

SoS-rapport 1995:1

Elektriska och magnetiska fält och hälsoeffekter

Rapport från Socialstyrelsens expertgrupp

ISBN 91-7201-004-5

Artikelnr 1995-3-1

Omslag: Fhebe Hjältn

Sättning: Per-Erik Engström

Förord

Socialstyrelsen beslöt att i november 1993 tillsätta en arbetsgrupp för en vetenskaplig utvärdering av dagens kunskap när det gäller samband mellan elektriska och magnetiska fält (EMF) och hälsoeffekter. De hälsorisker som gruppen fick i uppdrag att bedöma var cancer, reproduktionsstörningar samt annan ohälsa, inklusive elkänslighet.

Anledningen till att Socialstyrelsen tog initiativ till denna utvärdering var den oro och den osäkerhet som under en tid har förekommit när det gäller bl a risken för cancer på grund av EMF från kraftledningar och de mer allmänna ohälsoproblem, s k elkänslighet, som många kopplar till EMF.

Grunden för Socialstyrelsens agerande är främst styrelsens centrala tillsynsroll enligt hälsoskyddslagen. I Socialstyrelsens ansvar ligger bl a att ta fram riktlinjer i form av allmänna råd och annan vägledande information som stöd för Miljö- och hälsoskyddsnämndernas lokala tillsynsarbete. För att kunna ta fram sådana riktlinjer krävs miljömedicinska utredningar där dagens kunskap sammanställs och värderas. Vidare har Socialstyrelsen ett centralt tillsynsansvar enligt hälso- och sjukvårdslagen. Arbetsgruppen har därför även haft till uppgift att ta fram underlag för sjukvårdens omhändertagande av patienter med elkänslighetssymtom.

Socialstyrelsen kommer givetvis att även fortsättningsvis följa forskningen inom dessa områden och vid behov se över sina ställningstaganden.

Socialstyrelsen i januari 1995

Claes Örtendahl
Generaldirektör

Innehåll

1. Allmänna synpunkter, historik	7
2. Exponering för elektriska och magnetiska fält	17
3. Cancer	47
4. Reproduktion	101
5. Allmän ohälsa	131
6. Sammanfattning	193
 Summary	 197
Ordförklaringar	199
Referenser	203

1. Allmänna synpunkter, historik

Innehåll

Bakgrund	9
Arbetsgruppens sammansättning	9
Historik	10
Tidigare utredningar i Sverige	11
Tidigare internationella utvärderingar	11
Myndigheternas ansvar	12
Rapportens uppläggning	12
Miljömedicinsk riskvärdering	13
Introduktion till epidemiologiska studier	14
Hur uppfattar vi hälsorisker?	16

Bakgrund

Hälsoskyddslagen har till syfte att förebygga och undanröja hälsorisker i den allmänna miljön, t ex i bostäder, skolor och daghem. Kommunerna har lokalt ansvar för tillsynen och Socialstyrelsen har ett övergripande centralt tillsynsansvar. I Socialstyrelsens ansvar ligger bl a att ta fram riktlinjer i form av allmänna råd och annan vägledande information som stöd för det lokala tillsynsarbetet. För att kunna ta fram sådana riktlinjer krävs miljömedicinska utredningar där dagens kunskap inom olika områden sammanställs och värderas.

Socialstyrelsen beslöt i november 1993 att tillsätta en arbetsgrupp för en vetenskaplig utvärdering av hälsoeffekter och elektriska och magnetiska fält.

De hälsorisker som gruppen fick i uppdrag att bedöma var cancer, reproduktionsstörningar och annan ohälsa, inklusive "elöverkänslighet". Uppdraget omfattar en bedömning av risker vid exponering i allmän miljö för elektriska och magnetiska växelfält (EMF) upp till 400 kHz. Syftet med utvärderingen var att ta fram underlag för tillsynen på olika nivåer och att ge förslag till sjukvårdens handläggning av patienter som anger besvär från elektriska och magnetiska fält, nedan kallat elkänslighet. Denna rapport sammanfattar och värderar kunskapsläget november 1994 och kan bidra som underlag till rekommendationer.

Arbetsgruppens sammansättning

Ordföranden i arbetsgruppen har varit docent Kerstin Hagenfeldt, Kvinno-kliniken, Karolinska sjukhuset, Stockholm och sekreterare docent Magnus Svartengren, folkhälsoenheten Socialstyrelsen, Stockholm. Övriga ledamöter har varit professor Olav Axelson, Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset, Linköping; professor Berndt Ehinger, Universitetssjukhuset, Ögonkliniken, Lund; med dr Göran Gustavsson, Barnkliniken, Karolinska Sjukhuset, Stockholm; professor Lars Jacobsson Psykiatriska kliniken, Norrlands Universitetssjukhus, Umeå; docent Bengt Järvholm, Yrkesmedicinska kliniken, Sahlgrenska Sjukhuset, Göteborg; professor Bo Lambert, Centrum för Nutrition & Toxikologi (CNT), Novum, Huddinge; docent Ritva Matell, Neurologiska kliniken Södersjukhuset, Stockholm; med dr Christina Nerbrand, Centrum för Samhällsmedicin, Lund; professor Gunnar Nordberg, Institution för Miljömedicin, Norrlands Universitetssjukhus, Umeå; docent Ingemar Persson, Institutionen för cancerrapidemiologi, Akademiska Sjukhuset, Uppsala; professor Bertil Persson, Institutionen för radiofysik, Universitetssjukhuset, Lund; professor Staffan Skerfving, Yrkes- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset, Lund; professor Jan Wahlberg, Yrkesdermatologiska Kliniken, Karolinska Sjukhuset, Stockholm och professor Arne Öhman, Institutionen för klinisk neurovetenskap, Karolinska Sjukhuset, Stockholm. Arbetsgruppen hade sitt första möte den 8 februari 1994.

En **referensgrupp** har knutits till arbetet bestående av docent Leif Ahringer, Arbetarskyddsstyrelsen, Solna; chefläkare Christina Eliasch, Allmänna Försäkringskassan, Stockholm; teknisk direktör Jaak Nöu, Elsäkerhetsverket, Stockholm; laborator Lars-Erik Paulsson, Statens Strålskyddsinstitut, Stockholm och hälsoskyddsexpert Ewa Rydén Boverket, Karlskrona.

Arbetet har omfattat sammanträden med civilingenjör Thomas Josefsson och civilingenjör Jan Cullberg från Föreningen för El- och Bildskärmsskadade; docent Yngve Hamnerius, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg; professor Kjell Hansson Mild, Arbetsmiljöinstitutet i Umeå; professor Anders Ahlbom

och fil kand Maria Feychting, Institutet för Miljömedicin, Karolinska institutet, Stockholm; docent Birgitta Floderus, Arbetsmiljöinstitutet, Solna; professor Jörgen H Olsen, Cancerregistret, Danmark; doktor Pia K Verkasalo, Department of Public Health, Helsingfors.

Under arbetets gång har ett stort antal kontakter tagits med tjänstemän och forskare. Vi vill förutom referensgruppen särskilt framhålla, professor Bengt Knave, Dr Med Sc Ulf Berqvist, doktor Ove Franzén, professor Bo Holmberg, Arbetsmiljöinstitutet, Solna, Ph D Synnöve Sundell Bergman, Vattenfall AB, Vällingby, docent Olle Johansson, Institutionen för histologi och neurobiologi, Karolinska institutet, docent Martin Kanje, Zoologiska institutionen, Lunds Universitet, fil lic Kjell I Johansson, Telia AB, docent Bengt Arnetz, Institutet för psykosocial miljömedicin, Karolinska institutet, professor Claes Ramel, Institutionen för genetisk och cellulär toxikologi, Stockholms universitet, fil dr Britt-Marie Svedenstål, Institutionen för radioekologi, Statens lantbruksuniversitet, Uppsala, psykolog Bengt Andersson och bitr professor Lennat Melin, Institutionen för tillämpad psykologi, Uppsala Universitet, Ph D Jukka Juutilainen, Avd för miljövetenskap, Kuopio Universitet, Finland, MD Ph D Christoffer Johansen, Cancerregistret, Danmark, Ph D Georg Thommesen Statens strålevern, Norge, professor Dimitrios Trichopoulos, University of Harvard (USA) samt representanter för kommunala miljö-/hälsoskyddsnämnder.

Historik

Elförbrukningen i svenska hushåll har flerdubblats sedan 1960-talet (NUTEK1994b). Det har under senare decennier uppstått en oro för att exponering för lågfrekventa elektriska och magnetiska fält kan ådtadkomma negativa hälsoeffekter. Redan på 1960-talet rapporterades från Sovjet neurasteniska symtom, funktionella hjärt-, kärl-, mag- och tarmbesvär samt påverkan på blodbildningen hos yrkesmässigt exponerade (Asanova och Rakov 1966, Sazonova 1970, Filippov 1972). Dessa resultat kunde ej bekräftas av forskare från andra länder. Wertheimer och Leeper (1979) rapporterade att fält från kraftledningar hade samband med barnleukemi och några år senare kom de första rapporterna om cancer hos yrkesmässigt exponerade. Ungefär samtidigt kom fallrapporter om hudpåverkan och/eller skelöverkänslighet och andra fallrapporter om graviditetsstörningar vid arbete framför bildskärm. Datoranvändning har förändrat arbetslivet dramatiskt på mycket kort tid, och kan vara förenad med flera negativa arbetsmiljöfaktorer bl a dålig synergonomi, höga krav och låg grad av kontroll. Allmänna symtomen från hud med mera som tillskrivits elektromagnetiska fält debuterar oftast framför bildskärm men kan enligt de drabbade även utlösas av annan elektrisk apparatur. Man har mot denna bakgrund intresserat sig för andra källor till exponering för elektriska och magnetiska fält och hälsoeffekter. Vårt problemområde sönderfaller i tre områden; cancer, reproduktionsstörningar och allmänna symtom.

Tidigare utredningar i Sverige

De utredningar som gjorts har haft sin utgångspunkt i antingen bildskärmsarbete eller exponering för elektriska och magnetiska växelfält. Ergonomiska besvär uppmärksammades tidigt (AFS 1985:12). Svenska läkaresällskapet samlade 1988 och 1989 biomedicinska expertgrupper. Den första (1988) som var inriktad på kromosomskador, cancer och reproduktionsstörningar konkluderade att elektromagnetiska fält (EMF) i de nivåer som förekommer vid bildskärmar är små i förhållande till de som normalt förekommer i omgivningen, att cellbiologiska och cytogenetiska undersökningar inte kunnat påvisa övertygande effekter av EMF eller visa på trovärdiga modeller för verkningsmekanismer, att studier av embryoners utveckling visat ospecifika effekter och motstridiga resultat, och att de epidemiologiska studierna ej ger stöd för hypotesen att magnetfältsexponering vid bildskärmsarbete kan framkalla ogynnsamt graviditetsutfall (Svenska läkaresällskapet 1988). Den andra expertgruppen konkluderade att det inte fanns några säkra belägg för att magnetfälten runt bildskärmar har någon biologisk betydelse för uppkomst av hudbesvär och flimmerproblem (Svenska Läkaresällskapet 1989).

Kungliga vetenskapsakademien och ingenjörsvetenskapsakademien anordnade konferenser om "Lågfrekventa elektromagnetiska fält som hälsorisk med särskild hänsyn till elöverkänslighet" 1992–1993. I slutrapporten (KVA 1994), noteras att "man måste se allvarligt på denna situation (avser elkänslighet), men sakfrågorna kompliceras av att det inte finns någon enhetlig förklaring till de rapporterade effekterna på människor, djur och olika biologiska system".

Statens strålskyddsinstitut (SSI 1993), skriver: "det finns forskningsresultat som stöder hypotesen om samband mellan vissa cancerformer och exponering för sådana lågfrekventa magnetfält som finns intill kraftledningar, elektrisk utrustning och liknande. Fortfarande talar många faktorer mot sådana samband - - -".

Bengt Knave har nyligen publicerat en omfattande översiktsartikel om EMF och hälsorisker (Knave 1994).

Tidigare internationella utvärderingar

Under de senaste åren har ett flertal riskbedömningar genomförts. The Oak Ridge Associated Universities (Panel), USA (ORAU 1992/F8–F9) sammanfattar sin omfattande granskning på följande sätt: "Det finns inga övertygande bevis i den vetenskapliga litteraturen som stöder uppfattningen att exponering för extremt lågfrekventa (< 300Hz) elektriska och magnetiska fält från hushållsapparater, bildskärmar eller lokala kraftledningar utgör påvisbara hälsorisker". Senare svenska studier som ej var föremål för bedömningen har därefter kommenterats "att icke ge underlag för en ändrad bedömning" (ORAU 1993). National Radiation Protection Board, Storbritannien (NRPB 1992) konstaterar i sammanfattningen av sin rapport om elektromagnetiska fält och cancer risk att "det saknas klara epidemiologiska bevis för att elektromagnetiska fält är cancerframkallande." Danska Sundhetsministeriets expertgrupp (SEIIS 1993 a,b) gör liknande bedömningar men konstaterar att senare studier stärkt misstanken om ett samband. Statens strålevern, Norge, konstaterar i sin rapport (1994:1) att

experimentella studier inte givit klara effekter i de nivåer som kan vara aktuella, och att epidemiologiska data talar för en ökad risk för barnleukemi nära kraftledningar, att studier av vissa yrkeskategorier stödjer ett samband, att bilden för reproduktionsstörningar är väsentligt mer oklar, att många personer har rapporterat besvär associerade med elektrisk utrustning och då särskilt bildskärmar men att kliniska undersökningar inte funnit någon koppling mellan faktisk exponering och besvär. Man konstaterar att de gränsvärden och riktlinjer som hittills funnits avser akuta effekter och att det inte finns underlag för uppskattning av sjukdomsrisk i relation till exponering. Norska Sosial- og helsedepartementet (1994) skriver i sin värdering att epidemiologiska undersökningar talar för en ökad förekomst av leukemier bland barn boende nära kraftledningar. Man ser inte motsvarande samband för vuxna och studierna från yrkesexponering är inte entydiga. Man noterar vidare att det inte finns stöd i djurförsök för att EMF orsakar negativa hälsoeffekter inklusive cancer. Man konstaterar vidare att det inte finns epidemiologiskt stöd för någon reproduktionsstörning, att starka EMF kan påverka kroppen men att kontrollerade försök inte givit något stöd för att EMF orsakar elkänslighet. Det diskuterade cancerproblemet beräknades, under förutsättning av att det finns, ge upphov till 0,3–0,4 extra barnleukemifall per år i Norge.

Myndigheternas ansvar

Ett flertal myndigheter, förutom Socialstyrelsen, berörs av problemen med eventuella hälsorisker med elektromagnetiska fält, t ex Arbetarskyddstyrelsen, Boverket, Elsäkerhetsverket, Försäkringskassan, Riksförsäkringsverket och Statens strålskyddsinstitut. Myndigheterna har etablerat en samarbetsgrupp.

Rapportens uppläggning

Vi har valt att låta de epidemiologiska studierna vara utgångspunkt för vår värdering. Baserat på fynden i dessa har vi granskat experimentella studier för att försöka finna modeller och mekanismer som stöd för den sjuklighet som satts i samband med exponering. Området har tilldragit sig stor uppmärksamhet och det finns många rapporter, vilket inte är liktydigt med att det är ett stort folkhälsoproblem. Det har inte varit möjligt att redovisa den mycket omfattande litteraturen om effekter på framförallt cellnivå, vilkas koppling till sjuklighet är oklar.

Rapporten inleds med korta avsnitt om riskvärdering, epidemiologi och hur vi uppfattar hälsorisker, gemensamma för hela rapporten. Därefter följer (kap2) om exponering i allmän miljö och de tre hälsoområdena; cancer (kap3), reproduktionsstörningar (kapitel 4) och allmän ohälsa, inklusive arbetsgruppens förslag till medicinsk utredning av denna patientkategori (kap5). Kapitel 6 innehåller en sammanfattande bedömning sett ur ett folkhälsoperspektiv. Rapporten avslutas med en referenslista.

Miljömedicinsk riskvärdering

Vissa grundläggande principer anses i allmänhet accepterade vid miljömedicinsk riskvärdering (Rylander o a 1991). Denna uppdelas ofta i delmomenten riskidentifiering, kvantitativ riskuppskattning och risk-nytto värdering.

Det första momentet, riskidentifiering, innebär påvisandet av olika oönskade hälsoeffekter av miljöpåverkan. Misstanken om att ett agens kan ha ogynnsamma effekter på människan kan komma från experimentella undersökningar på celler och försöksdjur, kliniska observationer, laboratorieförsök på försöksspersoner eller epidemiologiska studier.

Riskidentifieringen är ett utpräglat tvärvetenskapligt arbete, men det anses i allmänhet vara viktigt att ge avsevärd tyngd åt den medicinska analysen, baserad på människans reaktionssätt som bestäms av exponeringsdos, kunskaper om människans fysiologi och allmänna kunskaper om reaktionssätt vid exponering för miljöagens. Om möjligt skall riskidentifieringen göras utifrån kunskap om effekter hos människan, men ofta måste man stödja sig på resultat från djurexperiment.

Det följande momentet i riskvärderingen är den kvantitativa riskuppskattningen. Man söker uppskatta sambanden mellan grad av exponering och förekomst av olika effekter genom att relatera dessa typer av data till varandra. Kunskaper om förhållandet mellan dosens storlek och förekomsten av effekter är av grundläggande betydelse för miljömedicinsk riskvärdering. Sambandet mellan exponering och effekt kallas dos-effekt samband medan sambandet mellan exponering och andelen drabbade kallas dos-respons samband. Ofta ses vid ökande dos både allvarigare effekter och fler skadade. De båda begreppen behövs för att skilja mellan å ena sidan effektens uppkomstmekanism och svårighetsgrad, och å andra sidan dess utbredning och omfattning i befolkningen.

Dos-respons sambandet för många effekter som förorsakas av miljöfaktorer beskriver en kurva som är S-formad. Bakgrunden till denna form är att känsligheten hos en grupp människor är normalfördelad (se t ex Nordberg och Strangert 1978). För denna typ av effekter finns en tröskeldos på individnivå som kallas deterministiska effekter. Den tröskeldos som fordras för att effekten skall uppkomma, varierar mellan individer. Då känsligheten är normalfördelad i befolkningen, blir dos-responskurvan symmetriskt S-formad, men om undergrupper förekommer i befolkningen som är särskilt känsliga, blir kurvan sned med förhöjning av den nedre delen av S:et. För deterministiska effekter kan man i regel även tala om en praktisk tröskeldos på gruppnivå, dvs under en viss exponeringsnivå finns det inte någon risk för att effekten skall uppkomma.

Effekter som uppkommer slumpmässigt efter påverkan av molekyler som är avgörande för effektens uppträdande, kallas stokastiska effekter. Effekter som beror på inverkan på DNA, t ex vissa genetiska effekter och cancer har antagits vara av denna typ. För stokastiska effekter finns ingen tröskeldos utan risken för uppkomst av effekt är proportionell mot dosens storlek såväl hos individ som på befolkningsnivå. Vid kvantitativ riskvärdering för denna typ av effekter som beror på inverkan på DNA, har det antagits att dos-responskurvan är linjär vid låga doser. Detta har dock allt starkare ifrågasatts på senare tid och man menar att cellens reparations och skyddsmekanismer ofta har förmågan att eliminera effekterna av DNA-skador vid låga doser varför risken blir lägre än den som motsvarar det linjära antagandet (Abelson 1994).

Effekter vid låga doser är av särskilt intresse från miljömedicinsk synpunkt. Den skadliga effekt som uppträder vid den lägsta dosen blir begränsande för vilken exponering som kan tillåtas och benämns kritisk effekt. Det organ som drabbas på detta sätt kallas kritiskt organ. Eftersom effekter som beror på inverkan på DNA anses ha ett linjärt dos-responsförhållande i lågdosområdet, kommer sådana effekter ofta att diskuteras som kritiska effekter. Den kvantitativa uppskattningen av dos-respons förhållandet för den kritiska effekten i lågdosområdet blir ofta avgörande för de administrativa åtgärder som vidtas för exponeringen i fråga, t ex fastställandet av hygieniska gränsvärden. För att erhålla kvantitativa riskuppskattningar för exponeringar i den yttre miljön används för det mesta extrapoleringar från data erhållna i arbetsmiljösammanhang, eftersom man ofta kan påvisa effekter av exponeringar i arbetsmiljön, på grund av att exponeringsdoserna ofta är betydligt högre än vad man finner i den allmänna miljön, vilket gör det möjligt att kvantifiera effekter.

Introduktion till epidemiologiska studier

De rapporterade fynden om samband mellan sjukdomsförekomst (t ex cancer) hos människa och exponering för extremt lågfrekventa elektromagnetiska fält (ELF/EMF) är resultat från epidemiologiska, dvs icke-experimentella studier. Allmänt uttryckt är epidemiologi läran om sjukdomars utbredning i populationen och hur olika faktorer påverkar deras förekomst (Ahlbom och Norell 1987). Detta innebär att exponeringsdata är observationella, dvs har insamlats utan föregående manipulation av exponeringsfaktorer (som t ex vid randomisering). Tolkningen av epidemiologiska data kräver en kritisk hållning och beror i hög grad på förståelsen av de vetenskapliga principer som tillämpas i epidemiologisk forskning.

Målsättningen med epidemiologiska studier är att avgöra om ett samband (association) föreligger mellan en viss exponering och vissa sjukdomar. Vanligen uppskattas risksamband genom beräkning av den relativa risken (RR), som är kvoten mellan risken för sjukdomen (incidensen) i en population av exponerade individer och risken i en icke-exponerad population, dvs kontrollpopulation. Det framräknade risktalet brukar benämnas punkttestimatet för RR. Precisionen i denna uppskattning avgörs av hur stor inverkan slumpen kan ha, något som beror på hur stort material studien grundas på. Graden av osäkerhet brukar uttryckas med hjälp av konfidensintervallet (CI). Ett 95 % konfidensintervall anger de värden som det framräknade punkttestimatet kan anta med 95 % sannolikhet om en studie skulle upprepas många gånger. Om RR är större än 1 och den nedre gränsen för konfidensintervallet också är större än 1, sägs ett "statistiskt säkerställt" samband föreligga.

Avgörande för tolkningen av en epidemiologisk studie är en bedömning av dess validitet. Metodologiska fel i samband med uppläggning och genomförande av en epidemiologisk studie kan leda till ett falskt positivt, eller negativt, samband. Ett uppmätt samband kan vara systematiskt snedvridet pga fel i datainsamlingen (bias), t ex val av icke-representativ kontrollgrupp, genom selektiv missklassificering av exponering, t ex genom minnesfel, "recall bias", eller genom selektivt bortfall av individer vid uppföljningen av sjukdomsutfall. Ett slags indirekt samband, "confounding", kan uppkomma om exponeringen

som studeras är associerad med en annan och sann orsaksfaktor till den studerade sjukdomen. Om t ex en annan viktig orsaksfaktor för en cancersjukdom är vanligare hos personer med EMF-exponering än hos jämförelsegruppen blir resultatet att ett framräknat förhöjt risktal blir falskt för högt, confounded. Ett viktigt problem vid tolkningen av resultat uppstår om mätningen av exponeringsförhållanden är oprecis, dvs endast kan uppskattas indirekt genom till exempel val av s k proxy-grupper. Om graden av sådan felmätning är oberoende av den studerade sjukdomen, s k icke-differentiellt mätfel, blir följden att eventuella risksamband späds ut eller underskattas. Detta problem har särskild aktualitet i de här redovisade studierna, eftersom exponering för elektromagnetiska fält är svår att mäta direkt.

Ett första steg vid bedömningen av resultat från epidemiologiska studier är därför att kritiskt granska olika aspekter av validitet. Det andra steget blir att överväga om det framräknade risktalet speglar ett sant orsakssamband. Därvid anses att en rad kriterier behöver beaktas. För ett biologisk samband mellan exponering och uppkomsten av en sjukdom talar: överensstämmelse av resultaten från ett flertal studier; styrka i risksamband, dvs påtaglig förhöjning av de framräknade relativa risktalen; säkerställt tidssamband, dvs exponering som föregår uppkomsten av sjukdomen; förekomst av dos-responsförhållande, dvs att riskens storlek ökar med stigande dos, mängd eller längd av exponering; samt att det uppmätta sambandet är biologiskt trovärdigt, dvs har stöd i resultat från grundläggande studier som kartlägger möjliga verkningmekanismer.

Sambanden mellan exponering och sjukdomsförekomst studeras inom en s k studiebas, dvs en viss grupp människor under en viss tid. Grundläggande är att relatera antalet fall av en sjukdom som inträffar under en observationstid till den sammanlagda tid personerna löper risk att insjukna, för beräkning av sjukdomsmåttet incidens. Det finns två principiellt olika metoder att studera sambandet mellan exponering och sjukdomsförekomst: kohortstudie (ibland kallade prospektiva uppföljningsstudier) respektive fall-kontrollstudie (även kallad fall-referentstudie eller ibland retrospektiv studie).

Schematiskt kännetecknas kohortstudier av att man inom en studiebas definierar en exponerad och en oexponerad grupp och följer upp dessa gruppers individer över tiden för att fastställa sjukdomsförekomst och beräkna incidensen, som innebär att RR kan beräknas direkt. Kohortstudier, som liknar en experimentell jämförande studie, lägger information för hela studiebasen till grund för uppföljningen. Detta innebär att kohortstudier ofta är stora och fordrar lång uppföljningstid, särskilt om den exponerade gruppen i studiebasen är liten, eller om den studerade sjukdomen är ovanlig.

Ett annat, och många gånger effektivare sätt, är att i stället utföra en fall-kontrollstudie. Denna uppläggning innebär att det från studiebasen insamlas information om alla nya fall av en viss sjukdom och att det för dessa individer inhämtas data om exponering och andra riskfaktorer bakåt i tiden (retrospektivt). För att jämföra med förhållanden i den bakomliggande studiebasen väljs en kontrollgrupp, bäst som ett slumpmässigt urval. Från dessa kontrollpersoner inhämtas på motsvarande sätt information. Andelen exponerade individer bland fallen och kontrollerna relateras för att beräkna det s k odds ratio (OR), som i sin tur ger en uppskattning av RR. Uppläggningsen innebär således att endast en del av studiebasen undersöks, vilket som regel gynnar effektiviteten.

Sammanfattningsvis är tolkningen av de redovisde resultaten från epidemiologiska studier i hög grad beroender av medvetenhet om och kritisk granskning av metodologiska aspekter, generellt och i enskilda studier.

Hur uppfattar vi hälsorisker?

Det finns inget entydigt svar på denna fråga. En hälsorisk kan som varje annan risk beskrivas med hjälp av dels konsekvensen av det skadliga som kan inträffa, dels sannolikheten för att det skall hända. En del människor, ofta experter och personer som är tränade i abstrakt tänkande fäster den största vikten vid graden av sannolikhet, medan andra, främst lekmän, anser att det är konsekvensen som är mest betydelsefull. Risk uppfattas olika beroende på vem det gäller. När människor tillfrågas om hur stor risken från en viss företeelse är, baserar de i regel sina svar på vad de uppfattar gäller folk i allmänhet snarare än dem själva. Den uppskattade risken för anhöriga hamnar storleksmässigt mellan den för allmänheten och den för den egna personen. Rangordningen av risker skiljer sig också beroende för vem de värderas, se exempel i tabell. (Riskkollegiets skrift Nr 5 1992)

Personlig risk	Anhöriga	Allmänheten
Industriutsläpp	Trafiken	Alkohol
Bilavgaser	Industriutsläpp	Stillasittande
Reaktorolycka	Stillasittande	Trafiken
Trafiken	Reaktorolycka	Industriutsläpp
Kärnavfall	Bilavgaser	Reaktorolycka

Alkoholrisken rankas högt för folk i allmänhet men väsentligt lägre för den egna personen. Detsamma gäller en rad livsstilsfaktorer som ur samhälls- eller synvinkel utgör väsentliga folkhälsoproblem. En viktig faktor för upplevelse av risk för den egna personen är den grad av kontroll man upplever sig ha över risken. Till exempel upplevs risker i yttre miljön, som individen har små möjligheter att själv påverka, ofta relativt allvarligare än risker förorsakade av det egna beteendet som till exempel alkoholintag och rökning. Bilden kompliceras ytterligare av att vissa risker som individen tar också kan medföra risker för omgivningen, till exempel passiv rökning eller visst trafikbeteende. I ett utvecklat samhälle försöker man ofta att genom regleringar minska riskbeteende som kan drabba andra.

I ett utopiskt samhälle med oändliga resurser faller det sig naturligt att åtgärda alla, stora som små oönskade risker. Förutom problemet att gemensamt komma fram till vad som är oönskade risker, så har vi begränsade resurser. Det innebär att samhället måste välja eller prioritera vilka åtgärder som bör vidtagas. Det faller sig då naturligt att prioritera åtgärder som ger största möjliga utbyte i förhållande till satsad resurs. Denna typ av prioriteringar är ofta svåra och kontroversiella. Effektivitetsaspekten är tilltalande då samhället kan satsa pengar där de gör mest nytta. Ur ett samhällsperspektiv är det ofta effektivt att försöka åtgärda klara risker som många utsätts för. Man väger också in att den enskilde individen inte utsätts för en alltför hög risk. Detta effektivitetstänkande kan komma i konflikt med individen som mer ser till konsekvensen än till en abstrakt sannolikhet (konsekvens). Utgående från konsekvensperspektivet kan det vara rimligt att "satsa allt" om konsekvensen är allvarlig, som till exempel livshotande sjukdom. Ett problem är, förutsatt att resurserna inte är obegränsade, att man tvingas ta resurserna från något annat angeläget område, där de gör stor nytta. Man vill undvika att satsa på ineffektiva åtgärder. Experterna kan ge ett konsekvensunderlag, där man som stöd för rimliga prioriteringar i regel värderar bevisade risker tyngre än obevisade. Givetvis är det ytterst en politisk fråga att göra prioriteringar, inkluderande även andra bedömningar än strikt vetenskapliga.

2. Exponering för elektriska och magnetiska fält

Innehåll

Inledning	19
Enheter och storheter	22
Elektriska fält	24
Definition av elektrisk fältstyrka	24
Mätning av elektrisk fältstyrka	25
Statiska elektriska fält	25
Elektriska växelfält	26
Elektriska växelfält vid bildskärmar med katodstrålerör	26
Elektriska fält i olika miljöer	27
Magnetfält	28
Definition av B-fält och H-fält	28
Beräkning av flödestätheten i omgivningen av strömförande ledare	30
Statiska magnetfält	30
Rörelse i statiskt magnetfält	31
Interferens med ferromagnetiska föremål	31
Gränsvärden för statiska magnetfält	31
Magnetiska växelfält	32
Beräkningar av magnetfält från kraftledningar	32
Induktion av strömmar i människokroppen	32
Mätningar av magnetfält i olika miljöer	33
Magnetfält vid högspänningledningar	33
Exponering för kraftfrekventa (50 Hz) magnetfält i bostäder	34
Magnetfält från apparater i hemmet	37
Magnetiska växelfält vid bildskärmar	37
Lågfrekventa magnetfält i arbetsmiljön	37
Elektriska och magnetiska fält vid medicinsk diagnostik och terapi	39
Effekter av statiska magnetfält på magnetiserbara objekt	40
Gränsvärden för normalpersoner och patienter vid medicinska MR-undersökningar	40
Övervakning av lokaler med MR-utrustning	41
Sammanfattning av gränsvärden för lågfrekventa elektriska och magnetiska fält	42
Elektromagnetisk strålning	42
Radiofrekvent strålning	42
Mikrovågor	43
Gränsvärden för RF-strålning och mikrovågor	43
Sammanfattning	44

Inledning

Endogena elektriska fält och magnetfält genereras i människokroppen vid olika biologiska och fysiologiska processer. Över de flesta cellmembraner i levande celler ligger en självproducerad potential på ca 70 millivolt (mV). Genom att cellmembranet endast är ca 7 nanometer ($7 \cdot 10^{-9}$ m) tjockt blir den statiska elektriska fältstyrkan så hög som 10 000 kilovolt per meter (kV/m). Cellernas liv och kommunikationen mellan cellerna regleras av små och stora variationer i det elektriska fältet. Dessa fältvariationer (de sk endogena fälten) innehåller frekvenskomponenter mellan 0,1 till 3 000 Hz. De orsakar elektriska och magnetiska fält som kan avläsas utanför kroppen i form av elektro-encefalogram (EEG), magnetoencefalogram (MEG), visual evoked response – visuellt väckta svar (VER), elektrokardiogram (EKG), eller elektromyogram (EMG). Registreringen av dessa elektriska och magnetiska signaler användes i medicinsk och biologisk forskning som hjälpmedel för diagnostik och studier av enskilda organs funktion.

Genom denna elektriska aktivitet hos de levande cellerna produceras i kroppen elektriska strömtätheter i storleksordningen 0,001 till 0,1 A/m². I genomsnitt betyder detta en strömtäthet av 1 mA/m² vilket motsvarar en fältstyrka på cirka 5 mV/m. (Bernhardt 1988, Knave 1994)

De endogena strömstyrkor som den elektriska aktiviteten hos levande celler orsakar kan beräknas ligga i området 1 picoampere till 1 mikroampere (10^{-12} – 10^{-6} A) oberoende av vilken vävnad man betraktar (Woodbury 1965). Magnetfältens styrka utanpå människokroppen blir yttest låga, storleksordningen 1 femtotesla – 1 nanotesla (10^{-15} – 10^{-9} T).

Under de senaste decennierna har användningen av elektrisk energi kraftigt ökat i omfattning. Detta har medfört att elektriska fält, magnetfält och elektromagnetisk strålning uppträder med många olika frekvenser i vår omgivning. Varje frekvensområde har sina speciella egenskaper. Vid låga frekvenser 0–100 kHz uppträder elektriska och magnetiska fält separat medan de vid högre frekvenser i allt högre grad kopplar samman till elektromagnetisk strålning. I detta kapitel ges en översikt av fysikaliska och mättekniska aspekter på lågfrekventa elektromagnetiska fält (EMF). I separata sektioner behandlas elektriska fält upp till 400 kHz, magnetiska fält upp till 400 kHz samt elektromagnetisk strålning (300 kHz–300 GHz).

Arbetsgruppens uppgift omfattar utvärdering av statiska fält och elektriska och magnetiska växelfält upp till 400 kHz. Detta frekvensområde täcker exponering för kraftfrekventa fält (50 Hz) samt linjesvepfrekvenser i bildskärmsterminaler och elektronisk utrustning i hemmiljö. Det omfattar emellertid inte mikrovågsugnar eller mobiltelefoner som genererar strålning i frekvensområdet 450–2 500 MHz.

Arbetsgruppens huvudintresse riktas mot kraftfrekventa fält, dvs 50 Hz, som uppstår kring eldistributionsnätet och elapparatur i bostäder och på arbetsplatser.

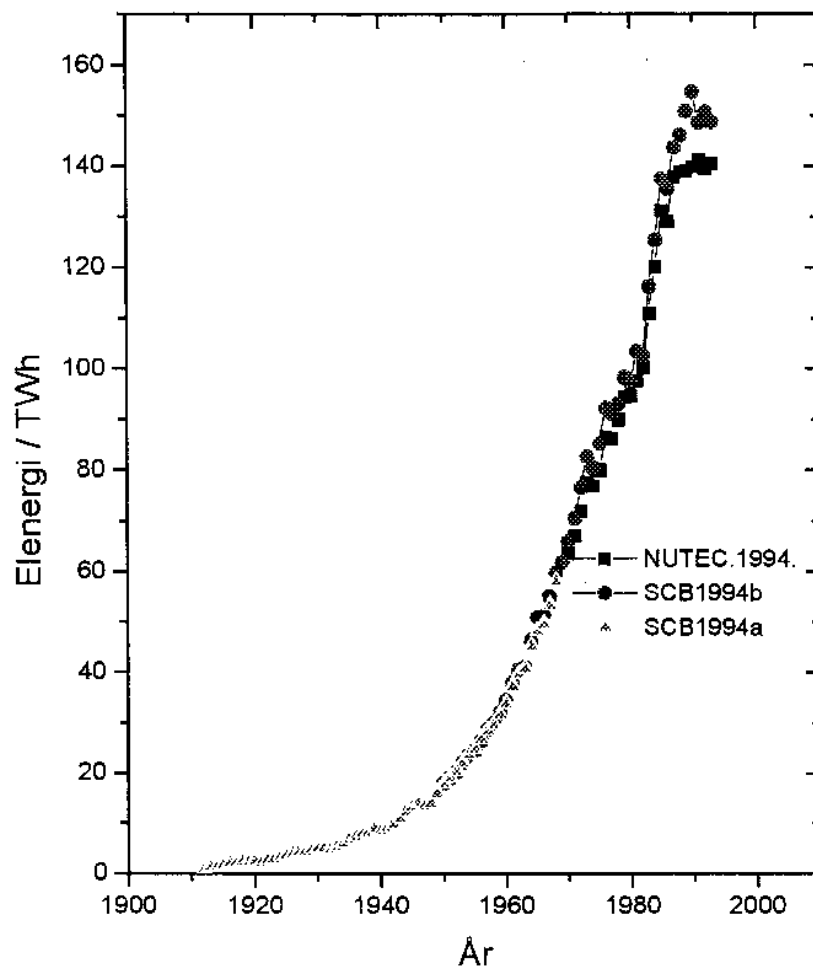
I tabell 1 visas elanvändningen i Sverige från 1970 och framåt uppdelad på användningen inom industri, transporter, bostäder, och fjärrvärme. Elanvändningen har ökat med i genomsnitt 3,5 procent per år sedan 1970, till drygt 140 terawatt timmar (TWh) under 1993. De senaste åren har dock ökningstakten varit betydligt lägre. Mellan 1987 och 1993 ökade elanvändningen med endast 0,3 procent per år.

Den största ökningen har skett inom sektorn bostäder och service, där elanvändningen ökat med i genomsnitt 5,25 procent per år sedan 1970, till drygt 71 TWh 1993, vilket motsvarar hälften av all elanvändning. Ökningen beror främst på en övergång från olja till el för uppvärmning, men även på en ökad användning av driftel (NUTEK 1994a).

En översikt av den totala elbelastningen (elkonsumtionen – 1,33 netto export) från 1912–1968 och den totala elanvändningen från 1950–1993 visas i figur 1 (SCB 1994).

Tabell 1. Elenergiförbrukningen i Sverige under 1970–1993 fördelad på olika användningsområden (NUTEK 1994b).

År	Industi	Transport	Bostäder Service	Fjärrvärme	Distributions- förluster	Totalt TWh
1970	33	2,1	22	0,6	5,8	63,5
1971	33,9	1,9	24,3	0,6	6,3	67
1972	35,5	2	26,7	0,7	6,9	71,8
1973	38,5	2,1	28,4	0,8	7,7	77,5
1974	39,2	2,1	28,2	0,7	6,6	76,8
1975	38	2	31,7	0,8	7,4	79,9
1976	39,2	2,1	35,9	1	8,3	86,5
1977	37,7	2,1	38,1	1,1	7,1	86,1
1978	38,5	2,2	40,1	1,1	8	89,9
1979	40,5	2,3	42,5	1,2	7,9	94,4
1980	39,8	2,3	43	1,3	8,2	94,6
1981	39,8	2,3	44,8	2	8,6	97,5
1982	39,1	2,3	48,2	2,8	7,7	100,1
1983	42,1	2,4	50,6	5,8	9,9	110,8
1984	45,8	2,5	55,1	7,2	9,4	120
1985	47,3	2,6	63,8	6,3	11,1	131,1
1986	47,2	2,6	63,6	5	10,6	129
1987	50,6	2,6	65,9	7,3	11,4	137,8
1988	53,3	2,6	63	8,6	11,3	138,8
1989	54,1	2,5	63	8,8	10,6	139
1990	53,3	2,5	63,3	10	10,7	139,8
1991	50,9	2,5	68,5	9,9	9,4	141,2
1992	49,8	2,5	68,5	10	8,7	139,5
1993	49	2,5	71,2	9,4	8,4	140,5



Figur 1. Översikt av den totala elbelastningen (elkonsumtionen – 1,33 netto ellexport) från 1912–1968 och den totala elanvändningen från 1950–1993 (SCB 1994) samt elenergiförbrukningen 1970–1993 (NUTEK 1994b).

Avsaknaden av en accepterad dosimetri och exponeringsstorheter för EM-fält leder till stora osäkerheter om vad man skall mäta. För att kunna definiera en relevant expositions storhet krävs ytterligare kunskap om hur de lågfrekventa elektriska och magnetiska fälten växelverkar med biologiska system och vilka egenskaper hos EM-fält som skulle kunna påverka vår hälsa.

Utan en känd växelverkans mekanism använder man för närvarande någon av följande fysikaliska parametrar vid mätning av exponering för lågfrekventa elektriska fält och magnetfält:

- amplitud av elektrisk fältstyrka (volt per meter)
- amplitud av magnetisk fältstyrka (A/m) eller flödestäthet (tesla)
- tidsderivatan av magnetisk flödestäthet, db/dt (tesla per sekund)
- inducerad strömtäthet i kroppsvävnaden
- tidsmedelvärde, max- och min-värde.

För högfrekventa elektromagnetiska fält används även storheterna:

- strålningstäthet (watt per m^2)
- absorberad effekt SAR (watt per kg).

Effekten kan också tänkas variera med andra parametrar som man måste ta hänsyn till vid bedömningen av rapporterade effekter:

- frekvens, grundfrekvens och övertoner
- pulsform, stigtid, falltid, och pulslängd
- modulationsfrekvens eller upprepningstid vid intermittent exponering
- exponeringstid
- tidsintegralen av amplitud eller effekt.

Det finns också ickeparametriska metoder såsom wire codes (Wertheimer 1979) och teoretiska beräkningar för skattning av magnetfält kring kraftledningar.

Enheter och storheter

De flesta vetenskapliga mätningar baseras på någon av de fyra fundamentala fysikaliska storheterna: massa, längd, tid eller elektrisk strömstyrka. Standarder för var och en av dessa storheter finns hos utvalda standardiseringslaboratorier över hela världen. Internationella kommittén för vikt och mått (Comité International des Poids et Mesures) har angett ett internationellt system för enheter som i dagligt tal kallas SI-systemet (Système International d'Unités). SI-systemet är konstruerat utifrån sju basenheter för oberoende storheter plus vinkelenheter (SUN 1965).

Tabell 2. Fundamentala storheter och enheter.

Storhet	Symbol	SI-enhet	Förkortning
Massa	m	kilogram	kg
Längd	l	meter	m
Tid	t	sekunder	s
Strömstyrka	I	ampere	A
Termodynamisk temperatur	T	kelvin	K
Substansmängd	M	mol	mol
Ljusintensitet	I	candela	CD
Plan vinkel	$\theta, \vartheta, \varphi$	radian	rad
Rymdvinkel	ω, Ω	steradian	sr

Ur dessa fundamentala basenheter härleder man i SI-systemet andra enheter:

Tabell 3. Härledda SI-enheter.

Storhet	Enhetsnamn	Symbol	Uttryckt i basenheter
Frekvens	hertz	Hz	s^{-1}
Kraft	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
Tryck	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$
Energi, värme mängd	joule	J	$N \cdot m$
Effekt	watt	W	$J \cdot s^{-1}$
Elektrisk laddning	coulomb	C	$A \cdot s$
Elektrisk potential, potential skillnad, elektromotorisk kraft	volt	V	$W \cdot A^{-1} = N \cdot m \cdot s^{-1} \cdot A^{-1}$
Kapacitans	farad	F	$C \cdot V^{-1}$
Elektrisk resistans	ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$
Elektrisk ledningsförmåga	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$
Magnetiskt flöde	weber	Wb	$V \cdot s$
Magnetisk flödestäthet	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2} (V \cdot s \cdot m^{-2})$
Induktans	henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$
Absorberad dos	gray	G	$J \cdot kg^{-1}$
Specifikt absorberad energi, SAR			$W \cdot kg^{-1}$

Det finns ett set av 16 prefix för att bilda multiplar och submultiplar av SI-enheter. Det är viktigt att notera att kilogram är den enda SI-enheten med ett prefix. Dubbelprefix får inte förekomma, därför användes gram (g) och inte kilogram vid prefix (ex 10^{-6} g, ej 10^{-3} kg).

Tabell 4. SI-prefix.

