.

Kontakt med	Allmänheten (mA, rms)	Kontrollerad miljö (mA, rms)
Båda fötterna	2,70	6,0
En fot	1,35	3,0
Kontakt, stadig	-	3,0
Kontakt, nudda vid	0,50	1,5

För personer utan kontakt med jord skall inte värdena i raderna ”båda fötterna” och ”En fot” överskridas.

Tabellen sätter en skyddsnivå för kontaktströmmar, men skyddar inte för obehag av själva gnisturladdningen.

Rms värden skall bildas under 0,2 sek (för frekvenser över 25 Hz).

För kontrollerad miljö gäller gränsen ”stadig kontakt” när personalen har tränats att ta ett stadigt tag och inte bara snudda vid ledande föremål. En sådan ”stadig kontakt” antas täcka en yta på 15 cm².

För allmänheten antas gränsen ”nudda vid” motsvara en kontaktyta på 1 cm².

Tabell 5.14. IEEE C95.6 Table 5.

6 Gränsvärden och påverkan på människan – en översikt

Nedan i Figur 6.1 ges en översikt av hur fastställda gränsvärden för exponering för elektriska och magnetiska fält förhåller sig till graden av påverkan på människokroppen.

Inducerad strömtäthet		
	1000 mA/m ²	1000 - mA/m ² : Påverkan på det perifera nervsystemet och på kroppens livsuppehållande funktioner (hjärta, andning).
	200 mA/m ²	200 mA/m ² : Påverkan på evoked potential. Påverkan kvarstod 45 min efter att fältet brutits [22], (Bailey)
	100 mA/m ²	100 mA/m ² -Påverkan på det centrala nervsystemet.
	10-40 mA/m ²	10-40 mA/m ² : Förändrad semantisk förmåga [20], (Saunders).
Gränsvärde för arbetstagare	10 mA/m ²	Magnetofosfener kan uppträda från 8-10 mA/m ² [21] (Lövsund). Senare beräkningar tyder på att tröskelvärdet ligger vid 27 (medelv -70 (maxv) mA/m ² [22], (Bailey)
Gränsvärde för allmänheten	2 mA/m ²	2-6 mA/m ² : Försämrade minnesförmåga. [20] (Saunders).
	1 mA/m ²	

Figur 6.1. Översikt av gränsvärden och kroppspåverkan för fält.

Det skall påpekas att de *uppmätta* stimulansnivåer som anges ovan, har mätts upp vid försök på ett begränsat antal personer. Det är dessutom ett urval av vuxna och friska personer. Barn kan förväntas uppvisa lägre stimulansnivåer, liksom personer med olika sjukdomstillstånd. Ett gränsvärde sätts normalt så att det förhindrar oönskad stimulans inte bara för en "medelindivid", utan för det stora flertalet. Det innebär att vissa speciellt

utsatta grupper kan komma att ha en stimulanströskel som ligger under gränsvärdet. Det har ansetts rimligt att sätta gränsen så att 99 % av befolkningen skyddas.

Kontaktström		
	20 mA	Kraftig chock, andningssvårigheter [16]. 50 %-värde för "let-go" ström. Män [15].
	10 mA	50 %-värde för "let-go" ström. Kvinnor [15]. 1 %-värde för "let-go" ström. Män [15]. 1 %-värde för "let-go" ström. Kvinnor [15].
Gränsvärde för arbetstagare	1 mA	50 %-värde för perception. Män [15].
Gränsvärde för allmänheten	0,5 mA	1 %-värde för perception. Män [15] .

7 Sammanfattning och slutsatser

1999 utfärdade EU en rekommendation om begränsning av allmänhetens exponering för elektriska och magnetiska fält och våren 2004 följdes denna av ett direktiv om begränsning av de fält som arbetstagare kan utsättas för. Båda dokumenten syftar till att förhindra negativa *akuta* effekter på människokroppen. Det vetenskapliga underlaget till båda dessa dokument har tagits fram av organisationen ICNIRP. Inom ICNIRP gjorde man bedömningen att det då – 1997 – inte fanns underlag för att göra en bedömning om ev långtidseffekter. Här i Sverige har EU-rekommendationen omarbetats till en föreskrift utgiven av SSI och Arbetsmiljöverket arbetar med att ta fram en föreskrift med EUs direktiv som grund.