Faktor	Prefix	Symbol		Faktor	Prefix	Symbol
10^{18}	exa	E		10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P		10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T		10^{-3}	milli	m
10^9	giga	G		10^{-6}	mikro	μ
10^6	mega	M		10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	k		10^{-12}	pico	p
10^2	hekto	h		10^{-15}	femto	f
10^1	deka	da		10^{-18}	atto	a

Elektriska fält

Definition av elektrisk fältstyrka

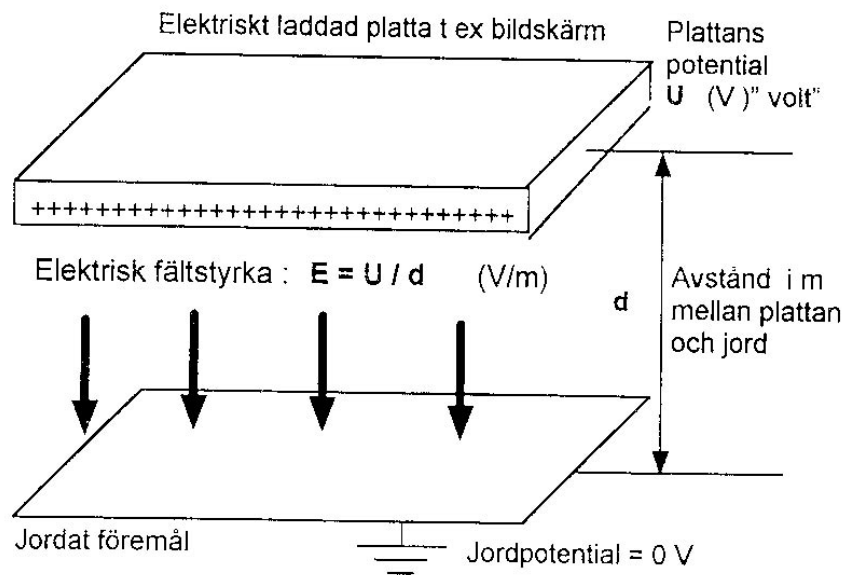
Elektriska laddningar producerar ett elektriskt fält $\vec{E}$ i alla punkter i rummet. En elektrisk laddning q placerad i detta fält utsätts för en kraft $\vec{F}$ som är produkten av laddningen och den elektriska fältstyrkan. (Storheterna E och F markeras med en pil för att de är vektoriella storheter bestämda till såväl storlek som riktning.)

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (\text{As} \cdot \text{V/m} = \text{Nm})$$

Enheten för elektrisk fältstyrka är "volt per meter", V/m. Det är emellertid enklare att mäta den elektriska potentialen eller spänningen U än att mäta fältstyrkan eftersom potentialen är oberoende av geometrin hos det system man betraktar. Den elektriska potentialen definieras så att jordpotentialen blir noll.

Det enklaste sättet att beskriva sambandet mellan potential och fältstyrka får vi om vi betraktar två parallella ledande plattor (figur 2). För en enhetsladdning på 1 coulomb anger $\vec{E}$ kraften på laddningen, medan potentialen U anger den energi som krävs för att flytta laddningen från den ena plattan till den andra över sträckan d . Eftersom energi = kraft $\times$ väg blir $U = E \cdot d$ eller $E = U/d$ (V/m).

Det elektriska fältet utövar en kraft på elektriska laddningar som i material med elektrisk ledningsförmåga, tex människokroppen, ger upphov till en elektrisk ström. Enheten för strömstyrka är ampere (A). I biologiska sammanhang är strömmen fördelad i en volym och karakteriseras av en strömtäthetsvektor $\vec{J}$ vars riktning motsvarar strömmens riktning och vars storlek är dI/dA där dI är strömstyrkan genom ett ytelement dA vinkelrätt mot $\vec{J}$. Enheten för strömtätheten är A/m². I ett material med specifika ledningsförmågan σ (mellan 0,01–1,5 S/m i levande vävnad) som utsätts för ett elektriskt fält med fältstyrkan blir strömtätheten $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$ (A/m²).



Figur 2. Sambanden mellan potential och elektriskt fält.

Mätning av elektrisk fältstyrka

Det finns i princip två olika typer av mätinstrument för mätning av elektriska fält. Den ena typen använder en totalt isolerad mätsond som mäter potentialskillnaden mellan två närbelägna antenner utan att störa det infallande fältet. Det är praktiskt taget omöjligt att göra en sådan sond för låga frekvenser. Den andra typen använder en jordad mätsond vilken utväxlar laddningar med omgivningen. Resultatet av mätningar med en sådan sond beror i hög grad på avståndet till jordade föremål. Detta och många andra detaljer gör det svårt att göra en relevant mätning av elektriska fält. Vid mätning av elektriska fält vid bildskärmar och högspänningsledningarna finns det därför strikt standardiserade metoder och protokoll för hur mätningarna skall utföras vilka måste följas om man skall kunna jämföra fälten från olika bildskärmar och från olika kraftledningar. Däremot kan man inte direkt jämföra fälten mätta vid bildskärmar med fälten kring en kraftledning.

Vid bedömningen av biologiska data bör man noga observera vilken typ av mätning som ligger till grund för värdet på fältstyrkan för att kunna avgöra om den är biologiskt relevant.

Statiska elektriska fält

Vi utsätts normalt för ett naturligt vertikalt elektriskt fält i jordens nedre atmosfär. Detta fält uppkommer genom att positiva laddningar transporteras upp i atmosfären. Denna naturliga fältstyrka är i genomsnitt 130 V/m med riktningen uppifrån och ner i jorden. Under åskväder har man observerat fältstyrkor vid jordytan uppemot 100 000 V/m.

Bildskärmar med katodstrålerör ger upphov till statiska E-fält under drift beroende på den accelerationsspänning som läggs på metallskikten innanför skärmen. Accelerationsspänningen kan uppgå till 20 000–25 000 volt eller mer.

De elektrostatiska fälten vid bildskärmar med katodstrålerör varierar mellan 0–50 kV/m på 30 cm avstånd för olika fabrikat. De lägsta värdena erhålles från skärmar vilka har en ledande beläggning utanpå eller utanför skärmytan.

Elektriska växelfält

I Sverige användes 50 Hz växelspanning i eldistributionsnätet vilket medför att det under kraftledningar förekommer elektriska fält med denna frekvens. Under en 400 kV-högspanningsledning kan den elektriska fältstyrkan uppgå till 10 000 V/m. Hus får för närvarande ej byggas närmare än 10 m från ytterledaren i kraftledningen för att få fri väg i ledningsgatan. Den ostörda elektriska fältstyrkan kan här uppgå till ca 3,5 kV/m.

Elektriska växelfält vid bildskärmar med katodstrålerör

De flesta bild- eller textskärmar alstrar sin bild i ett speciellt vakuumrör, ett s k katodstrålerör. För att kunna generera text eller bilder på skärmen måste elektronstrålen i katodstråleröret styras med följande cykliskt varierande fält.

Vertikalsvepet och bildfrekventa fält

Ett magnetfält med periodiciteten mellan 50 och 100 Hz appliceras på katodstrålerörets avböjningssystem. Detta fält böjer elektronstrålen jämförelsevis sakta neråt och sedan snabbt tillbaka till ursprungsläget i övre kanten av skärmen och orsakar på så sätt en ständig repetition av bilden. Det elektriska växelfältet från bildrepetitionsenheten kallas ofta för det bildfrekventa fältet. Typiska värden för monokroma skärmar är 4–7 V/m och för färgskärmar 13 V/m.

Horizontalsvepet och linjefrekventa fält

Ett annat liknande magnetfält avböjer elektronstrålen från vänster till höger och sedan snabbt tillbaka till vänstra kanten av skärmen. Detta fält som har frekvenser mellan 15 och 100 kHz genereras med en svepfrekvensgenerator i en s k linjeoscillator (på engelska: fly-back transformer). Denna är källa till linjefrekventa fält och dess övertoner i frekvensområdet 2 kHz–400 kHz. Typiska värden på linjefrekventa fält är för monokroma skärmar 1–2 V/m och för färgskärmar 2–4 V/m men värden upp till 200 V/m har uppmätts.

Intensitetsmodulation

Modulation (av/på) av elektronstrålens intensitet längs dess väg över skärmen görs vid frekvenser i storleksordningen 5–10 MHz. Denna signal kommer från datorn eller tangentbordet och omvandlas till en potential som styr elektronstrålens intensitet, dvs den stänger av eller sätter på elektronstrålen så att mörk eller ljus fläck uppstår på skärmen. Detta kan ge upphov till låga nivåer av radiofrekvent strålning. Man har uppmätt radiofrekvent strålning i VHF bandet (very high frequency 30–300 MHz) och HF bandet (high frequency 3–30 MHz) med E-fält upp till 10 mV/m vid 1 m avstånd och 100 mV/m vid 30 cm samt H-fält upp till 2 μ A/m vid 30 cm avstånd från bildskärmar (SLS 1988).

En bildskärm med katodstrålerör avger i huvudsak s k bildfrekventa fält i frekvensområdet 5 Hz–2 000 Hz och dels linjefrekventa fält i frekvensområdet 2 kHz–400 kHz.

Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) och Tjänstemännens centralorganisation (TCO) rekommenderade följande värden för elektriska fält från bild skärmar, baserade på vad som var möjligt 1990 (MPR 90).

Tabell 5. Rekommenderade börvärden för elektriska fält kring bildskärmar.

Typ av fält	MPR 0,5 m runt om	TCO 0,3 m framför 0,5 m runt om	Mätgräns
Bildfrekventa fält: I: 5 Hz–2 kHz	25 V/m	10 V/m	10 V/m
Linjefrekventa fält: II: 2 – 400 kHz	2,5 V/m	1 V/m	1 V/m
Statiskt fält	± 500	± 500	± 500

I en svensk studie har de elektriska fälten mätts i 150 kontor med bildskärmar. Det dominerande bidraget till extremt lågfrekventa elektriska fält (ELF: 0–300 Hz) dominerades av elektrisk utrustning förutom bildskärmar. Medianvärdet för extremt lågfrekventa fält i rummet var 20 V/m med motsvarande medianvärde för bildskärmsrelaterade ELF-fält 20 V/m. För mycket låga frekvenser (VLF: 300 Hz–400 kHz) uppmättes flödestätheter vid bildskärmen med medianvärdet 1,5. Den ekvivalenta ytpotentialen var mindre än 500 V för 63 % av de undersökta bildskärmarna.

Elektriska fält i olika miljöer

Fördelningen av elektriska fält under en arbetsdag för några olika arbetsmiljöer och för yrkesarbetare i icke arbetsmiljö visas i nedanstående tabell (Skotte 1993, SSi90-04 1990).

Tabell 6a. Elektriska fält i volt per meter (V/m) uppmätta i olika arbetsmiljöer.

Typ av yrkesarbete	Geom. medelvärde	Min-värde	Max-värde
Elkraftsarbetare			
generatorarbete	10	2	200
överföring	40	2	400
distribution	8	2	30
transformatorstation	25	2	500
annat	20	1	500
Kontorsarbetare (mitt i rummet)	15	3	50
Bildskärm			
nätfrekvens	20		
bildfrekvens	7		
Laserskrivare	7		
Kopiator	50		
Ojordad bordslampa	11		
Elskrivmaskin			
jordad	14		
ojordad	170		
Gjutare och ugnsarbetare	15	2	30
Industriarbetare	15	4	40
I icke arbetsmiljö	18	2	30

Tabell 6b. Elektrisk fältstyrka i bostäder i V/m mätt på 30 cm avstånd från olika apparater rapporterad av tyska strålskyddsmyndigheten (BfS 1994).

Apparat	Fältstyrka (V/m)
Varmvattenberedare	260
Stereomottagare	180
Strykjärn	120
Kylskåp	120
Handmixer	100
Brödrost	80
Hårfön	80
Torkmaskin	80
Färg-TV	60
Kaffekokare	60
Dammsugare	50
Elektrisk klocka	30
Fält från yttre högspänningsledningar	20
Elektrisk kokplatta	8
Glödlampa	5

Magnetfält

Definition av B-fält och H-fält

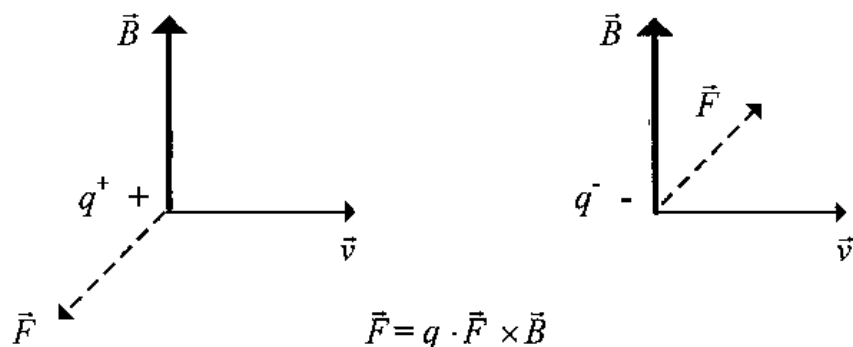
Magnetfält $\vec{B}$ bildas kring elektriska laddningar i rörelse och påverkar andra laddningar q vars rörelsehastighet är $\vec{v}$ med en kraft $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ som är vinkelrätt mot både den magnetiska flödestätheten $\vec{B}$ och hastigheten $\vec{v}$ vilket illustreras i figur 3. Denna figur illustrerar en viktig egenskap hos magnetfält:

Statiska magnetfält *utför inget* arbete på elektriska laddningar eftersom Lorentz-kraften alltid är vinkelrätt mot rörelseriktningen och kan därför endast ändra laddningens riktning inte dess energi. Statiska magnetfält kan emellertid medverka i överföring av energi från en form till mekanisk energi till elektrisk energi.

Magnetfält specificeras av två vektoriella storheter ”den magnetiska flödestätheten” $\vec{B}$ (tesla, T), och den ”magnetiska fältstyrkan” $\vec{H}$ (A/m). I icke magnetiska material som människokroppen är dessa storheter relaterade genom sambandet $\vec{B}/\vec{H} = 4\pi \cdot 10^{-7}$, vilket gör det möjligt att omvandla A/m till tesla och vice versa.

- 1 A/m = 1,26 μ T
- 1 μ T = 0,80 A/m

Det finns emellertid ingen enhetlighet i litteraturen vid rapportering om biologiska effekter av magnetfält. Man blandar växelvis storheter och enheter utan stringens. En ytterligare komplikation är att man i stället för SI- enheterna tesla



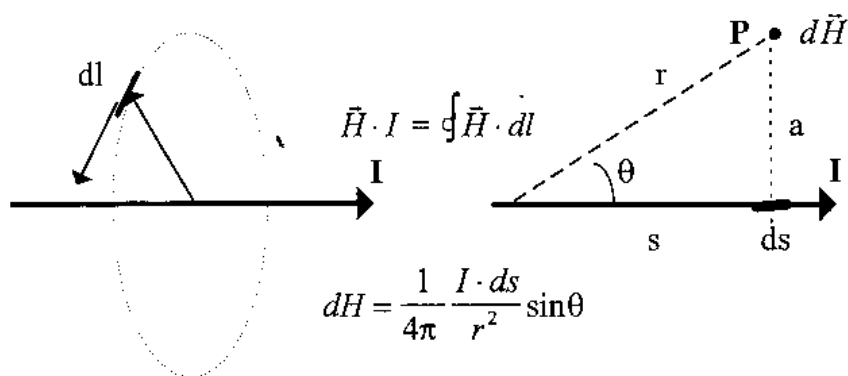
Figur 3. Magnetfält $\vec{B}$ bildas kring elektriska laddningar i rörelse och påverkar andra laddningar q vars rörelsehastighet är $\vec{v}$ med en kraft $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ som är vinkelrätt mot både den magnetiska flödestätheten $\vec{B}$ och hastigheten $\vec{v}$.

(T) respektive (A/m) även använder de äldre enheterna gauss (G) för flödestäthet, och oerstedt (Oe) för magnetisk fältstyrka.

- 1 T = 10 000 G; 1 μ T = 10 mG, dvs 1 mG = 0,1 μ T
- 1 A/m = $4\pi \cdot 10^{-3}$ = 0,012566 Oe; dvs 1 Oe = 79,58 A/m = 100 μ T i luft.

Totala fältstyrkan i en punkt på avståndet a från en ledare med strömstyrkan I erhålles genom summering av bidragen från ledarens samtliga längdelement ds . En sådan summering kan utföras genom integrering av "BiotSavarts" lag för bidraget till magnetfältet i punkten P från ett litet rakt längdelement ds av ledaren vilket illustreras i figur 4. Fältstyrkan från en mycket lång ledare erhålles genom att integrera "Biot Savarts lag"

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot ds}{r^2} \sin \theta \text{ mellan } 0 < \theta < 90^\circ. \text{ Man får då } H = \frac{2 \cdot I}{4\pi \cdot a} \text{ och } B = \mu_o \frac{2 \cdot I}{4\pi \cdot a}$$



Figur 4. En elektrisk ström i en ledare alstrar ett cirkulärt magnetfält $\vec{H}$ kring ledaren.

- Enligt "Amperes lag" är linjeintegralen längs en cirkel $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$ lika med strömstyrkan I i ledaren.
- Enligt den sk "Biot-Savarts lag" avtar magnetfältet $\vec{H}$ i styrka med avståndet a från ledaren.

Beräkning av flödestätheten i omgivningen av strömförande ledare

Kring en ledare som genomflytes av ström genereras ett magnetiskt flöde, vars linjer löper i slutna kurvor kring ledaren. Flödets riktning sammanfaller med rotationsriktningen hos en vanlig skruv som skruvas in i ledaren i strömmens riktning, den s k skruvregeln. Detta magnetiska flöde undersöktes redan 1920 kvantitativt av fransmännen Biot och Savart. Det konstaterades därvid att för en mycket lång rak ledare, som är omgiven av luft, är flödestätheten B i en punkt utanför ledaren på ett avstånd a omvänt proportionell med avståndet och direkt proportionell mot strömstyrkan. Magnetfältets konstanten μ_0 kallas permeabiliteten för vakuum,

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am.}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2 \cdot I}{a}; \quad \text{eller då } B = H \cdot \mu_0; \quad H = \frac{2}{4\pi} \cdot \frac{I}{a}$$

Betraktar man ett litet element dl av en fältlinje kring ledaren och bildar produkten $H \cdot dl$ motsvarar detta dimensionsmässigt (A/m) $\cdot$ m bidraget från strömstyrkan dI . Summerar vi nu denna produkt hela varvet kring ledaren och bildar den s k linjeintegralen kan vi evaluera Biot-Savarts lag:

$$\oint H \cdot dl = \oint \frac{2}{4\pi} \cdot \frac{I}{a} = \frac{2I}{4\pi a} \oint dl = \frac{2I \cdot 2\pi a}{4\pi a} = I$$

Värdet av integralen är alltså beroende endast av styrkan av den ström, som omkretsas, men beror ej av avståndet från ledaren (Ampères lag). Vi utgår nu från antagandet att varje strömelement $I \cdot ds$ i en lång ledare ger ett bidrag dH till fältstyrkan H utanför ledaren i den godtyckliga punkten P utanför ledaren. Den differentiella formen för Biot Savarts lag kan då skrivas som (se figur 4):

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \cdot \vec{r}}{r^3}; \quad \text{eller i icke vektorform } dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{r^2} \cdot \sin(\theta)$$

Med detta uttryck kan man evaluera fältet från en godtyckligt formad ledare.

Statiska magnetfält

Jordens naturliga statiska magnetfält varierar med latituden. Den magnetiska flödestätheten varierar mellan $30\mu\text{T}$ vid polerna och till $70\mu\text{T}$ vid ekvatorn och är ungefär $50\mu\text{T}$ i Sverige.

Under högspänningsledningar för likström, som emellertid ännu är sparsamt förekommande, kan flödestätheten uppgå till ca $20\mu\text{T}$.

I vissa transportmedel som t ex tunnelbanan och elektrifierade bilar utvecklas statiska magnetfält under drift. För närvarande experimenteras också med nya typer av transportmedel som flyter på starka magnetfält vilket kan medföra att passagerarna i sådana ekipage kan komma att exponeras för statiska magnetfält i storleksordningen $10\,000$ – $100\,000\mu\text{T}$.

De högsta statiska magnetfälten som en människa för närvarande utsätts för är i samband med medicinsk magnetresonans- (MR) undersökning. Medicinsk MR-utrustning använder magnetiska flödestätheter mellan $0,02$ – 2 T (dvs 20

000 μT upp till 2 000 000 μT) för vilka patienten kan exponeras upp till 30 minuter under en undersökning.

Rörelse i statiskt magnetfält

Då en person rör sig i ett statiskt magnetfält av 100 μT induceras i kroppen strömtätheter mellan 5 och 50 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ (om man förutsätter 30 cm radie och att kroppens ledningsförmåga är 0,2 S/m). Blodet är ju elektriskt ledande (ca 0,5 S/m) och flödet i aortabågen inducerar i samma fält en strömtäthet på ca 40 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ i kärlväggarna.

Interferens med ferromagnetiska föremål

Kraftiga statiska magnetfält kan påverka funktionen hos elektroniska anordningar som t ex pacemakers och andra inplanterade anordningar. Man rekommenderar därför att områden med magnetfält överskridande 500 μT utmärks för att förhindra tillträde för personer med pacemakers. I omedelbar närhet till kraftiga magneter kan ferromagnetiska föremål påverkas av starka krafter vilket kan leda till rörelser hos ferromagnetiska implantat eller andra föremål. Detta kan leda till skador på kärl och vitala vävnader i t ex hjärnan och i ögat. Lösa ferromagnetiska föremål kan utgöra en risk som projektiler vid magnetfält över 0,3 T.

Gränsvärden för statiska magnetfält

En internationell kommitté för icke joniserande strålning har utarbetat rekommendationer för gränsvärden vid exponering för statiska magnetfält (ICNIRP 94). Nedanstående gränsvärden gäller för homogena statiska magnetfält. Vid inhomogena fält betraktar man medelvärde av magnetfältstyrkan över en yta av 1 m^2 .

Tabell 7. Gränsvärden vid exponering för statiska magnetfält (ICNIRP 94).

Typ av exponering	Magnetisk flödestäthet mikro-tesla (μT)
Yrkesmässig exponering	
Medelvärde under hel arbetsdag	200 000
Högsta värde för hela kroppen	2 000 000
Högsta värde för armar och ben	5 000 000
Exponering av allmänheten	
Friska personer	40 000
Personer med elektroniska och/eller ferromagnetiska implantat	3 000
Personer med pacemakers	500
Naturlig nivå	50
Exponering av magnetiska informationsmedia t ex kreditkort, datadiskar, tape och analoga klockor	1 000

Magnetiska växelfält

Magnetiska växelfält är tidsvarierande magnetfält vilka produceras kring elektriska ledningar med växelström. I ekvationerna ovan ersätts strömstyrkan med uttrycket för växelström: $i = \hat{i} \cdot \sin(2\pi ft - \varphi)$ där $\hat{i}$ är toppvärdet, f är frekvensen, t ex 50 Hz, t är tiden och φ är fasvinkeln i förhållande till spänningen som kan skrivas: $u = \hat{u} \cdot \sin(2\pi ft)$.

Beräkningar av magnetfält från kraftledningar

Det elektriska nätet för överföring och distribution av elenergi är ett trefasssystem. Tre fasledare, vilka var och en för en ström som är fasförskjuten en tredjedels period i förhållande till de övriga faserna, betyder att summaströmmen i varje ögonblick är noll vid lika fasbelastning. Däremot kommer inte det resulterande magnetfältet att bli noll eftersom det föreligger en asymmetri med avseende på avstånd och riktning till fasledarna alldeles intill kraftledningen. Med hjälp av "Biot-Savarts" kan man beräkna det resulterande magnetfältet kring kraftledningar av olika inbördes lägen mellan de enskilda ledarna. Fältets storlek avgörs också av avståndet mellan ledarna och var mätpunkten befinner sig i förhållande till kraftledningstolparnas placering.

Induktion av strömmar i människokroppen

I elektriskt ledande kroppar (t ex människokroppen) som utsätts för tidsvarierande magnetfält induceras en elektromotorisk kraft som ger upphov till elektriska strömmar. Den inducerade elektromotoriska kraften beror av hur snabbt magnetflödet förändras med tiden, dvs dess derivata. Om vi betraktar en strömslinga med radien r som exponeras för ett tidsvarierande magnetfält dB/dt induceras en elektromotorisk kraft U . Den inducerade elektromotoriska kraften kan då skrivas som:

$$U = - \frac{dB}{dt} \cdot \pi r^2$$

För växelström varierar den magnetiska flödestätheten kring ledaren enligt: $B = B_{\max} \sin(2\pi ft)$, deriveras denna ekvation och sättes in i uttrycket för den elektromotoriska kraften erhålles:

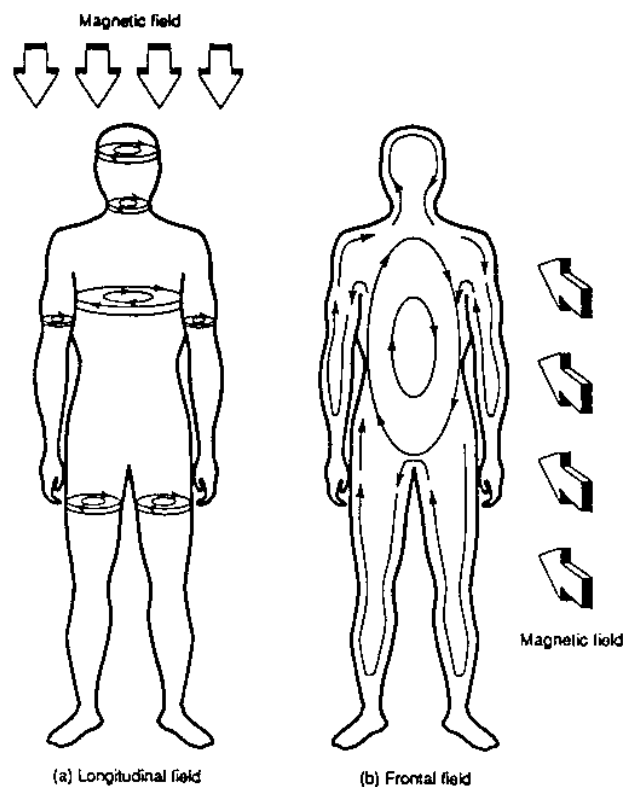
$$U = - 2\pi ft B_{\max} \cos(2\pi ft),$$

I vävnad med hög specifik ledningsförmåga t ex muskulatur (med ledningsförmågan 0,2 S/m) kan de inducerade strömmarna bli tillräckligt höga för att stimulera exciterbara celler och vävnad, t ex perifera nerver. Fördelningen av strömmarna i kroppen som induceras av tidsvarierande magnetfält med olika infallsriktning framgår av figur 5.

Vid exponering av människokroppen i ett tidsvarierande vertikalt fält med $dB/dt = 1$ T/s blir de inducerade strömtätheterna i storleksordningen:

- 10 mA/m² i huvudet med 20 cm diameter
- 15 mA/m² i bålen med diametern 30 cm.

I många organ i människokroppen förekommer helt naturligt strömtätheter i storleksordningen 1 mA/m² i hjärtat och hjärnan kan strömtätheter upp till 10 mA/m² förekomma. Detta motsvarar en magnetisk flödestäthet av ungefär 100 µT vid 50 Hz.



Figur 5. Fördelningen av internt inducerade elektriska strömmar i kroppen vid helkroppsexponering av tidsvarierande magnetfält med olika riktning.

Mätningar av magnetfält i olika miljöer

Den vanligaste metoden att mäta och kartlägga statiska magnetfält är en så kallad Hall-sond vilken baseras på den så kallade Halleffekten. Denna uppkommer då Lorentz-kraften förflyttar elektriska laddningar i ett halvledare material varvid det uppstår en potential som är proportionell mot magnetfältet.

Flödesmätare med två spolar kan direkt mäta lokala variationer i magnetflödet.

Magnetfält vid högspänningsledningar

Alla elproduktionsanläggningar av betydelse är anslutna till det riksomfattande stamnätet som består av ledningar och transformatorstationer för systemspänningarna 220 kV och 400 kV. För den regionala kraftöverföringen från kraftverk och uttagpunkter på stam nätet används spänningar inom området 20–130 kV. Distributionsnätet till abonnenterna omfattar högspänningsledningar för 20, 10 och 6 kV och lågspänningsledningar för 380/220 V. Bestämmelser för hur friledningar skall dras fram i närheten av byggnader finns i starkströmsföreskrifterna (Elsäk SF 1994:4,7).

Magnetfältets variation med ledningskonfiguration och avstånd

Magnetfältet från kraftledningar är proportionellt mot strömstyrkan och beror desutom i hög grad av hur faserna är inbördes konfigurerade.

Magnetfältets variation i tiden

Magnetfältstyrkan vid kraftledningar varierar som belastningsströmmen. Belastningen på en enskild högspänningsledning kan variera mycket under dygnet, veckan och året.

Vintertid är elförbrukningen avsevärt högre än sommartid, vardagar jämfört med sön- och helgdagar osv.

Kraftfrekventa magnetfält 50–60 Hz

Frekvensområdet 0–300 Hz kallas ELF-fält, vilket sålunda omfattar de s k kraftfrekventa fälten vid 50 Hz som finns överallt kring eldistributionsnätet, elledningar och elektriska apparater i vår miljö.

Under en 400 kV kraftledning kan den magnetiska flödestätheten av 50 Hz magnetfält uppgå till 10–30 μT . I bostäder som ligger nära kraftledningen (10–30 m) orsakar denna 50 Hz magnetfält mellan 1–10 μT . På ett avstånd av 100 m är bidraget från kraftledningen 0,01–0,2 μT .

Vid distribution av elkraften ut till abonnenterna transformeras spänningen ner från högspänning till 220/380 V som vi har i hemmen. I många bostadshus och industrier ligger transformatorstationerna inbyggda i huset. Detta medför att 50 Hz magnetfält i storleksordningen 10-tals μT uppstår i rum och lokaler direkt över eller vägg i vägg med nätstationer. Flödestätheter i storleksordningen 0,5–1 μT kan orsaka störningar på bildskärmar, oscilloskop och bildförstärkare.

En speciell källa till magnetfält i bostäder är s k *vagabonderande* strömmar i t ex vattenledningar. De förekommer därför att vi i Sverige har ett elsystem med endast fyra ledare i huvudledningen fram till huset. Detta innebär att ledningsnollan och skyddsjorden som ofta är i kontakt med vattenledningen förbinds vilket medför att man får återgångsströmmar via skyddsjord och vattenledning som kan orsaka magnetfält. Återgångsströmmen, som orsakar magnetfält i bostäder, beror på obalans i belastningen mellan faserna i elnätet.

Exponering för kraftfrekventa (50 Hz) magnetfält i bostäder

Under hösten 1985 och våren 1986 utfördes mätningar i ett femtiotal bostäder av olika typ, som t ex lägenheter, radhus och villor med olika uppvärmningssystem som direktverkande el, olje eldning och fjärrvärme (Eriksson o a 1987). I rapporten diskuteras också fälten kring kraftledningar utifrån teoretiska beräkningar och praktiska mätningar.

I undersökningen utförd användes ett visst protokoll där fältstyrkan i bostadens samtliga rum inklusive kök registreras i tre konsekutiva omgångar. Maximala magnetfältstyrkan mäts i rummets centrum på ca 1 meters höjd över golvet och på halva diagonalen ut mot rummets hörn. Mätningar görs inte på närmare avstånd än 0,3 m från lokal källa. Mätningarna är utförda under 1 timme vid mättillfället. Uppskattning av årsmedelvärde kan erhållas genom att normera till den genomsnittliga elförbrukningen. Värden uppmätta under högsommarnätter med den lägsta elförbrukningen korrigeras med en faktor ca 1,9. Mätningar under dagtid januari–februari med den högsta elförbrukningen korrigeras med en faktor ca 0,7 för att erhålla årsmedelvärde.

Den huvudsakliga källan till magnetfält i bostäder är de *vagabonderande* strömmarna i jordledningsnätet och vattenledningsystemet. (Male o a 1982, Maddoch o a 1985, Caola o a 1983). Dessa strömmar har sitt ursprung i obalansen i trefasnätet och varierar med varje tillslag av någon apparat i hemmet.

I vissa fall domineras magnetfältbilden av någon speciell källa, som t ex värmeslinga för golv eller sockeluppvärmning, eller från yttre källa som t ex högspänningsledning. En värmeslinga i en villa kan ge 0,5–0,7 μT i hela huset med upp till 1 μT i dess omedelbara närhet. I en bostad på 15 m avstånd till ytterfas på en 220 kV ledning uppmättes upp till 3,2 μT i sovrummet.

En ny svensk undersökning av magnetfält i bostäder och daghem har just avslutats och publicerats (Nissen o a 1994). Denna undersökning omfattar 175 bostäder i Stockholm och Bollnäs samt 26 daghem i Stockholm, vilka inte var belägna nära kraftledningar. Syftet med undersökningen var att bestämma nivåerna på kraftfrekventa magnetfält i bostäder och daghem som *inte* är belägna intill kraftledningar.

Resultaten av undersökningen sammanfattas i tabell 8 nedan. Mätningarna visar att det finns en signifikant skillnad ($p < 0,001$) mellan nivåerna på magnetfälten i de två orterna. Den främsta orsaken till detta tros vara vagabonderande strömmar i det elektriska distributionsnätet. Detta antagande grundar sig på att det i flerbostadshus i Stockholm noterades ett signifikant högre magnetfält i bottenvåningen (146 nT) än en trappa upp eller högre belägna lägenheter (78 nT). I Bollnäs noteras däremot ingen skillnad.

Andelen bostäder med magnetfält över 200 nT var fem procent i Stockholm och 4 procent i Bollnäs. I Stockholm uppmättes över 200 nT i 20 procent av daghemmen.

Tabell 8. Resultat av magnetfält mätningar i Bollnäs och Stockholm (Nissen o a 1994).

Lokal	Antal objekt	1. kvartil (25 %)	Median (50 %)	3. kvartil (75 %)	Antal > 200 nT
Samtliga bostäder	175	34	64	97	
Bostäder i Stockholm	100	56	79	113	5 %
Lägenheter	50	47	76	116	
Radhus	25	68	86	112	
Villor	25	61	78	99	
Bostäder i Bollnäs	75	14	34	66	4 %
Lägenheter	45	19	47	78	
Radhus	21	30	34	59	
Villor	9	11	15*	33	
Daghem i Stockholm	25	48	66	116	20 %

* Signifikant lägre än i övriga bostäder ($p=0.0018$)

I en av de svenska epidemiologiska undersökningarna (Feychting o Ahlbom 1993) utfördes magnetfältsmätningar hos 344 kontrollbarn som bodde inom 300 m från en större kraftledning. Av denna undersökning framgick att 20 procent exponerades för magnetfält överstigande 200 nT. Medianvärdena skiljer sig inte nämnvärt mellan olika undersökningar med undantag från en engelsk undersökning som rapporterar 15 nT (Meyers o a 1990).

Tabell 9. Jämförelse mellan olika undersökningar av magnetfält i bostäder.

Undersökning/Lokal	Antal objekt	1. kvartil (25%)	Median (50%)	3. kvartil (75%)	Antal > 200 nT
Nissen oa (1994)/Stockholm	100	56	79	113	5 %
Nissen oa (1994)/Bollnäs	75	14	34	66	4 %
Feychting & Ahlbom (1993)	344				20 %
Eriksson o a (1987)	54	31	72	144	
Skotte (1993)	298	30	50	80	
EPRI (1993)/stad	280	40	80	50	10 %
EPRI (1993)/landsbygd	142	10	30	60	10 %
Meyer o a (1990)	44		15		

Tabell 10. Magnetisk flödestäthet vid olika avstånd från några olika elektriska apparater och hushållsmaskiner (Gauger 1985, Florig o a 1990).

Typ av apparat	Magnetisk flödestäthet (μ T) vid avståndet z mellan apparat och person			
	z = 3 cm	z = 10 cm	z = 30 cm	z = 100 cm
Konservöppnare	1000–2000		3,5 – 30	0,07 – 1
Hårtork	6–2000	2	0,01 – 7	0,01 – 0,3
Rakapparat	15–1500	25	0,08 – 9	0,01 – 0,3
Hushållsmixer	60 – 700		0,6 – 10	0,02 – 0,25
Mikrovågsugnar	75 – 200	20	4 – 8	0,25 – 0,76
Dammsugare	200 – 800	20	2 – 20	0,13 – 2
Elväckarklocka	300	25	2,25	0,02
Skrivbordslampa (lysrör)	40 – 400		0,5 – 2	0,02 – 0,25
Bärbar radio	16 – 56		1	< 0,01
TV-apparat	2,5 – 50	5	0,04 – 2	0,01 – 0,15
Elektrisk ugn	1 – 50		0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Tvättmaskin	0,8 – 50		0,15 – 3	0,02 – 0,06
Strykjärn	8 – 30		0,12 – 0,3	0,01 – 0,025
Köksfläkt	2 – 30		0,03 – 4	0,01 – 0,3
Kaffebryggare	1,8 – 25	1	0,08 – 0,15	0,01
Diskmaskin	3,5 – 20		0,6 – 3	0,07 – 0,3
Brödrost	7 – 18		0,06 – 0,7	0,01
Kylskåp	0,5 – 1,7		0,01 – 0,25	0,01
Lysrörsarmatur	20	5		0,01
Värmepanel	10	1		0,1
Dator	0,5 – 3		< 0,01	
Dataskärm	5	2		0,05
Elfilt	10	1		
Vattenledning med 10 A		20		

Anm: Värdena i tabellen är uppmätta i USA där nätspänningen är 110 V och frekvensen 60 Hz. I Sverige med nätspänningen 220 V och frekvensen 50 Hz blir motsvarande värden omkring hälften så höga.

Magnetfält från apparater i hemmet

Redan 1974 uppmärksammades att magnetfälten kring apparater som användes i hemmen kan ge exponeringar upp emot 2 500 μT . (Miller 1974) Man har därefter mätt upp magnetfälten från ett stort antal apparater och modeller. I tabell 10 ovan presenteras några typiska värden för olika apparater (Gauger 1984, Florig o a 1990). Redan efter mindre än armlängds avstånd, dvs 30 cm från de flesta apparaterna några typiska värden för olika apparater. är flödestätheten långt under 100 μT .

Magnetiska växelfält vid bildskärmar

Pulsade magnetfält karakteriseras av att de inducerar en elektrisk strömtäthet i det exponerade biologiska objektet. Man anger "induktionen" som dB/dt , dvs förändring av magnetisk flödestäthet per tidsenhet (tesla per sekund).

Värdet på induktionen på 0,5 m avstånd från en bildskärm bör vara högst 25 mT/s. Man kan vid äldre videoskärmar uppmäta värden som kraftigt överskrider detta värde. Statskontorets tester av bildskärmar inför statliga upphandlingar visar att induktionen vid personatorer är 7–15 mT/s vid 30 cm avstånd och 8–24 mT/s vid 50 cm avstånd. Asynkrona bildskärmar kopplade som terminaler till minidatorer visar värden mellan 5,4–12 mT/s vid 30 cm. Synkrona bildskärmar kopplade som terminal till en centraldator visar 11–19 mT/s vid 30 cm. (Nordström och Schéele 1994)

Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) och TCO ger rekommenderade värden för olika typer av magnetfält från bild skärmar, tabell 11 (MPR 90).

Tabell 11. Rekommenderade värden för magnetiskt fält bildskärmar.

Typ av fält	MPR(1990) 50 cm runt om	TCO 30 cm framför* 50 cm runt om	Mätgräns
Bildfrekventa fält: I: 5Hz–2 kHz	250 nT	200 nT	200 nT
Linjefrekventa fält: II: 2–400 kHz	25 nT	25* nT	10 nT

I en svensk studie har magnetiska flödestätheten uppmätts i 150 kontor. Medianvärdet för 50 Hz bakgrundsflödestätheten i de 150 kontoren var 70 nT. Sju kontor hade emellertid bakgrunds nivåer högre än 500 nT, vilket var tillräckligt för att distordera bilden. Datorskärmar var den huvudsakliga källan till magnetfält i kontorsmiljön. Medianvärdet för flödestätheten i ELF-området framför bildskärmarna var 210 nT och i VLF-området 30 nT.

Lågfrekventa magnetfält i arbetsmiljön

I en studie av 1 098 slumpmässigt utvalda män undersöktes exponeringen för magnetfält under arbetsdagen med en magnetometer kalibrerad vid 50 Hz och bandbredden 40–400 Hz (Floderus o a 1994).

I tabell 12 visas exempel på exponeringar som förekommer hos några yrkesgrupper.

Tabell 12. Exponering av olika yrkesgrupper för magnetfält. Geometriska medelvärden för dagsmedelvärden och maxvärden (Floderus o a 1994).

Yrkesgrupp	Dagsmedelvärde μT	Max-värde μT
Anläggningsmaskinförare	0,05	1,0
Förskollärare, barnskötare	0,12	1,6
Skötare inom psykvård, sjukvårds- och vårdbiträden	0,08	1,7
Reklammän	0,13	1,8
Detaljhandlare, partihandlare	0,26	2,2
Sekreterare, maskinskr, specialkontorister	0,11	2,2
Övriga företagsadministratörer och special administratörer	0,16	2,6
Företagsledare	0,13	2,7
Lärare i teoretiska ämnen (högskola och klasslärare)	0,13	3,1
Speditörer, skeppsklarerare m fl	0,25	3,5
Lärare i övningsämnena	0,14	3,7
Socialtjänstemän, psykologer	0,10	4,5
Kockar och källskänkor, köksbiträden	0,19	4,0
Hovmästare, servitörer	0,11	4,7
Ingenjörer kemiteknik	0,29	5,4
Slakteri- och charkuteriarbetare	0,23	5,5
Lärare i yrkesinriktade ämnen	0,16	5,8
Ingenjörer maskinteknik	0,19	6,0
Ingenjörer elteknik och teleteknik	0,22	6,5
Lant-, skogs- och trädgårdsarbetare, lantbrukare och djurskötare	0,12	7,8
Maskinmontörer-hopsättare, maskin- och motorreparatörer	0,23	10,2
Rörarbetare	0,19	10,3
Järnbruks-, metallverks-, smides- och gjuteriarbetare	0,23	12,8
Installations-, drifts- och maskintekniker	0,30	15,5
Tunnplåtslagare och grovplåtslagare	0,52	22,3
Driftmaskinister	0,47	32,2
Smeder	0,55	46,5
Svetsare, gasskärare	1,12	58,1
Alla yrkeskategorier (1 098 män)	0,17	4
75 % percentil	0,12–0,27	
95 % percentil	0,06–0,55	1–75

Dagsmedelvärdet för alla 1 098 var 0,17 μT och medianvärdet 0,11 μT . Generellt gäller att exponeringen för magnetfält i frekvensområdet 40–400 Hz är mycket varierande, eftersom flera komponenter ifråga om tid och rum har stort inflytande. Detta innebär att det inom yrkesgrupper finns en stor variation i

exponeringen, ibland beroende på att yrkesgruppen är en samlingsbeteckning för olika verksamheter. Variationen i exponering är också beroende på lokala förhållande i fråga om vilka verktyg, maskiner och andra elkällor som användes, hur arbetet är organiserat tidsmässigt och på den enskilda individen.

Kring nätstationer i universitetets byggnader i Lund har det kraftfrekventa fältet mätts i intilliggande arbetsutrymmen med följande resultat (Samuelsson 1994).

Tabell 13. Uppmätta värden av 50 Hz magnetfält på olika arbetsplatser vid Lunds universitet.

Typ av lokaler	Medelvärde μT	Medianvärde μT	Min-värde μT	Max-värde μT
Alla lokaler	2,0	0,7	0,02	19
Arbetsplatser Laboratorier	1,0	0,6	0,3	2,0

Elektriska och magnetiska fält vid medicinsk diagnostik och terapi

Vid medicinsk diagnostik och terapi av neurologiska och andra sjukdomar utnyttjas kortvarig exponering för olika typer av elektriska och magnetiska fält med mycket högre fältstyrkor än vad som förekommer i vår boende- och arbetsmiljö. Exempel på exponeringsparametrar är frekvenser <1 kHz, elektrisk fältstyrka $<2,5$ kV/m, strömtätheter <1 $\mu\text{A}/\text{cm}$ och magnetisk flödestäthet <16 mT. En översikt över ämnet har skrivits av Barker och Lunt 1983 samt Bassett 1989. I tabell 14 ges några exempel på exponeringsparametrar som används vid några olika medicinska behandlings situationer.

Vid medicinska kärnspinn resonans undersökningar (s k MR) exponeras patienter för statiska magnetfält i storleksordningen 0,02–2 tesla (T). – Den engelska benämningen Nuclear Magnetic Resonance har i svensk medicinsk nomenklatur blivit Medicinsk Resonans MR eller Magnet Röntgen. – Snabbt pulserande magnetfältsgradienter appliceras samtidigt med det statiska magnetfältet för att generera bilder. Dessa pulsade magnetfält har tidsderivator i storleksordningen 1–20 T/s eller i vissa applikationer ännu högre i centrum av magneten. Pulser av radiofrekvent strålning med frekvensen 42 MHz/tesla exciterar kärnspinnen hos protonerna i patientens vävnader och en radiomottagare detekterar den utsända signalen från de deexciterade protonspinnen. Genom att analysera dessa signaler rekonstrueras en bild av protonspinntätheten eller av hur snabbt protonspinnen deexciteras, ”relaxerar”, i vävnaderna.

Denna komplicerade exponeringssituation med starka magnetfält i kombination med radiofrekvent strålning av hög effekt ger anledning till att utvärdera vilka potentiella effekter detta kan ha på patienter och på den personal som i vissa situationer måste vara nära patienten vid undersökningen (Persson och Ståhlberg 1989, Magin o a 1992).

Tabell 14. Några exempel på användning av lågfrekventa elektriska fält och magnetfält på människa vid diagnostik eller behandling av vissa sjukdomar och tillstånd.

Ref:	Hufnagel o a 1990
Syfte:	Identifiera epileptiskt fokus
Magnetiskt fält:	0,75–1,5 T
Elektriskt fält:	5–30 V/m
Stimuleringsfrekvens:	0,5–10 Hz
Andra parametrar:	Pulsduration 0,25 ms under 2–3 s, efter 25 stimuleringar 1min paus. Max antal stimuli 250
Ref:	Pascual-Leone o a 1991
Syfte:	Bestämma talcentrums läge
Magnetiskt fält:	2 T
Elektriskt fält:	600 V/m
Stimuleringsfrekvens:	25 Hz
Andra parametrar:	Pulsvidd 50 ms, sinusformad, duration 10 s.
Registrering:	EEG, EKG, andning, videoövervakning, kliniska symptom
:	0
Ref:	Uthman o a 1993
Syfte:	Behandla epilepsi med vagus-stimulering
Magnetiskt fält:	–
Elektriskt fält:	Strömstyrka 1 mA
Stimuleringsfrekvens:	50–60 Hz
Andra parametrar:	Pulsvidd 250–500 ms, stimulering under 60 s resp 120 s, därefter 60 min resp 5–10 min paus
Stimuleringsperiod:	1–2 mån dygnet runt, sedan 2 v–1 mån paus

Effekter av statiska magnetfält på magnetiserbara objekt

Ett magnetiserbart objekt påverkas i ett inhomogent statiskt magnet fält av en kraft som påverkar lösa ferromagnetiska objekt nära magneten och ferromagnetiska objekt i patienten.

Gränsvärden för normalpersoner och patienter vid medicinska MR-undersökningar

Vid exponering av normalpersoner för statiska magnetfält rekommenderas i England att gränsen 0,02 tesla ej överskrides under längre perioder vid exponering av hela kroppen och huvudet. Man rekommenderar också att personer med historiska mentala problem, med implanterade elektroniska apparater, gravida kvinnor, och personer med kroniska hälsoproblem som t ex "sickle cell anemia" eller hjärtbesvär ej exponeras för höga statiska magnetfält, dvs >0,2 tesla (NRPB 1991).

För patienter rekommenderar myndigheter i Tyskland, England, Canada och USA att gränsvärdet 2 tesla ej överskrides (BGA 1984, BRH 1982, EHD 1986, FDA 1988); myndigheterna i England är mer generösa och rekommenderar ett maximalt gränsvärde på 2,5 T (NRPB 1981, 1983, 1991).

Övervakning av lokaler med MR-utrustning

I lokalerna kring en klinisk NMR-maskin förekommer magnetiska strömfält som kan interferera med pace-makers och med ferromagnetiska objekt som kan bli till projektiler. Tillträde till lokalerna kring NMR installationer bör därför begränsas enligt tabell 15.

NMR-magneter med aktiv skärmning har 0,5 mT gränsen inne i magnetrummet. Men pga de stora riskerna med den skarpa gradienten nära magneten gäller tillträdesförbudet.

Magnetiska strömfält kan påverka elektronstrålen i katodstråle rör, fotomultiplikatorer och bildförstärkare. Vid låga magnetfält kommer en CRT-monitor att visa en svag linjär distortion. Vid högre fält ökar lutningen och bilden blir kurvig och kan försvinna ur skärmen. Distorsionen beror också av den relativa orienteringen mellan elektronstrålen och magnetfältet. Det är maximalt då fältet är vinkelrätt och noll om strålen är exakt parallell med fältet.

Strömfälten kan också påverka magnetiska minnen som datadiskar, dator-, audio- och video-tape, kredit och bankkort, så att informationen blir felaktig eller minnet blir obrukbart. Problemen uppstår vid höga lokala magnetfält och vid rörelser genom strömfältet.

Strömfälten kan också förstöra funktionen hos vissa mekaniska föremål som t ex kameraslutare, analoga klockor, elektriska motorer och reläer. Dessa föremål tenderar att stanna eller bli tröga i funktionen.

Tabell 15. Rekommendationer för tillträdesvillkor till lokaler för medicinska NMR-undersökningar.

Lokal / Skyltning	Magnetisk flödestäthet	Tillträdesbegränsningar
Magnetrummet <i>Tillträde förbjudet för obehöriga</i> <i>Övervakat område med höga magnetfält</i>	>1,5 mT	Inom detta område kan pace-makers påverkas
Ingång till magneten <i>Varning för magnetfält</i> <i>Område med begränsat tillträde</i>	0,5–1,5 mT	Område med begränsat tillträde och med övervakning av tillträde till magneten
Förberedelserum och operatörsrum <i>Ingen övervakning</i>	<0,5 mT	Utanför 0,5 mT-området är säkerhetsrisken liten eller ingen och behöver normalt inte övervakas

Sammanfattning av gränsvärden för lågfrekventa elektriska och magnetiska fält

Internationella och en del nationella organisationer har rekommenderat gränsvärden för arbete i miljöer med lågfrekventa elektriska fält och magnetfält. Den tyska strålskyddsmyndigheten har med dessa rekommendationer som grund rekommenderat gränsvärden för allmänheten Dessa gränsvärden sammanfattas i tabell 16.

Tabell 16. Sammanfattning av gränsvärden för lågfrekventa elektriska fält och magnetfält från olika myndigheter och organisationer.

Organisation eller myndighet	Frekvensområde f (Hz)	Magnetisk flödestäthet B (mT)	Elektrisk fältstyrka E (kV/m)
Internationella kommissionen för icke joniserande strålning, IPA/INIRC (1989–90), ICNIRP (1992)			
Hel arbetsdag	50	0,5	10
Maximalt 2 timmar/dag		5	
Extremiteter		25	30
Europeiska Gemenskapen, EG (1993)			
	10 – 1 000	$0,02 < 20/f < 2$	$0,6 < 614/f < 61,4$
	50	0,4	12,3
Amerikanska kommissionen för Industriella Hygieniska Gränsvärden, ACGIH (1992–93)			
	< 1 Hz	60	
	1–30 000	$0,002 < 60/f < 60$	
	50	1,2	25
	0–100		25
	100–4 000		$0,6 < 2500/f < 25$
	4 000–30 000		0,625
Tyska strålskyddsmyndigheten, BfS (1994)			
kontinuerlig exponering	50 Hz	0,1	5
kortvarig lokal exponering	50 Hz	1	

Elektromagnetisk strålning

Radiofrekvent strålning

Radiofrekvent strålning kallas elektromagnetiska fält i frekvensområdet 300 kHz till 300 GHz. I den naturliga omgivningen förekommer denna strålning normalt endast i låga nivåer. Mänskliga aktiviteter använder emellertid denna del av det elektromagnetiska spektret i mycket hög grad för t ex radiokommuni-

kationer och navigering samt inom industri och medicin. Detta har resulterat i att såväl yrkesmässig exponering som allmänhetens exponering för RF-strålning vida överskrider naturliga nivåer.

RF-strålning kan karakteriseras som en vågrörelse där det elektriska fältet E är vinkelrätt mot det magnetiska fältet H riktningen och utbredningen är vinkelrätt mot både det elektriska och magnetiska fältet. Inga elektriska eller magnetiska fält förekommer i utbredningsriktningen och utbredningshastigheten fritt i luft motsvarar ljushastigheten. I andra media än luft beror utbrednings hastigheten på de elektriska egenskaperna (dielektricitetskonstant, ledningsförmåga) men förhållandet mellan den elektriska fältstyrkan och magnetfältet är konstant. Denna konstant kallas den karakteristiska impedansen som fritt i luft är 337 ohm, i andra material beror den på materialets elektriska ledningsförmåga och dielektricitetskonstant. Energitransporten i watt per m² anges med den s k Poyntings vektor $\vec{S}$ vilken för en plan våg kan uttryckas som:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{E^2}{337} = 337 \cdot H^2 \quad [\text{W/m}^2]$$

Exponering av biologisk vävnad för RF-strålning resulterar i induktion av RF-fält och elektriska strömmar i kroppen. Det är de internt genererade fälten och strömmarna som är ansvariga för påverkan av de biologiska systemen. Den dosimetriska storhet som används för att kvantifiera påverkan av biologiska system med RF-strålning är den specifika absorberade energiraten "SAR" som definieras som *absorberad energi per mass- och tidsenhet*. För sinusformat varierande fält i en liten vävnadsvolym med konstant elektriskt fält gäller sambandet:

$$SAR = \frac{\text{ledningsförmågan}}{\text{densiteten}} \cdot E_m^2 = \frac{\sigma \cdot E_m^2}{\rho} \quad [\text{W/kg}]$$

Mikrovågor

Radiofrekvent strålning över 300 MHz brukar kallas mikrovågor. I detta frekvensband ligger bl a mikrovågsugnar med frekvensen 2 450 MHz och mobiltelefoni vid frekvensbanden 450 MHz, 900 MHz och 1 800 MHz.

Gränsvärden för RF-strålning och mikrovågor

Elektromagnetiska fält i frekvensområdet från 300 kHz till 300 GHz kvantifieras dels med den elektriska fältstyrkan (V/m) dels med den magnetiska fältstyrkan (A/m). I mikrovågsområdet dvs vid frekvenser över 300 MHz används effekttätheten W/m² som exponeringsmått. Den specifikt absorberade energiraten "SAR-värdet" i W/kg användes som dosimetrisk storhet och användes för att sätta gränsvärden.

Gränsvärdena i tabell 17 är satta så att SAR medelvärdet är 0,4 W/kg under en 6 minuters period. Då det är opraktiskt att mäta SAR är gränsvärdena angivna i elektrisk fältstyrka och magnetisk fältstyrka.

Tabell 17. Gränsvärden för mikrovågor och radiofrekvent strålning (ACGIH 1993).

Frekvens (f=frekvens i MHz)	Effektthet (mW/cm ²)	Elektrisk fältstyrka (V/m)	Magnetisk fältstyrka (A/m)
30 kHz – 100 kHz		614	163
100 kHz – 3 MHz		614	16,3/f
3 MHz – 30 MHz		1842/f	16,3/f
30 MHz – 100 MHz		614	16,3/f
100 MHz – 300 MHz	1	614	0,163
300 MHz – 3 GHz	f/300		
3 GHz – 15 GHz	10		
15 GHz – 300 GHz	10		

För fristående personer som inte är i kontakt med ledande föremål får den radiofrekventa strömmen inducerad i människokroppen mätt genom vardera foten inte överskrida följande värden. Dessa värden får ej heller överskridas i eventuella kontaktpunkter till ledande föremål.

$I = 1\,000 \cdot f$ (mA) för frekvensområdet $0,03 < f < 0,1$ MHz

$I = 100$ (mA) för frekvensområdet $0,1 < f < 100$ Mhz.

Arbetsgruppen har inte bedömt radiofrekvent strålning och mikrovågor ur hälsosynpunkt.

Sammanfattning

Arbetsgruppens uppgift omfattar utvärdering av statiska fält och elektriska och magnetiska växelfält upp till 400 kHz. Detta frekvensområde täcker exponering för kraftfrekventa fält (50 Hz) samt linjesvepfrekvenser (<400 kHz) i bildskärmsterminaler och elektronisk utrustning i hemmiljö.

Elektriska fält i arbetsmiljön kan variera från tidvis höga fältstyrkor kring maximalt 500–200 V/m för elkraftarbete, till max 50 V/m för annat industriarbete. Den genomsnittliga fördelningen av elektriska fält under en arbetsdag för några olika arbetsmiljöer, varierar mellan 40 V/m vid elöverföring till omkring 15–20 V/m för flertalet yrkesarbetare, och är ca 18 V/m i icke arbetsmiljö. På nära avstånd (30 cm) till vissa elektriska apparater kan fältstyrkan vara upp till omkring 200–300 V/m (t ex varmvattenberedare, stereomottagare och ojordade skrivmaskiner). Bildskärmar bör inte emittera mer än 1–10 V/m av tidsvarierande fält och 500 V/m av statiskt fält.

I en svensk studie har de elektriska fälten mätts i 150 kontor med bildskärmar.

Det dominerande bidraget till extremt lågfrekventa elektriska fält (ELF: 0–300 Hz) dominerades av elektrisk utrustning förutom bildskärmar. Medianvärdet för extremt lågfrekventa elektriska fält i rummet var 20 V/m med motsvarande medianvärde för bildskärmsrelaterade ELF-fält 20 V/m. För mycket låga frekvenser (VLF: 300 Hz–400 kHz) uppmättes flödestätheter vid bildskärmen med medianvärdet 1,5. Den ekvivalenta ytpotentialen var mindre än 500 V för 63 % av de undersökta bildskärmarna.

Magnetfält finns naturligt som jordmagnetiska fältet med flödestätheten cirka 50 mikrottesla. Distribution och användning av elenergi emitterar kraftfrekventa (50 Hz) magnetfält både i omgivningen kring kraftledningar i naturen, på arbetsplatsen och i bostaden. I bostäder har s k vagabonderande strömmar i jordledningssystemet och vattenledningssystemet speciellt uppmärksamats som exponeringskälla.

Generellt gäller att exponering för magnetfält i frekvensområdet 50 Hz–400 kHz är mycket varierande ifråga om tid och rum. Detta innebär att det bland yrkesarbetare finns en stor variation i exponeringen, ibland beroende på att ”yrkesgrupp” är en samlingsbeteckning för olika verksamheter. Variationen i exponering är också beroende på lokala förhållanden i fråga om vilka verktyg, maskiner och andra elkällor som används, hur arbetet är organiserat tidsmässigt samt på den enskilda individen.

Yrkesarbetare som t ex svetsare och smeder kan exponeras för flödestätheter upp till 50–60 mikrottesla medan dagsmedelvärden varierar mellan 0,1 mikrottesla hos förskollärare och barnskötare till 1 mikrottesla hos svetsare. Det genomsnittliga dagsmedelvärdet för exponering av yrkesarbetare ligger kring 0,2 mikrottesla (95 % CI 0,06–0,55).

Medianvärdet för 50 Hz bakgrundsflödestätheten i 150 svenska kontor var 0,07 mikrottesla. Sju kontor hade emellertid bakgrunds nivåer högre än 0,5 mikrottesla, vilket var tillräckligt högt för att distordera bilden. Datorskärmen var den huvudsakliga källan för magnetfält i kontorsmiljön. Medianvärdet för flödestätheten i ELF-området framför bildskärmarna var 0,21 mikrottesla, och i VLF-området 0,03 mikrottesla.

I en svensk epidemiologisk undersökning (Feychting och Ahlbom 1993), utfördes magnetfältsmätningar hos kontrollbarn som bodde inom 300 m från en större kraftledning. Av denna undersökning framgick att 20 procent av barnen exponerades för magnetfält överstigande 0,2 mikrottesla.

I en ny svensk undersökning (Nissen o a 1994) av magnetfält i bostäder, fann man att i Stockholm hade fem procent av bostäderna magnetfält över 0,2 mikrottesla och i Bollnäs fyra procent. I Stockholm har man även mätt magnetfälten i daghem och fann att i 20 procent av daghemmen var flödestätheten över 0,2 mikrottesla (Nissen o a 1994).

Magnetfälten från elektrisk apparatur i bostäder kan ge kortvarig exponering som kan uppgå till höga värden nära apparaten. Redan på mindre än en armlängds avstånd, dvs 30 cm från de flesta apparater i bostäder, är flödestätheten långt under 100 mikrottesla.

I epidemiologiska studier används som exponeringsmått mestadels dygnsmedelvärdet av flödestätheten alternativt tidsintegralen (mikrottesla-år). Det är önskvärt med en bättre kartläggning av exponeringskaraktistiken i både arbetsmiljö och boendemiljö avseende frekvens, transienter (tesla per sekund) och fördelning i tiden. Mätningar bör genomföras med personbundna ”dosimetrar”.

3. Cancer

Innehåll

Humanstudier	49
Introduktion	49
Yrkesrelaterad EMF-exponering	49
Leukemier och lymfom	49
Hjärntumörer	54
Övriga tumörer	55
Kommentarer	56
Bedömning	59
Exponering för EMF i boendemiljö	60
Barncancer	60
Sammanfattning av resultaten	61
Kommentarer	61
Bedömning	62
Bedömning	65
Vuxencancer	65
Exponering från elektriska apparater	66
Experimentella studier	66
Effekter på celler in vitro	67
Djurstudier	69
Brösttumörer hos råtta	69
Hudtumörer hos mus	70
Preneoplastiska leverfoci hos råtta	70
Bedömning	71
Sammanfattande diskussion	73
Kunskapsläget	73
Riskfaktorer utöver EMF för leukemi och hjärntumörer	75
Ekologiska samband mellan elkonsumtion och barnleukemiincidens	77
Betydelse ur individuellt och folkhälsoperspektiv	78
Forskningsbehov	80
Slutsatser	80

Humanstudier

Introduktion

Ett eventuellt samband mellan extremt lågfrekventa elektromagnetiska fält (ELF/EMF) och cancerrisk blev uppmärksammat 1979, då Wertheimer och medarbetare i Denver USA rapporterade en ökad risk för cancer hos barn som bodde nära elektriska högspänningsledningar (Wertheimer och Leeper 1979). Sedan dess har följt ett flertal undersökningar om elektromagnetiska fält (EMF) i boende- respektive yrkesmiljö och dess association till cancerrisk hos barn och vuxna, vad gäller olika cancertyper (huvudsakligen leukemi, lymfom, hjärntumörer och i mindre utsträckning malignt melanom samt manlig och kvinnlig bröstcancer).

Syftet är här att sammanfatta och värdera befintliga data om samband mellan EMF och dessa cancerformer från humanstudier och djurexperiment, att beskriva kontroversiella kunskapsområden och att peka på viktiga frågeställningar för fortsatt forskning. En kritisk tolkning av eventuella risksamband mellan EMF och cancersjukdomar betonas och deras innebörd diskuteras också ur folkhälso-perspektiv.

Dessa epidemiologiska studier har varit föremål för en kritisk granskning och sammanfattande bedömning, av expertpaneler i USA (Oak Ridge Associated Universities Panel, ORAU 1992), Storbritannien (National Radiological Protection Board, Storbritannien=NRPB 1992), Danmark (Sundhetsministeriet, SEIIS, 1993) och Norge (Sosial- och helsedepartementet 1994). Därtill har flera nyligen publicerade översiktsartiklar behandlat ämnet (Bates 1991, Jauchem och Merriitt 1991, Sagan 1992, Savitz 1993, Thommesen och Tynes 1994, Washburn o a 1994).

Ansatsen här är att i ett första avsnitt översiktligt återge, kommentera och kritiskt värdera data från studier publicerade t o m 1991, med utgångspunkt från ett par av de tidigare utgivna sammanfattande rapporterna (NRPB 1992, ORAU 1992). De därefter publicerade studierna kommer att granskas separat, för att bedöma deras bidrag till kunskapsläget.

Yrkesrelaterad EMF-exponering

Leukemier och lymfom

1982 rapporterade Milham en association mellan anställning i ”elektriska yrken” och risk för död i leukemi. Sedan dess har en lång serie studier publicerats.

Studier till och med 1991

Anställda i aluminiumverk, som är exponerade för höga styrkor av *statiska magnetiska fält* (upp till ca 10 mT, under korta perioder ända upp till 50 mT; Thommesen och Bjørseth 1992, citat från Thommesen och Tynes 1994), har i flera studier haft en lätt, men inte statistiskt säkerställd, ökad förekomst leukemier (alla former; Andersen o a 1982, Mur o a 1987). Milham (1985) rapporterade en ökad risk för särskilt akut leukemi. Anställda i kloralkalifabriker, där koksalt elektrolyseras (fältstyrkor på 4–29 mT) till klorgas och natriumhydroxid, hade emellertid inte ökad förekomst av tumörer i lymfatiska/ hematopoetiska organ (Barregård o a 1985, 1990).

Vad gäller övrig *exponering för EMF* finns en lång rad kohort- och fall-kontrollstudier (tabell 1 och 2) av "elektriska yrken" av olika karaktär. Resultaten är varierande. Av studierna skulle flera kunna stödja ett samband mellan leukemi av alla olika typer, akut myeloisk leukemi (AML) och/eller lymfom samt exponering för EMF (Wright o a 1982, Milham 1985, Flodin o a 1986, Milham 1988a,b, Juutilainen o a 1988, Pearce o a 1989, Törnqvist o a 1991), andra har inte noterat ett klart sådant samband (Polednak 1981, Wiklund o a 1981, McDowall 1983, Vågerö och Olin 1983, Blair o a 1985, Olin o a 1985, Törnqvist o a 1986, Gruberan o a 1989, Loomis och Savitz 1990; Simonato o a 1991), medan några är svåra att tolka (Coleman o a 1983, Pearce o a 1985, Robinson o a 1991). NRPB (1992) sammanställde resultaten av dittills publicerade kohortstudier; sammantaget förelåg därvid inte någon förhöjd risk för svetsare, medan en förhöjning av riskestimatet för incidens eller död i leukemi med 15 % fanns i "elektriska och elektroniska yrken"; även fall-kontrollstudier gav visst stöd för en förhöjd risk i den senare kategorin.

Studier efter 1991

Under de senaste åren har det publicerats flera stora studier, i vilka man gjort objektiva mätningar av exponeringen och som omfattat ett stort eller relativt stort antal fall. Eftersom dessa har stor vikt i riskvärderingen kommer de att här relateras tämligen detaljerat. Av praktiska skäl kommer andra tumörtyper än leukemi/lymfom, som studerats i samma undersökning att tas upp här, med hänvisning i respektive avsnitt nedan.

Tynes o a (1992) utgick från yrkesuppgifter i norska folkräkningar 1960. Där fanns 37 947 män med yrken som kunde innebära exponering för EMF. Uppföljning skedde i cancerregistret 1961–85. I hela gruppen var risktalet för olika inte leukemityper inte förhöjda (tabell 4). Män med potentiellt exponerade yrken följdes upp i folkräkningen 1970. Det antogs att de som var ekonomiskt aktiva då innehade samma yrke under mellanperioden. I denna grupp förelåg en ökad risk för leukemi, SMR 1,41 (95 % CI 1,10–1,76). Inom gruppen hade högexponerade för EMF (högspänningselektriker och kraftledningsarbetare) statistiskt säkerställt förhöjt risktal, SMR 1,79 men inte de med intermediär (lok- och spårvägsförare) SMR 1,36 eller svag exponering, SMR 0,92 och 1,10 för grupper utan respektive med samtidig exponering för elektriska fält. Man följde också upp sjukligheten i tumörer i nervsystemet samt malignt melanom, vilka inte visade klar förhöjning (tabell 4). Däremot fanns det i hela materialet en säkerställd ökning av bröstcancer SMR 2,07 (95 % CI 1,07–3,61).

Sahl o a (1993) studerade en kohort om 36 221 män och kvinnor (ca en tiondel) anställda ≥ 1 år 1960–1980 vid ett kraftindustriföretag i Californien. Aktuell exponering för magnetfält mättes med personburen dosimeter under sammanlagt 776 hela arbetsdagar för ett oklart antal arbetare, som utförde arbete, som liknade det som kohorten gjort. De högsta exponeringarna uppmättes för elektriker och maskinister (medelvärden 27 respektive 30 mG, dvs 2,7 respektive 3,0 μ T) samt linjearbetare, reparatörer, operatörer och svetsare (genomsnitt i samtliga grupper över 1 μ T, men med mycket stor variation inom grupperna). Med hjälp av denna information konstruerades en matris som beskriver exponeringsintensiteten i olika yrken.

Man formerade två subkohorter, den ena bestående av arbetare i "elektriska yrken" (operatörer, linjearbetare, elektriker, mekaniker, maskinister, tekniker och svetsare) den andra av övriga, efter det yrke personen, enligt företagets register, haft under sin längsta tid vid företaget. Man insamlade 3 022 dödsbevis för dem som avlidit 1960–1988. De ålderskorrigerade relativa risktalen skiljde

sig inte mellan kohorterna, varken för all cancer (861 fall), leukemi (44 fall; studerades bara totalt), hjärncancer (32 fall) eller lymfom (67 fall). Man skiljde i analysen (av oklar anledning) på aktiva och pensionerade; bland de aktiva var OR för leukemi 1,09 (95 % CI 0,51–2,29), för hjärncancer 1,09 (95 % CI 0,44–2,69) och för lymfom 1,25 (95 % CI 0,68–2,31).

Inom kohorten gjorde man en fall-kontrollstudie av tumörer hos män (tabell 3). För varje fall drogs 10 matchade kontroller. Om exponering definierades som minst 10 års exponering i ”elektriskt yrke” förelåg ingen ökad risk för vare sig leukemi OR 0,91 (CI 0,71–1,17), hjärncancer OR 0,95 (95 % CI 0,69–1,31) eller lymfom OR 0,95 (95 % CI 0,77–1,17).

På basen av varje individs arbetsanamnes kunde kumulativa dosskattningar (exponeringsintensitet multiplicerad med tid) göras för olika tidsperioder före döden. Medianexponeringen var 35 mG-år (3,5 μ T/år). Om gränsen för exponering sattes till medianen förelåg ingen ökad risk för vare sig leukemi OR 1,01 (95 % CI 0,75–1,36), hjärncancer OR 0,95 (CI 0,62–1,47) eller lymfom OR 0,95 (95 % CI 0,69–1,30). Det förelåg inget exponerings-responssamband. Man gjorde ingen korrektion för indirekta samband (confounding). Man provade också olika kombinationer av latenstider (2 eller 5 år före död) och exponeringstidsfönster (10 eller 20 år), utan att detta påverkade utfallet nämnvärt.

Floderus o a (1992 och 1993) utgick från Folk- och bostadräkningen 1980, ur vilken man definierade en studiebas omfattande anställda män i åldern 20–64 år, bosatta i Mellansverige (11 län; halva befolkningen). Fall av leukemi och hjärntumör 1983–87 identifierades i Cancerregistret. Större delen av fallen var döda (66 % av leukemierna och 85 % av hjärntumörerna). Till varje fall valdes ändå två levande kontroller. Studien kom slutligen att omfatta 239 fall av leukemi och 258 hjärntumörer (ca 70 %) och 1 089 kontroller (ca 70 % av urvalet). Fallen och kontrollerna, eller deras anhöriga, tillställdes ett frågeformulär. I detta efterfrågades bl a en arbetsanamnes och vissa uppgifter om möjlig exponering utanför arbetet (vilka dock ännu inte bearbetats).

Individerna hade i genomsnitt haft 2,44 arbetsuppgifter. Med utgångspunkt från den arbetsuppgift individen haft längst tid under de senaste 10 åren före diagnos gjordes personburna mätningar av exponeringen för magnetiska fält under en arbetsdag för sammanlagt 1 050 personer (huvudsakligen kontroller, ofta surrogatpersoner eller surrogatarbetsplatser). Mätningarna har redovisats separat (med vissa kompletteringar; *Floderus o a 1994*). Medianen för dagsmedelvärden var 0,17 μ T (variationsområde 0,015–9,7 μ T). Yrkesgrupper med hög, eller relativt hög, exponering var bl a svetsare, järnvägstjänstemän och elektriker (medelvärde av dagsmedelvärden 1,9, 0,57 respektive 0,40) medan ”telefonarbetare” var relativt lågexponerade (ca 0,2 μ T). Det förelåg en stark snedfördelning, variation inom yrkesgrupper och en över dagen hos enskilda individer (uppmätt maxvärde 1 088 μ T). Gruppernas inbördes förhållanden blev därför starkt beroende av vilket sätt man valde att beskriva mätningarna. En matris upprättades över sambandet mellan yrke och genomsnittet av mätvärdena för de studerade personerna inom olika yrken. I den fortsatta analysen åsattes alla individer i samma yrke genomsnittsvärdet för yrket, oavsett om de varit föremål för mätning eller ej.

Det förelåg ett samband mellan stigande exponeringsintensitet och risk för kronisk lymfatisk leukemi (KLL; 104 fall); i den högsta exponeringsgruppen (90e percentilen: dagsmedelvärde $\geq$ 0,41 μ T) var OR 3,7 (95 % CI 1,8–7,7; tabell 3). Man gjorde en justering för andra tänkbara riskfaktorer, uppgift om vilka man framför allt erhöll genom intervjuer på arbetsplatserna. Exponering för bensen (48 exponerade fall av leukemi eller hjärntumör och 86 kontroller),

joniserande strålning (93 fall och 196 referenter), bekämpningsmedel och organiska lösningsmedel påverkade inte påtagligt relationen, inte heller bostadsort eller rökning; socioekonomiskt status studerades ej. Organiska lösningsmedel (antal exponerade inte redovisat) gav möjligen en effektmodifiering, dvs en av EMF-exponeringen oberoende ökning av risken. Exponering med stora variationer i fältstyrka över dagen var särskilt vanlig bland fall av KLL. Vad gäller AML, akut myeloisk leukemi (87 fall) förelåg ingen till exponering klart associerad överrisk (90:e percentilen: $\geq 0,41 \mu\text{T}$: OR 0,9, 95 % CI 0,4–2,1).

Man fann ett visst samband mellan intensitet av exponering för magnetiska fält under det senaste decenniet samt risk för hjärntumörer, med OR 1,5 (1,0–2,2) i exponeringsintervallet 0,20–0,28 μT (tabell 3). Dock förelåg inget klart exponerings-responssamband, dvs för relativt höga exponeringar $\geq 0,41 \mu\text{T}$ var OR 1,2 (95 % CI 0,7–2,1). Personer ≤ 40 år med hjärntumör hade oftare en exponering $\geq 0,2 \mu\text{T}$, medianen; OR 2,6 (95 % CI 1,3–5,4) 90:e percentilen: $\geq 0,41 \mu\text{T}$: OR 3,9 (95 % CI 1,4–10,7).

Man fann också samband mellan exponeringen bedömd utifrån yrke 1980 (samtliga fall och kontroller, alltså även icke-svarande samt i ovannämnda beräkning uteslutna, döda kontroller) och risk för KLL och hjärntumörer. Därvid var punktestimaten för OR fortfarande förhöjda, men inte signifikant (utom för hög exponering och unga personer med hjärntumör). Författarna påpekar att denna bearbetning visserligen undviker så kallad recall bias, men samtidigt innebär en icke-differentiell missklassificering, som minskar chansen att påvisa ett sant samband.

Thériault o a (1994) utgick från tre kohorter om sammanlagt 223 292 manliga arbetare anställda ≥ 1 år i tre kraftindustriföretag i Frankrike eller Kanada. Bland dessa inträffade 1970–89 sammanlagt 4 151 fall av tumörer (något olika registrerat i olika delar av totalkohorten; i Frankrike bara fall före 60 års ålder). För var och en av dessa valdes fyra (för fall av tumörer med *à priori*-hypoteser: leukemi, hjärntumör, melanom och bröstcancer) eller en (för övriga tumörer) kontroller.

Aktuell exponering för magnetfält mättes med personburen dosimeter under 5 hela arbetsdagar för 2 066 arbetare, som utförde arbete liknande det som kohorten varit utsatt för. De högsta exponeringarna uppmättes för operatörer vid hydroelektriska kraftverk, linjearbetare och kontrollanter (genomsnitt i samtliga fall över 1 μT , men med mycket stor variation mellan mätningar i samma yrke).

Med hjälp av denna information konstruerades en yrke/exponerings-matris. På basen av information om tidigare strömstyrkor och arbetsmetoder gjordes en skattning av historisk exponering i olika yrken tillbaka till 1945. Av 46 utvärderade arbetsuppgifter bedömdes 15 innebära oförändrad intensitet av exponering idag jämfört med 1950, tre lägre (ned till hälften) och 28 högre (upp till en tioudubbling). På basen av varje individs arbetsanamnes kunde kumulativa dosskattningar (i $\mu\text{T}\cdot\text{år}$) göras för olika tidsperioder före insjuknandet. Under i genomsnitt 24,7 års exponering till diagnos (för fallen) var medianexponeringen 0,16 μT (3,1 $\mu\text{T}\cdot\text{år}$).

En total kumulativ exponering med värden över denna median var associerad med en förhöjd risk att insjukna i akut icke-lymfatisk (totalt 60 fall; huvudsakligen AML) leukemi OR 2,41 (95 % CI 1,07–5,44; tabell 3). Det fanns också en förhöjd risk vid en genomsnittsexponering över 0,2 μT (fall exponerade ≥ 10 år). Man prövade effekten av andra tänkbara riskfaktorer. Därvid var socioekonomiskt status (på basen av första yrke) signifikant associerat med tumörrisk, och alla risktal justerades därför med avseende på detta, medan övriga faktorer

(joniserande strålning, bensen, bensin, färg, lösningsmedel; rökning för en av subkohorterna) inte nämnvärt påverkade utfallet. Det fanns dock inget dos-responssamband, och det förelåg en påfallande skillnad i risk då fall och kontroller ur de tre subkohorterna jämfördes separat, OR 0,75–6,24).

För KLL (totalt 41 fall) fanns inget säkerställt samband med kumulativ exponering, OR 1,48 (95 % CI 0,50–4,40). För genomsnittsexponering $\geq 0,2 \mu\text{T}$ var risktalen ungefär lika stor, OR=1,40 (95 % CI 0,52–3,77). Om man såg till kumulativ exponering endast de 20 åren närmast före diagnos förelåg dock en nära signifikant riskökning, OR 4,07 (95 % CI 0,92–18,02).

Exponering över 90:e percentilen (15,7 $\mu\text{T}\cdot\text{år}$) innebar en icke-signifikant riskökning för malign hjärntumör, totalt 108 fall, OR 1,95 (95 % CI 0,76–5,00) justering för joniserande strålning ändrade ej risktalet). För undergruppen astrocytom förelåg en signifikant ökad risk baserad på fem fall, OR 12,29 (95 % CI 1,05–143,5) justerad för effekt av joniserande strålning. Författarna tolkar inte detta som beroende på exponeringen. Det fanns inget samband med exponering för magnetiska fält för 27 andra former av tumörer, inkluderande melanom (justerat för ultraviolett ljus) och manlig bröstcancer.

Samma grupp (Armstrong o a 1994) studerade, på samma material, relationen mellan pulsade EMF och tumörrisker. Det fanns inga samband mellan kumulativ dos och riskestimaten för leukemi, hjärntumörer eller melanom. Emellertid fanns det en relation mellan den kumulativa dosen och risken för lungcancer, med OR 3,11 (95 % CI 1,60–6,04; 83 fall), i den högsta exponeringsgruppen. Justering för rökning och andra potentiella indirekta yrkesmässiga riskfaktorer påverkade inte förhållandet nämnvärt. Författarna är mycket försiktiga i sina slutsatser, eftersom kohorten inte hade någon förhöjd risk för lungcancer jämfört med den allmänna populationen, eftersom risken framför allt fanns i den kanadensiska arbetargruppen (som visserligen var högst exponerad) och eftersom motsvarande samband inte rapporterats tidigare.

Matanoski o a (1993) undersökte manliga arbetare, som under perioden 1975–80 varit anställda vid ett amerikanskt telefonföretag, och som arbetat minst 2 år. Dödsfall identifierades från företagets register över anställda samt pensionärer. 124 leukemifall inkluderades i studien (KLL ingick ej). Dessa användes för en "nested case-control" studie, med tre kontroller per fall. Information om arbetsuppgifter erhöles från företaget. Man gjorde mätningar av aktuell exponering för EMF för 15–61 personer i varje yrkeskategori, samt för 34 individer under fritid. Kabelsplitsare hade en genomsnittsexponering på 0,43 μT (61 mätningar), kontorspersonal 0,25 μT (33 mätningar). På så sätt kunde man bedöma tidsvägd genomsnittlig exponering samt maximala exponeringar. På basen av dessa uppgifter kunde man beräkna en kumulativ exponering för varje individ. Med hjälp av detta index kunde man identifiera "exponerade" (över medianen för alla fall och kontroller). OR för exponering bland leukemifallen var 2,5 (95 % CI 0,7–8,6; tabell 3). Det fanns en viss ökning av OR med stigande exponering, men trenden var inte statistiskt signifikant.

Tynes o a (1994) identifierade 53 fall av leukemi under perioden 1958–90 bland 13 030 manliga, norska järnvägsarbetare, som delvis arbetat på icke elektrifierade banor. Till var och en av dessa drogs ur kohorten 4–5 kontroller (totalt 258). Tjänstgöringsförhållanden erhöles ur företagets register. Det förelåg ingen ökad risk för fallen som någonsin hade arbetat vid elektrifierade linjer OR 0,72 (95 % CI 0,37–1,40; tabell 3).

Utifrån mätningar av EMF (genomsnitt 19,7, variationsområde 0,88–88 μT ; 33 2/3 Hz), relationen mellan EMF och strömflödet, relationen mellan strömflödet och transporterad volym, volymer under olika perioder på olika banor samt

individernas arbetsanamnes, kunde en individuell kumulerad dos beräknas. Det fanns inget samband mellan kumulerad dos och risk (högexponerade, dvs över 90:e percentilen = 1 900–3 600 $\mu\text{T}\cdot\text{år}$: OR 0,84 (95 % CI 0,25–2,80) jämfört med oexponerade; tabell 3). Applicering av latenstid (5 och 15 år) eller exponeringsfönster (5–25 och 2–12 år före diagnos) påverkade inte risktalen. Författarna anger, att analys av olika subtyper av leukemier inte visade associationer. Svetsning förekom bara hos en mindre andel av arbetarna. Justering för potentiellt, indirekt samband rökning påverkade risktalen obetydligt. Exponering för kreosot, organiska lösningsmedel och herbicider, som skulle kunna tänkas orsaka indirekt samband, var inte associerade med ökad risk för leukemi.

På motsvarande sätt identifierades 39 fall av hjärntumör (astrocytom och gliom) och 158 kontroller. Det förelåg ingen ökad risk för fallen att ha någonsin ha arbetat vid elektrifierade linjer, OR 0,82 (95 % CI 0,38–1,78; tabell 3). Det fanns inget samband mellan kumulerad dos och risk, OR 0,97 (95 % CI 0,24–4,01). Författarna säger, att analys av olika subtyper av hjärntumör inte visade associationer. Exponeringar för kreosot, organiska lösningsmedel och herbicider var inte associerade med hjärntumör.

Floderus o a (under tryckning) studerade i Cancer-Miljö-registret järnvägsanställda 1960 med avseende på tumörer 1961–79. Lokförare (exponering: medelvärde 4,0 μT , median 0,58 μT) och konduktörer (0,61 respektive 0,36 μT) hade inte någon förhöjning av risktalet för leukemier av någon typ (tabell 4). Däremot förelåg bland lokförare, under perioden 1961–69 (men inte 1970–79), en förhöjning av KLL, RR 1,9 (95 % CI = 1,0–7,4). För andra tumörer fanns inga säkert förhöjda risktal för hjärntumörer i någon grupp (inklusive järnvägsarbetare) eller under någon period.

För hypofystumörer fanns en signifikant förhöjning i gruppen lokförare och konduktörer 1961–69, RR 3,2 (95 % CI 1,5–7,6), med ungefär lika stor förhöjning bland både lokförare, RR 2,9 (95 % CI 0,9–9,0) och konduktörer, RR 3,3 (95 % CI 1,5–7,6); 1970–79 fanns emellertid ingen förhöjning. Risktalet för bröstcancer var förhöjt 1961–69 hos lokförare, konduktörer (tabell 4) och järnvägsarbetare, men inte 1970–79. Författarna gissar att omorganisation av järnvägsindustrin eller selektion kan vara orsak till tidsdifferenserna.

Tynes o a (under tryckning) gjorde en kohortstudie av tumörsjuklighet 1953–91 hos 5 088 män anställda 1920–91 i åtta företag i den norska vattenkraftindustrin. För varje individ erhöles uppgifter om arbetsuppgifter. Vid två företag gjordes mätningar av EMF vid olika arbetsuppgifter (oklart hur stor mätvolym). ”Typiska” tidsvägda medelvärden under en åttatimmarsdag var 0,2–10 μT . På basen av dessa data bedömdes aktuell och tidigare genomsnittlig exponering i olika arbetsuppgifter. För varje individ beräknades en kumulativ exponering för fälten. Man gjorde också, på basen av arbetsuppgifterna, en bedömning av effekten av de andra potentiella riskfaktorerna lösningsmedel, herbicider, asbest och olja.

Det förelåg inte någon ökad risk för leukemier eller lymfom, och inte något samband mellan den kumulerade dosen och risktalen (tabell 4). Inte heller fanns någon ökad risk för hjärntumörer. Däremot fanns en signifikant ökad risk för malignt melanom i gruppen med den högsta kumulerade exponeringen.

Hjärntumörer

1985 rapporterade Lin o a en ökad förekomst av hjärntumörer bland anställda i ”elektriska yrken”. Sedan dess har en rad studier av samband mellan exponering för ELF/EMF och hjärntumörer publicerats.

Studier publicerade till och med 1991

Anställda i kloralkalifabriker, som var exponerade för starka *statiska magnetiska fält*, uppvisade inte statistiskt säkerställt ökad förekomst av hjärntumörer (Barregård o a 1985 och 1990).

Vad gäller *övrig exponering för EMF* har fem kohortstudier av svetsare publicerats (tabell 1). Sammantaget visar de en viss ökning av risktal (ca 20 %) för hjärntumör (NRBP 1992). I två av studierna finns ett positivt samband mellan lång anställningstid som svetsare och risk (Milham 1988b, Simonato o a 1991, enligt NRPB 1992).

Vad gäller *övrig exponering* finns en lång rad kohort- (tabell 1) och fall-kontrollstudier (tabell 2) av risken i "elektriska yrken" av olika karaktär. Omkring en tredjedel av studierna har visat förhöjda riskestimat (Lin o a 1985, Thomas o a 1987, Loomis och Savitz 1990, Speers o a 1988). NRPB (1992) bedömde att det sammantaget i kohortsstudierna förelåg en ca 8 % ökad RR; fall-kontrollundersökningarna gav ett något starkare belägg för en association jämfört med kohortundersökningarna. I ett par undersökningar finns ett visst samband mellan lång anställning och risk (Thomas o a 1987, Preston-Martin o a 1989).

Mack o a (1991) identifierade genom ett cancerprogram 272 män med primära gliom eller meningiom och drog till var och en av dessa en köns-, ålders- och rasmatchad kontroll i samma kvarter. Information om yrken inhämtades med en intervju.

"Elektriska yrken" var inte vanligare bland fall av meningiom än bland kontroller, OR 0,9 (95 % CI 0,3–2,8), utan samband med anställningstid. Bland alla gliom förelåg ett icke statistiskt säkerställt ökat riskestimat, OR 1,1 (95 % CI 0,6–2,0). Det fanns ingen säkert ökad risk för undergruppen astrocytom totalt, OR 1,5 (95 % CI=0,7–3,2). Emellertid fanns bland personer med mer än 10 års anställning en statistiskt säkerställd riskökning, OR 10,3 (95 % CI 1,3–81; tabell 3). Justering för en lång rad potentiella indirekta risksamband påverkade inte bilden nämnvärt.

Studier efter 1991

De studier som publicerats nyligen, och som innehåller uppgifter om uppmätta exponeringsnivåer (för redogörelse för design, se ovan; Floderus o a 1993, Sahl o a 1993, Thériault o a 1994, tabell 3, Tynes o a 1994, Floderus o a under tryckning, tabell 4) visade i inget fall någon säkerställd association mellan exponering och ökad risk för hjärntumör.

Övriga tumörer

Förhöjd risk för *maligna melanom* förelåg för anställda inom svensk elektronik- (Vågerö och Olin 1983) och telekommunikationsindustri (Vågerö o a 1985) samt hos elektronikingenjörer (Olin o a 1985, tabell 1). En kanadensisk studie har också visat en motsvarande riskökning för melanom bland män i telekommunikationsindustrin (De Guire o a 1988, tabell 1), men inte i en brittisk undersökning av "elektriska yrken" (Magnani o a 1987, tabell 2). I en norsk studie fann man en förhöjd risk bland arbetare i kraftindustri med hög kumulativ exponering (Tynes o a under tryckning; tabell 3), medan ett sådant samband inte fanns i den ovan relaterade fransk-kanadensiska studien (Thériault o a 1994, tabell 4). Vissa hållpunkter för en ökad melanomrisk har också rapporterats för anställda i norsk ferrolegeringsindustri (Langård o a 1990, tabell 1).

I flera studier av *män* i ”elektriska yrken” har rapporterats en förhöjd risk för *bröstcancer* (Demers o a 1991, Matanoski o a 1991, Loomis o a 1992, Tynes o a 1992, Guénel o a 1993), om än inte i alla undersökningar (Rosenbaum o a 1994, Thériault o a 1994, tabellerna 1–4). I den ovan diskuterade svenska studien baserad på Cancer-Miljöregistret fann man en förhöjd risk för manlig bröstcancer under perioden 1961–69 bland järnvägspersonal, men inte 1970–79 (Floderus o a under tryckning; tabell 4).

Kvinnlig bröstcancer har bara undantagsvis studerats. I svenska studier med hjälp av Cancer-Miljöregistret fann man inte belägg för samband med ”elektriska yrken” Vågerö och Olin 1983, Vågerö o a 1985, tabell 1), ej heller i en dansk undersökning med folkräknings- och tumörregisterdata (Guénel o a 1993, tabell 4), medan en amerikansk fall-kontrollstudie av proportionen ”elektriska yrken” angivna på dödsbevis antydde viss förhöjd risk (Loomis o a 1994, Trichopoulos, 1994, tabell 3).

Kommentarer

Som ovan sagts (avsnitt sid 14) kan epidemiologiska studier innebära en rad metodproblem, vad gäller mätning av exponering och sjukdomsutfall samt vad gäller tolkningen av risksamband. Sådana problem kan medföra falska samband mellan exponering och sjukdom, men också dölja sanna samband. Här skall diskuteras några förhållanden som kan påverka möjligheten att dra slutsatser om samband mellan yrkesmässig exponering för EMF och tumörsjukdom.