Den grundläggande begränsningen i ICNIRPs dokument och i föreskrifterna är en strömtäthet i vissa kritiska organ. Tyvärr ges ingen tydlig information om exakt vilka organ som avses eller hur strömtätheten skall definieras. I dokumenten talas om huvud och bål och det centrala nervsystemet, varför det är sannolikt att man avser hjärnan, ryggmärgen och ögat (näthinnan). Den maximalt tillåtna strömtätheten uttrycks som ett medelvärde över 1 cm^2 , men hur denna medelvärdesbildning skall gå till är ingalunda klart.

Strömtätheten har en medicinsk grund. Gränsvärdet på 10 mA/m^2 för arbetstagare har sannolikt baserats på den nedre gränsen för fosfener, men valet av nivå stöds också av att det på senare år visat sig att det centrala nervsystemet kan påverkas av strömtätheter av denna storleksordning. Gränsvärdet för allmänheten har satts till 2 mA/m^2 , för att även skydda barn och speciellt känsliga individer.

Strömtätheten kan inte mätas direkt i kroppen och man har därför infört s k insatsvärden i form av mätbara storheter som har en viss relation till gränsvärdet.

Vid tiden för ICNIRPs arbete med dessa frågor (hösten –97) var kunskapen om dosimetri (beräkning av inducerade strömmar) begränsad och man valde därför en konservativ relation mellan insatsvärde och gränsvärde. Se Tabell 8.1 nedan.

Grupp	Begränsning vid 50 Hz		
	Gränsvärde	Insatsvärde B-fält	Insatsvärde E-fält
Allmänheten	2 mA/m^2	$100 \text{ }\mu\text{T}$	5 kV/m
Arbetstagare	10 mA/m^2	$500 \text{ }\mu\text{T}$	10 kV/m

Tabell 8.1 Gräns- och insatsvärden enligt ICNIRP och EU.

I litteraturen ges många exempel på beräkning av inducerade strömmar orsakade av yttre B- och E-fält. De enkla tillvägagångssätten baseras genomgående på homogena kroppar med en konstant inre konduktivitet. Dessa metoder ger tyvärr inte någon säker information om strömmen i de kritiska organen. Det finns emellertid publicerade resultat från beräkningar med mer komplexa modeller och för olika exponerings-scenarier; både med B- och E-fält och både med homogena och med inhomogena fält.

Dessa metoder ger stöd för en mindre konservativ relation mellan gräns- och insatsvärde.

Det högsta acceptabla elektriska fältet kan också begränsas av s k kontaktströmmar. De kan uppträda när en människa laddas upp av ett E-fält och tar i ett jordat föremål. De kan också uppkomma när en människa tar i ett annat uppladdat föremål – exempelvis en bil.

Såväl beräkning av inducerade strömmar som kontaktströmmar behandlas mer utförligt i del 2 av denna rapport (Elforsk rapport 06:91).

8 Referenser

- [1] Wertheimer, N and Leeper E: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology*. Vol 109. No. 3. 1979. pp 273-284.
- [2] Lundberg, Petra och Lindgren, Rolf: EMF-forskningen 1993 – 2003. *Elforsk rapport 05:10*
- [3] Korpinen, L; Isokorpi, J and Keikko, T: Electric and magnetic fields from electric power systems in living and work environment. *High Voltage Engineering Symposium*. 1999. Conf publ No 487. pp 2.99.P6 - 2.102.P6.
- [4] Keikko, T; Isokorpi, J and Korpinen, L: Practical problems in calculating electric fields of transmission lines. *High Voltage Engineering Symposium*. 1999. Conf publ No 487. pp 2.103.P6 - 2.106.P6.
- [5] Sjöblom; Toni, Keikko, Tommie; Halinen, Sami; Kivelä, Tuomas and Korpinen, Leena: Electric fields caused by transmission lines in Finland. *High Voltage Engineering Symposium*. 2001. Doc. 1-19.
- [6] Isokorpi, J; Keikko, T and Korpinen, L: Power frequency fields at a 400 kV substation. *High Voltage Engineering Symposium*. 1999. Conf publ No 487. pp 2.107.P6 - 2.110.P6.
- [7] Keikko, T; Kuusiluoma, S; Sauramäki, T and Korpinen, L: Comparison of Electric and Magnetic Fields near 400 kV Electric Substation with Exposure Recommendations of the European Union. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*. 2002. Vol 2. pp 1230-1234.
- [8] Mild, Kjell Hansson; Sandström, Monica; Johansson, Anders: Measured 50 Hz Electric and Magnetic Fields in Swedish and Norwegian Residential Buildings. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. Vol 45. No 3. June 1996. pp 710-714.
- [9] Sauramäki, T; Keikko, T; Kuusiluoma, S and Korpinen, L: Exposure to Electric and Magnetic Fields at 110 kV Gas Insulated Substation (GIS). *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*. 2002. Vol 2. pp 1226-1229.
- [10] Keikko, T; Isokorpi, J; Korpinen, L: Magnetic fields in industry: Arc furnace. *High Voltage Engineering Symposium*. 1999. Conf publ No 487. pp 2.111.P6 - 2.114.P6.
- [11] Isacson, Kjell: Bedömning av gränsvärdessättning. Dok nr 2663-030827-01. 2003.
- [12] Hart, R A and Gandhi, O P: comparison of cardiac-induced endogenous fields and power frequency induced exogenous fields in an anatomical model of the human body. *Physics in Medicine and Biology*. No 43. 1998. pp 3083-3099.
- [13] King, Ronald W P: Nerves in a Human Body exposed to Low-Frequency Electromagnetic Fields. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. Vol 46. No 12. Dec 1999. pp 1426-1431.
- [14] Widén, Lennart (red): Centrala nervsystemets funktionella anatomi. Ingår i *En bok om hjärnan*.