Exponering

Alla människor exponeras för statiska och varierande EMF t ex i hemmet eller i samband med hobbies. Vissa yrken, arbetsuppgifter och arbetsplatser ger ett klart tillskott av exponering. Förhållandet mellan, och betydelsen av, ”bakgrundsexponering” respektive yrkesmässig exponering är ofullständigt utredda. Få av de publicerade studierna av samband mellan yrkesmässig exponering för fält och cancer har tagit hänsyn till exponeringen utanför arbetsplatsen, vilket leder till en missklassificering vad avser den totala exponeringen. Emellertid skulle detta leda till minskad möjlighet att påvisa ett sant samband på grund av en ”utspädnings effekt”.

Inom vissa verksamheter förekommer exponering som kraftigt överstiger den som individen kan utsättas för utanför arbetsmiljön. I kloralkalifabriker och aluminiumverk förekommer t ex en mycket höggradig exponering för statiska magnetiska fält. Av särskilt intresse i detta sammanhang är arbete i kloralkalifabriker, där man elektrolyserar koksalt till klorgas och natriumhydroxid. Tillgängliga data ger inte säkra hållpunkter för att sådana *statiska* EMF skulle innebära en cancerrisk.

Höggradig exponering för intermittenta och lågfrekventa magnetiska fält förekommer särskilt vid svetsning, inom kraftindustrin (ställverks- och linjearbete), i smältverk och i samband med tåg och järnvägar (banarbetare, lokförare och konduktörer). Givetvis bör studier av grupper i sådana verksamheter tillmätas särskild tyngd vid bedömning av samband mellan exponering för EMF och tumörrisk. Om exponeringen skulle innebära en cancerrisk borde sådana grupper uppvisa klar och konsistent överrisk. Det är svårt att i befintliga studier se tydliga sådana tendenser. Högt exponerade grupper har ibland en lätt till måttligt ökad risk, men oftast är risktalen ej förändrade.

Yrkesverksamheter som elektriker, montering av elektrisk eller elektronisk, eller som telemontör innebär en lägre, och synnerligen varierande exponering. Ofta har man använt yrkesuppgifter som surrogat för en mer precis expone-

ringsinformation. I dessa fall ger emellertid yrkesuppgifter endast en begränsad uppfattning om exponeringens intensitet, duration och frekvens. I flera fall får grupperna närmast betraktas som möjligen exponerade. I många av studierna har man hämtat yrkesuppgifter från en folkräkning. Eftersom informationen om yrket är en punktuppgift i tiden innebär detta givetvis en betydande osäkerhet vad gäller exponeringens duration. På motsvarande sätt har man använt yrkesuppgifter från dödsbevis.

Även exponeringens karaktär kan variera; svetsare och ställverksarbetare är exponerade för fält med frekvensen 50 Hz, lokförare för 16 2/3 och 33 1/3 Hz, radiooperatörer för högfrekventa fält. Det är inte klart om dessa kan jämföras ur risksynpunkt. Även variationer i fältet (på/av) kan variera och skulle kunna tänkas påverka risken, liksom gnistor.

Direkta mätningar av exponering finns endast i få av de relaterade studierna. Även i dessa fall kan invändningar resas mot metodiken för exponeringsregistrering. Mätningar gjordes under en begränsad tidsperiod och då endast på aktuella arbetsuppgifter. Det är därför svårt att avgöra om värdena är representativa för tidigare exponeringsförhållanden. För individer vars arbetsplatser inte blev föremål för mätningar gjordes ofta en bedömning av exponeringsintensiteten från mätningar på liknande arbetsplatser. Detta förfarande innebär givetvis också osäkerheter i exponeringsbedömningen.

Tidsfaktorer

Man brukar i samband med cancerframkallande faktorer skilja på initiatorer, som orsakar de förändringar i arvsmassan som efter en tidsperiod kan leda till cancersjukdom, respektive promotorer, som gynnar utvecklingen av befintliga cancerceller. Initiatorer utövar sin effekt långt före det att tumören blir kliniskt manifest. Promotorer fungerar under hela tumörens utvecklingsprocess. Exponeringens kritiska tidsförhållanden ("tidsfönster") blir därför olika för initiatorer och promotorer. Detta har givetvis stor betydelse för tolkningen av samband med olika typer av exponeringar. I det aktuella materialet finns exempel både på att man valt att inte ta hänsyn till exponeringen under den senaste tiden (latens-tiden; Matanoski o a 1993), eller att man helt koncentrerat sig på de senaste decennierna (Floderus o a 1993, Tynes o a 1994). Detta kan förklara skillnader i utfall mellan studier.

Indirekta samband

Som ovan nämnts (avsnitt sid 14) utgör indirekta samband till följd av andra riskfaktorer ("confounding factors") ett betydande problem i epidemiologiska studier. Aktuella för sambandet mellan exponering för EMF och tumörrisk är faktorer som kan vara statistiskt knutna både till EMF-exponeringen och den studerade tumörformen. Dylika faktorer kan ge upphov till indirekta falska, eller "förväxlade" samband. Personer utsatta för EMF i samband med t ex svetsning är samtidigt exponerade för svetsrök, som kan innehålla väletablerade carcinogener som krom och nickel, termiska nedbrytningsprodukter av ytbeläggingsmaterial (t ex färger) samt organiska lösningsmedel. I andra "elektriska yrken" kan förekomma exponering för t ex polyklorerade bifenyler (PCB), som använts som isoleringsmaterial i kapacitorer och transformatorer, herbicider (ogräsbekämpningsmedel), som använts för bekämpning av sly i kraftledningsgator, kreosot, som använts för impregnering av stolpar, samt joniserande strålning, varav den senare faktorn innebär risk för leukemi (se avsnitt sid 78). Vidare har en del personer i EMF-exponerande yrken (t ex ställverksarbetare och linjereparatörer i kraftindustrin) utomhusarbete, vilket innebär exponering

av huden för ultraviolett ljus, som innebär risk för melanom. Man kan lätt identifiera fler tänkbara indirekta samband för andra typer av ”elektriska yrken”.

Endast i några studier (bl a Floderus o a 1993, Thériault o a 1994, Tynes o a 1994 och under tryckning) har man gjort försök att ta hänsyn till andra riskfaktorer. Man kan sällan vara helt säker på att sådan kontroll är fullständig eller att det inte förekommer andra, okända faktorer, som stör det framräknade sambandet mellan exponering och tumörrisk.

Övriga metodproblem

Bland de utfallsmått som använts finns såväl tumörsjuklighet (-incidens) som -dödlighet (-mortalitet). Detta kan ibland medföra att resultaten inte är fullt jämförbara. Så har t ex KLL ett långvarigt sjukdomsförlopp, som gör att det är mindre chans att demonstrera ett samband i studier av dödlighet än i undersökningar av sjuklighet.

Definitionen av diagnosen för studerade tumörer varierar i olika studier. Det är t ex viktigt att särskilja olika typer av hjärntumörer, som skiljer sig kraftigt åt vad gäller sjukdomsförloppet; meningiom (tumörer i hjärnhinnorna) har en helt annan tumörbiologi än gliom (inkluderande astrocytom; tumörer i själva hjärnvävnaden). En samgruppering av dessa tumörtyper kan snedvrida resultatet: ett sant samband med exponering för en undergrupp kan kamoufleras av en vanlig tumör, som inte orsakas av exponeringen.

Studier av proportionell mortalitet innebär klara problem, eftersom konkurrerande dödsorsaker kan medföra snedvridningar av resultaten. Sådan undersökningar har därför relativt begränsat värde. Därför behandlas sådana studier inte här.

Orsakssamband

Styrkan i ett framräknat risktal är ett viktigt kriterium på att det föreligger ett orsakssamband mellan exponering och sjukdom. Ett annat viktigt indicium är konsistens mellan olika studier och förekomst av samband mellan exponeringens karaktär, intensitet och duration samt tumörrisk. Vidare styrks detta av att det föreligger en biologiskt rimlig förklaring till mekanismen bakom tumörgenereringen.

En rad studier som ej gjort mätningar av fält (utan oftast använt yrkestitlar för ”elektrisk yrken”) har visat ett som regel relativt svagt samband mellan exponering för EMF och leukemi. I flertalet studier är dock antalet fall litet (ofta mindre än 10). Emellertid har man i flera studier inte sett något sådant samband, eller också är resultaten svårtolkade. I de positiva studierna föreligger ingen konsekvent bild av samband mellan exponering och typ av leukemi. Oftast har man sett en förhöjd risk för leukemier totalt eller för akut leukemi, särskilt AML. Emellertid finns i ett par studier en förhöjd risk för KLL. I endast en studie har man sett ett samband mellan exponeringens grad (duration) och riskens storlek. Ett förbryllande faktum är att studier av svetsare inte visat leukemirisk. För andra högexponerade grupper är bilden splittrad.

Av nyligen gjorda stora studier, i vilka man stött sig på mätningar av fält, har de två första inte visat något samband mellan exponering och leukemi totalt hos kraftindustrianställda (Sahl o a 1993, Tynes o a under tryckning), en tredje en måttlig förhöjd risk för akut leukemi (framför allt AML; men ej av leukemi totalt eller KLL) bland kraftindustrianställda, men utan exponerings-respons-samband och med en inre inkonsistens i materialets olika grupper (Thériault o a 1994), en fjärde en måttligt förhöjd risk för KLL (men ej leukemi totalt eller

AML) i den allmänna populationen, med klart exponerings-respons-samband (Floderus o a 1993) och en femte ingen riskökning hos banarbetare (Tynes o a 1994). Det föreligger således bristande överensstämmelse i resultaten. Det är viktigt att åter betona att KLL är en tumör av annan biologisk karaktär än AML.

Det finns också begränsningar i jämförbarheten på grund av studiernas design. Således kan den bristande överensstämmelsen delvis vara skenbar. Sahl o a (1993) studerade döda fall och ger inte data för specifika leukemityper. Floderus o a (1993) Thériault o a (1994) samt Tynes o a (1994) använde leukemisjuklighet, vilket kan vara av särskild betydelse vid studier av KLL, som har en lång överlevnad. Thériault o a (1994) begränsas av att de inte har med alla äldre fall, vilket begränsar möjligheten att dra slutsatser angående en så utpräglad ålderssjukdom som KLL; i deras data finns data som kan tala för en förhöjd risk för KLL. Det bör också påpekas att konfidensintervallen för AML i Floderus o a (1993) studie gör resultaten kompatibla med de som rapporterades av Thériault o a (1994).

Några studier utan mätningar av fält ("elektrisk yrken") har visat ett som regel relativt svagt samband mellan exponering för fält och maligna hjärntumörer. Liksom vad gäller leukemi, är dock i flertalet studier antalet fall litet (ofta mindre än 10). I flera studier, särskilt i de som publicerats under de senaste åren, har man inte kunnat visa något sådant samband. Studier av svetsare, som har en relativt höggradig exponering, har visat en viss förhöjd risk, men inte studier av andra högexponerade grupper.

Av nyligen gjorda stora studier, i vilka man stött sig på mätningar av magnetiska fält, har de två första inte visat något samband mellan exponering och mortalitet i hjärntumör hos kraftindustrianställda (Sahl o a 1993, Tynes o a under tryckning), den tredje en måttlig riskökning för astrocytom bland kraftindustrianställda med hög exponering, men baserat på mycket få fall och med starkt beroende av statistisk analysmetodik (Thériault o a 1994), den fjärde en måttligt förhöjd risk för astrocytom bland exponerade i den allmänna populationen, men utan exponerings-responssamband (Floderus o a 1993) och den femte ingen riskökning hos banarbetare (Tynes o a 1994).

För malignt melanom och bröstcancer (för vilket föreslagits ett mekanistiskt samband med av magnetfält ökad frisättning av östrogen och prolaktin samt hämning av melatonin) har ett fåtal studier visat ett måttligt starkt samband med "elektriska yrken", medan andra inte gett hållpunkter för någon riskförhöjning. Inget klart stöd finns från studier av högexponerade grupper, inte heller belägg för exponerings-responssamband. För övriga tumörer är underlaget för ett samband med exponering för magnetiska fält ännu svagare.

Slutligen bör framhållas, att det finns en risk att det sker en selektiv publicering av resultat, så att de som visar ett samband har en tendens att komma i tryck, medan de som inte visar något samband förblir opublicerade, s k publiceringsbias. En sådan snedvridning har ibland en tendens att förstärkas med tiden, åtminstone initialt. Möjligen skulle detta kunna förklara att bilden av samband mellan exponering och risk haft en tendens att vara relativt tydlig initialt, varefter studier som inte lika klart visat en risk gradvis tillkommit.

Bedömning

Det finns ett relativt stort antal studier av samband mellan yrkesmässig exponering för EMF och risken att insjukna eller dö av leukemi och hjärntumör. En del av dessa visar statistiskt säkerställda associationer, medan andra inte ger belägg för sådana samband. För andra tumörer (framför allt har studerats melanom och bröstcancer) är informationen mer begränsad och bilden otydligare.

På grund av metodologiska problem kan man för närvarande vare sig bekräfta eller motsäga ett orsakssamband mellan EMF och risk för cancer. Avgörande är framför allt de inkonsistenta utfallen i studier av alldeles klart högexponerade grupper (svetsare, linjearbetare, banarbetare och tågpersonal), oklarheter i definitionen av exponering i flertalet studier (oftast "elektriska yrken") samt möjligheten av att samband förklaras av icke kontrollerade riskfaktorer, som kan ge upphov till indirekta, falska risksamband (confounding). De redovisade sambanden är oftast svaga och är därmed känsliga för validitetsproblem. Ett avgörande problem är att det inte finns någon trovärdig biologisk mekanism genom vilken elektromagnetisk strålning kan canceromvanda celler.

Exponering för EMF i boendemiljö

Litteraturen

Under den drygt tio år långa perioden sedan Wertheimer och Leeper (1979) publicerade sitt arbete har flera studier genomförts för att undersöka den framförda hypotesen att lågfrekventa magnetiska fält från elektriska anläggningar i *boendemiljö* ökar risken för vissa cancerformer. Fram till och med 1991 har åtta studier, alla av fall-kontrolltyp (tabell 5a, Wertheimer och Leeper 1979, Fulton o a 1980, Tomenius 1986, Savitz o a 1988, Coleman o a 1989, Lin och Lu 1989, London o a 1991, Myers o a 1991) undersökt samband mellan ELF/EMF-exponering och cancer hos barn, framför allt leukemi och hjärntumörer; och ytterligare fyra studier leukemi hos vuxna (tabell 7, McDowell o a 1986, Severson o a 1988, Coleman o a 1989, Youngson o a 1991).

Under 1993 och 1994 har ytterligare fem originalarbeten om EMF i boendemiljö och cancer publicerats (Feychting och Ahlbom 1993 och 1994, Olsen o a 1993, Savitz och Kaune 1993, Verkasalo o a 1993).

Barncancer

Studier publicerade till och med 1991

Principiella frågeställningar

Av tabellerna 5a–d framgår att det i de åtta fall-kontrollstudierna användes tre principiellt olika mått på exponering för EMF i boendemiljö. Ett sätt är direkta mätningar på den boendeplats som bedöms relevant, dels med s k "spot"-mätning eller mätning av 24 timmars ackumulerad dos. Metoder att direkt mäta kan ha fördelen att de återger verklig exponering (från kraftledningar och andra källor i hemmet), men en nackdel är att mätvärdet kanske inte representerar styrkan av EMF över längre tid på tillförlitligt sätt. Ett annat sätt är att mäta avståndet till en elektrisk anläggning, t ex kraftledning eller kraftstation med högspänning. Måttet är lättillgängligt men kan innebära osäkerhet vid uppskattning av magnetiska fält över en längre tid, på grund av fluktuationer i ledningens belastning, olikheter i ledningstyper etc. Det tredje sättet är att beskriva närhet, typ, mängd och arrangemang av elektriska ledningar ("ledningskonfiguration") och omvandla detta till ett mått på exponering, genom en s k "wire-code" (Wertheimer och Leeper 1979, Savitz 1993). Metoden är komplex och troligen svår att reproducera. Sättet att mäta relevant EMF-exponering är i den aktuella litteraturen en kontroversiell fråga, som förefaller ha betydelse för tolkning av de olika resultaten.

En annan principiellt viktig fråga är vid vilken tid och plats, i förhållande till diagnostillfället för cancer som exponeringsmätningen görs. Om EMF påverkar cancerrisk genom initiering eller promotion torde det finnas olika kritiska "exponeringsfönster" och nödvändiga tidsperioder för att en biologisk effekt ska komma till stånd. I de flesta studierna definieras exponeringen för den boendeplats som gällde vid tidpunkten för diagnos hos fallen (och indexdatum för kontrollerna). Få av studierna har tagit hänsyn till den *kumulerade* exponeringen vid samtliga tidigare boendeplatser. En felkälla kan uppstå också om fall och kontroller har tillbringat olika tid i de boendemiljöer där de aktuella EMF-värdena uppmätts.

När det gäller barncancer har intresset främst inriktats på leukemi, lymfom och hjärntumörer, sjukdomar som var för sig absolut sett förekommer i mycket låg frekvens bland barn. De redovisade sambanden är ofta "alla typer av cancer", där en stor andel av fallen utgör en blandning av olika tumörtyper. Då specifika tumörtyper sannolikt har skilda patogenetiska bakgrunder är tolkningen av samband för en ospecifik samling av tumörtyper svårtillgänglig.

Sammanfattning av resultaten

Som framgår av tabell 5b–d varierar resultaten för de olika tumörtyperna, förutom mellan studierna också internt, beroende på sättet att definiera exponeringen för EMF i boendemiljö. I sammanställningen visas också sammanvägda risktal från flera undersökningar ("pooled estimates") som beräknats för att åstadkomma större material och därmed minska slumpeffekterna (NRPB 1992).

Tre studier (Tomenius 1986, Savitz o a 1988, London o a 1991) rapporterar resultat för *uppmätt exponering* (tabell 5b). För både leukemi och hjärntumörer är resultaten från olika studier motsägelsefulla. Till exempel anger den svenska studien av Tomenius (1986) ett inverst förhållande för leukemi medan de två andra studierna ger belägg för en överrisk. Inget av de sammanfattande risktalen var statistiskt säkerställt, förutom för det alla cancertyper tillsammans, OR 1,82 (95 % CI 1,09–3,04).

Fyra undersökningar (Tomenius 1986, Coleman o a 1989, Lin och Lu 1989, Myers o a 1990) analyserade tumörrisk i förhållande till *avstånd* mellan bostad och elektrisk anläggning (tabell 5c). Tomenius (1986) fann en ökad risk för hjärntumör som hade sin bostad nära kraftledningen, ett fynd som baserades på endast nio fall. Belägg för samband mellan leukemi eller andra tumörsjukdomar var svagt, utan signifikant förhöjning av det sammanvägda risktalet.

I fyra studier (tabell 5d, Wertheimer och Leeper 1979, Fulton o a 1980, Savitz o a 1988, London o a 1991) indelas EMF-exponering i låg respektive hög grupp från kartläggning av ledningskonfigurationen ("wire code"). Positiva risksamband var samstämmiga för leukemi i tre av fyra undersökningar och för hjärntumörer i de två undersökningarna, inklusive originalstudien av Wertheimer. Det sammanvägda riskestimatet för leukemi var signifikant förhöjt, OR 1.39 (95 % CI 1,08–1,78).

Kommentarer

För barncancer är resultaten ovan motsägelsefulla. Endast två av de sammanvägda risktalen var signifikant förhöjda, för leukemi respektive hjärntumör och då exponering uppskattats från ledningskonfiguration. Övriga risktal varierar oregelmässigt och är inte förändrade mer än som kan förklaras av slumpeffekter. Orsaker till de skilda resultaten för olika definitioner av exponering kan diskuteras. En möjlighet är att ledningskonfiguration bäst mäter en relevant expone-

ring, och att det finns ett biologiskt samband mellan EMF och barnleukemi. Alternativt betingas fynden av validitetproblem, eller slump effekter. En kritiskt granskning av validitetsaspekter är därför angelägen.

Möjliga validitetsproblem i de tre tyngst vägande av Tomenius (1986), Savitz (1988) och London (1991) har diskuterats (NRPB 1992, ORAU 1992). I Tomenius (1986) undersökning kartlades exponering i bostaden vid diagnostillfället. Fallen hade haft ett större antal olika bostäder än kontrollerna, vilket kan spegla skillnader i exponering som inte kunnat mätas. Observatören, som själv genom stegning mätt avståndet från bostaden till kraftledningen, var medveten om fall- och kontrollstatus, och därför finns möjlighet för påverkan på mätresultaten. Savitz (1988) studieuppläggning kan ge upphov till validitetsproblem. Vid datainsamlingen med intervjuer (70 % av fallen) eller mätningar (endast 36 %) var bortfallet stort, något som kan leda till selektionsproblem. Kontroller rekryterades med slumpmässig uppringning (s k random digit-dialing), vilket kan medföra att personer med låg socioekonomisk status, och troligen högre exponering för EMF, blir underrepresenterade på grund av oproportionellt stort bortfall. Dessutom hade fallen flyttat mer än kontrollerna, vilket kan göra det svårt att bedöma kontrollgruppens representativitet. Brister som uppmärksammas i undersökningar av London rör bland annat valet av kontroller som delvis skett genom slumpmässig uppringning. Exponeringen definierades från bostaden för det längsta boendet, en komplex indelning som visat olika boendestabilitet bland fall och kontroller. Ett signifikant risksamband med högexponering bedömd utifrån ledningskonfiguration försvann efter att det i analyserna justerats för vissa riskfaktorer.

För alla studierna gäller att enskilda förändrade risktal är endast måttligt förhöjda. Validitetsproblem kan då vara särskilt utslagsgivande och till en stor del förklara de rapporterade risksambanden. För denna möjlighet talar att riskfaktorer för leukemi och hjärntumörer hos barn är dåligt kända och att de därmed är svåra att beakta när man i analysen vill kontrollera eventuella indirekta samband.

Bedömning

En samlad bedömning av dessa epidemiologiska data om samband mellan EMF i boendemiljö och cancerrisk hos barn visar att kunskapsläget är osäkert. Enstaka positiva samband med måttligt förhöjda risktal kan bero på identifierade metodologiska brister i enskilda studier.

De genomgångna resultaten från studier t o m 1991 ger således inget övertygande belägg för att EMF i boendemiljö påverkar risken för cancer i allmänhet, eller den för leukemi eller hjärntumör hos barn. Osäkerheten vad gäller till exempel val av relevant exponeringsmått och effekten av validitetsproblem innebär att ett orsakssamband inte heller kan uteslutas på basen av dessa data. Resultat av efterkommande studier och efter utvecklad och förbättrad metodologi får därför tillmätas stor betydelse.

Studier publicerade efter 1991

Inte mindre än fyra studier (tabell 6a,b) har presenterats efter de nyligen omfattande utvärderingarna av tidigare data om EMF och barncancerrisk (Savitz och Kaune 1993, Feychting och Ahlbom 1993, Olsen o a 1993, Verkasalo o a 1993). Ger de nya arbetena underlag att revidera bedömningarna i föregående avsnitt?

En reanalys

Den amerikanska rapporten av Savitz och Kaune (1993) är en reanalys av ett tidigare material, nu med en modifierad algoritm för att definiera EMF-exponering från ledningskonfiguration. Författarna finner att ett starkare dos-respons samband för leukemi framträtt och ett tidigare ej funnet positivt samband för hjärntumörer (tabell 6). Dessa nya fynd tillskrivs en mera precis och valid metod att klassificera relevant exponering. Bias till följd av selektion vid kontrollval kan dock ha påverkat sambandet i riskhöjande riktning, liksom i det tidigare originalarbetet.

De nordiska studierna

Störst betydelse har de tre nya skandinaviska studierna av Feychting och Ahlbom (Sverige), Olsen o a (Danmark) och Verkasalo o a (Finland), samtliga arbeten publicerade oktober 1993 (tabell 6). Gemensamt är att de är nationella och populationsbaserade samt att de utnyttjar tillgången på register och registerkopplingar. Utmärkande är också deras strävan att utveckla nya metoder för beräkning av magnetfält och kumulativ exponering över tiden. De fokuserar på hypoteser om samband mellan EMF i boendemiljö och leukemi, lymfom och hjärntumörer hos barn.

Den svenska studien av Feychting och Ahlbom (1993) utgår från en studiebas om ca 130 000 barn, 0–14 år gamla, som under en 30-årsperiod från 1960-talet någon gång bott i en korridor definierad av avståndet 300 meter från högspänningsledning. Kohortmedlemmarna ur studiebasen följdes upp i Cancerregistret och totalt identifierades 140 barn med cancer; 39 fall med leukemi; 33 CNS-tumör, 19 lymfom, 10 njurcancer, 41 övriga. Studieuppläggningsen innebar att en fall-kontrollstudie gjordes inom kohorten, genom att matcha ett nära fyrdubbel antal kontroller ur studiebasen till fallen. Måttet på exponering beräknades utifrån närhet till kraftledning och historisk information om ledningens belastning vid olika tidpunkter. EMF-exponering beräknades för den boendeplats där fallet (och kontrollen) hade vistats under året närmast före diagnos. Dessutom analyserades utfall i förhållande till uppmätta magnetfält i bostaden samt avstånd mellan bostad och kraftkälla. De beräknade värdena bedömdes dock bäst spegla den sanna exponeringen, dels utifrån deras goda överensstämmelse med samtidigt uppmätta värden, och dels då de ansågs bättre återge den relevanta exponeringen under en längre tidsperiod. Huvudfyndet (tabell 6) var ett positivt dos-responsmönster för leukemi, med en ca trefaldig ökning av risken för exponeringsdos överstigande 0,2–0,3 μT . För CNS-tumörer eller sammantagna barntumörer förelåg inte något samband. Risksamband för leukemi var något överraskande begränsat till individer med boende i enfamiljshus. Justering för vissa riskfaktorer ändrade inte storleken på risksambanden.

Verkasalo o a (1993) genomförde en liknande undersökning i en studiebas från hela Finland, med ca 135 000 barn 0–19 år gamla som bott 500 meter från kraftledningar under 1980-talet. EMF-exponering beräknades för bostaden som innehades vid tidpunkten för diagnos, enligt bl a medelflöde av ström i kraftledningen och bostadens avstånd från denna. Förutom statisk fältstyrka uttrycktes också kumulerad exponering över tid (μT -månader). Uppföljning i finska Cancerregistret t o m 1989 resulterade i 140 observerade barncancerfall mot 145 förväntade, utifrån nationella incidensrater. Riskmått uttrycktes som standardiserade incidensrater (SIR) och beräknades för de olika cancerformerna för pojkar och flickor separat. Som enda positiva samband noterades en fyra gånger ökad risk för CNS-tumörer hos pojkar som exponerats för EMF i en dos $\geq 0,40$

μT (7 fall; tabell 6). Emellertid försvann detta positiva risksamband om ett fall med multipla tumörer uteslöts. För leukemi, lymfom eller andra tumörer tillsammans återfanns inget samband. Författarna fann inte att dessa data ger belägg för att EMF inverkar på cancerrisk hos barn.

Den danska helt registerbaserade undersökningen av Olsen o a (1993) redovisar en jämförelse mellan över 1 700 fall av barn med leukemi, CNS-tumörer eller lymfom och nästan 5 000 slumpmässigt utvalda kontroller från populationen. Exponering för EMF kartlades utifrån bostadens närhet till kraftledning (kartlagd från bostads- och adressregister) och medelflöde i ledningen under ett års tid. Även längd av boende i den exponerade bostaden från diagnostillfälle och bakåt i tiden t o m 9 månader före födelsen beräknades. I analyserna togs hänsyn till familjens socioekonomiska tillstånd och flyttningsbenägenhet. Den känsligaste brytpunkten för dosnivå vad gäller sambandet med barncancer räknades ut och befanns vara 0,3–0,4 μT . För leukemi, lymfom och CNS-tumör var riskestimaten förhöjda vid dosnivåer $\geq 0,4 \mu\text{T}$, dock ej signifikant (tabell 6). Då alla tumörer slogs samman sågs för den högre dosnivån ett signifikant ökat risktal. Den kumulativa dosen ($\mu\text{T}\cdot\text{år}$) var högre för fallen än för kontrollerna, dock inte signifikant.

En metaanalys

Tretton epidemiologiska studier, publicerade tom 1993, lades i en rapport av Washburn o a (1994) till grund för en metaanalys, i vilken medelvärden för för det uppskattade riskestimatet sammanvägdes. I huvudanalyserna användes ett mått på exponering från varje studie, om flera var tillgängliga i prioritetsordningen: Avstånd till kraftledning, ledningskonfiguration och uppmätta EMF-värden. Gruppen med ”hög exponering” definieras för respektive valt exponeringsmått. Även om heterogenitet förelåg i resultaten mellan de ingående studierna fanns inte något signifikant samband mellan indikatorer för studiekvalitet och resultaten. De framräknade risktalen för barncancer i samband med ”hög exponering” var: Leukemi (13 studier): RR 1,49 (95 % CI 1,11–2,00); lymfom (5 studier): RR 1,58 (95 % CI 0,91–2,76); CNS-tumörer (7 studier): RR 1,89 (95 % CI 1,34–2,67).

Bruk av metaanalysteknik för att sammanställa resultat från epidemiologiska studier är kontroversiell. Huvudskälet är att olikheter i resultat mellan studier inte bara speglar variation till följd av slumpeffekter utan också verkliga skillnader i bakomliggande förutsättningar. Exempelvis kan det finnas skillnader i mottagligheten för exponeringars verkan hos de individer som inkluderats i studien, i definitionen av studerade sjukdomar, indelningen av exponeringsmått etc. Sammanläggning av sinsemellan oförenliga data kan därför ge vilseledande resultat. Den första och viktigaste ansatsen vid tolkningen av epidemiologiska data torde därför vara att kritiskt utvärdera den information som varje enskild studie ger.

Författarna tolkar resultaten med viss försiktighet. Å ena sidan ansågs risktalen kunna vara underskattade på grund av oberoende felklassifikation av EMF-exponeringen. Å andra sidan finns möjligheten att fynden förklaras till en del av metodfel i studierna, dvs selektions-bias eller confounding. Nya studier med förbättrad metodik, främst vad gäller exponeringsmätning och med justering för andra riskfaktorer, efterlystes.

Bedömning

Av de skandinaviska undersökningarna ger den svenska belägg för en ökad risk för barnleukemi, möjligen med visst stöd i den danska (tabell 6). I ett brev till Lancet november 1993 (Ahlbom o a 1993) redovisades från de tre skandinaviska studierna en samfällad analys (metaanalys) med viktade medeltal av relativ risk, för leukemi, CNS-tumörer och lymfom, i förhållande till dosnivån $\geq 0,2 \mu\text{T}$. Grundat på 13 fall av leukemi (huvudsakligen från den svenska studien) noterades en signifikant ökad risk, RR 2,1 (95% CI 1,1–4,1).

Jämfört med de tidigare publicerade data föreligger både motsägelser och likheter vad gäller samband mellan EMF och leukemirisk. Den senaste svenska studien visar resultat som är motsatta de som rapporterats i den tidigare svenska studien av Tomenius (1986, tabell 5b), vad gäller både risk för leukemi och CNS-tumörer. Dock visar fyra tidigare undersökningar som klassat EMF-dos från "wire codes" (Wertheimer och Leeper 1979, Savitz o a 1988, London o a 1991, tabell 5d) överensstämmelse, med en förhöjd leukemirisk hos barn med hög exponering. Feychting och Ahlbom argumenterar att "wire codes" återspeglar tidigare EMF-exponering bättre än direkt mätning eller avstånd och vidare att deras egen metod med beräknade historiska fält också ger en valid uppskattning av exponering (Ahlbom o a 1993).

De nya svenska data kan anses ge ökat belägg för ett samband mellan EMF och ökad risk för barnleukemi. Den amerikanska expertpanelen (ORAU) – som 1992 fann att publicerade data om EMF i boendemiljö och sambandet med cancer i barndom och hos vuxna var motsägande och inkonklusiva – granskade resultaten i den svenska studien (ORAU 1993). Panelen fann att de nya data inte var tillräckligt övertygande för att ändra tidigare slutsatser. Bland skälen till slutsatsen nämndes diskrepanser i publicerade resultat i de svenska undersökningarna av Tomenius och Feychting & Ahlbom vad gäller barnleukemirisk. Dessutom betonades att frånvaron av samband för uppmätt EMF-dos och i förhållande till duration av EMF-exponering var förbryllande. En extern jämförelse med det förväntade utfallet av antalet fall av leukemi i studiebasen (utifrån populationsrater) efterlystes, för att ge möjlighet att bedöma den externa validiteten av resultaten.

De nya nordiska data har givit ytterligare belägg för ett positivt risksamband mellan EMF i boendemiljö och en ökad risk för leukemi hos barn. Dessa data till trots torde man ej heller nu kunna vare sig bekräfta eller motsäga ett orsakssamband mellan EMF och leukemirisk. Till dilemmat hör osäkerheten i tolkningen av resultat som bygger på olika definition av exponering. Dessutom är de redovisade sambanden svaga och därmed känsliga för validitetsproblem. Exempelvis kan indirekta samband påverka resultaten, genom faktorer som förblivit okända eller inte kunnat mätas i de olika studierna. En avgörande svårighet vid tolkning är att det ännu inte uppenbarats någon trovärdig biologisk mekanism genom vilken elektromagnetisk strålning kan leda till cellers canceromvandling.

Vuxencancer

En eventuell koppling mellan exponering för EMF i boendemiljö och leukemirisk hos vuxna har undersökts i tre fall-kontrollstudier (Sewerson o a 1988, Coleman o a 1989, Youngson o a 1991) och en kohortstudie (McDowell 1983, tabell 7). Ingen av undersökningarna fann en statistiskt säkerställd ändring av risken att utveckla eller dö av leukemi, i samband med EMF som mätts på olika sätt.

I en nyligen publicerad studie (Feychting och Ahlbom 1994) rapporterades – från en fall-kontrollstudie inom en studiebas omfattande över 300 000 individer från 16 års ålder, som bott minst 1 år 300 m eller närmare från en kraftledning i Sverige – associationer mellan EMF samt risker för leukemi och tumörer i centrala nervsystemet. Ett positivt risksamband fanns för AML och KML, särskilt vid hög kumulerad exponering (OR=2,3 respektive 2,1). I dessa grupper var antalet fall små och riskestimaten var ej statistiskt säkerställda. En svaghet i denna, och tidigare studier, är avsaknad av information om den totala exponeringen, även den som kan finnas i t ex yrkeslivet. Vidare kunde man endast inkludera ålder, kön, storstadsboende och socioekonomiskt index för att justera indirekta samband.

Kunskapsläget vad gäller boendemiljö och cancerrisk hos vuxna synes fortfarande motsägelsefullt och osäkert.

Exponering från elektriska apparater

Hemmiljön kan innebära en omfattande och varierande exponering för EMF, från olika typer av elektrisk utrustning. Effekten av sådana fält i hemmet har studerats endast i ringa omfattning, och då huvudsakligen för elektriska värmefiltar.

Fyra studier har rapporterat om samband mellan elektriska värmefiltar och olika cancerformer hos vuxna: Leukemi (akut non-lymfatisk eller kronisk myeloid; Preston-Martin o a 1988, Sewerson o a 1988), testiscancer (Savitz o a 1990) och manlig bröstcancer (Vena o a 1990), tre studier om EMF-exponering i boendemiljö och bröstcancer hos kvinnor (McDowall 1983, Vena o a 1990, Schreiber o a 1993) samt två studier om alla typer av cancer tillsammans, respektive leukemi hos barn, efter både intrauterin och postnatal exponering (Coleman o a 1989, Verreault o a 1990, Schreiber o a 1993).

Sammanfattningsvis noterades inte något fall belägg för en förändrad risk för dessa typer av cancer hos vuxna. En studie gav visst belägg att exponering från värmefilt i första trimestern av graviditeten var förknippad med en ökad risk för hjärntumör hos barnet (Schreiber o a 1993). Tolkningen av resultaten begränsas av att styrkan av magnetfälten inte uppmäts och en möjlig bias vid urvalet av kontroller i vissa studier.

Från en fall-kontrollstudie rapporterades nyligen preliminära resultat om samband mellan ”exponering” för elektriska hushållsapparater och risken för leukemi i vuxen ålder (Lovely o a 1994). Bland 32 olika apparater noterades ett positivt risksamband endast för ”massage units”. Resultaten, som baseras på endast 114 fall måste överlag tolkas med stor försiktighet.

Experimentella studier

Cancer är en genetisk sjukdom på cellnivå. En tumör utvecklas från en enskild cell som på något sätt frigör sig från den mycket stränga kontroll som celledelning och celltillväxt normalt är underkastad. Genom en serie celledelningar och stegvisa förändringar uppkommer en malign tumör av celler som har förlorat tillväxtkontroll och förvärvat förmåga att infiltrera omgivande vävnad. Detta sker i flera steg och kan ta lång tid. Processen kan börja med att det inträffar skador i cellens arvsmassa (DNA), vilka leder till permanenta förändringar

(mutationer) i kritiska gener för viktiga kontrollfunktioner, med störningar av celltillväxt och celledelning som följd.

I normala celler finns flera olika mekanismer som skyddar arvsmassan från skada och strävar efter att bevara DNA strukturen intakt, t ex radikalfångare och DNA-reparationsmekanismer. Speciella ytreceptorer och signaltransportvägar ser till att celler svarar adekvat på yttre stimuli och kommunicerar på ett korrekt sätt med omgivande celler i syfte att minimera effekter av skadlig påverkan. En del omgivningsfaktorer kan ta sig förbi dessa skyddsbarriärer på olika sätt, tränga in i cellkärnan och ge upphov till bestående DNA-skador och mutationer, t ex vissa kemiska ämnen samt ultraviolett och joniserande strålning. Flera av dessa så kallade genotoxiska omgivningsfaktorer är cancerframkallande.

Övertygande resultat från såväl cell- och djurstudier som epidemiologiska undersökningar tyder på att även faktorer som inte är genotoxiska kan påverka och stimulera cancerutveckling. Sådana icke-genotoxiska faktorer fungerar i djurförsök som cancerpromotorer, dvs de stimulerar cancerutveckling utan att själva kunna starta processen. Vissa hormoner och infektioner anses kunna fungera enligt dessa principer. Mekanismerna för cancerpromotion är inte kända, men flera möjligheter har föreslagits. Faktorer som stimulerar celledelnings-hastigheten i en vävnad anses kunna öka cancerrisken, liksom förlust av kommunikation mellan celler i en vävnad, eller störningar av cellers uttryck av vissa gener.

För att studera den eventuella roll som enskilda kemiska och fysikaliska omgivningsfaktorer kan ha vid utveckling av cancer har man utvecklat en rad olika experimentella försöksmodeller. Odlade däggdjursceller, så kallade in vitro-system, och försöksdjur, vanligen mus och råttor, används i väl beprövade testsystem för att analysera genotoxicitet, promotionseffekter och cancerframkallande förmåga.

Effekter på celler in vitro

Genotoxiska effekter. Ett stort antal försök har utförts i syfte att påvisa direkt genotoxisk effekt av EMF-exposition, såväl på bakterier och celler i provrörsförsök som på försöksdjur och yrkesexponerade människor. De flesta av de specifika effekter, t ex DNA-skada, kromosomförändringar och genmutationer, som vanligen studeras för att utröna genotoxisk effekt av kemiska ämnen och strålning har undersökts. Med få undantag har dessa undersökningar inte visat någon övertygande, reproducerbar effekt av EMF-exposition (Murphy o a 1993). Undantagen är episodiska, och redovisar som regel marginella effekter på frekvensen kromatidbrott i cellförsök och i lymfocyter från yrkesexponerade människor.

Effekter på biosyntes av cellulära makromolekyler: Effekter på DNA transkription, RNA och proteinsyntes, samt på genexpression (t ex Greene o a 1993) har påvisats i flera modellsystem och av flera forskargrupper oberoende av varandra. Kvantitativa och kvalitativa skillnader i effekt har påvisats mellan EMF med olika vågform, frekvens och styrka. Särskilt anmärkningsvärda är de effekter på gentranskription och bildningen av proteinkinaser och ornitindekarboxylas som rapporterats av flera forskargrupper (referenser i Cleary 1993). Fynden tyder på att EMF på något sätt kan påverka basala cellgenetiska funktioner. Mekanismen bakom dessa effekter är inte känd.

Membranpermabilitet och calciumjonbalans: Flera forskargrupper har rapporterat effekter av lågfrekventa EMF på cellmembranens genomsläpplighet

för calciumjoner (se referenser i Cleary 1993). Dessa försök antyder förekomsten av en känslighet för EMF av extremt låg intensitet och med en hög specificitet vad gäller frekvens och vågform, "frekvensfönster". Sedvanliga toxikologiska och farmakologiska dos-effektsamband tycks inte gälla i dessa fall. Det har föreslagits att effekterna beror på magnetresonansliknande mekanismer som förmår omvandla EM-energi till fysikalisk-kemiska förändringar som leder till ökad genomsläpplighet för joner i spiralformade membrankanaler. Någon säker pato-fysiologisk betydelse av dessa EMF-inducerade förändringar av jonbalansen över cellmembraner har inte påvisats.

Cell proliferation: Intresset för effekter av EMF på celldelningshastighet i olika vävnader har stimulerats av den kliniska användningen av EMF för behandling av vissa bindvävssjukdomar och benläkning. Experimentella undersökningar av olika celltyper i provrörsförsök har påvisat effekter av lågfrekventa (LF) EMF på celldelningshastighet, klonal tillväxtförmåga, cellers uttryck av diverse cellytereceptorer, t.ex. transferrin, och på kommunikationen mellan celler (se översikt i Cleary 1993). Förekomst och reproducerbarhet av dessa effekter tycks bero på dels EMF-expositionens duration och intensitet, dels en rad olika och ofta svårkontrollerade intra- och extracellulära faktorer såsom cellkulturens ålder, mitosfrekvens, koncentrationen av Ca^{2+} extracellulärt och i serum, celltätheten etc. Mekanismerna bakom dessa effekter är inte klarlagda.

Signaltransduktion är en term som inbegriper många olika former av biologisk signaltransport från cellers ytreceptorer, via cellplasma till cellkärnan, där signalen förmedlar instruktioner för DNA-syntes, genuttryck, samt RNA och proteinsyntes. För att upprätthålla intercellulär kommunikation och enskilda cellers normala funktioner krävs en finstämd och kontinuerligt reglerad balans mellan flera olika signaler som opererar via ett nätverk av signaltransportvägar. Många av de genetiska förändringar som förknippas med cancerutveckling har visat sig drabba gener som är inbegripna i signaltransduktion. Detta gäller såväl onkogener som tumörsuppressorgener.

EMF har visats kunna påverka flera olika steg i några av dessa signaltransduktionsvägar. Effekterna är i allmänhet svaga, vilket inte är förvånande med tanke på den komplexa samverkan mellan olika faktorer som karaktäriserar dessa system. En av de mera intressanta försökssystemen inom detta område rör förändringar av den intracellulära Ca^{2+} -koncentrationen, som kan mätas med mycket specifika och känsliga metoder. Det har visats att exposition för lågfrekventa EMF av specifik frekvens och fältstyrka kan framkalla omedelbara oscillatoriska öknings av intracellulär Ca^{2+} koncentration i vissa celltyper (Lindström o a 1993 och 1994). Ca^{2+} joner fungerar som sekundär messenger i flera olika signaltransduktionsvägar, och förmedlar signaler mellan membranreceptorer och nedströms befintliga effektormolekyler. Undersökningar av detta slag kan utföras så att tidiga och sena händelser i signalöverföringen kan särskiljas, och de bakomliggande molekyllära mekanismerna belysas.

Effekter på immunologiska funktioner: Immunsystemet har viktiga roller i organismens skyddsfunktioner mot främmande celler och tumörceller. Flera olika celltyper, bl.a. lymfocyter, och signalsubstanser, t.ex. interleukiner, medverkar i detta system. Resultat som tyder på möjligheten att exposition för EMF skulle kunna påverka lymfocytens differentiering och celldelning samt produktionen av immunoglobuliner och cellsvaret på interleukinstimulering har redovisats (se referenser i Anderson 1993, Saunders o a 1991).

Andra undersökningar av cellöverlevnad och cellers tillväxt och delningsförmåga har inte kunnat påvisa effekter av exposition för EMF.

Djurstudier

Brösttumörer hos råtta

Beniashvili o a (1991) undersökte frekvensen brösttumörer hos råttor som exponerats för LF/EMF under ca. 60–150 dagar med och utan föregående behandling med nitrosometylurea (NMU), ett välkänt cancerframkallande ämne. Vid den kombinerade behandlingen startade EMF-expositionen 2 dagar efter intravenös injektion av NMU. Den totala observationstiden var 2 år. De experimentella betingelserna liksom detaljuppgifter beträffande expositionen är ofullständiga i detta arbete. Inga tumörer påträffades i kontrollgruppen. Djurgrupperna som exponerats för EMF utan föregående NMU-behandling, visade en låg tumörfrekvens, med tendens till högre värden i den grupp som utsatts för alternerande fält under 3 timmar per dag, jämfört med statistiskt fält. En statistiskt säkerställd ($p < 0,05$) förhöjd frekvens brösttumörer noteras i de två grupper som förbehandlats med NMU och därefter utsatts för EMF under tre timmar per dag, jämfört med den grupp som enbart NMU-behandlats (tabell 2). Ökningen var mest markant i gruppen som utsatts för alternerande fält under tre timmar per dag. I grupperna som fått kombinationsbehandling uppträdde tumörerna tidigare jämfört med gruppen som fått enbart NMU, och merparten utgjordes av adenocarcinom medan fördelningen adenocarcinom/-fibroadenom var ungefär lika i NMU-gruppen.

Författarna konkluderar att såväl lågfrekventa som statiska EMF kan öka frekvensen och minska latenstiden för NMU-inducerad bröstcancer hos råtta, samt att effekten är dosberoende och kraftigare för lågfrekventa EMF jämfört med statiska EMF.

De resultat och slutsatser som redovisas i detta arbete måste bedömas med stor försiktighet, på grund av de uppenbara bristerna i fråga om metodik och rapportering.

Mevisen o a (1993) undersökte effekten av EMF på DMBA-inducerade brösttumörer hos Spague-Dawley råttor. 52 dagar gamla honråttor gavs 5 mg DMBA oralt per vecka i fyra veckor, vilket gav brösttumörer hos 50–70 % av djuren inom observationstiden 13 veckor. Brösttumörfrekvensen hos obehandlade djur är mycket låg i denna djurstam. EMF-expositionen startade efter första DMBA-behandlingen, och pågick dygnet om i 13 veckor. Fyra experiment genomfördes (tabell 8).

I experiment I sågs ingen ökning av tumörfrekvensen, men tumörvikten var signifikant förhöjd i den DC-EMF-exponerade gruppen jämfört med de "sham"-gruppen. De "sham"-exponerade djuren förvarades utanför EM-fältet i samma rum som de exponerade djuren. Inga skillnader noterades jämfört med referenskontrollerna, som förvarades i annat rum. I experiment II sågs en 40 % ökning av tumörfrekvensen i den grupp som exponerats för alternerande (AC) EMF, men skillnaden gentemot kontrollgrupperna var inte statistiskt signifikant. Även tumörvikten var högre i den exponerade gruppen, men inte heller denna skillnad var statistiskt signifikant. Däremot var antalet tumörer per tumörbärande djur signifikant förhöjt jämfört med referenskontrollerna. Noteras kan, att i detta experiment är "sham"-kontrollerna utsatta för ett eliptiskt EMF på ca 20–40 μ T. Ingen skillnad i tumörfrekvens eller tumörvikt kunde dock påvisas mellan kontrollgrupperna i detta försök. I experiment III upprepades samma exponering som i det föregående försöket. På grund av tekniska problem blev bara 15 djur exponerade. Inga skillnader kunde påvisas denna gång, och inte heller när resultaten från försök II och III slogs samman erhålls statistiskt signifikanta skillnader mellan grupperna. I försök IV utsattes en större grupp av

djur för ett gradientfält på 0,3–1 μT . Tumörfrekvenser, antal tumörer och tumörstorlek var i stort sett desamma i båda grupperna.

Exponeringsförhållandena är väl karakteriserade och kontrollerade i detta arbete. De korta exponerings- och observationstiderna, liksom det låga antalet djur per grupp gör dock att känsligheten är förhållandevis låg i denna undersökning. Författarnas egen tolkning av försöken är att EMF vid hög fältstyrka skulle kunna verka som en tumörpromoter eller co-carcinogen i detta modellsystem, men att ytterligare försök med större djurgrupper är nödvändiga för att säkra slutsatser skall kunna dras.

I en senare undersökning med i stort sett samma försöksuppläggning, men större antal djur (Löscher o a 1993) påvisas en statistiskt säkerställd ökning på 50 % av tumörfrekvensen i den EMF-exponerade (AC, 50Hz, 100 μT) gruppen (tabell 8). Även tumörstorleken mätt med palpation, uppgavs vara signifikant ökad. Författarna konkluderar att EMF tycks befrämja tumörutveckling i detta modellsystem.

Hudtumörer hos mus

I två arbeten, McLean o a (1991) samt Stuchly o a (1992), har en kanadensisk forskargrupp utnyttjat ett beprövat modellsystem för att studera effekter av EMF på hudpapillomfrekvensen hos DMBA-behandlade SENCAR-möss (tabell 8). I det första arbetet (McLean o a 1991) visade man att EMF-behandling i förening med enbart DMBA inte ger upphov till några papillom. Hos de djur som förutom DMBA och EMF behandlades med tumörpromotorn TPA fann man en något tidigare utveckling av tumörer jämfört med gruppen som inte utsattes för EMF. Skillnaden var dock inte statistiskt signifikant.

I det andra arbetet (Stuchly o a 1992) användes samma försöksuppläggning och EMF-exponering, men en lägre TPA-dos. Man fann återigen att tumörerna uppträdde tidigare hos de EMF-exponerade djuren. Efter 18 veckors observationstid var antalet djur med tumörer 25 % i EMF-gruppen och 8 % i kontrollgruppen ($P < 0,05$), och antalet tumörer per djur 1,9 respektive 0,65 ($P < 0,05$). Efter 23 veckor var dessa skillnader inte längre statistiskt signifikanta.

Även Rannug o a (1993) använde en beprövad modell för tvåstegscarcinogenes i hud hos NMRI-möss, med DMBA som initiator och TPA som positiv promoter-kontroll i en väl genomförd och noggrannt redovisad undersökning. Inga statistiskt säkerställda skillnader förelåg mellan de djurgrupper som exponerades för ett sinusformat 50Hz EMF med fältstyrka 50 μT och 0,5 mT och respektive kontrollgrupp (tabell 8). EMF-expositionen enbart framkallade inga tumörer.

I en senare undersökning med i huvudsak samma modellsystem applicerat på SENCAR-möss, men med intermittent (15 sekunder på/av) 50 Hz, 50 μT respektive 500 μT EMF, påvisade samma forskargrupp (Rannug o a 1994) en statistiskt signifikant ($P < 0,014$) förhöjd frekvens hudtumörer jämfört med den djurgrupp som fått kontinuerlig EMF exposition. Skillnaden var dock inte signifikant jämfört med den kontrollgrupp som behandlats med enbart DMBA (tabell 8). Författarnas slutsats är att intermittent EMF exposition kan ha en svag tumörbefrämjande effekt i det modellsystem som använts, och de påpekar att kontinuerlig EMF-exposition inte tycks ha någon cancerogen effekt i sig.

Preneoplastiska leverfoci hos råtta

Två aktuella undersökningar (Rannug o a 1993b,c) har utnyttjat en experimentell modell för levercarcinogenes, som bygger på förekomsten av så kallade

preneoplastiska leverfoci, dvs förstadier till tumörer där cellerna visar avvikande utseende och färgbarhet. Det experimentella utförandet är komplicerat, och inbegriper borttagande av ca 2/3 av levern (partiell hepatectomi), administrering av en carcinogen substans samt upprepade behandlingar med en tumörpromoter under ca 12 veckor. Modellen har fördelen att experimenten kan avslutas relativt snabbt jämfört med en konventionell cancerstudie.

I det första arbetet (Rannug o a 1993b) ersattes den konventionella promotorbehandlingen av kontinuerlig exposition för EMF, 50Hz, 0,5–500 μ T, 19–21 tim/dag i 12 veckor. I det andra arbetet (Rannug o a 1993 c) studerades effekten av EMF i förening med den konventionella tumörpromotern fenobarbital (PB). Resultaten (tabell 8) visade ingen statistiskt signifikant ökning av frekvensen leverfoci i någon av grupperna.

I det senare arbetet (Rannug o a 1993 c) noterades en signifikant minskning av såväl antalet leverfoci som kroppsviktsökning i de grupper som behandlades med både EMF och PB (tabell 8). De senare resultaten tolkades som ett uttryck för en indirekt påverkan av EMF-exposition på cancerprocessen i det aktuella modellsystemet.

Bedömning

Arbeten som behandlar effekter av EMF i cell- och djurexperimentella system har tidigare granskats och bedömts i flera rapporter (NRPB 1992, WHO 1993, Sagan 1992, Saunders o a 1991). Med undantag för de promotionsstudier som ägnats särskild uppmärksamhet i tidigare avsnitt och kommenteras nedan, har inte framkommit några nya resultat som ger anledning till väsentliga ändringar i de slutsatser som framförs i dessa rapporter. Sammanfattningsvis finns det övertygande resultat från ett stort antal undersökningar av celler i provrörsförsök och levande försöksdjur som tyder på att LF-EMF inte ger upphov till direkt skada på arvsmassan, dvs inte har någon specifik genotoxisk effekt. Specifika effekter av lågfrekventa EMF på cellfunktioner som är direkt inbegripna i det nätverk av mekanismer som kontrollerar celltillväxt och celledelning har påvisats i ett flera olika celltyper in vitro, men *om* och i så fall *hur* dessa effekter skulle kunna medverka i cellers canceromvandling är fortfarande oklart, eftersom de inte är direkt förknippade med någon känd händelse i cancerprocessen. Förändring av gentranskription, genuttryck, signalöverföring i celler och intracellulär jonbalans, för att nämna några exempel på cellulära effekter av EMF, är inte specifika för celltransformation och cancer. Denna typ av reaktioner förekommer i flera komplexa processer, både normala och abnorma som cellulära svar på t ex hormon eller stress-påverkan.

Diskussionen kring möjliga mekanismer för EMF-påverkan har dominerats av modeller som inbegriper jon-resonansförhållanden i cellmembranen, sekretionen av melatonin och påverkan av intracellulära magnetit-partiklar. Ingen av dessa modeller kan dock ge en tillfredsställande förklaring till vare sig de cellbiologiska effekter som påvisats eller en möjlig cancerframkallande effekt av lågfrekventa EMF.

Cyclotron-resonans modellen bygger på hypotesen att rörligheten av joner i biologiska strukturer, t ex cellmembranen, kan påverkas av lågfrekventa EMF i samverkan med det statiska jordmagnetiska fältet under förhållanden som överensstämmer med dem som skulle leda till en acceleration av motsvarande jon i en cyclotron (referenser i Cleary 1993). Effekten förväntas uppkomma endast vid vissa speciella EMF och statiska magnetfältfrekvenser och vid en fältstyrka som överensstämmer med det geomagnetiska fältets. Modellen tillämpas vanligen på Ca^{+2} -jonen, som har en viktig roll som så kallad "second messenger" i flera

olika intracellulära signaltransportvägar. Ca^{2+} -resonans uppkommer vid 50 Hz och 65 μT statisk fältstyrka. Förändringar i Ca^{2+} -balansen i cellmembranen kan tänkas påverka flera olika cellfunktioner, inklusive celltillväxt och celledelning.

Modellen har inte fått övertygande stöd av de experimentella resultat som presenterats, och har utsatts för avsevärd kritik från såväl teoretisk fysisk som praktisk biologisk utgångspunkt. Senare har andra modeller baserade på jon-parametrisk resonans (IPR) föreslagits, dock ännu utan experimentella resultat.

Melatonin är ett hormon som bildas i tallkottkörteln (corpus pineale) och har ett antal olika kontrollfunktioner i kroppen. Det styr nivån av flera andra hormoner, t ex prolaktin och östrogen, och har en viktig roll i regleringen av sömnrhythmen.

Normalt ökar insöndringen av melatonin under natten. Minskning av den nattliga melatonininsöndringen hos försöksdjur som exponerats för EMF har rapporterats (Kato o a 1993), men mekanismen bakom denna effekt är inte känd. Minskad melatonininsöndring har förknippats med ökning av prolaktin och östrogennivåerna i blodet och en ökad risk för bröstcancer, eftersom bröst-körtelceller stimuleras av dessa hormoner. Huruvida motsvarande effekter av EMF på melatonininsöndringen förekommer hos människa är inte känt.

En alternativ, och mera ospecifik mekanism, som skulle kunna förklara en viss ökad cancerrisk på grund av EMF-inducerade förändringar i melatonininsöndring bygger på melatoninets egenskap som radikalfångare. Under normala omständigheter skulle melatonin kunna utöva ett visst skydd mot skada som framkallas av fria radikaler på DNA och proteiner, och på så sätt minska risken för uppkomst av mutationer och cancer. EMF-inducerad minskning av melatonin-nivåerna skulle kunna reducera denna skyddseffekt, och därmed öka cancerrisken i olika vävnader. Enligt modellen förväntas effekten uppkomma endast i samband med EMF exposition in vivo, och möjligen bara efter lång tid. Modellen motsägs därför inte av bristen på bevis för direkt genotoxisk effekt av EMF.

Magnetit (Fe_3O_4) är ett ferromagnetiskt mineral, som nyligen rapporterades förekomma i små och varierande mängder i olika vävnader, t ex hjärna och tumörer (Kirschvink o a 1992). De har föreslagit att det magnetiska vridmomentet i externa altemnerande 50 eller 60 Hz fält med en styrka av storleksordningen 1 mT skulle kunna inducera mekaniska oscillationer i partiklarna, och att sådana rörelser skulle kunna påverka jonkanaler i cellmembraner. Denna modell får betraktas som mycket spekulativ i frånvaro av experimentella undersökningar.

Eftersom det saknas trovärdiga mekanismer för effekter av lågfrekvent EMF i cellsystem som direkt kan förknippas med cancerutveckling måste de experimentella djurstudierna tillmätas stor betydelse. Flera promotionsstudier har utförts under de senaste åren, och nyligen blivit föremål för bedömning av Holmberg och Rannug (1994). Tyvärr har ännu inte någon komplett cancerstudie av EMF utförts enligt vedertagna principer i en livslång djurstudie, med båda könen, flera doser och tillräckligt antal djur i respektive grupp. Endast ett fåtal, i olika avseenden begränsade undersökningar av den carcinogena effekten av EMF-exposition har utförts, och flera av dessa har avsevärda svagheter i fråga om experimentell uppläggning, omfattning eller rapportering. I de begränsade undersökningar som gjorts och refererats ovan, har inte någon direkt cancerogen effekt av EMF in vivo kunnat påvisas.

Resultat från flera tumörpromotionsstudier i försöksdjur som utförts i enlighet med etablerade modeller och genomförts på ett omsorgsfullt sätt, tyder inte på att EMF-exposition är förenad med tumörpromotiv effekt i dessa system.

Den resultat som redovisats i några undersökningar pekar dock på att någon form av interaktion mellan cancerframkallande substanser och EMF kan förekomma, och kan leda till en ökad tumörfrekvens i samverkan med andra tumörpromotorer. Ytterligare undersökningar är nödvändiga för att bredda kunskapsbasen och skingra osäkerheten kring vissa av de resultat som redovisats.

Sammanfattande diskussion

Frågan huruvida lågfrekventa EMF ökar risken för cancer väcktes genom empiriska data från en epidemiologisk studie för ca 15 år sedan. Sedan dess har vi fått en stor och ökande mängd data både från epidemiologiska och experimentella studier att ta ställning till. De viktigaste frågorna är: Vad kan vi idag betrakta som kunskapsläge? Vilken betydelse kan eventuella påvisade risksamband ha ur individens och samhällets synvinkel? Hur skall vi förbättra våra kunskaper?

Kunskapsläget

Bedömning av det samlade vetenskapliga stoffet är som framgått komplicerad. Epidemiologiska data är en utgångspunkt. I kedjan av bedömningsgrunder är ställningstagande till validitet central, dvs huruvida den enskilda studiens uppläggning ger en sann bild av ett eventuellt samband mellan EMF-exponering och risken att utveckla en cancersjukdom. Som vi sett finns i många fall betydande osäkerhet. Viktiga exempel är icke-representativa kontroller, stort bortfall, oprecis definition av exponering och ofullständigt hänsynstagande till andra risksamband. Såväl falskt förhöjda som underskattade risksamband vad gäller EMF-exponeringen kan bli resultatet. Validitetsproblem får särskild tyngd då risksamband återspeglas av endast måttliga förhöjningar av den relativa risken. Detta kan vara fallet vad gäller en del positiva risksamband för både boende- och yrkesrelaterad cancer, eftersom enskilda risktal inte varit mer än ca tvåfaldigt ökade.

Risikfaktorer för de två mest aktuella sjukdomsgrupperna, leukemisjukdomar och hjärntumörer, är ofullständigt kända för både barn och vuxna (se nedan). Därför är det teoretiskt möjligt att påvisade riskförhöjningar vid EMF-exponering är delvis eller helt skenbara, på grund av att denna exponering till stor del sammanfaller med förekomsten av en annan riskökande faktor. Exempelvis kan man visa, att om en annan sådan riskfaktor – som skapar en fyrfaldigt ökad risk – förekommer hos 10 % av personerna i en kontrollgrupp och fyra gånger så ofta, dvs hos 40 %, av de exponerade individerna, skulle denna faktor ensam förklara ett risktal motsvarande RR 1,7 (Axelson 1978). Detta motsvarar de risktal för barnleukemi som, i vissa studier, tillskrivits exponering för EMF i boendemiljön. Emellertid kan det synas osannolikt att så kraftfulla riskfaktorer förblivit okända, och att skillnaden i deras förekomst skulle vara så stor mellan EMF-exponerade och oexponerade individer.

Det bör påpekas att bruket av meta-analysteknik, som innebär att man kombinerar data från flera olika studier, inte avhjälper validitetsproblem, inte ens om man försöker ge större vikt åt vad som bedöms vara mer valida studier. Denna teknik att sammanväga risktal från enskilda studier skapar emellertid ett större material och därmed statistisk styrka genom att minska inverkan av slumpeffekter.

Efter validitetsbedömning följer överväganden om de i epidemiologiska studier påvisade sambanden verkligen representerar orsak-verkan i biologisk mening. Ett stöd för ett sådant samband verkligen föreligger vad gäller EMF i boendemiljön och barnleukemirisk är att resultaten tycks peka i samma riktning, dvs mot en ökad risk. Därtill redovisar flera av dessa studier, om än inte alla, ett dos-responssamband. Vad gäller andra undersökta samband, dvs för sambanden boendeexponering och hjärntumörrisk hos barn samt leukemi- och hjärntumör-risk hos vuxna samt för yrkesmässig exponering och risken för leukemier och hjärntumörer, är bilden ännu otydligare. För övriga tumörer är informationen otillräcklig för en bedömning.

Sammantaget ger epidemiologiska data inte övertygande belägg för att EMF ökar risken för cancer varken hos barn eller vuxna vad gäller de mest aktuella formerna – leukemi och hjärntumörer –, än mindre för andra tumörtyper. Samtidigt går det inte att avvisa misstankar om ett positivt risksamband, framför allt för barnleukemi. Skälen till denna bedömning är att tidiga studier kan ha underskattat verkliga risksamband, medan senare undersökningar (Ahlbom o a 1993, Savitz 1993), som tillämpat mer precisa mätmetoder för exponering, påvisat ett positivt risksamband för barnleukemi.

Den avgörande frågan i sammanhanget är dock hur den mekanism ser ut, genom vilken EMF skulle kunna orsaka omvandling av normala celler till tumörceller i de berörda organen.

De samlade resultaten från undersökningarna av DNA, kromosomer och genmutationer i ett stort antal testsystem tyder på att EMF inte har någon direkt genotoxisk effekt. Därmed kan det anses mycket osannolikt att EMF-exponering har förmåga att initiera cancerutveckling. Denna slutsats får stöd av det fåtal djurstudier som gjorts beträffande den cancerframkallande effekten av EMF. Det bör dock noteras, att ingen av dessa cancerstudier av EMF-exponering på försöksdjur har genomförts i enlighet med vedertagna principer.

Osäkerhet kvarstår dock beträffande en eventuell tumörpromotiv effekt av EMF-exponering. Mekanismer(na) för tumörpromotion är mycket ofullständigt kända. Begreppet tumörpromotion används ofta för att beskriva exponering, som befrämjar cancerutveckling och leder till större eller flera tumörer, eller kortare latenstid för tumöruppkomst, men som inte i sig själv kan starta en cancerutveckling. I mera strikt bemärkelse används begreppet tumörpromotion i samband med några väl definierade testsystem, med vilkas hjälp experimentella tumörpromotorer kan identifieras. I dessa system har EMF-exposition inte visat någon övertygande tumörpromotiv effekt. I en aktuell studie (Rannug o a 1994) noterades dock en svag effekt av intermittent, till skillnad från kontinuerlig, EMF-exponering. Huruvida detta är en reproducerbar observation eller ej återstår att se. Man kan dock notera att epidemiologiska studier av grupper med yrkesmässig sådan exponering (svetsare och banarbetare) har inga säkra belägg för överrisker noterats. I några studier tycks det finnas en svag interaktionseffekt (copromotion) mellan EMF-exponering och andra tumörpromotorer. Såväl förstärkt och försvagad som övergående interaktionseffekt har beskrivits. Dessa observationer är emellertid svårbedömda i frånvaro av mekanistiskt baserade förklaringsmodeller.

Det finns inga resultat från experimentella studier som kan mekanistiskt förklara en eventuell tumörpromotiv eller copromotiv effekt av EMF-exponering. De effekter av EMF, som påvisats i cellsystem, är nämligen inte direkt associerade med någon känd händelse i cancerprocessen. Förändring av gentranskription, genuttryck, signalöverföring i celler och intracellulär jonbalans, för att nämna några exempel på möjliga cellulära effekter av EMF, är sålunda

inte specifika för celltransformation och cancer. Dessa typer av reaktioner förekommer i flera normala och patologiska processer, som t ex cellulära svar på hormon- eller stresspåverkan.

Frånvaron av mekanistiska förklaringsmodeller och den episodiska karaktären av resultaten från djurstudier gör det svårt att säkert avgöra huruvida det möjligen kan finnas en marginell, copromotiv effekt av EMF-exponering. Om en sådan effekt finns, och om den skulle gälla även för människa, kan det emellertid inte uteslutas, att de måttliga riskökningar som observerats i flera epidemiologiska studier orsakas av just en sådan svag interaktionseffekt mellan EMF-exponering och andra cancerframkallande exponeringar.

Sammanfattningsvis kan tillgängliga empiriska data i epidemiologiska studier ej läggas till grund för en säker slutsats att exponering för ELF/EMF ökar cancerrisken i något organsystem, och ej heller har de efterföljande experimentella djur- och in vitro-studierna kan inte ge belägg för en skadlig effekt av sådan karaktär, att den kan antas leda till tumörutveckling. Det går dock inte att avvisa misstankar om ett risksamband, framför allt för barnleukemi. Tidiga studier kan ha underskattat verkliga risksamband, medan senare undersökningar, som tillämpat mer precisa metoder för att uppskatta exponering, kan tala för ett samband för barnleukemi. Dessa slutsatser överensstämmer med tidigare publicerade nationella rapporter från USA (ORAU 1992), Storbritannien (NRPB 1992 och 1993), Danmark (Sundhetsministeriet 1993) och Norge (Sosial- och Helsedepartementet 1994).

Risikfaktorer utöver EMF för leukemi och hjärntumörer

Ett av problemen vid tolkning av epidemiologiska data är, som ovan sagts, möjligheten av indirekta samband (s k confounding). Sådana kan uppkomma om en faktor är förbunden både med den aktuella exponeringen (i detta fall EMF) och med den studerade sjukdomen. Det finns därför skäl att granska kända riskfaktorer för i första hand leukemi och hjärntumörer. Härvid gäller således att även bedöma sannolikheten att dessa riskfaktorer skall uppträda på ett systematiskt sätt tillsammans med EMF-exponering.

Det har länge varit känt att patienter med vissa kromosomala avvikelser har ökad leukemitendens. Ataxia teleangiectasia, Fanconis anemi och Blooms syndrom har samtliga ökad risk. Vid Morbus Down föreligger 10–20 gånger ökad risk (Heath 1983).

Man känner idag riskfaktorer hos endast ca 5 % av fall med barnleukemi. Om en enäggstvilling insjuknar i leukemi har syskonet fem gånger högre risk att få samma sjukdom (Chaganti o a 1979).

Risikfaktorer för utveckling av barncancer skulle kunna verka under barnets första levnadsår, under graviditeten eller före befruktning. Exponering av barn för joniserande strålning från atombomberna i Japan orsakade en ökning av incidensen av akut leukemi hos barn, med en topp efter 5 år (Ichimaru o a 1986). Barn till mödrar som utsatts för obstetrisk röntgenundersökning under graviditeten hade en ca 50 % ökad risk att utveckla någon form av barncancer (Stewart o a 1958). Ett flertal uppmärksammade studier rapporterade ett samband mellan fädernas arbete inom högriskområden vid kärnkraftverk under konceptionstiden och leukemirisk hos barn (Gardener o a 1990). Som hypotes framlades att strålning mot testiklarna skulle ge genetiska skador, som överfördes till barnen. Senare studier har inte kunnat verifiera ett sådant samband. Kvar står ett påvisat

samband mellan leukemiförekomst och boende nära två av Englands kärnkraftverk. Som förklaring har föreslagits ökad befolkningsrörlighet och/eller infektionsbenägenhet hos dessa barn (se nedan). Efter atombomberna förelåg ingen ökad risk för barnleukemi, efter lågdosexponering intrauterint eller prekonceptionellt (Kato o a 1966, Jablon o a 1970). Efter olyckorna i kärnkraftverken i Three Mile Island 1979 och Tjernobyl 1986 har det, åtminstone hittills, inte påvisats någon ökad risk efter lågdosexponering (Parkin o a 1993, Hjalmarsson o a 1994).

Narkotiska smärtstillande medel till mödrar under graviditet har, om än bara i vissa studier, varit associerad med ökad leukemiförekomst hos barn (McKinney o a 1987). Rökning under graviditet rapporterades i svensk fall-kontrollstudie vara knuten till en ökad risk för barnet att insjukna i leukemi (Stjernfeldt o a 1986). Dessa fynd har emellertid inte kunnat bekräftas i andra studier. Missbruk av marijuana under graviditeten har rapporterats vara förenat med ökad risk för AML hos barnet (Robinson o a 1989). Inte heller detta har kunnat verifieras.

Studier av andra neonatala riskfaktorer än joniserande strålning har gett divergerande resultat. Samband mellan leukemiincidens och virusinfektioner under graviditet och/eller under tidiga barnår har under senare år undersökts i ett flertal studier. Resultaten är svårtolkade. Vissa studier har rapporterat normal eller sänkt frekvens av infektioner hos barnen före insjuknandet i leukemi, andra däremot en högre frekvens (Greaves o a 1988, Kinlen o a 1988).

Sammanfattningsvis är de enda säkerställda riskfaktorerna för barnleukemi konstitutionella kromosomförändringar samt exponering för joniserande strålning hos barnet. För övriga faktorer är sambanden osäkra och de rapporterade risktalen låga (RR 1,5–2). Det är svårt att finna en klar association mellan de ovan diskuterade, kända riskfaktorerna för barnleukemi och EMF-exponering, på ett sätt som skulle kunna leda till indirekta risksamband vad gäller EMF. Det har diskuterats huruvida skillnader i sociala förhållanden skulle kunna ge upphov till indirekta samband via koppling till t ex rökning, annat missbruk eller virusinfektioner. Det finns emellertid inga belägg för att dessa faktorer är starkt associerade vare sig med EMF eller barnleukemi.

Utöver ett visst ärftligt moment finns endast ett fåtal etablerade riskfaktorer för leukemi hos vuxna (Heath 1983). Män drabbas oftare än kvinnor; skillnaden är störst för KLL, med kvoten ca 2/1. Incidensen för olika typer av leukemi varierar kraftigt med ålder. Män i ålderintervallet 65–69 år löper en ca 10 gånger högre risk att utveckla myeloisk leukemi och en ca 30 gånger högre risk för lymfatisk leukemi än män i åldern 20–25 år (Centre for Epidemiology 1994).

Joniserande strålning medför ökad risk för icke-lymfatiska leukemier, framför allt AML. Exempelvis orsakade atombomberna i Japan en ökning av leukemi hos vuxna, med en incidenstopp efter 10–20 år (Ichimaru o a 1986). Även röntgenpersonal inom sjukvården och patienter som behandlats med röntgenterapi har rapporterats ha en ökad risk. Av andra miljöfaktorer är det väl belagt att exponering för bensen ger ökad risk för myeloisk leukemi (IARC 1987a). Misstänkta riskfaktorer enligt vissa studier är även andra organiska lösningsmedel, förekommande bl a i målaryrket (IARC 1989) och gummiindustrin (IARC 1987b). Exponering för bekämpningsmedel, liksom trädgårdsmästaryrket, har i vissa studier varit associerad med ökad risk för tumörer i det lymfatiske systemet (för litteratur, se IARC 1991, Littorin o a 1993). Behandling med vissa läkemedel anses medföra ökad leukemirisk, framför allt kloramfenikol (antibiotikum; IARC 1990) och fenylbutazon (inflammationshämmare) samt de alkylterande cytostatiska medlen melfalan och busulfan. Infektion med ett virus är associerad med ökad förekomst av en speciell leukemityp.

Av dessa riskfaktorer är det egentligen endast exponering för joniserande strålning, bensen (och möjligen andra organiska lösningsmedel) samt bekämpningsmedel som skulle kunna antas ge upphov till indirekta samband mellan EMF-exponering och leukemi, eftersom exponering för dessa agens kan var associerad med EMF. I några studier (bl a Floderus o a 1993, Thériault o a 1994, Tynes o a 1994) har man gjort försök att ta hänsyn till andra riskfaktorer (joniserande strålning, bensen, organiska lösningsmedel, bekämpningsmedel, kreosot). Justering för dessa påverkade ej risken för leukemi (eller hjärntumör). Man kan emellertid sällan vara helt säker på att sådan kontroll är fullständig eller att det inte förekommer andra, okända faktorer, som stör det framräknade sambandet mellan exponering och tumörrisk.

Tuberös skleros och von Recklinghausens neurofibromatos är förenat med förhöjda risker att insjukna i olika former av hjärntumörer, både hos barn och vuxna (Schoenberg 1982). I den tidigare relaterade finska studien av boendeexponering för EMF (Verkasalo o a 1993) ingick en 18-årig pojke med neurofibromatos, som insjuknade i tre olika former av hjärntumörer, vilka registrerades som tre separata fall. Vidare föreligger ansamling av cancer, bl a hjärntumörer hos barn och vuxna, i vissa familjer.

Klart förhöjda risker för hjärntumör hos barn föreligger hos barn med olika missbildningssyndrom, kromosomala avvikelser och immunbristsjukdomar. Misstänkta riskfaktorer i miljön för hjärntumörer hos barn är begränsade till några få agens. Mödrars medicinering med barbiturater, diuretika eller antihistaminika har i olika studier varit associerade med ökad risk för hjärntumör hos barnen (Gold o a 1979, Preston-Martin o a 1982), liksom möjligen exponering för nitrosaminer (Preston-Martin 1989). En studie av barn som strålbehandlats under första levnadsåret på grund av *tinea capitis* (svampsjukdom i hårbotten) visade en ökning av hjärntumörrisk (Ron o a 1984). Ingen av dessa faktorer kan antas vara associerade med EMF-exponering på ett sätt som skulle kunna ge upphov till indirekta risksamband.

För hjärntumör hos vuxna har inga riskfaktorer i arbets- eller den allmänna miljön kunnat säkert etableras (Schoenberg 1982), även om vissa studier har visat samband mellan exponering för bl a bekämpningsmedel och förhöjd risk för gliom (IARC 1991, Littorin o a 1993). Exponering för vissa bekämpningsmedel (framförallt herbicider) skulle kunna tänkas vara associerad med exponering för EMF, t ex hos linjereparatörer i kraftindustrin, och skulle därför kunna orsaka indirekta risksamband. Emellertid gav korrektion för exponering för bekämpningsmedel hos linje- (Floderus o a 1993) och banarbetare (Tynes o a 1994) endast obetydlig förändring av risktalen för hjärntumör.

Ekologiska samband mellan elkonsumtion och barnleukemiincidens

Uppgifter om incidensen av barnleukemi i Sverige finns sedan Cancerregistrets tillkomst 1958, tabell 9). Incidensen var relativt stabil under åren 1958–72; därefter har en ökning på ca 10 % inträffat. Denna torde kunna förklaras av en underrapportering till Cancerregistret före 1973 (Mattsson och Wallgren 1984), då Svenska Barnleukemigruppen startade en registrering av alla barn som nyinsjuknat i akut leukemi, varefter Cancerregistret kompletterats med icke direkt inrapporterade fall. Vid jämförelse mellan incidens av akut barnleukemi och elkonsumtion bör därför statistik för tiden före och efter 1973 bedömas

separat. För övriga former av barnleukemi än akut, är frekvenserna för låga för meningsfulla jämförelser.

Konsumtionen av elektricitet har ökat mycket kraftigt under de senaste decennierna. Därmed har exponeringen för EMF också starkt tilltagit (tabell 9).

Det föreligger således under 1973–92, trots en stark ökning av elkonsumtionen, ingen trend med ökning av incidensen för akut leukemi hos barn. Detta förhållande har ett visst intresse. Det bör emellertid starkt poängteras att denna typ av ekologiska tidsjämförelser har uppenbara svagheter, vilket gäller även för andra arbeten (Kraut o a 1994). Således kan – hypotetiskt – andra, okända riskfaktorer ha försvunnit i en takt som följer ett eventuellt samband EMF/barnleukemi.

Betydelse ur individuellt och folkhälsoperspektiv

Epidemiologiska studier av tumörer har framför allt uppmärksammat kraftfrekventa magnetiska fält i arbetsmiljön och från kraftledningar nära bostäder. Yrkesmässig exponering för magnetfält varierar kraftigt, från över 1 μT hos svetsare och smeder till mindre än 0,1 μT hos anläggningsmaskinförare, viss sjukvårdspersonal och kontorister. Dagsmedelvärdet för alla yrkeskategorier av män är ca 0,17 μT , med 75 % under 0,27 μT och 95 % under 0,55 μT . I arbetsutrymmen intill nätstationer kan nivåerna uppgå till flera μT . Vissa arbetsmoment kan ge kortvarig exponering på tiotals μT hos metall-, drift- och maskinarbetare, och några μT hos övriga.

Vad gäller boendemiljön har framför allt EMF från kraftledningar beskrivits. Direkt under en 300 kV-ledning med 400 A strömstyrka är flödestätheten av 50 Hz fält 30–60 μT . Magnetfältet avtar emellertid kraftigt med avståndet och har vid 50 m sjunkit till 0,25–0,50 μT , vid 100 m till ca 0,06–0,12 μT . De fältstyrkor som är aktuella i bostäder ligger betydligt lägre än toppvärdena i arbetsmiljön. I bostäder belägna invid kraftledningar rapporteras ca 20 % ha värden över 0,2 μT , 20 % 0,1–0,2 μT och 60 % under 0,06 μT , med genomsnittligt lägre värden i enfamiljs- än i flerfamiljshus (Feychting och Ahlbom 1993).

Emellertid finns det många andra källor till exponering i boendemiljön. Exempelvis hade 4–5 % av bostäder belägna mer än 300 m från kraftledningar vid en punktmätning över 0,2 μT och enskilda individer exponeras inte sällan för korta toppar i storleksordningen en till ett par μT (Nissen o a 1994). Den huvudsakliga källan till magnetfält i svenska bostäder är vagabonderande strömmar i jordledningsnätet och vattenledningssystemet. I genomsnitt var fältet i bostäder i Stockholm 0,08 μT (5 % över 0,2 μT), på landsbygden knappt hälften (0,03 μT , 4 % över 0,2 μT). Eluppvärmning kan ge fältstyrkor på upp till 0,7 μT (vid golvuppvärmning och sockeluppvärmning). Elektriska apparater och hushållsmaskiner kan ge exponering överskridande 0,2 μT , kortvarigt över 2 μT nära apparater (t ex med kraftiga motorer och värmeelement, t ex hårtorkar, dammasugare, elektrisk spis eller köksfläkt).

I eldrivna kommunikationsmedel uppträder också magnetfält av många olika frekvenser och fälttätheter, t ex i järnvägsvagnar med frekvenserna 16 2/3 och 33 1/3 Hz och flödestätheter om 0,5–1 μT .

En individ kommer därför att exponeras för magnetfält från flera olika källor, både i boendemiljön och den övriga allmänna miljön, samt – i fråga om den arbetande befolkningen – i arbetsmiljön. Endast en i taget av dessa faktorer har studerats. Det finns emellertid flera viktiga problem vid bedömning av expone-

ring: De uppskattningar som använts för exponering i arbets- och boendemiljön baseras oftast på vissa begränsade, beräknade fältkaraktistika, uttryckta som t ex årsmedelvärden i bostäder eller representativa värden för vissa yrkeskategorier. I avsaknad av mekanistiska förklaringsmodeller är det emellertid omöjligt att veta vilka fältkaraktistika som skulle kunna vara mest relevanta ur tumörrisksynvinkel, dvs till exempel frekvenser samt medel/medianvärden över tid jämfört med andel tid över visst värde. Detta försvårar också jämförelser mellan exponering från olika exponeringskällor, t ex mellan kraftledning, elmotorer och annan elektrisk apparatur.

Trots alla oklarheter kan det ändå finnas skäl att göra en grov bedömning av hur många fall av leukemi och hjärntumör, som hypotetiskt, under antagna förutsättningar i form av ett kausalt risksamband och exponerade populationers storlek, skulle kunna tänkas insjukna i leukemi eller hjärntumör på grund av exponering för EMF i boendemiljön.

Årligen insjuknar i Sverige 70–80 barn (0–14 år) i leukemi. Den årliga incidensen har under de senaste 20 åren varit konstant, med drygt 4 fall/ 100 000 barn (tabell 9). Relationen pojkar/flickor är 1,2. Vanligaste åldern vid insjuknande är 2–4 år; 50 % är under 5 år vid diagnos.

Antalet barn boende nära (i vårt räkneexempel <150 m) kraftledningar har skattats till 50 000 (Ljung o a 1993). Med en antagen fördubbling av risken (RR 2) skulle detta innebära att två barn per år i Sverige insjuknar i leukemi på grund av boende nära kraftledningar. Risken kan även uttryckas som kumulativ risk att insjukna i leukemi <15 år, som för barn i Sverige är 1/1 600 barn. För barn boende nära kraftledning skulle således, under samma förutsättningar, den kumulativa risken bli ca 1/800 barn.

Det finns anledning att göra motsvarande skattningar vad gäller yrkesmässig exponering för EMF samt leukemier och tumörer. Ca hälften av den manliga befolkningen är yrkesmässigt exponerad för magnetfält $\geq 0,2 \mu\text{T}$ (som ett tidsvägt medelvärde; Floderus o a 1993). Om det skulle föreligga ett orsakssamband mellan EMF och leukemi, och om risken för alla typer av de viktigaste leukemierna (ALL, KLL, AML och KML) motsvarar RR 1,24 vid exponeringen $\geq 0,2 \mu\text{T}$ (dvs den som rapporterades av Floderus o a 1993), skulle, vid den totala incidensen i Sverige om ca 200 fall av leukemi per år för män i åldrarna 20–70 år, ca 10 % av dessa, dvs ca 20 leukemifall per år, kunna tillskrivas yrkesmässig exponering för EMF $\geq 0,2 \mu\text{T}$ (Floderus, muntligt meddelande). Om orsakssamband bara gäller för någon speciell typ av leukemi blir talen lägre.

Om, på motsvarande sätt, ett orsakssamband skulle föreligga mellan exponering och hjärntumörer, och om risken motsvarar RR 1,40 (astrocytom I–IV plus glioblastom; Floderus o a 1993), skulle, vid en total incidens av dessa tumörer om ca 190 per år (57 % av 340 fall i gruppen ICD 153) i åldrarna 20–69 år, 14 % av dessa, dvs cirka 27 fall per år, kunna tillskrivas exponering för EMF. Om orsakssamband bara gäller för någon speciell typ av hjärntumör blir talen lägre.

Om man antar att orsakssamband gäller även för leukemier och hjärntumörer i andra åldersgrupper bland män, och även för kvinnor, blir talen givetvis högre. Å andra sidan bör starkt betonas, att om samband kanske överhuvud taget inte föreligger, eller om en risk bara existerar vid betydligt högre exponeringsnivåer, skulle talen bli lägre.

Den absoluta risken för en individ att insjukna i leukemi eller hjärntumör är liten. Den kumulativa risken under livet för en svensk man att i åldern 20–69 år insjukna i leukemi är 0,4 % (Centre for Epidemiology 1994). För en yrkesmäs-

sigt exponerad ($\geq 0,2 \mu\text{T}$) person blir, om RR 1,24 (Floderus o a 1993), den kumulativa risken 0,5 %. Den motsvarande kumulativa risken för en individ att insjukna i malign hjärntumör är 0,5 %. Hos en yrkesmässigt exponerad skulle risken kunna tänkas vara 0,7 % (RR 1,40; Floderus o a 1993). Således skulle ökningen av den hypotetiska absoluta risken vara liten.

Forskningsbehov

Tillgängliga epidemiologiska studier är behäftade med osäkerhet på flera punkter. Nya epidemiologiska studier bör genomföras med adekvat materialstorlek och med förbättrad metodik, framför allt vad gäller validitet, precision och jämförbarhet i exponeringsmätningar. Därtill torde kommande studier mer utförligt behöva beakta andra möjliga riskfaktorer och källor till EMF-exponering. Sådana nya studier torde bli krävande vad gäller tidsåtgång och resurser. Ett eventuellt samband mellan EMF och tumörer skulle ha ett betydande intresse ur biologisk synvinkel. Samtidigt bör insatserna för att genomföra nya epidemiologiska studier vägas mot EMF-problemets potentiella betydelse, både ur ett folkhälsoperspektiv och som en yrkesrisk.

Avgörande för bedömning av eventuellt orsakssamband blir beroende av ytterligare mekanistiskt inriktade studier av ett eventuellt samband mellan exponering för EMF och tumörutveckling. Främst bör därvid ytterligare undersökningar göras av intermittent exponering och samverkans effekter i promotionsmodeller, för att belysa den möjliga copromotiva effekt, som antyds i vissa experimentella studier. Vidare bör en komplett cancerstudie, enligt vedertagna kriterier genomföras på försöksdjur. Fortsatta cellbiologiska undersökningar av EMF-effekter på genexpression och intracellulär signaltransduktion är också angelägna för att ytterligare belysa dessa effekters eventuella betydelse för tumörutveckling.

Vidare bör exponeringen för EMF klarläggas, både i arbetsmiljön och i den allmänna miljön, inte minst med avseende på exponeringens karakteristika, t ex vad gäller frekvenser, fördelning i tiden och kombinerad exponering från olika källor.

Slutsatser

Befintliga epidemiologiska data kan ej läggas till grund för en säker slutsats att exponering för elektriska och magnetiska fält (EMF) ökar cancerrisken i något organsystem. De efterföljande experimentella djur- och in vitro-studierna har inte gett belägg för en carcinogen effekt. Det går dock inte att avvisa misstankar om ett risksamband, framför allt för barnleukemi. Tidiga studier kan ha underskattat verkliga risksamband, medan senare undersökningar, som tillämpat mer precisa metoder för att uppskatta exponering, kan tala för ett samband för barnleukemi.

Det bör övervägas att eventuella tumörframkallande effekter av EMF blir föremål för fortsatt epidemiologisk och experimentell forskning, för att avgöra om orsakssamband föreligger och för att mäta eventuella risksambands storlek. Vidare bör exponeringen för EMF kartläggas bättre, både i arbetsmiljön och i den allmänna miljön. Viktig ny information avser exponeringens karakteristika, t ex vad gäller frekvenser (Hz), fördelning i tiden och kombinerad exponering från olika källor och med andra miljöfaktorer.

Tabell 1. Kohortstudier av yrkesmässig exponering för elektromagnetiska fält tom 1991 N=antalet fall. SMR=Standardiserad Mortalitet/Morbiditetskvot. KI=95% konfidensintervall. T=Totala leukemier. AML=Akut myeloisk leukemi. CMR=Cancer-Miljöregistret. M=Män. K=Kvinnor. NS=Icke signifikant.

Författare	Land Studietyp Effekt Kön	Exponering	Total cancer		Leukemi			Hjärntumör		Melanom		Bröstcancer	
			N	SMR (CI)	Typ	N	SMR (CI)	N	SMR (CI)	N	SMR (CI)	N	SMR (CI)
Wiklund o a 1981	Sverige CMR Incidens Män	Telefonister	–	–	T	12	1,0	–	–	–	–	–	–
Polednak 1981	USA Död Män	Svetsare	173	0,9 (0,8–3,3)	T	1	0,6	3	1,6	–	–	–	–
Englund o a 1982	Sverige CMR Incidens Män	Svetsare	–	–	–	–	–	50	1,4 (0,9–)	–	–	–	–
Vågerö & Olin 1983	Sverige CMR Incidens Män	Elektronikarbetare	1855	1,2 (1,1–1,2)	–	–	NS	–	NS	59	1,4 (1,0–1,8)	–	NS
Cammarano o a 1984	Italien Död Män	Värmeverksarbetare	15	2,0 (1,1–3,3)	–	–	–	1	4,8 (0,1–26)	–	–	1	50
Blair o a 1985	USA Död Män	Elingenjörer Elektriker	– –	– –	T	10 5	1,0 0,8	– –	– –	– –	– –	– –	– –
Olin o a 1985	Sverige Incidens Män	Elektroingenjörer	24	0,5 (0,3–0,7)	T	2	0,9 (0,1–3,2)	2	1,0 (0,1–3,7)	–	–	–	–

Tabell 1. (forts).