-
- [15] Deno, D W and Zafanella L E: Field effects of overhead transmission lines and stations. Chapter 8 in "Transmission Line Reference Book. 345 kV and Above". Second Edition. EPRI.
 - [16] ICNIRP Guidelines. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics. April. 1998. pp 494-522.
 - [17] Reilly, J Patrick: Neuroelectric mechanisms applied to low frequency electric and magnetic field exposure guidelines – Part 1: Sinusoidal waveforms. Health Physics. 83 (3). 2002. pp 341-355.
 - [18] IEEE standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz. IEEE Std C95.6-2002.
 - [19] Lindenblatt, G and Silny, J: A model of the electrical volume conductor in the region of the eye in the ELF range. Physics in Medicine and Biology. Vol 46. 2001. pp 3051-3059.
 - [20] Saunders, Richard D and Jefferys, John G R: Weak electric field interactions in the central nervous system. Health Physics. 83(3). 2002. pp 366-375.
 - [21] Lövsund, Per: Biological effects of alternating magnetic fields with special reference to the visual system. Linköping 1980.
 - [22] Bailey, William H: Health effects relevant to the settings of emf exposure limits. Health Physics. 83(3). 2002. pp 376-386.
 - [23] Ahlbom, Anders; Cardis, Elisabeth; Green, Adele; Linet, Martha; Savitz, David and Swerdlow, Anthony. (ICNIRP Standing Committee on Epidemiology): Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health. Environmental Health Perspectives. Vol 109. Supplement 6. Dec 2001. pp 911-933.
 - [24] IARC Monograph. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF electric and magnetic fields. Vol 80. 2002.
 - [25] IRPA/INIRC Guidelines. Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields. Health Physics. Vol 58. No 1. January 1990. pp 113-122.
 - [26] ICNIRP. Guidelines on Limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics. Vol 66. 1994. pp 100-106.
 - [27] ICNIRP Statement. Use of The ICNIRP Statement. March 31. 1999.
 - [28] Rådets Rekommendation av den 12 juli 1999 om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält (0 Hz – 300 GHz). 1999/519/EG.
 - [29] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/39/EEC.)
 - [30] Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/40/EG om minimikrav för arbetstagares hälsa och säkerhet vid exponering för risker som har samband med fysikaliska agens (elektromagnetiska fält) i arbetet (18:e särdirektivet enligt artikel 16.1 i direktiv 89/391/EEG).
 - [31] NIEHS Report on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. NIE Publication No. 99-4493.

- [32] Proposals for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0 - 300 GHz). Consultation Document. 1 May 2003. NRPB.
- [33] Summary of comments received on the May 2003 Consultation Document and responses from NRPB. NRPB-W59. July 2004.
- [34] Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0 – 300 GHz). Documents of the NRPB. Volume 15. No. 3. 2004.
- [35] Advice on Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0 – 300 GHz). Documents of the NRPB. Volume 15. No. 2. 2004.
- [36] Statens strålskyddsinstituts allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält. SSI FS 2002:3.
- [37] Reduktion av magnetfält från kraftledningar. Elsäkerhetsverket 2002.
- [38] Bergqvist, Ulf; Hillert, Lena och Birke, Elisabeth: Elöverkänslighet och hälsorisker av elektriska och magnetiska fält. Forskningsöversikt och utvärdering. Rådet för arbetslivsforskning (RALF) 2000.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35
www.elforsk.se