Författare	Land Studietyp Effekt Kön	Exponering	Total cancer		Leukemi			Hjärttumör		Melanom		Bröstcancer	
			N	SMR (CI)	Typ	N	SMR (CI)	N	SMR (CI)	N	SMR (CI)	N	SMR (CI)
Vågerö o a 1985	Sverige Incidens Män Kvinnor	Teleindustriarbetare	102 37	1,0 (0,-1,2) 1,0 (0,7-1,4)	- -	- -	NS NS	5 -	1,0 (0,3-2,3) NS	8 4	2,5 (1,1-4,9) 2,8 (0,8-7,2)	- 7	- 0,6 (0,3-1,3)
Törnqvist o a 1986	Sverige CMR Incidens Män	Linjearbetare Kraftstationarbetare	236 436	1,1 (1,0-1,2) 1,0 (0,9-1,0)	T T	10 16	1,3 (0,7-2,1) 1,0 (0,6-1,2)	13 10	1,5 (0,9-2,4) 1,0 (0,6-1,5)	-	-	-	-
McLaughlin o a 1987	Sverige Kohort Folkräkn Incidens Män+Kvin	Linjearbetare Elektriker Telekommunikationsarbetare	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	12 42 13	1,0 0,8 1,1	- - -	- - -	- - -	- - -
de Guire o a 1988	Kanada Incidens Män Kvinnor	Telekommunikationsarbetare	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	10 0	2,7 (1,3-5,0) -	- -	- -
Milham 1988a	USA Död Män	Radioamatörer	-	-	T AML	36 15	1,2 (0,9-1,7) 1,8 (1,0-2,9)	-	-	-	-	-	-
Gruberan o a 1989	Schweiz Folkräkn Incidens Män	Elektriker	78	0,9 (0,8-1,1)	T	2	1,2 (0,2-3,9)	2	1,2 (0,2-3,7)	-	-	-	-

Tabell 2. Fall-kontrollstudier av yrkesmässig exponering för elektromagnetiska fält tom 1991. M=Män. N=exponerade antalet fall. N=antal. OR=Odds ratio. KI=95% konfidensintervall. AML=Akut myeloisk leukemi. ML=Myeloisk leukemi. LL=Lymfatisk leukemi. G=Gliom. A=Astrocytom.

Författare	Land Studietyyp	Exponering	Leukemi			Hjärntumör			Melanom		Bröstcancer	
			Typ	N	OR (CI)	Typ	N	OR (CI)	N	OR (CI)	N	OR (CI)
McDowall 1983	England Dödsbevis Män	"Elektriska yrken"	AML	537	2,3 (1,4–3,7)	–	–	–	–	–	–	–
Lin o a 1985	USA Dödsbevis Män	"Elektriska yrken" Möjlig exponering Sannolik Säker	–	–	–	G/A	519	1,4 (1,1–2,0) 2,0 (0,9–3,9) 2,2 (1,1–4,1)	–	–	–	–
Flodin o a 1986	Sverige Tumörregister Män	"Elektriska yrken"	AML	59	3,8 (1,5–9,5)	–	–	–	–	–	–	–
Stern o a 1986	USA Död Män	Varvsarbetare Elektriker Svetsare	T ML LL T ML	53 ?	3,0 (1,3–7,0) 2,3 (0,8–7,1) 6,0 (1,5–24) 2,2 (0,9–5,5) 3,8 (1,3–11)	–	–	–	–	–	–	–
Magnani o a 1987	England Dödsbevis Män	Elindustriarbetare "Elektriska yrken"	– –	– –	– –	T	432 ?	0,9 (0,2–4,3) 1,3 (0,7–2,5)	– ?	– 1,2 (0,2–5,9)	– –	– –
Thomas o a 1987	USA Dödsbevis Män	"Elektriska yrken" Ingen exponering Möjlig Trolig Säker	–	–	–	T	435	2,3 (1,3–4,2) 1,0 1,2 (0,7–1,8) 2,9 (0,8–10) ∞	–	–	–	–

Tabell 2. (forts).

Författare	Land Studietyp	Exponering	Leukemi			Hjärntumör			Melanom		Bröstcancer	
			Typ	N	OR (CI)	Typ	N	OR (CI)	N	OR (CI)	N	OR (CI)
Speers o a 1988	USA Dödsbevis Män	"Elektriska yrken"	-	-	-	T	202	3,9 (1,5-10)	-	-	-	-
Pearce o a 1989	Nya Zeeland Tumörregister Män	"Elektriska yrken"	T ML LL	534 ? ?	1,6 (1,0-2,5) 1,2 (0,5-2,8) 1,7 (0,9-3,4)	T	202	3,9 (1,5-10)	-	-	-	-
Preston-Martin o a 1989	USA Tumörregister Män	"Elektriska yrken" Ingen exp 0-5 år >5 år	-	-	-	G	202 172 16 14	1,8 (0,7-4,8) 1,0 1,4 (0,7-3,1) 1,8 (0,8-4,3)	-	-	-	-
Demers o a 1991	USA Tumörregister Män	"Elektriska yrken"	-	-	-	-	-	-	-	-	227	6,0 (1,7-21)
Loomis och Savitz 1990	USA Dödsbevis Män	"Elektriska yrken"	T AML	3 324 903	1,0 (0,8-1,2) 1,1 (0,7-1,7)	T	2 098	1,4 (1,1-1,7)	-	-	-	-

Tabell 3. Fall-kontrollstudier publicerade 1991 eller senare av yrkesmässig exponering för elektromagnetiska fält. N=Antalet fall med respektive exponering. OR=Oddsquot. KI=95% konfidensintervall. AML=Akutt myeloisk leukemi. T=Leukemier/hjärntumörer totalt. KLL=Kronisk lymfatisk leukemi. L=Lymfom. NHL=Non-Hodgkin-lymfom. Mal=Maligna. A=Astrocytom.

Författare	Land Studietyp	Exponering	All cancer		Leukemi/lymfom			Hjärntumör			Bröstcancer		Melanom	
			N	OR (CI)	Typ	N	OR (CI)	Typ	N	OR (CI)	N	OR (CI)	N	OR (CI)
Mack o a 1991	USA Yrkessanamnes Grannkontroller Män Sjukdom	"Elektriska yrken" 0 år > 0-5 > 5-10 >10	-	-	-	-	-	A	89 12 2 11	1,0 0,78 (0,5-2,9) 0,28 (0,1-2,1) 10 (1,3-81)	-	-	-	
Loomis o a 1992	USA Yrke på dödsbevis Män Död	"Elektriska yrken" < 65 år >65 år	-	-	-	-	-	-	-	-	3 1	2,2 (0,6-7,8) 0,4 (0,05-2,4)	-	
Matanoski o a 1993	USA Nested case-control 124 fall Män Död	Telefonarbetare < Medel ≥ Medel Låg 2:a kvartil 3:e kvartil Hög	-	-	T (utom KLL)	? ? ? ? ? ?	1,0 2,5 (0,7-8,6) 1,0 1,4 4,6 2,5	-	-	-	-	-	-	
Sahl o a 1993	USA Kraftindustrin Nested case-control Män Kvinnor Dod	Kontroller >25µT-år >300 Kontroller >25 µT-år >300	-	-	T L	- 13 14 - 16 20	1,0 1,07 (0,80-1,45) 1,01 (0,75-1,36) 1,0 1,03 (0,76-1,39) 1,07 (0,83-1,37)	T	- 4 6	1,0 0,81 (0,48-1,36) 0,84 (0,54-1,33)	-	-	-	

Tabell 3. (forts).

Författare	Land Studietyp Kön Effekt	Exponering	All cancer		Leukemi/lymfom				Hjärntumör				Bröstcancer		Melanom	
			N	OR (CI)	Typ	N	OR (CI)	Typ	N	OR (CI)	N	OR (CI)	N	OR (CI)	N	OR (CI)
Floderus o a 1993	Sverige Mätningar/jobbmatis Män Sjukdom	≤0,15 µT	–	–	T	48	1,0		53	1,0	–	–	–	–	–	–
		0,16–0,19				50	0,9 (0,6–1,4)		59	1,0 (0,7–1,6)						
		0,20–0,28				61	1,2 (0,8–1,9)		72	1,5 (1,0–2,2)						
		>0,29				80	1,6 (0,6–2,4)		74	1,4 (0,9–2,1)						
		≤0,15µ T			AML	22	1,0									
Loomis o a 1994	USA Yrke på dödsbevis Kvinnor Död	0,16–0,19				24	1,0 (0,5–1,8)									
		0,20–0,28				18	0,8 (0,4–1,6)									
		≥0,29				23	1,0 (0,6–1,9)									
		≤0,15 µT			KLL	13	1,0									
		0,16–0,19				17	1,1 (0,5–2,3)									
Theriault o a 1994	Frankrike+Kanada Kraftindustrin Nested case-control Män Sjukdom/död	0,20–0,28				33	2,2 (1,1–4,3)									
		≥0,29				41	3,0 (1,6–5,8)									
		"Elektriska yrken"	–	–	–	–			–	–	68	1,38 (1,04–1,82)	–	–	–	–
		<3,1 µT-år	1,993	1,0	T	70	1,0		60	1,0	–	–	52	1,0		
		≥3,1 µT-år	2,158	1,01	AML	70	3,15 (0,90–2,63)		48	1,54 (0,85–2,81)			54	0,86 (0,49–1,48)		
Tynes o a 1994	Norge Järnvägsarbetare Nested case-control Män Sjukdom	>3,1 µT-år				26	3,15 (1,20–8,27)									
		<3,1 µT-år			KLL	17	1,0									
		≥3,1 µT-år				24	1,48 (0,50–4,40)									
		<3,1 µT-år			NHL	79	1,0									
		≥3,1 µT-år				81	1,22 (0,77–1,94)									
Tynes o a 1994	Norge Järnvägsarbetare Nested case-control Män Sjukdom	Kontroller	–	–	T	19	1,0		11	1,0	–	–	–	–	–	–
		0,1–310 µT-år				22	1,02 (0,49–2,12)		14	0,81 (0,33–1,96)						
		311–3 600				11	0,84 (0,25–2,80)		14	0,94 (0,39–2,25)						

Tabell 5a. Lågfrekventa elektromagnetiska fält (EMF) i boendemiljö och risken för **barncancer**. Data från fall-kontrollstudier t o m 1991. Beskrivning av studierna.

Författare (år)	Studiebas	Fall			Kontroller		Exponering		
		Typ av cancer	Ålder	Antal	Källa/urval	Antal	Metoder och mått	Indelning	Andra riskfaktorer
Wertheimer och Leeper (1979)	Denver stad 1950–73	Alla	0–18	344	Födelseregister/ålder område	344	Besök hus, kartor, ledningskonfiguration	Hög versus låg intensitet ("wire codes")	Ålder, stad/land, SES, familjetyp, trafikmiljö, kön
Tomenius (1986)	Stockholms län 1958–73	Alla	0–18	716	Födelseregister/närmaste individ	716	Besök, "synlig" elutrustning, mätning	Avstånd (stegning), intervaller	Varaktighet boendet, kön, ålder
Savitz o a (1988)	Denver kommun 1976–83	Alla	0–14	356	"Random digit dialing"	278	Besök, mätning, ledningskonfiguration	EMF-nivåer (mätta, uppskattade)	Moderns ålder, faders utbildning, inkomst, rökning, trafik
London o a (1991)	Los Angeles stad 1980–87	Leukemi	0–9	232	Vänner, "random digit dialing"	232	Besök, mätningar, ledningskonfiguration	EMF-nivåer mätta (24 tim och "spot", uppskattade)	Bekämpningsmedel, färger, kemikalier, yrke
Lin och Lu (1989)	Taipei?	Alla	"Barn"	216	"Sjukhuskontroller"	422	?	Avstånd från elektriska omläggningar	–
Coleman o a (1989)	London stad 1965–80	Leukemi	0–17	771	1) Andra cancerfall 2) Populationsregister	1 663	Kartor över elektriska anläggningar	Avstånd	?
Myers o a (1991)	Yorkshire 1970–79	Alla	0–14	374	Födelseregister/närmaste individ	588	Kartor, kraftledning	Avstånd	Typ av hus
Fulton o a (1980)	Rhode Island 1964–78	Leukemi	0–20	119	Födelseregister/slumpvis	240	Kartor, kraftledning	Avstånd	Yrke, utbildning

Tabell 5b. EMF i boendemiljö och olika typer av **barncancer**. Resultat från studier, som direkt mätt magnetiska fält Odds Ratio (OR) från enskilda studier och från sammanvägning i metaanalyser: OR=Odds ratio (95% konfidensintervall). NRPB 1992.

Författare (år)	Alla cancer typer		Leukemi		Hjärntumörer	
	Dos (µT)	OR	Dos (µT)	OR	Dos (µT)	OR
Tomenius (1986)	0,0–0,099	1,00 (referens)	<0,03	1,00 (referens)	<0,30	1,00 (referens)
	0,1–0,19	0,79	≥0,03	0,34	≥0,30	3,86
	0,2–0,29	0,77				
	0,3+	2,02				
Savitz o a (1988)	0,0–0,099	1,0 (referens)	<0,20	1,00 (referens)	<0,20	1,00 (referens)
	0,10–0,19	1,18	≥0,20	1,93	≥0,20	1,04
	0,20–0,29	1,78				
	0,30+	1,42				
London o a (1991)			<0,268	1,00 (referens)		
			≥0,268	1,70		
Metaanalys (NRPB 1992)		1,82 (1,09–3,04)		1,16 (0,65–2,08)		1,85 (0,91–377)

Tabell 5c. EMF i boendemiljö och olika typer av **barncancer**. Resultat från studier som upskattat magnetfält från **avstånd** till elektriska anläggningar. Odds ratio (OR) och 95% konfidens intervall (95% CI).

Författare (år)	Alla cancertyper		Leukemi		Hjärntumörer	
	Avstånd (m)	OR	Avstånd (m)	OR	Avstånd (m)	OR
Tomenius (1986)	≥50	1,00 (referens)	≥50	1,00 (referens)	≥50	1,00 (referens)
	<50	1,20	<50	1,09	<50	3,96 (1,00–15)
Lin och Lu (1989)	≥50	1,00 (referens)				
	<50	1,30				
Myers o a (1991)	≥50	1,00 (referens)	≥50	1,00 (referens)		
	<50	0,98	<50	1,14		
Coleman o a (1989)			≥50	1,00 (referens)		
			<50	1,68		
Metaanalys (NRPB 1992)		1,11 (0,71–1,73)		1,35 (0,73–2,48)		

Tabell 5d. EMF i boendemiljö och olika typer av **barncancer**. Resultat från studier som uppskattat magnetfält från konfiguration av elektriska ledningar, enligt ”wire codes”. Odds ratio (OR) och 95% konfidens intervall (95% CI).

Författare (år)	Alla cancertyper		Leukemi		Hjärntumörer	
	Nivå	OR	Nivå	OR	Nivå	OR
Werthimer och Leeper (1979)	Låg	1,00 (referens)	Låg	1,00 (referens)	Låg	1,00 (referens)
	Hög	2,25	Hög	2,98	Hög	2,40
Savitz o a 1988 (4)	Låg	1,00 (referens)	Låg	1,00 (referens)	Låg	1,00 (referens)
	Hög	1,52 (1,04–2,25)	Hög	1,54	Hög	2,04 (1,11–3,76)
London o a 1991 (7)			Låg	1,00 (referens)		
			Hög	1,68		
Fulton o a 1980 (2)			Låg	1,00 (referens)		
			Hög	1,09		
Metanalys (NRPB 1992)				1,39 (1,08–1,78)		

Tabell 6a. Sambandet mellan EMF i boendemiljö och **barncancer**, enligt epidemiologiska studier publicerade 1993. Beskrivning av studier.

Författare (år)	Studiebas	Uppläggning	Exponering	Kommentarer
Savitz och Kaune (1993)	Denver stad, USA 1976–83 0–14 år	Fall-kontrollstudie, reanalys 161 fall 158 kontroller	"Wire code": hög, mellan och lågintensiv EMF Modifierad metod	
Feychting och Ahlbom (1993)	Hela Sverige, boende inom 300 m från kraftledning 1960–85 barn under 0–15 år (127 000)	Kohort + "nested" fall-kontrollstudie. Uppföljning (cancer- och dödsorsaksregister) t o m 1985. <i>Fall:</i> totalt 142 (leukemi 39, CNS-tumör 33, lymfom 19, njure 10, andra 41) <i>Kontroller:</i> 4, matchade, totalt 558	1) "Spot"-mätning i hemmet vid tidpunkt för diagnos. 2) <i>Beräknade historiska fält:</i> utifrån höjd av och avstånd från kraftledning, ledningens belastning	Även indelning enligt avstånd: ≤50, 51–100 och ≥101 m
Olsen o a (1993)	Hela Danmark 1968–86 0–15 års ålder	Fall-kontrollstudie. <i>Fall:</i> 1 707 barn med leukemi (833), CNS-tumörer (624) eller lymfom (250) <i>Kontroller:</i> 4 788 ålderslika barn	<i>Beräknad exponering enligt:</i> Avstånd, typ kraftledning, fasordning, medelflöde över 1 år; längd av boende före diagnos nära kraftledning	Boendet hämtades från adressregister. Ingen kontakt med familjer
Verkasalo o a (1993)	Hela Finland. Boende inom 500 m från kraftledning. 1979–89 0–19 års ålder (ca 135 000)	<i>Kohort:</i> Barn boende i hus 1970–89 med ≥0,10 µT exponering. Uppföljning i cancerregistret, observerade fall versus förväntade, utifrån nationella incidensrater. <i>Fall:</i> Totalt 140 CNS-tumörer 35, leukemi 35, lymfom 15, andra 51	<i>Beräknad EMF enligt:</i> Medelflöde i och avstånd från kraftledningar. Två indelningar: EMF i µT; kumulativ exponering; µT-år.	

Tabell 6b. Resultat från studier publicerade 1993. **Barncancer**. Odds ratio (OR), 95% konfidens intervall (95% CI), standardiserad incidens ratio (SIR).

Författare (år)	Alla cancertyper		Leukemi		Hjärntumörer		Kommentarer
	Exponering	OR (95% CI)	Exponering	OR (95% CI)	Exponering	OR (95% CI)	
Savitz o Kaune (1993)			Låg ¹⁾	1,00 (referens)	Låg	1,00 (referens)	A)
			Mellan	1,3 (0,7–2,1)	Mellan	1,2 (0,6–2,3)	
			Hög	2,9 (1,5–5,5)	Hög	2,5 (1,1–5,5)	
Feychting o Ahlbom (1993)	≤0,09 µT	1,00 (referens)		1,00 (referens)		1,00 (referens)	B)
	0,1 –0,19 µT	1,5 (0,7–2,9)		2,1 (0,6–6,1)		1,00 (0,2–3,8)	
	≥0,2 T	1,1 (0,5–2,1)		2,7 (1,0–6,3)		0,7 (0,1–2,7)	
	0,1 –0,29 µT	1,2 (0,6–2,3)		1,5 (0,4–4,2)		0,7 (0,1–2,6)	
Olsen o a (1993)	≥0,3 µT	1,3 (0,6–2,7)		3,8 (1,4–9,3)		1,0 (0,2–3,9)	C)
	Ej exponerad	1,00 (referens)		1,00 (referens)		1,00 (referens)	
	0,10–0,24 µT	1,3 (0,4–4,1)		0,5 (0,1–4,3)		1,0 (0,1–9,6)	
	≥0,25 µT	1,5 (0,6–4,1)		1,5 (0,3–6,7)		1,0 (0,2–5,0)	
alt	0,10–0,39 µT	0,7 (0,2–5,0)		0,3 (0,0–2,0)		0,4 (0,1–2,8)	
	≥0,40 µT	5,6 (1,6–19)		6,0 (0,8–44)		6,0 (0,7–44)	
	0,01–0,39 µT	0,81 ²⁾ (0,62–1,1)		0,79 (0,44–1,3)		0,92 (0,57–1,4)	D)
Versalo o a (1993)	≥0,40 µT	1,9 (0,93–3,3)		0,74 (0,02–4,1)		4,2 (1,7–8,6)	
Flickor	0,01–0,39 µT	1,1 (0,84–1,4)		1,0 (0,6–1,6)		0,7 (0,36–1,2)	
	≥0,40 µT	0,8 (0,12–2,0)		1,9 (0,002–6,7)		0 (0–2,8)	
Alla	0,01–0,39 µT	0,93 (0,78–1,1)		0,9 (0,62–1,3)		0,82 (0,56–1,2)	
	≥0,40 µT	1,4 (0,77–2,3)		1,2 (0,76–3,6)		2,3 (0,94–4,8)	

1) enligt modifierad "wire code" 2) SIR

A) Reanalys. Justering för kovariater minskade ej riskestimaten.

B) Totalt förväntat antal cancerfall=138, observerat 142. Leukemirisk vid boende nära, OR=2,9. Ingen ökning av leukemirisk för "spot"-mätning. Justering för riskfaktor ändrade ej riskestimaten. Risksamband begränsat till enfamiljshus.

C) Justering för socioekonomiskt status, flyttningsbenägenhet ändrade inte risktalen. Kumulativa doserna (µT-månader) var högre för fall än kontroller, ej signifikant.

D) 140 fall observerade, 145 förväntade. 5 inträffade CNS-tumörer, 3 med olika morfologi.

Tabell 7. EMF i boendemiljö och **vuxencancer**. Leukemi och hjärntumörer. Odds ratio (OR) och 95% konfidens intervall (95% CI).

Författare (år)	Studietyp		Exponering			Resultat	
	Fall	Kontroller	Mått	Nivåer	OR	(95% CI)	
Severson o a (1988)	133	159	Direktmätning (µT)	<0,20	1,00	(referens)	
				≥0,20	1,12	(0,57–2,18)	
			Ledningskonfiguration	Låg	1,00	(referens)	
				Hög	1,47	(0,76–2,87)	
Coleman o a (1989)	771	1 432	Avstånd från källa (m)	≥50	1,00	(referens)	
				<50	1,00	(0,76–1,31)	
Youngson o a (1991)	3 144	3 144	Avstånd från källa (m)	≥50	1,00	(referens)	
				<50	1,27	(0,97–1,66)	
Feychting o Ahlbom (1994)	Kohortstudie och "nested fall"-kontroll-studie		Leukemi			Hjärntumör	
	Leukemi 321, Hjärn-tumör 223	2 per fall, matchade ur studiebasen	Beräknade fält			AML ¹	KML ²
			Vid diagnos (µT)	≤0,09	Referens	Referens	Referens
				0,10–0,19	1,0 (0,4–2,5)	1,7 (0,8–3,5)	1,1 (0,7–2,0)
				≥0,20	1,4 (0,5–3,3)	1,7 (0,7–3,8)	0,7 (0,4–1,3)
			Under 15 år före (µT)	≤0,99	Referens	Referens	Referens
McDowall o a (1986)	Kohortstudie: 7 920 personer med boende nära elektrisk anläggning	Boende <50 m från station eller <30 m under kraftledning	1,0–1,9	1,5 (0,5–3,7)	0,7 (0,1–2,6)	1,1 (0,6–2,1)	
			≥2,0	2,3 (1,0–4,6)	2,1 (0,9–4,7)	0,7 (0,3–1,3)	
			Dödlighet: SMR=102				

1 Akut myeloisk leukemi, ² Kronisk myeloisk leukemi

Tabell 8. Djurstudier: Cancereffekter av EMF. **Brösttumörer.**

Författare	Djur	Kön	Antal	Behandling	Tumörtyp/antal
Beniashvili m fl 1991	Råtta	Honor			Brösttumörer/djur
			25	AC /50/ 20/ 0,5 tim/dag/	1/1
			50	NMU/50 mg/kg + AC /50/ 20/ 0,5 tim/dag/	40/33
			25	AC /50/ 20/ 3,0 tim/dag/	8/7
			50	NMU/50 mg/kg + AC /50/ 20/ 3,0 tim/dag/	75/43
			25	DC / – /20/ 0,5 tim/dag/	0
			50	NMU/50 mg/kg + DC / – /20/ 0,5 tim/dag/	36/32
			25	DC / – /20/ 3,0 tim/dag/	1/1
			50	NMU/50 mg/kg + DC / – /20/ 3,0 tim/dag/	43/39
			50	NMU/50 mg/kg	31/27
Mevissen m fl 1993	Råtta	Honor	50		0
					Brösttumörer/djur
			18	DMBA, 5 mg/v x4 DC 15 μ T 24 tim x 91	17/10
			18	DMBA, 5 mg/v x4 "Sham"-kontroller	30/14
			8	DMBA, 5 mg/v x4 Referenskontroller	16/6
			18	DMBA, 5 mg/v x4 AC, 50 Hz, 30 μ T 24 tim x 91	40/14
			18	DMBA, 5 mg/v x4 "Sham"-kontroller	22/10
			18	DMBA, 5 mg/v x4 Referenskontroller	20/12
			15	DMBA, 5 mg/v x4 AC, 50 Hz, 30 μ T 24 tim x 91	11/6
			18	DMBA, 5 mg/v x4 "Sham"-kontroller	14/9
			9	DMBA, 5 mg/v x4 Referenskontroller	12/5
			36	DMBA, 5 mg/v x4 + ACgradient 50 Hz, 0,3–1 μ T 24 tim x 91	47/21
			36	DMBA, 5 mg/v x4 "Sham" kontroller	60/21

Tabell 8. (forts).

Författare	Djur	Kön	Antal	Behandling	Tumörtyp/Antal
Löscher m fl 1993	Råtta	Honor			
			99	DMBA, 5 mg/v x4	AC, 50 Hz, 100 μ T, 24tim x91
			99	DMBA, 5 mg/v x4	"Sham"-kontroller signif. förhöjt ca 40%
McLean m fl, 1991	Mus	Honor			Hudtumörer
		A	32	DMBA, 10 nmol	0
		B	32	DMBA, 10 nmol +	0
		C	32	DMBA, 10 nmol +	se text
		D	32	TPA, 1 μ g/v	se text
		E	32	TPA, 1 μ g/v + AC, 60Hz, 2 mT, 6 tim/dag, 5dag/v x 21v	se text
Stuchly m fl 1992	Mus	Honor	21	TPA, 2 μ g x 2/v	
					Hudtumörer
			48	DMBA, 10 nmol +	se text
			48	TPA, 0,3 μ g/v x 23	se text
Rannug m fl 1993a	Mus	Honor		DMBA, 10 nmol +	TPA, 0,3 μ g/v x 23 +AC, 60 Hz, 2 mT, 6 tim/dag, 5dag/v x 23
					Hudtumörer/djur
			30	DMBA, 25,6 μ g	24/8
			30	obehandlad kontroll	0
			30	DMBA +	AC, 50 Hz, 500 μ T, 19–21 tim/dag, 103 v
			30		AC, 50 Hz, 500 μ T som ovan
			30	DMBA +	AC, 50 Hz, 50 μ T, 19–21 tim/dag, 103 v
			30		AC, 50 Hz, 50 μ T som ovan
			30	DMBA +	TPA 3 μ g x 2/v x 81
			30	TPA 3 μ g x 2/v x 91	192/24
			30		2/1

Tabell 8. (forts).

Författare	Djur	Kön	Antal	Behandling	Tumörtyp/Antal
Rannug m fl 1993b	Råtta Experiment I	Grupp 1	10	Partiell hepatectomi (PH)+DENA, 30 mg/kg i.p.	38±10
		2	10	PH+DENA + AC, 50 Hz, 0,5 µT, 19–21 tim/dag, 12 v	44±12
		3	10	PH+DENA + AC, 50 Hz, 50 µT, 19–21 tim/dag, 12 v	50±11
		4	10	PH+DENA + fenobarbital (PB), 300 ppm i födan, 7dag/v x 12v	871±101
	Experiment II	Grupp 1	10	Partiell hepatectomi (PH)+DENA, 30 mg/kg i.p.	41±14
		2	10	PH+DENA + AC, 50 Hz, 5 µT, 19–21 tim/dag, 12 v	38±16
		3	10	PH+DENA + AC, 50 Hz, 500 µT, 19–21 tim/dag, 12 v	43±13
		4	10	PH+DENA + obarbital (PB), 300 ppm i födan, 7dag/v x 12v	759±149
	Råtta	Grupp 1	10	Partiell hepatectomi (PH)+DENA, 30 mg/kg i.p.	157±35
		2	9	PH+DENA + fenobarbital (PB), 300 ppm i födan, 7dag/v x 12v	1 413±181
3		9	PH+DENA+PB + AC, 50 Hz, 0,5 µT, 19–21 tim/dag, 12 v	931±131	
4		9	PH+DENA+PB+ AC, 50 Hz, 0,5 µT som ovan	1 134±223	
Rannug m fl 1994	Mus	Honor			Hudtumörer/djur
		Grupp 1	40	DMBA, 2,56 µg	2/2
		2	40	obehandlad kontroll	1/1
		3	40	DMBA + AC, 50 Hz, 500 µT, kontinuerligt, 19–21 tim/dag, 105 v	0
		4	40	DMBA + AC, 50 Hz, 500 µT, intermitt, 19–21 tim/dag, 105 v	13/5
		5	40	DMBA + AC, 50 Hz, 50 µT, kontinuerligt, 19–21 tim/dag, 105 v	0
		6	40	DMBA + AC, 50 Hz, 50 µT, intermitt, 19–21 tim/dag, 105 v	4/4
		7	40	DMBA + TPA 2 µg x 2/v x 26	423/39
	8	40	TPA 2 µg x 2/v x 26	9/6	

Tabell 9. Genomsnittliga incidensen 1958–92 i Sverige av akut barnleukemi (0–14 år) samt totalförbrukning av elektricitet.

Tidsperiod	Incidens*	Total elkonsumention (TWh)	
	(fall/år/100 000 barn)	Variation	Medelvärde
1958–62	3,8	29,8–40,1	35
1963–67	3,9	40,9–54,1	48
1968–72	3,8	58,9–76,5	67
1973–77	4,4	82,7–91,1	86
1978–82	4,3	93,1–102,5	99
1983–87	4,6	116,1–143,7	132
1988–92	4,4	146,1–150,6	150

* 1958–72 viss underrapportering (se text).

4. Reproduktion

Innehåll

Inledning	103
Mekanismer för reproduktionsstörning	103
Utfallsvariabler i reproduktionsepidemiologiska studier	104
Spontanaborter	104
Missbildningar	105
Tillväxthämning	105
Fosterdöd	105
Infertilitet	105
Humanstudier	105
Reproduktionsstörningar och bildskärmsarbete (VDT)	105
Sammanfattning	111
Spontanaborter och bildskärmsarbete	111
Låg födelsevikt och bildskärmsarbete	112
Missbildningar och bildskärmsarbete	112
Reproduktionsstörningar förorsakade av exponering i hemmiljö eller omgivning för EMF	112
Sammanfattning	115
Barncancer orsakad av maternell och/eller paternell exponering	117
Maternell exponering	117
Paternell exponering och neuroblastom	117
Paternell exponering och tumörer i centrala nervsystemet	118
Paternell exponering som metallarbetare och barncancer	120
Sammanfattning	120
Biologiska mekanismer och djurexperimentella effekter	122
Embryologiska effekter på befruktade hönsägg	122
Sammanfattning	124
Effekter på fosterutvecklingen hos råttor	124
Effekter på fosterutvecklingen hos möss	126
Sammanfattning	127
Forskningsbehov	129
Sammanfattande bedömning: Reproduktionsstörningar och EMF	129
Epidemiologiska studier av spontanaborter, låg födelsevikt och missbildningar	129
Epidemiologiska studier av maternell och paternell EMF-exponering och barncancer	129
Mekanismer och djurstudier	129

Inledning

Kapitlet inleds med en kort bakgrund om reproduktionsstörningar följt av en genomgång av epidemiologiska studier av samband mellan ogynnsamt graviditetsutfall och exponering för elektromagnetiska fält (EMF) i arbetslivet och i allmän miljö. Med ogynnsamt graviditetsutfall avses t ex spontanabort, låg födelsevikt och missbildningar. Huvuddelen av yrkesstudierna har för dessa utfall haft bildskärmsarbete som utgångspunkt. Därefter följer ett avsnitt om epidemiologiska studier av sambandet mellan barncancer och maternell och/eller paternell exponering för EMF följt av ett avsnitt om biologiska mekanismer och djurexperimentella studier. Avsnittet avslutas med en sammanfattande diskussion baserad på slutsatserna på för respektive avsnitt.

Mekanismer för reproduktionsstörning¹

Fosterutvecklingen regleras av den genetiska informationen som finns i det befruktade äggets arvs massa (DNA), som härrör från könsceller från båda föräldrarna. Skador i det genetiska materialet kan ärvas från endera eller båda föräldrarna. Det har uppskattats att ca 25 % av alla medfödda defekter orsakas av genetiska förändringar.

Utvecklingsstörning kan inträffa även i närvaro av normalt DNA och normala kromosomer. Yttre faktorer som droger, läkemedel, kemikalier, joniserande strålning eller virusinfektioner hos modern kan störa fosterutvecklingen. Man har hittills dock bara kunnat knyta ett par procent av alla födelsedefekter till yttre faktorer. Majoriteten av fall av ogynnsamt reproduktionsutfall förefaller emellertid ha en multifaktoriell bakgrund, dvs mer än en orsak.

Miljöfaktorer kan leda till utvecklingsstörningar via två principiella vägar, antingen genom att påverka det genetiska materialet (DNA eller kromosomer) eller genom att störa fosterutvecklingen. Om ett ämne påverkar DNA så säger man att det är *mutagent*. Mutagena ämnen förekommer allmänt i vår omgivning och de mest studerade effekterna av mutationer är cancer i kroppsceller. Mutationer drabbar även könsceller och skulle då kunna ge upphov till reproduktionsstörningar såsom fosterdöd, missbildningar och andra effekter på fostret, bl a cancer under barndomen och i vuxen ålder. Sannolikheten för att en muterad könscell ska ge upphov till ett foster verkar dock vara liten. Exponering av betydelse för mutationer måste inträffa före graviditeten. Speciellt under den sk meiosen, dvs vid halveringen av kromosomtalet i könscellen är känsligheten stor. Hos mannen är den relevanta perioden cirka tre månader före konceptionen. Hos kvinnan påbörjas den första meiosen i ägget redan i fosterstadiet och avslutas årtionden senare i samband med ägglossningen.

Trots att det lagts ned omfattande möda på att studera effekt av miljöfaktorer på mutationsfrekvensen i människans könsceller har man inte lyckats påvisa någon enskild faktor som har säker effekt. Omfattande undersökningar har gjorts på befolkningen i Hiroshima och Nagasaki, som utsattes för joniserande strålning från atombombsdetonationer under andra världskriget. Klart iakttagbara öknings av cancerförekomsten har kunnat konstateras hos dem som blev

¹ Detta avsnitt är baserat på Källén, Bengt, Epidemiology of Human Reproduction, 1988.

bestrålade, vilket sannolikt beror på strålningens mutagena effekter på somatiska celler. Någon säkerställd effekt på könsceller har man dock inte kunnat påvisa. I djurförsök har dock såväl ärftliga kromosomförändringar som genmutationer kunnat konstateras efter in vivo exponering för joniserande strålning.

Teratogena effekter är den andra principiella möjligheten för miljöfaktorer att orsaka reproduktionsstörning. En teratogen skada innebär ingen förändring av arvsmassan utan en direkt skada genom andra mekanismer under utveckling av fostret vilket kan visa sig som en födelsedefekt. Denna typ av defekt anses allmänt vara av skiljeteckenstyp. Organutvecklingen löper normalt hos människa enligt ett mycket exakt program. Specifika teratogena effekter kan bara inträffa genom påverkan under en mycket kort period i utvecklingen. Organogenesen, hos människan från dag 18 till dag 40 av fosterutvecklingen, är den känsligaste perioden för påverkan av teratogena agens och den period då de största strukturella missbildningarna uppträder. Undantag är missbildningar i urogenitalorganen, läpp/gomspalta och hjärnmissbildningar, som kan uppträda senare och upp till 9–10:e graviditetsveckan.

Förutom utvecklingsstörningar kan yttre miljöfaktorer även leda till tillväxthämning av fostret. Fostrets tillväxt är störst under graviditetens senare del. Rökning är ett exempel på en känd tillväxthämmande faktor.

Den övervägande majoriteten av foster med skador utvecklas aldrig till ett fullgånget barn utan resulterar i spontanabort, vanligen tidigt i graviditeten. Om fosterutvecklingen fortsätter kan skadorna visa sig i dödföddhet, missbildningar och/eller utvecklingsstörning. De senare effekterna är lyckligtvis relativt sällsynta men blir därmed också svåra att studera.

Utfallsvariabler i reproduktionsepidemiologiska studier

De utfall man studerat har framförallt varit spontanaborter, missbildningar och i något fall tillväxthämning.

Spontanaborter

Cirka 40–60 % av befruktade ägg leder ej till utveckling av ett fullgånget barn. Den största förlusten sker så tidigt att graviditeten ej påvisats. Av kliniskt diagnostiserade graviditeter leder cirka 15 % till spontanabort, vanligen före den 12:e graviditetsveckan. Frekvensen varierar med kvinnans ålder och är förhöjd hos äldre kvinnor. Undersökning av spontanaboterade foster har visat att en stor del, 60–70 %, har genetiska skador, dvs kromosomfel. Spontanabort efter den 12:e graviditetsveckan har oftast andra orsaker, t ex infektioner eller anatomisk förändring i livmodern.

I epidemiologiska studier är det ett problem att missfall är vanliga och en stor nackdel är att diagnosen är svår att fastställa. Endast spontanaborter som föranlett sjukhusvård kan anses säkerställda. I länder med hög frekvens av inducerade aborter, speciellt om en stor del av dessa görs i tidig graviditet, blir epidemiologiska studier av spontanabort som negativt graviditetsutfall svårbedömda. Det är också känt att kvinnors rapportering av spontanabort är osäkra; både över- och underrapportering är vanligt (Axelsson 1983). Beträffande studier av mycket tidiga graviditetsförluster kan valida studier enbart utvärderas om man prospektivt följer kvinnor som försöker bli gravida med känsliga graviditetstester för tidig diagnos.

Missbildningar

Detta graviditetsutfall är oftast mer påtagligt och därmed också lättare att diagnostisera. Missbildningar är dock relativt ovanliga, i Sverige totalt 2–3 % av födda barn, varav cirka 1 % definieras som grava missbildningar. Detta gör att stora exponerade grupper måste studeras. Då man vet att mekanismen och tidpunkten i graviditeten för varje typ av skada är mycket specifik är det tveksamt om olika typer av missbildningar kan slås samman såsom ofta skett i epidemiologiska studier. Sammanslagningar är sålunda ägnade att dölja eventuella effekter vad gäller en specifik missbildning. Registerstudiers värde är också beroende på rapporteringssystem, bland annat om endast missbildningar hos nyfödda registreras eller om senare uppdatering sker av missbildningar, som lett till senare diagnos. Dessutom påverkas data av om missbildningar som lett till legal abort registreras eller ej.

Tillväxthämning

Med detta begrepp avses foster, som hämmats i sin tillväxt under graviditeten och föds med för låg födelsevikt relaterat till graviditetslängden. Orsaker till detta tillstånd kan vara sjukdom hos modern, förändringar i moderkakan eller sjukdom hos fostret. Kända faktorer av betydelse är moderns rökning eller alkoholintag. Utfallet är lättregistrerat men kräver således detaljerad information om graviditetens förlopp och moderns hälsa.

Fosterdöd

Detta är ett ovanligt utfall och det kan vara svårt att samla in exponeringsinformation på ett likartat sätt för fall och kontroller.

Infertilitet

Ungefär 15 % av gifta eller samboende par får ej de barn de önskar. Orsakerna till infertilitet finns att söka hos både mannen och kvinnan och kan bero på sjukdom eller funktionsstörning hos endera parten. Hos 5–10 % av de infertila paren föreligger s k oförklarlig barnlöshet, dvs någon orsak har ej kunnat fastställas. Miljöfaktorer kan tänkas influera detta tillstånd liksom funktionella förändringar hos både mannen och kvinnan. Infertilitet som negativt graviditetsutfall är dock mycket svårstuderat och torde kräva prospektiva studier av exponerade och icke exponerade grupper.

Humanstudier

Reproduktionsstörningar och bildskärmsarbete (VDT)

(Sammanfattning i tabell 1)

De flesta bildskärmar ger i användarpositionen 0,5–0,7 μT med ett elektriskt fält som är <10 V/m. Bildskärmar producerar också elektriska och magnetiska fält i området ”very low frequency” (VLF) som inkluderar 3–30 kHz med ett magnetiskt fält i användarpositionen i området 0,1–0,2 μT . Även här är det elektriska fältet <10 V/m. VLF-frekvensen hos bildskärmar beror på tillverkningen men för de flesta ligger den runt 20 kHz.

En finsk fallkontrollstudie (Kurppa K o a 1985) baserad på 1 475 fall i det finska missbildningsregistret studerade effekter i centrala nervsystemet, kluven gom och läpp, skelettdefekter och hjärt- och kärlmissbildningar. Varje fall matchades mot en kontroll som förlöst omedelbart före fallet i samma mödravårdshälsovårdsdistrikt. Yrkestitel användes för att bedöma möjlig exponering hos fall och kontroller. Mödrarna intervjuades av tre experter, vanligen vid första efterkontrollen på mödravårdscentralen. 111 kvinnor befanns exponerade under tidig graviditet varav 51 fall och 60 kontroller. Bildskärmsarbetare klassades som exponerade vid en arbetstid vid bildskärm på >4 tim/dag.

Denna studie visade ingen ökad risk med bildskärmsarbete under första trimestern. Exposition för kända riskfaktorer, ålder, paritet, tidigare missfall eller dödfödda, medicinering eller alkoholanvändning var lika i båda grupperna. Justering för potentiella confounding-faktorer med multivariatanalys hade ingen effekt på riskestimaten.

En ”nested” fallkontrollstudie (Ericson & Källén 1986) baserades på ett antal fall från en tidigare publicerad registerstudie. Kvinnor med spontanaborter eller kvinnor som hade barn som dog, hade svåra missbildningar eller hade en födelsevikt <2 500 g matchades beträffande ålder mot kvinnor som fick friska barn. Kvinnorna tillställdes frågeformulär via post rörande sin arbetssituation inkluderande frågor om arbete vid bildskärm. Med användning av upplysningarna från frågeformuläret bedömdes expositions-nivån. Eftersom stress och rökning var förenade med VDT-arbete, analyserades effekterna efter stratifiering för stress och rökning. Inga statistiskt signifikanta effekter av VDT-arbete sågs beträffande missfall. Beträffande ”födelsedefekter” jämfördes barn vars mödrar arbetat >10 tim/vecka med bildskärmsarbete med barn vars mödrar inte använt bildskärm i tidig graviditet. Inga tecken på specifik typ av missbildning kunde definieras, man fann man en OR på 2,3 (1,4–3,9) vid mer än 20 timmars bildskärmsarbete per vecka. Författarna diskuterar ”recall bias”, dvs minnesfel, samt stress respektive rökning som orsaker till de påvisade siffrorna.

Exponeringsbedömningen får anses vara summarisk; den inkluderade frågor om kemikalieexponering, självrapporterad stress och rökning men däremot inte alkoholintag. Rökning påverkade inte riskestimaten för spontanaborter och missbildningar, medan tunga lyft, kemikalieexposition och stress gjorde detta. Det är tveksamt om olika typer av födelsedefekter skall sammanföras i en grupp vid analys.

Graviditetsutfall och yrkesfaktorer inklusive bildskärmsarbete studerades hos kvinnor som vårdats på 11 sjukhus i Montreal (McDonald AD o a 1988). 51 885 förlossningar och 4 127 spontanaborter samt anamnes från kvinnorna rörande tidigare förlossningar, totalt 104 649 graviditeter. Knappt hälften av de med spontanabort hade vårdats på sjukhus och tre fjärdedelar av kvinnorna intervjuades där eller per telefon vid hemkomsten. Analysen omfattar kvinnor som arbetat minst 30 tim/vecka med bildskärm i början på graviditeten beträffande spontanaborter, eller 30 tim/vecka åtminstone två veckor under graviditeten för dödfödda samt kvinnor som varit anställda >15 tim/vecka beträffande missbildningar. Expositionen klassificerades på grund av självrapporterad användning av bildskärmsarbete i samband med intervjun eller på gruppdata, där 8 olika kategorier av yrkeskoder användes. Risken för spontanabort i den aktuella graviditeten var 1,19 (90 % CI 1,09–1,30) och i tidigare graviditeter 0,97 (90 % CI 0,9–1,1). Författarna antyder att den lilla ökningen av spontanaborter bland kvinnor som rapporterat bildskärmsarbete i den aktuella graviditeten kan ha berott på ”recall bias” (minnesfel). Den relativa risken för dödfödda, för tidigt födda och låg födelsevikt hade alla 90 % konfidensintervall (CI) som

inkluderade 1. Vid analysen rörande missbildningar var den relativa risken för njurvägsmissbildningar ökad vid både den aktuella 1,4 (90 % CI 1,07–3,15) och tidigare graviditeter 1,66 (90 % CI 0,82–3,25).

Mindre än hälften av de fall som ingick i studiebasen intervjuades. Man kan instämma i författarnas försiktiga tolkning, att den svagt påvisade effekten när det gäller spontanaborter kan bero på recall bias i den aktuella graviditeten, då den inte förelåg i den tidigare graviditeten. Vad beträffar njurmissbildningarna är fyndet intressant men det gäller ett mycket litet antal fall och har inte rapporterats i andra studier.

Vid en studie primärt planerad för att utvärdera eventuella effekter av kemiska bekämpningsmedel i norra Kalifornien (Goldhaber o a 1988) insamlades också data angående bildskärmsarbete hos 1 583 gravida kvinnor som sköttes vid tre privata försäkringskliniker. Kvinnorna intervjuades i snitt 2,5 år efter eventuell exposition och rörde kvinnor som fått spontanabort före 25:e veckan eller barn som fötts med missbildning. Kontroller utgjordes av var femte normalförlöst barn. Enkäterna skedde per post och telefon. För spontanabort fann man en signifikant ökad risk hos kvinnor som arbetat >20 tim/vecka med bildskärm; OR 1,8 (95 % CI 1,2–2,8). När materialet delades upp i fyra olika yrkesgrupper beroende på status i yrket fann man att kvinnor i lägre kvalificerade yrkeskategorier hade högre OR, 1,6 vid arbete <20 tim/vecka och 2,4 (signifikant) vid arbete >20 tim/vecka. Författarna antyder att detta skulle kunna tyda på problem med ergonomi och stress beroende på yrkessituationen. Beträffande missbildningar var OR 1,4 (0,7–2,7) för kvinnor som arbetat 5–20 tim/vecka samt OR 1,4 (0,7–2,9) för kvinnor som arbetat >20 tim/vecka. Eftersom fallen var få utfördes inga ytterligare analyser beträffande missbildningar. Författarna konkluderar att risk för "recall bias" finns i materialet eftersom intervjuerna skedde lång tid efter den aktuella händelsen.

Vissa effekter av bildskärmsarbete visas när det gäller missfall och en effekt av låg- kontra högkvalificerade yrkeskategorier. En svaghet i undersökningen är att missfallen inte delats upp i tidiga och sena missfall, vilka sannolikt har olika orsaker. Författarna påvisar även själva problemet med "recall bias".

I en fallkontrollstudie rörande bildskärmsarbete och spontanabort definierat som missfall före 20:e veckan (Bryant & Love 1989) bestod fallen av kvinnor som identifierades på tre sjukhus och intervjuades under sjukhusvistelsen. Två grupper av kontroller användes, dels kvinnor som förlöst från levande barn på motsvarande sjukhus samt kvinnor som rekryterades från mödravårdsundervisningen eller från patientlistor hos läkare. Båda dessa grupper intervjuades endera omedelbart efter förlossningen eller i hemmet eller hos läkaren när det rörde de gravida kvinnorna. Bildskärmsarbete registrerades under tiden från tre månader före sista menstruationsdagen upp till fyra månader efter denna. Endast en liten grupp, 6 % av alla, var exponerade >21 tim/vecka. Kontrollerna var matchade beträffande ålder och paritet (antal förlossningar). Exposition för bildskärmsarbete under den aktuella perioden innebar ingen ökad risk i jämförelse med någon av kontrollgrupperna (OR 1,14 med postnatala kontroller och OR 0,81 med prenatala kontroller). Författarna diskuterar viss selektions-bias när det gäller de prenatala kontrollerna (intervju före födelsen) och eventuellt en viss "recall bias" (minnesfel) i den postnatala kontrollgruppen (efter födelsen).

Det är en välgjord studie som också identifierar bildskärmsexposition i hemmiljön och analyserar socio-ekonomiska faktorer såsom alkoholanvändning och rökning. Multivariatanalys visade ingen förändring av OR. Enligt författarna hade studien möjlighet att med åtminstone 90 % säkerhet identifiera en OR på

1,7 för bildskärmsarbete och missfall. En annan fördel med studien är inkluderingen av den prenatala kontrollgruppen, som bör ha samma möjlighet att identifiera bildskärmsarbete då en relativt kort tidsperiod förflutit.

En dansk fallkontrollstudie rörande spontanaborter och bildskärmsarbete (Nielsen CV, Brandt L 1990). Alla danska kvinnor mellan 15 och 44 år som tillhörde fackföreningar, åtminstone i en månad mellan 1982 och 1985, totalt 214 108 kvinnor, en femtedel av den kvinnliga arbetskraften i Danmark inkluderades. Medicinska födelseregistret och slutenvårdsregistret användes. Bildskärmsarbete studerades via en enkät utsänd per post. Enkäten innehöll dessutom uppgifter om arbetsstress, ergonomiska faktorer och livsstilsfaktorer. RR var 0,94 (95 % CI, 0,77–1,14) för någon form av bildskärmsarbete under graviditeten. Ingen signifikant ökning när inget bildskärmsarbete jämfördes med 11–20 tim/vecka. Potentiella confounders (förväxlingsfaktorer) använda i analysen var ålder, tidigare graviditeter, tidigare förlossningar, stressfaktorer i arbetet, ergonomisk arbetsbelastning, organiska lösningsmedel, rökning, alkohol, medicinering, infektioner och kroniska sjukdomar. Ålder var den enda variabel som signifikant korrelerade med förekomsten av spontanaborter. Ergonomisk arbetsbelastning och arbetsstress var ingen "confounder".

I ett annat arbete undersöktes samma grupp som i ovanstående arbete men istället studerades missbildningar (Brandt L, Nielsen CV, 1990). Det danska missbildningsregistret användes som utgångspunkt. Kvinnor med kongenitala missbildningar (indexfall) jämfördes med normala graviditeter (kontrollfall). Bedömningen av expositionsdata och confounding skedde som i ovanstående arbete, enligt samma metod. Bildskärmsarbete under graviditeten gav ingen ökning av risken för missbildningar. Vid närmare analys av typ av missbildningar fanns en överrepresentation av hydrocephalus i gruppen med bildskärmsarbete, 6 fall jämfört med 1 fall i gruppen utan bildskärmsarbete. OR i detta fall var 12,0 (CI 95 % 1,38–104). Enligt författarna måste detta fynd tolkas med försiktighet på grund av de få fallen. Analysen av confounding faktorer indikerade en interaktion mellan bildskärmsarbete och nivån av arbetsstress. OR för bildskärmsarbete och låg stressnivå, moderat stressnivå och hög stressnivå var 0,6 (CI 95 % 0,58–1,26), 0,94 (95 % CI 0,68–1,28) och 1,80 (95 % CI 0,77–4,24).

I båda dessa studier analyserades självrapporterat bildskärmsarbete, som kontrollerades genom att slumpvis utvalda arbetsgivare också intervjuades. Arbetsgivarna ansåg att kvinnor som rapporterade en låg mängd bildskärmsarbete (<11 tim/vecka) angav för låg arbetsinsats, medan kvinnorna som rapporterade längre tid vid bildskärm sannolikt gav för högt värde. Eftersom denna skillnad inte korrelerade med graviditetsutfallet kan man betvivla arbetsgivarnas bedömning i samma grad som de studerade individernas rapportering. Detta illustrerar att bedömningen av expositionen är osäker. Man finner samband mellan ålder och spontanaborter samt mellan hydrocephalus och bildskärmsarbete. Det senare utgör ett av 20 prövade samband mellan specifika födelsedefekter och bildskärmsarbete och bör, som författarna framhåller, tolkas mycket försiktigt tills det att fyndet kan bekräftas i andra studier.

I en fallkontrollstudie som primärt studerade sambandet mellan lösningsmedel och spontanabort (Windham o a 1990) samlades även information som möjliggjorde studier av bildskärmsarbete och spontanabort liksom också annat graviditetsutfall, t ex låg födelsevikt och intrauterin tillväxthämning (IUGR). Fallen identifierades bland kvinnor som var 18 år eller äldre som under en period av ett halvår fått en spontanabort före 20:e veckan. Histologisk diagnos ingick också i urvalskriterierna. För födelseviktanalysen begränsades till singelfödselar bland de kvinnor, som fött levande barn och som ingick i kontrollerna

för spontanabortanalysen. Användning av bildskärm analyserades genom en 40 minuters telefonintervju. Confounding faktorer inkluderade ålder, ras, social status, tidigare graviditetsförluster, sjukförsäkring, alkohol och rökning. Sammanfattningsvis visade undersökningen ingen ökad risk för spontanabort vare sig vid mindre eller mer än 20 timmars arbete per vecka med bildskärm. Vid jämförelse mellan spontanabort före och efter 12:e veckan förelåg en viss ökad risk för tidig abort; <20 tim/vecka OR 1,4 (95 % CI 1,0–2,0), >20 tim/vecka 1,3 (95 % CI 0,9–1,8). För spontanaborter efter 12:e veckan visades inget samband vare sig för <20 tim/vecka bildskärmsarbete eller för >20 tim/vecka.

Beträffande låg födelsevikt eller intrauterin tillväxthämning var OR beträffande födelsevikt <2 500 g vid bildskärmsarbete >20 tim/vecka 1,4 (95 % CI 0,75–2,5) och beträffande intrauterin tillväxthämning för bildskärmsarbete >20 tim/vecka 1,6 (95 % CI 0,92–2,9). Författarna kommenterar att deras resultat vad gäller spontanaborter stämmer med tidigare studier. Man påpekar att exponeringsmätningen är ganska grov och att man inte ser någon dos-responseffekt. Beträffande låg födelsevikt respektive intrauterin tillväxthämning påpekar man att man endast hade 80 % möjlighet att upptäcka en OR på cirka 2,2 för både låg födelsevikt och IUGR. Dessutom kände man inte till kvinnans vikt före graviditeten, viktutveckling under graviditeten, övriga karaktäristika hos modern som kan vara förenade med låg födelsevikt. Dessutom informerade man sig bara om exposition under de 20 första veckorna av graviditeten.

Författarna har själva påpekat brister i att uppskatta relevant exponering i förhållande till det utfall man studerar samt att man ej haft uppgifter om kvinnans hälsa under graviditeten, vilket är betydelsefullt när det gäller att bedöma låg födelsevikt/intrauterin tillväxthämning. Enligt författarna finns fortfarande skäl att fortsätta att på ett mer effektivt sätt studera arbetsergonomi och stress.

Hjärt-kärlmissbildningar hos barn och moderns exponering i arbete vid dataterminal under graviditeten studerades i en riksomfattande finsk undersökning för åren 1982–84 (Tikkanen o a 1990). Alla fall av hjärt-kärlmissbildning under tidsperioden ingick i studien utom de med kromosomanomalier eller kända genetiska syndrom, i allt 500 barn. Uppgifter om missbildningarna hämtades ur två register, nämligen över hjärtsjukdom hos barn och över missbildningar. Dessa fall jämfördes med 1 055 slumpmässigt utvalda barn som fötts under samma period.

Barnmorskor intervjuade både fallens och kontrollernas mödrar cirka tre månader efter nedkomsten. Uppgifter om sjukdomar i familjen, rök- och alkoholvanor, kaffe- och tékonsumtion, bastubadande och medicinering insamlades liksom uppgifter om yrke och arbetsgivare samt eventuell exponering för kemiska och fysiska faktorer under första trimestern. Exponeringsuppgifterna bedömdes sedan av en yrkeshygieniker utan kännedom om fall kontroll status. Sex procent av fallens och fem procent av kontrollernas mödrar hade haft dataterminalarbete. OR var 1,4 (95 % CI 0,5–3,8) efter korrigering för ålder och alkoholanvändning. Ingen relation sågs till födelsevikt, placentarvikt eller graviditetslängd.

Som författarna påpekar har studien av hjärt/kärldetekter en relativt låg "power" och kan inte definitivt utesluta en effekt. Goda uppgifter av en rad faktorer av potentiellt intresse har insamlats och beaktas på ett adekvat sätt, vilket gör att studien framstår som valid om än således inkonklusiv.

En studie där kvinnliga telefonoperatörer som använde bildskärm i arbetet jämfördes med en motsvarande yrkesgrupp som inte använde bildskärm (Schnorr o a 1991). Antalet timmar bildskärmsarbete per vecka registrerades och elektromagnetiska fält studerades i arbetssituationen. Operatörer som an-

vände bildskärmar hade högre bukexposition för VLF (15 kHz) elektromagnetiska fält. Bukexposition för ELF (45–60 Hz) var däremot lika för både operatörer som använde bildskärm respektive de som inte använde detta, i båda grupperna $<0,1 \mu\text{T}$. Beträffande VLF var medelvärdet inte högre än $0,022 \mu\text{T}$ men den övre 95% percentilen cirka $0,063 \mu\text{T}$. 2 430 kvinnor intervjuades och 882 graviditeter mötte inklusionskriterierna. Resultatet visade ingen ökad risk för spontanabort bland kvinnor som använde bildskärm under första trimestern OR 0,93 (95 % CI 0,63–1,38). Ingen dos-responsrelation då antalet timmar per vecka användes som bakgrund; bildskärmsarbete 1–25 tim/vecka OR 1,04 (95 % CI 0,61–1,79) samt >25 tim/vecka OR 1,0 (95 % CI 0,61–1,64). Konklusionen var att användning av bildskärm och exposition för de elektromagnetiska fält som förekommer i samband med detta icke är förenat med en ökad risk för spontanabort.

Detta är den första studien där man mätt expositionen för elektromagnetiska fält i arbetssituationen. Den relevanta magnetfältsexponeringen var mycket låg och med tanke på andra möjliga källor så kan man ifrågasätta om det föreligger någon exponeringskontrast mellan grupperna. Man hade tagit hänsyn till ålder, eventuell spontanabort före studien, rökning, thyreoideasjukdomar, alkoholin-tag. Studien har ett värde i att man fann en ökad risk hos t ex storrökare samt kvinnor med thyreoideasjukdomar i tidig graviditet, men den svaga exponeringskontrasten medger ej säker slutsats beträffande effekten av elektromagnetiska fält.

En finsk studie bland kvinnor som var anställda vid bank och i kontorsarbete i tre finska bolag (Lindbohm o a 1992). 191 spontanaborter och 394 föds-lar identifierades från finska födelseregistret. Användning av bildskärm baserades på kvinnornas egna rapporter och information från bolagen. Bedömning av expositionen gjordes efter mätning i laboratoriemiljö av elektromagnetiska fält vid den typ av bildskärmar som användes på företagen. Ingen effekt av bildskärmar på spontanaborter sågs i hela materialet. När materialet delades upp på kvinnor som arbetade vid bildskärmar med höga nivåer av ELF ($>0,9 \mu\text{T}$) var OR 3,4 (95 % CI 1,4–8,6) jämfört med kvinnor som arbetade vid en bildskärm med låg nivå ($<0,4 \mu\text{T}$). Man såg ingen statistiskt signifikant ökad risk för användande av bildskärm som gav höga nivåer av magnetfält i VLF-området. När man korregerade för ergonomiska faktorer och mental stress ändrades OR endast marginellt. Däremot observerades en association mellan en av stressfaktorer-na, tekniskt problem med automatiserade dataapparater och spontanabort. Man försökte också klassificera individerna med avseende på kumulativ expo-nering genom att multiplicera fältstyrkan med tiden för användning. För icke användare beräknades den kumulativa expositionen genom att multiplicera omgivningens ELF-nivå med antalet arbetstimmar. Man påvisade statistiskt signifikant förhöjda risker för användare i den högsta expositions-kategorin med både ELF och VLF. När expositionen i ett frekvensområde korrigerades för effekten av det andra så förblev risken förhöjd för ELF- men inte för VLF-expo-sition. Risken var högre för sena än för tidiga aborter. Mätningarna gjordes dock ej på arbetsplatsen och alla bildskärmar med höga fält fanns på ett företag.

Denna studie är betydelsefull för att den visar en överensstämmelse mellan arbetsbeskrivning och mätning av exponering. En kritik som kan riktas mot studien är att det trots allt kan föreligga en recall bias, då intervjuerna av individerna gjordes 3–13 år efter det aktuella missfallet. ELF-magnetfält för respektive apparatur mättes i laboratoriemiljö och var genomgående höga. De exponerade fallen kommer huvudsakligen från ett av de tre företagen. Huruvida andra förhållanden i detta företag var annorlunda framgår ej.

I en fallkontrollstudie från England (Roman o a 1992) studeras missfall och bildskärmsarbete. Fallen utgjordes av 150 kvinnor med ett förstagångsmissfall, samt 297 kvinnor med en första fullgången graviditet som kontroll. Kvinnorna intervjuades personligen med användning av ett strukturerat intervjuformulär. Expositionen bedömdes enligt uppgifter från kvinnorna. Resultaten visade ingen ökad risk av spontanabort hos kvinnor som haft bildskärmsarbete jämfört med kvinnor utan, OR 0,9 (95 % CI 0,6–1,4). Ingen relation beroende på tiden framför bildskärmen, 21 timmar eller mer per vecka. Ingen effekt av passiv exposition för bildskärm på arbetsplatsen beträffande kvinnor som arbetade mindre än 10 fot från en påslagen bildskärm. Författarna konkluderar att kvinnor som arbetar med bildskärm ej har en ökad risk för kliniskt diagnostiserade spontanaborter.

En viktig studie för att man här studerat kvinnors första missfall eller första graviditet. Möjligen kan urvalet av kontroller vara skevt när det gäller en överrepresentation av bildskärmsarbetare ifall kvinnor som arbetar vid bildskärm tidigare tar kontakt för prenatal vård.

Parazzini o a (1993) sammanfattade nio publicerade fallkontrollstudier eller kohortstudier. De nio inkluderade rapporterna innehöll information om 9 000 fall av spontanabort, 1 500 fall av låg födelsevikt, 2 000 fall av missbildningar och 50 000 kontroller. Sju studier analyserade relationen mellan bildskärm och missfallsrisk. OR var 1,0 (95 % CI 0,9–1,0), inga tecken på ökad risk med ökad duration av exposition av bildskärm. Två studier analyserade relationen mellan bildskärm och risk för låg födelsevikt hos barnet. OR i de båda studierna var 1,0 och 1,1. Inga samband fanns heller i de fem studier som rörde kongenitala missbildningar och bildskärmsarbete, OR var 1,0 (95 % CI 0,9–1,2). Inga specifika biverkningsmönster kom fram.

Denna metaanalys ger viss grund för att bedöma negativt graviditetsutfall som resultat av bildskärmsexposition under graviditet. Med det stora antal fall som inkluderats i metaanalysen var det möjligt att exkludera en ökad risk på 20 % för spontanaborter, låg födelsevikt och kongenitala missbildningar. Principiella problem med brister i exponeringsuppskattning, avsaknad av basala uppgifter om mödrarna och definition av utfall som t ex spontanabort samt aggregering av olika missbildningar kvarstår.

Sammanfattning

Spontanaborter och bildskärmsarbete

Flertalet studier: Kurppa o a, Ericson och Källén, McDonald o a, Bryant och Love, Nilsson och Brandt, Schnorr o a, Roman o a har ej visat någon klar överrisk, liksom ej heller analysen av Parazzini o a. McDonalds data när det gäller spontanaborter i den aktuella graviditeten kan bero på minnesfel ("recall bias"). Goldhaber o a visar att andra faktorer som speglas av yrkeskategori har stort inflytande. Schnorr o a finner ej något samband men exponeringskontrasten kan ifrågasättas. Lindbohm o a finner ett samband som dock är svårtolkat på grund av de anmärkningsvärt höga fältstyrkor som uppmätts samt risken för minnesfel vid intervju 3–13 år efter spontanaborten. Diagnostik av spontanabort är ett generellt problem i alla studier liksom minnesfel och potentiell confounding mellan ELF-exponering och t ex stress, socio-ekonomiska faktorer m m.

Sammantaget föreligger således inga övertygande data som visar ett samband mellan bildskärmsarbete och spontanabort.

Låg födelsevikt och bildskärmsarbete

Endast någon studie har försökt studera detta utfall och då med exponeringsuppskattning tidigt i graviditeten, vilket är av tveksam relevans. Ofullständiga uppgifter om bakgrundsfaktorer är av betydelse. Det finns idag inget stöd för ett samband mellan EMF och tillväxthämning hos fostret.

Missbildningar och bildskärmsarbete

Bilden för missbildningarna är blandad, generellt är styrkan (power) i studierna begränsad. Det är också tveksamt ur teratologisk synpunkt om olika typer av missbildningar kan slås samman som t.ex. skett hos Ericson & Källén vilka fann en signifikant ökad risk och dosrespons för alla missbildningar och bildskärmsarbete. Exponeringsbedömningen var i den studien liksom i de flesta summarisk. McDonald o a fann en överrisk för urinvägsmissbildningar och Brandt & Nielsen för hydrocephalus. Dessa fynd framstår dock som oväntade och anmärkningsvärda enstaka iakttagelser och bör tolkas med stor försiktighet. Övriga studier fann inget samband mellan bildskärmsarbete och missbildningar. Sammantaget föreligger således inga bevis för samband mellan bildskärmsarbete och missbildningar.

Reproduktionsstörningar förorsakade av exponering i hemmiljö eller omgivning för EMF

(sammanfattning se tabell 2)

En studie som utgick från födelserregister i Colorado (Wertheimer och Leeper 1986), totalt drygt 4 000 familjer från två sjukhus, 42 % publicerade födelserna i en annons och kontaktades. 73 % kunde nås per telefon och intervjuas om användning av elektriska filter och uppvärmda vattensängar. Studiepopulationen utgjordes av 1 296 nyfödda för vilka man kände till eventuell exposition av föräldrarna under graviditeten, och 692 tidigare födslar hos samma föräldrar. Man studerade aborter, ingen skillnad gjordes mellan spontana och inducerade aborter, samt födelsedefekter, dvs. förlängd graviditetstid, barn som var små för graviditetslängden (SGA-barn) samt missbildningar. Avsikten var att observera huruvida det fanns en säsongsbunden variation i graviditetsutfall som skilde sig mellan en EMF-exponerad population och en icke exponerad. Resultatet visade en signifikant ökad säsongbunden abortfrekvens hos de som utsatts för elektromagnetiska fält via filter eller vattensängar. Dessutom fann man tecken på ökade missbildningar, även den säsongbunden (kontroller 1/335 och exponerade 5/193). Dessutom fann man en minskad fostertillväxt hos barn till mödrar som använde filter och vattenbäddar.

Kritik kan riktas mot urvalet eftersom referensmaterialets missbildningsfrekvens var så låg som 1/335 mot normalt 2–3 % av alla födslar. Dessutom har man valt att studera de missfall som ägde rum inom ett år innan det indexbarn, som givit anledning till intervjun, fötts. Detta urvalssätt tar inte hänsyn till att endast en del av de kvinnor, som får ett levande barn också hade en risk att få en spontanabort året innan. Man studerade således bara en liten del av de aborter som ägde rum i populationen. Ingen uppdelning gjordes mellan inducerade eller spontana aborter. Studien visade en säsongbunden variation av aborter hos användare av filter och vattenbäddar. Antalet aborter är dock lågt. Detta har speciell betydelse då ju många faktorer som kontrollerar graviditetsutfall har en viss årlig cykel vilket nyligen visats av Weinberg o a (1994).

I ett senare arbete studerades graviditetsutfallet i familjer som hade utsatts för elektromagnetiska fält genom takuppvärmning (Wertheimer och Leeper 1989). Enligt författarna produceras vid denna uppvärmningsmetod elektromagnetiska fält på omkring 1 μ T och ett elektriskt fält på 10–50 V/m. Studien avsåg att utröna om det fanns en säsongbunden variation av graviditetsförluster. Indexfall med ett levande fött barn identifierades via födelseregistret och liksom i den tidigare studien registrerades aborter som hänt året innan expositionen av det levande födda barnet. Man hade bara tillgång till data för en liten del av baspopulationen, 32 % av alla levande födda och 37 % av missfallen hade identifierbara bostäder där eventuell takuppvärmning kunde identifieras. Inga potentiella "confounding-factors" inkluderades i analysen. Antalet missfall per levande födda var lika stort i hem med takuppvärmning som i hem med annan typ av uppvärmning, men även i detta arbete fann man en säsongvariation av spontanaborter relaterat till den ökade användningen av eluppvärmning under vissa årstider.

I denna studie visar man åter på en säsongvariation för aborter. Det finns liknande problem som i den tidigare beträffande urval av fall för studier. Endast en mycket liten del av populationen är studerad, ingen kontrollgrupp finns. Studien kan ej bekräfta hypotesen att eluppvärmning med takkablar skulle påverka frekvensen av spontanabort.

I en registerbaserad fallkontrollstudie (Dlugosz o a 1992) studerades missbildningar i relation till uppvärmning av sängar (elektriska filter, vattensängar) i New York State. Som fall inkluderades alla barn med kluven gom, kluven läpp med eller utan kluven gom, anencefali och spina bifida, födda under en 4-årsperiod. Kontroller utvaldes randomiserat från födelseregistret individuellt matchade beträffande moderns ålder, ras, bostadsort, sista datum för menstruationen och barnets kön. Enkäter tillställdes föräldrarna rörande användning av elektriska filter och uppvärmda vattensängar under konceptionsperioden liksom kända och misstänkta riskfaktorer för missbildningar. OR för användning av elektriska filter versus icke-användning var 0,8 (95 % CI 0,3–2,1) för kluven gom, 0,7 (95 % CI 0,3–1,3) för kluven läpp och 0,1 (95 % CI 0,5–1,6) för neuralrörsdefekter. OR för uppvärmda vattensängar var i princip identiska till dessa siffror. Korrigeringen för potentiella förväxlingsfaktorer (mödrarnas utbildning, vitaminanvändning, rökning) och stratifiering för årstid för konceptionen och värme kontroll av sängar hade inget inflytande på OR. Författarna konkluderar att "60 cycle fields do not cause neural tubal or oral cleft defects".

En välgjord studie som dock ej mätt exponering, endast uppskattat densamma i relation till användning eller icke användning av elektriska filter och vattensängar. Studien negerar effekten av EMF på de studerade missbildningarna.

En prospektiv follow-up studie av drygt 23 000 kvinnor som ingick i ett screeningprogram med alfafetoprotein och amniocentes (Milunsky o a 1992). Exponering och graviditetsutfall var tillgängligt för 97 % av kvinnorna. Värmeexponering i form av bastu, varma bad, feber eller elektriska filter i tidig graviditet studerades. Kvinnor som rapporterat någon form av värmeexponering hade en risk för utveckling av neuralrörsdefekt på 1,6 (95 % CI 0,9–2,9). Om kvinnorna utsatts för bastu, värmebad eller feber i tidig graviditet var RR 2,2 gånger den hos kvinnor utan värmeexponering (95 % CI 1,2–4,1). För varmbad 2,8 (95 % CI 1,2–6,5), för bastu 1,8 (95 % CI 0,4–7,9), för feber 1,8 (95 % CI 0,4–4,1) och för elektriska värmefilter 1,2 (95 % CI 0,5–2,6).

Författarna konkluderar att värmeexponering i form av heta bad, bastu eller feber under första trimestern ökar risken för neuralrörsdefekt. Varma bad hade den största effekten. Elektriska filter hade ingen väsentligt ökad risk.

En mycket välgjord studie som visar en risk för neuralrörsdefekt av värme-påverkan men inte av elektromagnetiska fält.

I en finsk studie (Juutilainen o a 1993) rekryterades en grupp kvinnor som önskade bli gravida och som följts med analys av beta-hCG i blod vid tiden för utebliven mens. Totalt 443 kvinnor ingick i materialet, 107 fick ett mycket tidigt missfall och 122 gick till fullgången graviditet. För den aktuella studien identifierades 89 fall med tidigt missfall och 102 kontroller med fullgången graviditet. ELF mättes i bostaden, men 2/3 av både kontroller och indexindivider hade bytt bostad, varför mätningarna ej var fullständiga. ELF mättes i dörren till bostaden hos 48 % av fallen och 57 % av kontrollerna. "Cut off points" sattes vid 0,1, 0,2 och 0,5 A/m. Hos kvinnor där entrédörrmätningarna visade ett värde på $\geq 0,5$ A/m ($0,63 \mu\text{T}$) fick man en OR på 5,1 (95 % CI 1,0–26). Författarna konkluderar att magnetfält i nivån $\geq 0,63 \mu\text{T}$ kan påverka embryoutvecklingen under de första två veckorna från konceptionen fram till den förväntade menstruationscykeln.

Med tanke på studiens uppläggning där man studerat mycket tidig graviditetsförlust är den av värde. Viss tveksamhet mot konklusionerna då man studerat exposition i en mycket liten del av materialet, mycket få fall i den högst exponerade gruppen och ingen dosresponseffekt.

En fallkontrollstudie (Robert 1993) baserades på data från ett centralregister över kongenitala missbildningar i Frankrike. 1 688 missbildade barn identifierade via registret jämfördes med två kontroller matchade till moderns ålder. Potentiell exposition för elektromagnetiska fält gjordes via bestämning av bostadsplatsens lokalisering för kvinnan vid födelsen av indexbarnet. Exposition definierades som bostad i ett samhälle där åtminstone en del av bostaden var lokaliserad inom 500 meter från 225 eller 400 kW högspänningsledning. Andelen mödrar som levde i exponerade områden var 4,3 % och motsvarande andel av kontrollerna var 5,1 %. Detta ger ett OR på 0,74 (95 % CI 0,58–0,96). Åtta typer av missbildningar bedömdes. För sex av dessa låg OR mellan 0,49 och 1,40. De andra två grupperna var associerade med OR < 1 . OR för skelettdefekter var 0,36 (95 % CI 0,15–0,83) och för hjärtmissbildningar 0,49 (95 % CI 0,26–0,92). Dessa två kategorier medverkar till en negativ association för det totala missbildningsmaterialet. Den låga frekvensen av hjärtmissbildningar kan bero på att dessa är svåra att diagnostisera. Hjärtmissbildningar diagnostiseras inte omedelbart i nyföddhetsperioden. Utom moderns ålder hade man inte tillgång till några data om eventuella förväxlingsfaktorer. Ej heller hade man tillgång till data om avbrytande av graviditet på grund av eventuell prenatal diagnos av fostermissbildning. På grund av dessa problem vill man inte uttala sig om en eventuellt skyddande effekt på kongenitala missbildningar när det gäller närhet till högspänningsledningar. Det är möjligt att mekanismen innebär att en ökad spontanabort av missbildade foster minskar antalet nyfödda med sådan diagnos.

Författaren har själv angivit de problem som studien har: indirekt bedömning av expositionen samt det långa avståndet mellan högspänningsledning och bostadsort, 500 meter. Exponeringskontraster av betydelse kan med stor sannolikhet vara utsuddade i denna studie.

Sammanfattning

Studierna av EMF-exponering i hem eller omgivningsmiljö har inte övertygande kunnat påvisa en förhöjd risk för reproduktionsstörningar. De båda Wertheimer- och Leeper-studierna är svårtolkade beträffande en säsongvariation, som kan ha andra orsaker än EMF-exponering. Dlugosz o a och Milunsky o a visar inte på någon association mellan EMF och missbildningar. Den senare studien antyder en effekt av värmeexponering som möjligen kan vara relevant även för studier som använder säsongvariationer. Robert rapporterar en studie där bristen på exponeringskontrast gör den helt inkonklusiv. Juutilainen o a har använt en mycket lovande ansats för diagnos av tidiga spontanaborter genom att följa beta-hCG i blod. Det stora bortfallet i exponeringsuppskattningen minskar dock värdet av denna studie.

Tabell 1. Reproduktionsstörningar och bildskärmsarbete (VDT).

Författare år och land	Exponering	Utfall	Fall/kontroll Kohort	Odds ratio [konfidensintervall]
Kurpa o a 1985, Finland	Bildskärmsarbete >4 tim/dag	Alla missbildningar	1 475/1 475	0,9 [0,6–1,2] 95%
		CNS-defekter		0,4 [0,2–1,0]
		Slutningsdefekter i ansiktet		0,9 [0,5–1,7]
		Skelettdefekter		0,8 [0,4–1,9]
		Hjärtmissbildningar		1,6 [0,7–3,9]
Ericsson och Källén 1986, Sverige	Bildskärmsarbete >10 timmar/vecka	Spontanabort	327/926	1,04 [0,9–1,2] 95%
	>20 timmar/vecka	Missbildning	102/926	2,3 [1,4–3,9]
McDonald o a 1988, Kanada	Bildskärmsarbete >15 timmar/vecka	Spontanabort aktuell graviditet	24 614	1,19 [1,09–1,30] 90%
		tidigare graviditet	22 517	0,97 [0,89–1,05]
		Missbildningar alla aktuell graviditet	27 382	0,94 [0,78–1,13]
		alla tidigare graviditeter	20 271	1,12 [0,89–1,43]
		Njure & urinvägar aktuell graviditet	27 382	1,84 [1,07–3,15]
		tidigare graviditet	20 271	1,66 [0,82–3,25]
Goldhaber o a 1988, USA	Bildskärmsarbete >20 timmar/vecka	Spontanabort	355/723	1,8 [1,2–2,8] 95%
		Missbildningar	97/723	1,4 [0,7–2,9]
Bryant och Love 1989, Kanada	Bildskärmsarbete	Spontanabort prenatala kontr.	314/314	0,81 [0,59–1,11] 95%
		postnatala kontr.	332/332	1,14 [0,83–1,56]
Nielsen och Brandt 1990, Danmark	Bildskärmsarbete	Spontanabort	666/764	0,94 [0,77–1,14] 95%
Brandt och Nielsen 1990, Danmark	Bildskärmsarbete	Missbildningar alla	421/1365	0,95 [0,76–1,20] 95%
		Hydrocephalus	7/1365	12 [1,4–104]
Windham o a 1990, USA	Bildskärmsarbete <20 timmar/vecka	Spontanabort	439/909	1,2 [0,89–1,7] 95%
	>20 timmar/vecka			1,2 [0,88–1,6]
	<20 tim	Spontanabort före vecka 12	289/897	1,4 [1,0–2,0]
	>20 timmar/vecka			1,3 [0,9–1,8]
	<20 tim	Låg födelsevikt <2 500g	64/816	1,1 [0,52–2,1]
	>20 timmar/vecka			1,4 [0,75–2,5]
	<20 tim	Intrauterin tillväxthämning	68/816	1,1 [0,57–2,2]
	>20 timmar/vecka			1,6 [0,92–2,9]
Tikkanen o a 1990, Finland	Bildskärmsarbete	Hjärtkärldefekt	500/1 055	1,4 [0,5–3,8] 95%
Schnorr o a 1991, USA	Bildskärmsarbete	Spontanabort	2 430	0,93 [0,63–1,38] 95%
Lindbohm o a 1992, Finland	Bildskärmsarbete >1 timme/vecka	Spontanabort totalt	191/394	1,1 [0,7–1,6] 95%
	>20 timmar/vecka			2,0 [0,8–3,7]
	Hög (>0,9 μ T) mot låg (<0,4) strålning			3,4 [1,4–8,6]
	Låg mot kontroll			0,4 [0,2–0,8]
Roman o a 1992, England	Bildskärmsarbete	Spontanabort	150/297	0,9 [0,6–1,4] 95%
	>20 timmar vecka			0,9 [0,5–1,6]
Parazzini o a 1993	Bildskärmsarbete	Spontanabort		1,0 [0,9–1,0] 95%
Metanalys		Missbildningar		1,0 [0,9–1,2]

Tabell 2. Reproduktionsstörningar och exponering för elektromagnetiska fält.

Författare år och land	Exponering	Utfall	Fall/kontroll Kohort	Odds ratio [konfidensintervall]
Wertheimer och Leeper 1986, USA	Elektriska filter (1,5 μ T) och vattensängar (0,35 μ T)	Inducerade och spontana aborter Missbildningar Tillväxthämning	1 256 + 528 Kohort?	
Wertheimer och Leeper 1989, USA	Elektrisk takvärme, elektriska filter	Aborter	2 022 Kohort?	
Dlugosz o a 1992, USA	Elektriska filter och vattensängar	Kluven gom Kluven läpp Neuralrörsdefekt	121/121 197/197 224/224	0,8 [0,3–2,1] 95% 0,7 [0,3–1,3] 0,9 [0,5–1,6]
Milunsky o a 1992, USA	Varma bad Bastu Feber Elektriska filter	Neuralrörsdefekt	22 651 22 670 22 577 22 644	2,8 [1,2–6,5] 95% 1,8 [0,4–7,9] 1,8 [0,8–4,1] 1,2 [0,5–2,6]
Juutilainen o a 1993, Finland	50 Hz magnetfält >0,63 μ T	Mycket tidiga missfall	443	5,1 [1,0–26]
Robert 1993, Frankrike	Bostad inom 500 m från 225 eller 400 kV kraftledning	Missbildning alla	1 688/3 376	0,74 [0,58–0,96]

Barncancer orsakad av maternell och/eller paternell exponering

Maternell exponering

En fall-kontroll studie från Denver, Colorado av cancer hos barn i åldern 0–14 fokuserades på prenatal exponering för elektromagnetiska fält från olika källor (Savitz o a 1990). Studien omfattade 252 fall och 222 kontroller, dock färre med fullständiga exponeringsdata, och växlande antal individer ingick i analyserna för olika exponeringar. Fallen identifierades genom cancerregister och sjukhusregister. Kontroller erhöles genom uppringning av slumpvis valda telefonnummer.

Mödrarnas användning av elektriska filter medförde en riskförhöjning för all cancer OR 1,3 (CI 95 % 0,7–2,2). Riskökningen hänförde sig främst till hjärntumörer OR 2,5 (CI 95 % 1,1–5,5) och leukemi OR 1,7 (CI 95 % 0,8–3,6) med en viss riskdominans för exponering i första trimestern, manligt kön och yngre ålder hos barnet. Elektrisk ledningskonfiguration vid tidpunkten för diagnos gav även en riskökning med hänsyn till lågt belägna eller nedgrävda kablar såväl för all cancer som för hjärntumörer och leukemi OR 1,3 (CI 95 % 0,7–2,3); OR 2,7 (CI 95 % 1,0–7,1) och OR 1,5 (CI 95 % 0,6–3,6) respektive. Andra exponeringar som för elektriska väckarklockor, uppvärmda vattenbäddar och hårtorkar befanns inte ge någon förhöjd risk. Viss riskökning för cancer uppträdde däremot som associerad med postnatal exponering för elektriska filter, särskilt avseende akut lymfocytär leukemi OR 1,9 (CI 95 % 0,6–6,5).

Paternell exponering och neuroblastom

En studie från Texas (Spitz & Johnson 1985) under perioden 1964–78 avsåg neuroblastom med letal utgång hos barn i relation till paternell exponering.

Undersökningen omfattade 157 fall födda 1949–1978 och 314 åldersmatchade kontroller. Faderns exponering baserades på uppgifter från födelseattester. Manligt kön var överrepresenterat både hos fall och kontroller, 55 % mot 57 %.

En rad bakgrundsfaktorer som bl a graden av urbanisering, föräldrars ålder och rastillhörighet undersöktes och angavs vara relativt lika. Risker i olika branschgrupperingar studerades utan att klart förhöjd risk kunde iakttas medan däremot överrisker kunde visas med hänsyn till yrkesexponering för elektromagnetiska fält med OR 2,14 (CI 95 % 0,95–4,82) för en snävare definition och OR 2,13 (CI 95 % 1,05–4,35) för en bredare definition av exponeringen). Elektronikarbetare separat visade en kraftigt förhöjd risk (sex fall och en kontroll med exponering; OR 11,75 (CI 95 % 1,40–98,55). I övrigt kunde man notera en klar risk-förhöjning för lösningsmedel (aromatiska och alifatiska kolväten; OR 3,17 (CI 95 % 1,13–8,89).

I Philadelphia med förorter (Bunin o a 1990) studerades neuroblastom hos barn och föräldrars yrke i en matchad fall-kontroll studie. Fall av neuroblastom hos barn som diagnostiserades mellan 1970 och 1979 erhöles från barncancerregister och från sjukhusregister. Efter visst primärt och kriteriebetingat bortfall fanns 149 fall varav 104 kunde intervjuas, dvs 70 %. Motsvarande siffra för kontroller var 57 % (104 av 181). Kontroller införskaffade man genom slumpmässig telefonuppringning. Yrkesuppgifter erhöles genom telefonintervjuer med båda föräldrarna. Modern rapporterade också yrkesuppgifter för fadern om denne ej var anträffbar. Yrkesförhållandena 6 månader före konception och under graviditeten beaktades med gruppering enligt yrke-exponeringsmatris.

En viss men osäker överrisk uppträdde om fadern före konception arbetat med elektronikprodukter, särskilt sammansättning av sådana OR 4,0 (CI 95 % 0,4–195). Samma effekt uppträdde för maternell exponering, men endast två fall förelåg. Ingen effekt sågs gentemot faderns exponering under graviditetsperioden; inga motsvarande data redovisade för modern. Författarna tolkar sina resultat som ej bekräftande en effekt av exponering för elektromagnetiska fält.

I en fall-kontroll studie i Ohio (Wilkins III och Hundley 1990) studerades paternell exponering för elektromagnetiska fält och neuroblastom hos barn. Fallen, som drogs från ett sjukhusbaserat tumörregister, var 15 år eller yngre och födda under perioden 1942–67. Fyra kontroller per fall drogs från födelseregistret i Ohio med matchning för födelseår, ras och kön samt boendeort. Efter vissa kriterierelaterade uteslutningar ingick 101 fall och 404 kontroller i studien. Faderns exponering baserades på de uppgifter om industri eller yrke som framgick av födelseattesten. Vissa svårigheter förelåg beträffande kodningen av exponeringen; 87,1 % av fallen mot 79,2 % av kontrollerna kodades dock utan svårigheter. Olika yrke-exponerings-matriser användes med något olika resultat som följd vad avser erhållna riskestimat.

Serviceyrken var förenade med högsta risken OR 2,0 (CI 95 % 0,99–4,2). Med två av de använda yrke-exponeringsmatriserna erhöles en indikation om förhöjd risk med hänsyn till elektromagnetiska fält OR 1,6 (CI 95 % 0,3–9,1) respektive 1,9 (CI 95 % 0,4–9,7). Författarna tolkade resultaten som icke oförenliga med en tidigare studie från Texas (Spitz och Johnson 1985).

Paternell exponering och tumörer i centrala nervsystemet

Paternell yrkesexponering undersöktes i en fall-kontroll studie av 491 barn som var födda i Ohio och som avlidit i hjärntumörer under åren 1959–78 (Wilkins & Koutras 1988). Slumpvist valda kontroller erhöles med hjälp av födelseattesterna i samma stat för perioden 1940–67. Matchning gjordes på kön, ras och födelseår. Yrkesuppgifter om fadern erhöles från födelseattesterna och expone-

ringsklassning gjordes sedan med hjälp av yrke-exponeringsmatris. Föräldrarnas ålder, födelsevikt och födelseordning liksom urbaniseringsgrad beaktades i analysen. Faderns anställning i flera industribranscher respektive yrken var förenad med ökad risk, däribland sysselsättning som innebar sammansättning, installering och reparation av elektrisk utrustning, särskilt i mekanisk industri (korrigerad OR 2.7 (CI 95 % 1,2–6,1). Också svetsning och skärbränning var förenat med liknande förhöjd risk.

I en populationsbaserad fall-kontroll studie från delar av staten New York jämfördes faderns yrkesexponering hos 338 patienter under 15 år med tumör i centrala nervsystemet med motsvarande uppgifter för 676 kontroller (Nasca o a 1988). Cancerregisterdata användes för att identifiera fallen under perioden 1968–77, varvid New York City och en del andra områden inom staten New York exkluderades. Kontrollerna drogs slumpmässigt från födelseregistret i området varifrån fallen rekryterats.

Uppgifter om faderns yrkesexponering vid tiden för barnets födelse respektive vid diagnostillfället erhöles genom intervju med modern, vars exponering även beaktades. Av rekryterade fall kunde 85 % intervjuas mot 70 % av kontrollerna. Speciella, tidigare framtagna klassificeringssystem användes för att kategorisera exponering för lösningsmedel och joniserande strålning, som var huvudintresset i studien. Elektromagnetisk exponering beaktades även och tillskrevs i snävare bemärkelse elektriker, elektronikarbetare, kraftledningsarbetare och svetsare; ytterligare några grupper tillfördes i en mer vid kategorisering.

Risikökningar påvisades för joniserande strålning och exponering för anställning i oljeindustrin. En något förhöjd risk sågs med hänsyn till elektromagnetisk exponering (för mer specifik exponering erhöles OR 1,7 (CI 95 % 0,80–3,59) och för en bredare definition av exponeringen var OR 1,61 (CI 95 % 0,83–3,11).

I en populationsbaserad fall-kontroll studie från Texas (Johnson och Spitz 1989) undersöktes relationen mellan dödsfall i hjärn- och ryggmärgstumörer hos barn under 15 år och faderns yrkesexponering med hänsyn till användning, reparation och produktion av elektrisk och elektronisk utrustning. Studien omfattade 499 fall från perioden 1964–80 och 998 köns-, ålders- och rasmatchade kontroller, alla liksom fallen födda i Texas och under perioden 1950–79. Exponeringen baserades på yrkeskategorisering och uppgifter om faderns yrke erhöles från födelseattester. En variation i könskvot uppträdde med hänsyn till rastillhörighet. En rad bakgrundsfaktorer undersöktes och angavs vara lika för fall och kontroller.

Faderns anställning i industri med potentiell exponering för lågfrekventa elektromagnetiska fält innebar en förhöjd risk OR 1,64 (CI 95 % 0,96–2,82). Anställning i elektronikindustri resulterade i högre risk OR 3,56 (CI 95 % 1,04–12,24). Det högsta riskestimatet erhöles för paternell exponering som byggnadselektriker (construction electrician), OR 10,05 (CI 95 % 1,17–86,3), (5 exponerade fall mot en kontroll), trots huvudsakligt arbete med oelektrifierade ledningar. Riskförhöjningar förelåg även för paternell exponering vid tillverkning av elektrisk utrustning. Kemisk exponering diskuterades i detta sammanhang. I artikeln rapporterades att analys avseende exponering för lösningsmedel även givit en förhöjd risk (OR 4,5), som rapporterats annorstädes. Hjärnstamstumörer uppträdde hos fyra av de sju barnen till elektriker.

Fall av astrocytom hos barn under 15 år insamlades från tumörregistret vid åtta sjukhus i Pennsylvania, New Jersey och Delaware, USA, under perioden 1980–86 och jämfördes med kontroller som erhöles genom uppringning av slumpvis valda telefonnummer (Kuijten o a 1992). Matchning genomfördes beträffande ålder, ras och riktnummerområde. Yrke hos föräldrarna före kon-

ception, under och efter graviditeten fastställdes och grupperades med hänsyn till vad som tidigare associerats med hjärntumörer hos barn. Båda föräldrarna intervjuades separat men enbart modern tillfrågades om bådasyrke om fadern ej var tillgänglig. Fler fäder till fall hade yrken som elektriska och elektroniska reparatörer än fäder till kontroller bland de 158 par där uppgifter fanns för fadern OR 8,0 (CI 95 % 1,1–356 prekonception: OR 5,0 (CI 95 %, 0,6–237) under graviditet och OR 2,5 (CI 95 % 0,4–26) efter conception. Trolig exponering för elektromagnetiska fält före konception gav OR 1,7 (CI 95 % 0,7–4,4) och lägre OR under och efter graviditet. Definitiv exponering före graviditet resulterade i OR 1,1 (CI 95 %, 0,4–3,1). I övrigt noterades upp till drygt fördubblade risker för ett stort antal exponeringar, dock OR 4,0 prekonceptionellt för tryckeriarbetare. Barn till mödrar (163 par) som var sköterskor och frisörer före konception hade riskökningar (OR 8,0 respektive 2,5). Analyserna korregerades för övergripande bakgrundsfaktorer vilket dock hade liten betydelse.

Paternell exponering som metallarbetare och barncancer

I en dansk undersökning (Bonde o a 1992) studerade man bl a cancerförekomsten hos barn till en grupp metallarbetare med avseende på faderns exponering för svetsning. Man utgick från 27 071 män i metallarbete under minst ett år mellan 1964 och 1986. För en betydande del av dessa personer kunde såväl specifika arbetsuppgifter erhållas som uppgifter kring deras barn. En grupp om 1 774 barn kategoriserades på basen av fädernas exponering som under risk för rostfri svetsning, en annan grupp om 2 764 barn rubricerades på motsvarande sätt under risk för annan svetsning och 1 867 bedömdes inte ha varit under risk. Så många som 16 489 barn tillhörde fäder för vilka ingen uppgift förelåg om exponering.

Uppföljningen av respektive grupper innebar observation av 17 254, 29 077, 18 051 och 183 866 personår för cancer att insjukna i cancer. Cancerutfallet var 2, 4, 4, och 26 fall, och de relativa riskerna jämfört med förväntat var 0,77, 0,93, 1,48, och 0,97 respektive. I den största gruppen med okänd exponering uppträdde 4 fall av retinoblastom mot 1,15 förväntat RR 3,5 (CI 95 % 1,1–8,4).

Sammanfattning

En fall-kontroll studie från USA (Savitz o a 1990) har visat en något mer än dubblerad risk för hjärntumörer och en knappt dubblerad, icke-signifikant risk för leukemi hos barn i relation till mödrarnas användning av elektriska filter under graviditeten, särskilt under första trimestern. Exponeringsdata var ofullständiga i vissa avseenden och kontrollerna hade erhållits genom uppringning av slumpvis valda telefonnummer. Snedvridande selektionsfenomen kan ha påverkat resultaten med hänsyn till hur exponeringsdata i olika avseenden var tillgängliga. Negativ förväxlingseffekt, "confounding", förelåg från inkomstklass.

I tre likartade amerikanska fall-kontroll studier (Wilkins III och Kontras 1988, Nasca o a 1988, Johnson och Spitz 1989) av potentiell exponering för lågfrekventa elektromagnetiska fält hos fäder och tumörer i centrala nervsystemet hos barn noterades tämligen konsistenta fynd med en variation i risk från knappt till drygt den dubbla mot normalt. Arbete i elektronikindustri och som elektriker av olika slag var förenat med den tydligaste riskförhöjningen. Olika former av kemisk exponering rapporterades i två av studierna vara förenad med

riskökning. Förväxlingseffekter (confounding) från andra exponeringar har inte ägnats tillräckligt intresse för att göra studierna konklusiva. En dansk studie av barn till manliga svetsare visar ingen ökad cancerrisk men är helt inkonklusiv med hänsyn till alltför få fall. En ytterligare amerikansk studie av astrocytom visade relationer till speciellt elektriskt reparationsarbete hos fadern men ej till definitiv exponering för elektromagnetiska fält, men däremot förelåg viss riskförhöjning i relation till trolig sådan exponering.

Tre amerikanska studier av neuroblastom hos barn (Spitz och Johnson 1985, Bunin o a 1990, Wilkins III och Hundley 1990) och exponering för elektromagnetiska fält hos fadern antyder en viss men osäker riskförhöjning grundad på få exponerade individer. Baserat på sex exponerade fall och en kontroll sågs en drygt tiofaldig riskökning för elektronikarbeters barn i en studie (Spitz och Johnson 1985). Snedvridande selektionsfenomen genom bortfall och/eller okontrollerade förväxlingseffekter (confounding) kan sannolikt förekomma i dessa studier. Sammanlagt gäller att det föreligger ett otillräckligt underlag för att bedöma cancerrisken för barn vid moderns exponering för elektromagnetiska fält.

Det finns en viss samstämmighet mellan några olika studier vad avser faders exponering för elektromagnetiska fält och hjärntumörer och neuroblastom hos barnen. I brist på mekanistisk förklaring framstår det nu tillgängliga underlaget emellertid ändå som otillräckligt för att man skall kunna bedöma cancerrisken för barn efter preconceptionell exponering av fadern för elektromagnetiska fält.

Tabell 3. Föräldrars exponering för EMF och cancer hos barnen.

Författare, år och land interv	Exponering Kohort	Cancerform	Fall/kontr. Personår	Odds ratio 95% konf
Maternell exponering				
Savitz et al 1990, USA	Elektriska filter, spec. 1:a trimester [*]	All cancer Hjärntumör Leukemi	352/222	1,3 0,7–2,2 2,5 1,1–5,5 1,7 0,8–3,6
Paternell exponering				
Spitz o Johnson, 1985	Yrkesexponering	Neuroblastom	157/314	2,13 1,05–4,35
Bunin o a, 1990	Yrkesexponering, spec elektronikprodukter	Neuroblastom	104/104	4,0 0,4–195
Wilkins III och Hundley, 1990	Yrkesexponering med exp-matris	Neuroblastom	101/404	1,9 0,4–9,7
Wilkins o Koutras, 1988, USA	Yrkesexponering för "el-utrustn"	Hjärntumör	491/491	2,7 1,2–6,1
Nasca o a, 1988, USA	Yrkesexponering med specificering	CNS-tumör	338/676	1,7 0,80–3,59
Johnson o Spitz, 1989, USA	Yrkesexponering (byggelekt.)	CNS-tumör	499/988	1,64 0,96–2,82 (10,05)
Kuijten o a, 1992, USA	Elektriskt reparationsarb.	Astrocytom	158/158	8,0 1,1–356
Bonde o a, 1992, Danmark	Metallarb – svetsare – ospec.	All cancer Retinoblastom	248 248 17 254 res 29 077 183 866	Upp till 1,48 0,77 res 0,93 3,5 1,1–8,4

* Savitz o a 1990: Ledningskonfiguration vid tidpunkt för diagnos gav för all cancer, hjärntumör och leukemi OR 1,3; CI 95 % 0,7–2,3; OR 2,7 CI 95 % 1,0–7,1 och OR 1,5 CI 95 % 0,6–3,6 respektive.

Biologiska mekanismer och djurexperimentella effekter

(Sammanfattning i tabell 4)

I litteraturen finns ett stort antal artiklar angående studier *in vitro* av reproduktionseffekter av EMF. Det finns också fler studier på försöksdjur i litteraturen än vad som redovisats i denna genomgång, som omfattar ett antal väsentliga tidigare artiklar samt en mer komplett täckning av arbeten som publicerats efter 1990. En mer fullständig genomgång av den tidigare litteraturen har gjorts, t ex i ORAU-rapporten som dock ansåg att studierna på hönsembryoner var av begränsat värde vid tolkning av epidemiologiska eller kliniska studier angående samband mellan EMF-exponering och risker för det mänskliga fostret. Även andra embryologiska studier *in vitro* samt studier i cellkultur ansågs i första hand vara av värde för att studera mekanismer för effekter som påvisats i studier på människor. Vi har valt att inte närmare gå in på dessa typer av studier i detta avsnitt, eftersom de berörs i avsnitt sid 70 angående möjliga mekanismer för cancer.

Embryologiska effekter på befruktade hönsägg

Befruktade hönsägg inkuberades under 48 timmar och exponerades för ELF-fält med en frekvens av 10 Hz, 100 Hz eller 1 000 Hz och med fältstyrkorna 0,12, 1,2 och 12 μ T (Delgado o a 1982). Hundraherzfältet på 1,2 μ T hade de mest uttalade effekterna på embryogenesen. Utvecklingen av embryonerna reducerades till att endast tre primitiva lager utvecklades. Hjärnblåsorna, hörselanlaget, neuralröret, förtarmen, hjärtat, kärlen och somiterna utvecklades ej. Glukosaminoglykaner saknades nästan helt. Dessa resultat visar enligt författarna att det förekommer ett exponeringsfönster, eftersom embryoner som exponeras för 100 Hz 1,2 μ T utvecklades sämre än embryoner som exponerades vid lägre och högre intensiteter och frekvenser.

Organutvecklingen påverkades på olika sätt för olika organ. Hjärnan och nervsystemet var mest känsligt och hjärtat det minst känsliga organsystemet. Somiterna påverkades ej av exponering för 10 Hz vid någon av de använda fältstyrkorna. Utvecklingen av blodkärl blockerades helt av fält med frekvensen 1 000 Hz, styrkan 12 μ T, medan vissa delar av andra organ förekom.

De drastiska embryologiska störningarna som beskrivits erhöles enligt författarna med förhållandevis låga fältstyrkor. De embryologiska förändringarna som inducerades av elektromagnetiska fält beror enligt författarna på störningar i förekomsten och strukturen hos glukosaminoglykaner som är väsentliga byggstenar i de cellulära aktiviteterna, inkluderande cellmigrationen.

Berman o a 1990 genomförde försök i flera olika laboratorier för att se om effekter av ELF-fält kunde konfirmeras. Sex oberoende experiment med identisk uppläggning utfördes i sex olika laboratorier. (1: Martucci, Nevada, USA; 2: Koch, NC, USA; 3: Leal, Spanien; 4: Martin, Canada; 5: Mild, Sverige; 6: Monahan, MD, USA.) Fertiliserade hönsägg inkuberades antingen i en kontrollinkubator eller i en inkubator i ett pulsformigt magnetiskt fält (PMF). Embryonerna undersöktes därefter med hänsyn till förekomsten av utvecklingsstörningar. I alla laboratorier användes samma exponerings- och inkubationsutrustning som sändes ut ifrån laboratoriet i Las Vegas, Nevada, USA. I inkubatorerna

fanns en Helmholtz-spole och elektronisk utrustning för att generera och kontrollera PMF och att övervaka temperatur, relativ fuktighet och vibrationer. PMF (500 μ sek pulsduration, 100 pulser/sek, 1 μ T topphöjd och 2 msek användes för exponering av de exponerade äggen under 48 timmar av inkubation. I varje laboratorium användes 10 ägg samtidigt vid exponering respektive kontroll-inkubation. Man växlade mellan de två inkubatorerna och utvärderingen av äggen gjordes blint. Proceduren upprepades tio gånger i varje laboratorium. Efter 48 timmars exponering utvärderades äggen blint med avseende på utvecklingsstadium och morfologi. I fem av de sex laboratorierna konstaterades att de exponerade embryonerna hade mer strukturella anomalier än kontrollerna, även om förment signifikanta skillnader endast observerades i två laboratorier ($p < 0,05$) och en marginell signifikans förelåg i ett tredje laboratorium ($p = 0,08$). När data från alla sex laboratorier sammanslås erhålles signifikant skillnad mellan exponerade och kontroller. Orsaken till de uttalade skillnaderna mellan laboratorier är enligt författarna okänd.

En ny statistisk analys av de resultat som rapporterats av Berman o a 1990 redovisas av Handcock och Kolassa 1992. Denna publikation har som målsättning att tillämpa korrekta statistiska analysmetoder. Författarna använder en linjär logistisk modell för att analysera antalet störda embryoner. Som cc-varianter användes faktorer som motsvarar exponering, laboratorium, inkubator, försöksomgång och mätningar av bakgrundsstrålning. I detta arbete påvisas liksom i originalarbetet en effekt av exponeringen samt också av vilket laboratorium som studien utförts i. Vad som dessutom påvisas i detta nya arbete är att det också föreligger en interlaboratorievariation i effekten av exponeringen och att denna interlaboratorievariation är åtminstone lika stor som effekten av exponeringen i sig själv. Närvaron av en sådan effekt ändrar på tolkningen av fynden och presenteras grafiskt. Slutsatsen av den nya statistiska analysen är att man erhåller samma grundkonklusion som i det ursprungliga arbetet av Berman et al, dvs att det förekommer statistiskt signifikanta ökningar i abnormala embryoner på grund av behandlingarna med 48 timmars exponering för ELF unipolär lågintensitetspulsat magnetfält. Betydelsen av att man påvisat närvaron av variationer beroende på laboratorium är att storleken av behandlingseffekterna beror på omätta skillnader i förhållanden vid de olika laboratorierna. Denna omätta skillnad i effekt beroende på laboratorium bidrar med en variation som är likartad den som beror på exponeringen.

I ett försök (Martin 1992), som utfördes på ett av de laboratorier som ingick i henhouse experiment, gjordes nya försök där man exponerade ägg på samma sätt som i den tidigare studien, men för en annan typ av fält, nämligen 60 Hz, antingen bipolärt eller unipolärt eller sk split-sine-vågor med amplituden 3 μ T peak-to-peak. I de fyra experiment som utgjorde den här rapporterade studien erhöles inga signifikanta skillnader i missbildningar mellan kontroller och exponerade. En ytterligare 72 timmars inkubationstid utan exponering för elektromagnetiska fält resulterade i en ökning av de normala levande embryonerna i både kontroll- och behandlingsgrupp.

I ett översiktsarbete (Koch o a 1993) sammanfattas och diskuteras effekter av elektromagnetiska fält på utvecklingsförändringar hos hönsfoster. Tabeller presenteras över olika exponeringsförhållanden och utfall i form av förändrade frekvenser av missbildningar etc. Fynden diskuteras i förhållande till fynd av biokemiska förändringar i form av membranzymer, vilka emellertid inte iakttagits vid samma fältstyrkor och exponeringsförhållanden som dem som givit upphov till missbildningar i hönsfoster. Konklusionen är att tillgänglig kunskap angående hur hönsfoster påverkas av statiska eller pulssade magnetfält

är osäker. Författarna påpekar att studier av enzymer och jonförändringar kan vara mera intressanta än att studera biologiska missbildningar.

Befruktade hönsägg exponerades under de första 48 timmarna efter värpning för PMF, 100 Hz 1 μ T, 500 μ sek pulsduration. (Ubeda o a 1994). Äggen exponerades för en av två olika pulsformer, antingen med 85 μ sek fall- och stigtid (PMF-A) eller med 2,1 μ sek fall- och stigtid (PMF B). Kontrollägg exponerades för i övrigt samma förhållanden men ej för PMF. Efter denna behandling inkuberades samtliga ägg under ytterligare nio dagar utan PMF. Embryonerna studerades därefter blint med avseende på vitalstatus och förekomst av strukturella missbildningar. I båda de PMF-exponerade grupperna fann man en något högre frekvens av utvecklingsrubbningar (16,7 %-PMF-A, 29,3 % PMF-B) jämfört med respektive kontroller (8,0 %-PMF-A, 11,9 % PMF-B). Skillnaden var dock bara statistiskt signifikant i den grupp som exponerats för PMF-B. I denna grupp förelåg en förhöjd frekvens av döda embryon (dock ej statistiskt signifikant skild från kontroller på $p=0,05$ nivå). Även strukturella missbildningar förelåg i något högre frekvens än hos kontroller, men utan statistisk signifikans. Skelettmisbildningar förelåg ej i förhöjd frekvens.

Sammanfattning

Delgado o a 1982 gjordes försök som bl a kritiserats för otillfredsställande kontroll över exponeringssituationen. Denna studie blev utgångspunkten till det sk "henhouse project" (Berman o a 1990), där man mättes en rad variabler som misstänktes kunna inverka på resultaten såsom det jordmagnetiska fältet, olika fält som härrörde från inkubatorerna och annan elektrisk utrustning i inkubatorernas närhet mm. Någon relation mellan de uppmätta variablerna och variationen i utfall mellan de olika laboratorierna kunde ej konstateras. Även Handcock och Kolassa 1992 analys bekräftar tolkningen av fynden dvs att det föreligger en okontrollerad faktor som varierar mellan laboratorierna.

Det är svårt att värdera betydelsen av de intressanta fynd som rapporterats av (Ubeda o a 1994) angående inverkan på frekvens utvecklingsrubbningar av olika pulsformer. Fältet med kortare stigtid på pulserna hade signifikant effekt, medan de med längre stigtid ej hade sådan effekt. Kvoten mellan exponerad grupp och resp kontroll var 2,1 resp 2,5 i de två försöken, alltså inte någon markant skillnad. Sammanfattningsvis är det svårt att frigöra sig från intrycket att de effekter som rapporterats varierar mellan laboratorier och att det inte varit möjligt att finna effekter som går att upprepa i flera oberoende laboratorier.

Effekter på fosterutvecklingen hos råttor

Tjugo gravida Sprague-Dawley råttthonor användes av Zecca o a 1985. Tio exponerades dag 6–15 under tre timmar per dag för ett pulsat 50 Hz magnetfält på 58 Gauss (5,8 mT) med speciell pulsform, genererad med en Ronefor apparat. De övriga tio utgjorde kontroller. Djuren i båda grupperna dödades på dag 20 och man utförde en sedvanlig teratologisk undersökning. Man fann 119 implantationer i kontrollgruppen och 121 bland de exponerade. Antalet levande foster per kull var 11,3 resp 10,8 hos kontroller resp exponerade. Bland de exponerade konstaterades totalt 11 resorptioner och två döda foster, motsvarande 10,7 % förlorade foster efter implantationen och bland kontrollerna var det

sex resorptioner dvs 5,0 % förlorade foster efter implantation. Enligt författarna fann man inte några signifikanta skillnader mellan grupperna.

Sprague-Dawley-råttor exponerades av Stuchly o a 1988 för ett sågtandformat magnetfält (17,9 kHz). Tre grupper exponerades för 5,7, 23 och 66 μ T. Magnetfältet hade en vågform med en pulsduration på totalt 56 μ sek av vilka huvudsakliga delen var stigtid och endast 12 μ sek falltid. En svag statistiskt signifikant minskning av lymfocytantalet hos moderdjuren konstaterades hos djuren som exponerades för den högsta magnetfältsintensiteten, men inte i övriga grupper. För övrigt konstaterades inga andra avvikelser från det normala, vare sig vad gäller maternella eller fetala parametrar som undersöktes. Sedvanliga teratologiska parameterar undersöktes (se beskrivning i samband med Huuskonen o a 1993).

Gravida råttthonor (Sprague-Dawley) exponerades för ett pulsat elektromagnetiskt fält (15 Hz, 0,3 msek duration, toppintensitet 8 gauss = 800 μ T) under 15 minuter två gånger dagligen från dag 15 till dag 20 under gestationen (McGivern o a 1990). Inga skillnader i kroppsvikter observerades hos avkomman från de exponerade honorna. Vid 120 dagars ålder uppvisade den manliga avkomman från de exponerade honorna signifikant mindre doftmarkeringsverksamhet än kontrollerna. Vikten av epididymis (bitestiklar), vesikulae seminalis och prostata var signifikant högre i den exponerade gruppen än hos kontrollerna. Man kunde dock ej visa någon skillnad i testosteronnivåer, LH-nivåer eller FSH-nivåer. Även spermieantalet var normalt. Författarna drar slutsatsen att exponering för EM-fält under den kritiska prenatala perioden då den centralnervösa könsdifferentieringen utvecklas, kan demaskulinisera avkomman så att de uttrycker mindre doftmarkeringsverksamhet och får en större vikt på accessoris- ka könsorgan.

Sprague-Dawley råttor exponerades perinatalt för ett 60 Hz elektromagnetiskt fält 22 dagar in utero och under de första 8 dagarna post partum (Salzinger o a 1990). Varje expositionstillfälle pågick under 20 timmar. Elfältet var 30 kV/m rms och det magnetiska fältet 100 μ T rms. När avkomman blev vuxen tränades hanrättorna att utföra vissa uppgifter som stimulerades med föda. Exponerade råttor visade sig svara på inlärningsschemat i betydligt mindre utsträckning än kontrollerna. Samma fynd erhöles när experimentet upprepades.

Parade råttthonor (Han: Wistar) användes i ett försök som utfördes av Huuskonen o a 1993. Varje grupp bestod av 72 djur. Tre grupper användes: en grupp exponerades för ett 50 Hz sinusformat magnetfält med styrkan 35,0 μ T. En andra grupp exponerades för ett sågtandsformat fält med 20 000 pulser per sekund. Exponeringen var 24 tim per dygn under graviditetsdag 0–20. En tredje grupp (kontroller) exponerades för samma förhållanden i övrigt men ej för magnetfält.

Djuren avlivades på tjugonde graviditetsdagen och man registrerade antal corpora lutea, antal implantationer, kön och antal av levande foster, antal döda foster, antal resorptioner, fostervikt, yttre missbildningar och placentavikt. Vart tredje foster färgades med Alizarin för registrering av skelettmissbildningar. Övriga foster fixerades i Bouins lösning och dissekerades för registrering av visceral missbildningar.

Jämfört med kontrollgruppen var antalet implantationer och levande foster per kull signifikant högre i gruppen som exponerats för 50 Hz fält. Till detta resultat bidrog förhållandet att det förelåg en total resorption av samtliga foster i hela kullen hos tre honor i kontrollgruppen. Graviditetsfrekvens, incidens av resorptioner och förekomsten av sen fosterdöd var likartad i de tre grupperna.

Förekomsten av foster med mindre uttalade skelettmissbildningar var signifikant förhöjd i båda de exponerade grupperna. Endast en allvarlig missbildning (anoftalmi) konstaterades i den grupp som exponerats för det sågtandspulsade fältet. Enligt författarna kan den aktuella exponeringen för magnetfält ej anses vara teratogen för Wistar råttor. Resultaten antyder dock att sådana fält kan ha effekter på ossifikationsprocessen i skelettet och på implantationen. Fortsatt forskning är (enl författaren) nödvändig för att konfirmera dessa effekter samt för att bestämma fyndens betydelse för människan.

Effekter på fosterutvecklingen hos möss

Fyra grupper av möss (Swiss) användes av Rivas o a 1985. En grupp exponerades för EMF 2,3 mT 50 Hz, 5 msek pulsduration. Den andra exponerade gruppen exponerades för ett fält på $8,3 \times 10^{-2}$ mT (83 μ T) 50 Hz 5 msek pulsduration. Exponeringen varade i 120 dagar och varje exponerad grupp hade en motsvarande kontrollgrupp som inte exponerades för fälten, men som i övrigt hade likartade miljöförhållanden. Varje grupp bestod av 10 hanar och 30 honor. En hane och tre honor i varje bur, gravida honor sattes i enskilda burar, och hölls där till av vänjningen.

Man konstaterade att det förelåg en signifikant lägre vikt både hos hanar och honor efter 120 dagar vid 2,3 mT exponering. För djuren som exponerades för 83 μ T sågs bara en lägre vikt hos hanar. Det förelåg inga signifikanta skillnader i antalet levande födda eller i födelsevikter, men siffrorna var något lägre i de exponerade grupperna.

Tribukait o a 1987 exponerade grupper av parade C3H möss för olika typer av magnetfält: 1 μ T, rektangulära pulser 100 Hz, 15 μ T, rektangulära pulser 100 Hz, 1 μ T sågtandformade pulser 20kHz och 15 μ T sågtandformade pulser 20 kHz. Exponeringen skedde kontinuerligt dag 0–14. Inga effekter kunde konstateras på frekvensen av implantationer, resorptioner eller döda foster eller kroppsvikt. Frekvensen missbildningar var opåverkad av de rektangulära fälten medan en viss ökning iaktogs hos de djur som exponerats för de sågtandformade fälten (9 missbildade foster bland 386 undersökta som exponerats för 1 μ T. 11 av 375 vid 15 μ T, jämfört med 7 av 517 bland kontroller). Denna ökning är dock inte statistiskt signifikant. I sin konklusion i artikeln framhåller dock författarna att om man tar hänsyn till erfarenheterna i ett större material av historiska kontroller, kan resultaten antyda att de sågtandformade pulserna har en teratogen verkan.

Ett pulsat sågtandformat magnetfält med 20 μ sek stigtid och 5 μ sek falltid peak to peak 15 μ T och frekvensen 20 kHz användes av Fröhlen o a 1993 för att studera effekterna på embryogenesen hos CBA-möss. Totalt 543 kontroller och 707 exponerade möss användes i dessa försök enligt följande: Ett experiment började dag 1, ett annat dag 2, ett tredje dag 5 och ett fjärde dag 7. Alla exponeringar fortsatte till dag 19. I samtliga experiment, utom det som började på dag 7, sågs ett signifikant högre antal placentala resorptioner i exponerade gruppen jämfört med kontroller. I övrigt sågs inga effekter av teratologisk art. Det förelåg således inga ökade frekvenser av missbildningar etc. I experiment 1 fanns en viss ökning av antalet dödfödda, men i övrigt inga effekter. Att PMF-behandlade möss hade signifikant fler placentala resorptioner när exponeringen började på dag 5 eller tidigare visar en preimplantationseffekt av dessa PMF (enligt författarna).

CD-1 möss exponerades för ett 20 kHz sågtandformat magnetfält (Wiley o a 1992) av styrkan 0, 3,6, 17 eller 200 μ T (peak to peak). Studien var en sedvanlig teratologisk undersökning med registrering av sedvanliga parametrar. 140 gravida honor användes i varje grupp och det förelåg inga signifikanta skillnader mellan några av exponeringsgrupperna eller kontrollgruppen för några av de observerade parametrarna. Resultaten stöder således inte hypotesen att 20 kHz VLF magnetfält är teratogent hos däggdjur.

I en översiktsartikel angående effekter av lågfrekventa magnetfält på embryonalutvecklingen hos såväl försöksdjur som människor sammanfattar Juutilainen (1991) litteraturdata. Författaren konstaterar att litteraturen antyder att dessa fält har skadliga effekter på utvecklingen av hönsembryoner. Mekanismen för detta är inte känd. Resultaten av experiment med däggdjur överensstämmer inte med varandra. Det finns mer data angående effekter på möss än på råttor och dessa data antyder att fosterdöd kan öka, snarare än missbildningar. De flesta epidemiologiska studier angående graviditet och lågfrekventa magnetfält har utförts på sådana som använder bildskärmar. Dessa undersökningar ger inte något stöd för antagandet att det föreligger en koppling mellan ogynnsamt graviditetsutfall och användning av bildskärmar. Andra starkare källor till lågfrekventa magnetfält har undersökts endast i ett fåtal studier. Det är enligt författarna inte möjligt att dra några slutsatser angående om yrkesmässig- eller bostadsexponering för lågfrekventa magnetfält påverkar den mänskliga utvecklingen under fosterlivet. Det finns ett uttalat behov för ytterligare forskning.

Studien av Tribukait o a 1987 är endast publicerad i proceedings från ett symposium och ej i en reguljär vetenskaplig tidskrift. Artikeln har ändå refererats här eftersom den ofta citeras i litteraturen och den har uppenbarligen varit utgångspunkt för senare studier.

Man bör i studien av Fröhlen o a 1993 notera att den avsaknad av effekt som konstateras i experiment nr 5, dvs när exponeringen var mellan dag 7 och 19, beronde på ett högre antal placentala resorptioner hos kontroller (9 % hos exponerade och 9,4 % i kontrollerna). Man kan således konstatera att någon icke kontrollerbar faktor och inte enbart PMF påverkar denna frekvens.

Sammanfattning

Man kan sammanfattningsvis konstatera att det finns effekter i form av strukturella anomalier rapporterade av magnetfält 100 Hz 1 μ T på hönsembryoner och att dessa effekter kunnat påvisas i flera olika laboratorier men inte i alla. Utfallet påverkas av någon faktor som man inte har haft kontroll över trots att man registrerat en rad faktorer som man misstänkt kunde påverka resultatet, bl a olika magnetfält. Variation av pulsernas utseende och frekvens har i vissa andra försök relaterats till förekomsten av effekter, men det kan knappast hävdas att man med dagens kunskapsläge kan identifiera vilka typer av exponering som kan ge effekter och vilka som inte ger effekter. Vissa beteendeförändringar har rapporterats hos råttor efter intrauterin exponering för ELF-fält, men dessa effekter behöver också konfirmeras i oberoende laboratorier. Effekter i form av ett ökat antal placentala resorptioner har rapporterats hos möss som exponerats för 20 kHz 15 μ T, men även när det gäller mössen synes resultaten påverkas av okontrollerade faktorer. Sammanfattningsvis kan man konstatera att det inte finns djurförsöksdata som talar för att EMF av mikrotreslaintesnitet kan framkalla teratologiska eller andra effekter som går att upprepa i flera oberoende laboratorier.

Tabell 4. Djurförsök.

Referens	Exponering	Utfall
Hönsembryoner		
Delgado o a 1982	10 Hz; 100 Hz; 1000 Hz 0,12; 1,2; 12 μ T	Uttalade effekter på embryogenesen av 100 Hz, 1 μ T. Övriga exponeringsalternativ mindre uttalade effekter
Berman o a 1990	PMF; 100 Hz, 1 μ T Samma försök genomfördes av sex olika lab runt om i världen	I fem av sex laboratorier med olika geografisk lokalisering påvisades fler embryoner med utvecklingsanomalier hos exponerade än hos kontroller (statistiskt signifikant ökning $p < 0,05$ endast i två lab)
Martin 1992	60 Hz, 3 μ T	Ingen effekt
Ubeda 1994	PMF, 1 μ T 85 μ sek stigtid 2,1 μ sek stigtid	Strukturella anomalier: Ökad, men ej statistiskt signifikant Statistiskt signifikant ökad frekvens
Råttor		
Zecca o a 1985	Dag 6–15,3 tim/dag 50 Hz; 5,8 mT	Ingen signifikant effekt
Stuchly o a 1988	5,7; 23; 66 μ T	Ingen signifikant effekt på fostren
Mc Givern o a 1990	15 Hz, 800 μ T 10 min x 2 per dag Dag 15–20	Vid 120 dagars ålder mindre doftmarkeringsverksamhet hos hanar. Ökad vikt hos accessoriska könsorgan
Salzinger o a 1990	60 Hz 30 kV/m 100 μ T Dag 0–22 in utero + 8 dagar post partum	Sämre inlärningsförmåga hos exponerade hanråttor
Huuskonen o a 1993	50 Hz, 35, 0 μ T PMF 20 kHz Dag 0–20	Högre antal levande foster. Högt antal mindre skelettmissbildn. Högre antal mindre skelettmissbildn.
Möss		
Rivas o a 1985	50 Hz, 2,3 μ T 50 Hz, 83 μ T 120 dagar	Lägre kroppsvikt Lägre kroppsvikt hos hanar
Tribukait o a 1987	100 Hz, 1 μ T rekt. 100 Hz 15 μ T rekt. 20 kHz 1 μ T sågt. 20 kHz 15 μ T sågt Dag 0–14	Inga statistiskt signifikanta skillnader. Enl förf ökning av missbildningar i förhållande till historiska kontroller av sågtandformade pulser
Fröhlén o a 1993	PMF 20 Hz el 20 kHz 15 μ T dag 1–19 dag 2–19 dag 5–19 dag 7–19	Ökat antal placentala resorptioner " " Ej ökat antal (Enl förf visar detta en preimplantationseffekt av PMF)
Wiley o a 1992	20 kHz sågtand 3,6, 17, 200 μ T	Inga signifikanta effekter (140 honor per grupp)

Forskningsbehov

Framtida studier bör inriktas mot mekanismer för eventuell canceruppkomst hos barn efter maternell och/eller paternell exposition för elektromagnetiska fält. Epidemiologiska studier bör utnyttja information kring exponeringens egenskaper och även värdera individens totala exponering från olika källor.

Sammanfattande bedömning: Reproduktionsstörningar och EMF

Epidemiologiska studier av spontanaborter, låg födelsevikt och missbildningar

Inte för något negativt graviditetsutfall har man övertygande kunnat påvisa en förhöjd risk när exponeringskällan varit bildskärmsarbete. Bildskärmsarbete medför en begränsad exponering för EMF.

Studierna av EMF-exponering i hem- eller omgivningsmiljö har inte övertygande kunnat påvisa en förhöjd risk för reproduktionsstörningar. Studierna av exponering i allmän miljö har med något undantag omfattat högre exponeringsnivåer än de som uppträder vid bildskärmar.

Epidemiologiska studier av maternell och paternell EMF-exponering och barncancer

Det föreligger ett otillräckligt underlag för att bedöma cancerriskerna för barn vid moderns exponering för elektromagnetiska fält under graviditeten. Det föreligger en viss samstämmighet mellan några olika studier vad avser fädernas exponering för elektromagnetiska fält och hjärntumörer och neuroblastom hos barnen.

Mekanismer och djurstudier

Effekter i form av strukturella anomalier på hönsembryoner har rapporterats av magnetfält (100 Hz, 1 μ T) och dessa effekter har kunnat påvisas i flera olika laboratorier men inte i alla. Utfallet påverkas av någon faktor som man inte haft kontroll över. Variation av pulsernas utseende och frekvens har i vissa försök relaterats till förekomsten av effekter, men man kan med dagens kunskapsläge ej identifiera vilka typer av exponering som kan ge effekt och vilka som inte ger effekt. Vissa beteendeförändringar har rapporterats hos råttor efter intrauterin exponering för ELF-fält, men dessa effekter behöver också konfirmeras i oberoende laboratorier. Effekter i form av ett ökat antal placentara resorptioner har rapporterats hos möss, som exponerats för 20 kHz, 15 μ T, men även när det gäller mössen synes resultaten påverkas av okontrollerade faktorer.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det inte finns djurförsöksdata som talar för att EMF av mikrotessa-intensitet kan framkalla teratologiska eller

andra effekter som går att upprepa i flera oberoende laboratorier. Det finns inte heller något stöd för att EMF-exponering är mutagen.

Det föreligger inte något övertygande stöd vare sig epidemiologiskt eller djurexperimentellt för ett samband mellan exponering för EMF och spontanaborter, låg födelsevikt eller missbildningar.

5. Allmän ohälsa

Innehåll

Terminologi	135
Elkänsligas symtom	135
Förlopp	137
Symtomförekomst i normalbefolkningen	137
Epidemiologiska och kliniska studier	140
Effekter på hud	140
Hudsymtom	140
Diagnostik	141
Fall-referensstudier, fallstudier och tvärsnittsstudier	142
Fall- och fallreferentstudier – sammanfattande kommentar	145
Ögon	145
Elektriska fälts effekter på synbanorna	145
Videobildens inverkan på synen	145
Synergonomi vid bildskärmar	147
Inverkan av arbetsuppgifter och arbetsorganisation	147
Psykosomatik, psykiatri och elektromagnetiska fält vid kraftledning och i yrket	147
Huvudvärk	147
Depressioner m m och närhet till kraftledning	148
Symtom av exponering för lågfrekventa elektromagnetiska fält i yrket	149
Elektriska och magnetiska fält vid diagnostik och terapi	150
Statiska fält	150
Växelfält	150
Exponeringsstudier, friska försökspersoner	154
Psykologiska variabler	154
Psykofysiologiska effekter	156
Hjärtat	158
Sammanfattning, exponeringsförsök på friska försökspersoner	159
Exponeringsstudier, känsliga personer	162
Sammanfattande kommentar	168
Experimentella djurstudier	168
In vitro-studier, elektriska fält	169
In vitro-studier, magnetiska fält	169
In vivo-studier	170
Beteendestudier	170
Neurokemiska och endokrinologiska studier (se även melatonin)	171

Morfologiska studier hjärnan	172
Neurofysiologiska studier på centrala nervsystemet	172
Biologiska rytmer	173
Effekter på hjärtat	174
Förklaringsmodeller	174
Biologiska förklaringsmodeller	174
Dygnsrytm, melatonin och elektromagnetiska fält	174
Kalciumjonsystem och elektromagnetiska fält	177
Elektromagnetiska fält och frisättning av kvicksilver från amalgam	177
Symtom och sjukdomsbegrepp	178
Behovet av ett bredare sjukdomsbegrepp	178
Symtom, funktionsnedsättning och organpatologi	179
Psykologiska förklaringsmodeller	179
Upplevd ohälsa, negativ affekt och stress	179
Stress, situationer och förväntningar	181
Elkänslighet som förväntansstyrda symtom	182
Spridning av symtom till nya situationer	182
Psykologiska och fysiska förklaringsperspektiv	183
Avslutande diskussion	183
Forskningsbehov	185
Sammanfattning, allmän ohälsa	186
Handläggning av ärenden som gäller elkänslighet	187
Uppläggning av och erfarenheter från några handlingsprogram	187
Rekommendationer för handläggningsprogram	190
Allmänna rekommendationer	190
Arbete vid bildskärmar	191
Glasögon	191
Synpunkter på bildskärmars konstruktion	191

Terminologi

Detta kapitel behandlar de mer allmänna ohälsoproblem som knutits till elektromagnetiska fält. De är relativt nya fenomen som först beskrevs för ca tio år sedan i anslutning till bildskärmsarbete. Diagnostiken är därför ännu outvecklad, och det finns inga "hårda" sjukdomskriterier att stödja sig mot som vid cancer och reproduktionsproblem. Det står emellertid utom tvivel att problem av denna typ drabbar ett inte ringa antal människor och att det för dem innebär ett mycket påtagligt lidande, ofta med funktionsnedsättningar som följd. Föreningen för El- och Bildskärmsskadade uppger t ex att de organiserar strax under 2 000 svårt drabbade medlemmar. Det finns inte någon accepterad terminologi för att beteckna den ohälsa det handlar om. Ett genomgående problem är att de termer som används tycks förutsätta en orsakslänk som det återstår att bevisa. Man har t ex talat om "bildskärmsjuka", "elallergi" eller "elöverkänslighet". I det följande kommer termen "elkänslighet" att användas. Detta innebär dock inte att det förutsätts att observerade problem är en direkt funktion av elektricitet, utan termen skall ses som en enbart beskrivande avgränsning av en symtombild.

Tabell 1. (FEB Väst 1993)

Symtom från	Antal uppgivna symtom	Procent av totalt antal uppgivna symtom
Nervsystemet	162	31
Hud	98	19
Allmän sjukdomskänsla	81	15
Ögon	38	7
Hjärta/cirkulation	34	6
Luftvägar	21	4
Muskler/leder	43	8
Mage/tarm	26	5
Munhåla	13	3
Övriga organ	9	2
Sammanlagt	525	100

Elkänsligas symtom

Personer som upplever sig vara elkänsliga beskriver oftast en komplicerad och sammansatt symtombild. Ett exempel är den sammanställning som gjorts från en enkätundersökning genomförd av lokalföreningen för el- och bildskärmsskadade/FEB-väst, 1993. Etthundra personer som tillhör lokalföreningen för el- och bildskärmsskadade i Hallands, Älvsborgs, Göteborgs och Bohus län besvarade en enkät, som gjorts i avsikt att belysa elkänsliga personers situation. 79 kvinnor och 21 män med en genomsnittsålder på 47,5 år bevarade enkäten. Tabell 1 ger en sammanfattning av symtomatologin. I tabell 2 har de vanligaste symtomen inom varje organsystem sammanställts.

Tabell 2. De vanligaste symtomen inom varje organsystem (FEB Väst 1993).

Nervsystemet	Procent
Yrsel	37
Koncentrationsproblem	36
Stickningar	25
Dåligt närminne/minnessvårigheter	18
Domningar	10
Sömnsvårigheter	7
Hud	Procent
Sveda/rodnad	28
Brännkänsla i huden	28
Klåda	10
Rödflammighet	9
Allmän sjukdomskänsla och huvudvärk (ej migrän)	Procent
Stark trötthet	37
Huvudvärk	16
Matt/kraftlöshet	9
Ögon	Procent
Ögonbesvär (ospecificerat)	24
Ljuskänslig	8
Hjärta/cirkulation	Procent
Hjärtklappning	16
Ödem, benen	3
Tryck, tryck-kyla över bröstet	3

Dessa sammanställningar visar att symtomatologin är mycket varierande. Det är också så att inom varje huvudgrupp angavs ytterligare ett antal symtom som visserligen uppträdde i låg frekvens, men som ytterligare understryker att den symtomatologi som patienterna själva relaterar till elektromagnetiska fält är mycket skiftande till sin karaktär.

Med hänsyn till den höga frekvensen av psykiska symtom (se nedan) är det anmärkningsvärt att ännu inga studier publicerats som behandlar de psykiatriska och psykosociala förhållandena hos patienter som upplever sig sjuka eller störda av elektromagnetiska fält. Det tycks för närvarande finnas bara en studie som behandlar psykiska – socialpsykologiska förhållanden i en relevant patientgrupp och man har ännu inte publicerat några resultat (Lennart Meijer, psykiatriska kliniken, Simrishamn och Gun Agrup m fl, Lund). I studien har 100 konsekutiva ”el-patienter” som sökte vård under 1990 och 1991 undersökts. Av dessa diagnosticerades i 40 fall olika medicinska problem som också accepterades av patienterna. De resterande 60 undersöktes med standardiserade intervjuer, s k personlighetsinventorier (CMPS), täckande frågor om uppgivna symtom, tolkning av besvären, vem som har kommit med tolkningen, social situation, utbildning, sexualliv, arbetssituation m m. Det finns ett fåtal studier som behandlar mera specifika psykiatriska problemområden, nämligen depression, självmord och oro av att bo i närheten av kraftledningar. Dessa studier behandlas i avsnitt sid 154.

Förlopp

Sjukdomshistorien startar vanligen med att symtom av denna allmänna typ upplevs t ex i samband med omfattande bildskärmsarbete. Inte sällan sammanfaller besvärens debut med i någon mening belastande livsomständigheter, t ex extra arbetsbörda eller omorganisationer på arbetsplatsen. I denna fas dominerar vanligen hudsymtom i form av värmekänsla eller stickningar i ansiktet, men ögonbesvär och allmänsymtom som huvudvärk, yrsel och koncentrationssvårigheter är också vanliga i denna fas (Gustavsson och Ekenvall 1992). Besvären blir mindre påtagliga när man inte sitter vid bildskärmen, t ex vid ledigheter, men återkommer vid ny bildskärmsexponering. Ibland sker en spridning av symtombilden så att besvär upplevs t ex från lysrör, TV-apparater och andra typer av elektrisk utrustning. I vissa fall kan symtomen också komma att utsträckas till en allmän ljuskänslighet. Hos vissa personer leder besvären till att man över huvud taget inte klarar av att vistas i vanliga miljöer med normal förekomst av elektromagnetiska fält, utan ser sig tvingad att bo i husvagn eller en sommarstuga utan elektricitet. Vid en efterundersökning 3–18 månader efter en första utredning vid en yrkesmedicinsk klinik hade 11 av 24 patienter blivit bättre eller mycket bättre (Gustavsson och Ekenvall 1992). Förbättringen gällde i högre grad för män än för kvinnor och för patienter vars besvär koncentrerades till bildskärmsarbete. Av de som upplevde besvär inför all slags elektricitet hade endast 5 av 16 kunnat återgå i arbete. Sex av samtliga 24 hade kunnat återgå i bildskärmsarbete, men med reducerad arbetstid framför skärmen. Enligt denna fallserie tycks alltså problemen ha en begränsad varaktighet hos ca hälften av de drabbade och ca en fjärdedel kan återgå i bildskärmsarbete. Ett mer kroniskt förlopp är vanligare hos kvinnor än hos män, och om symtombilden har spridits till att utlösas av elektricitet mer i allmänhet.

Symtomförekomst i normalbefolkningen

Den symtombild som framträder i de elkänsligas beskrivning av sina problem framstår som mycket ospecifik till sin karaktär. Flertalet av de beskrivna symtomen är välbekanta och vanligt förekommande i normalbefolkningen. Deras prevalens har emellertid endast i begränsad omfattning blivit föremål för vetenskapligt studium. De symtom det är fråga om föranleder en mängd sjukvårds-kontakter, även om en stor del av besöken i primärvård inte resulterar i någon bestämd diagnos.

Symtom är åldersberoende och kvinnor rapporterar i alla studier fler symtom än män, både i intervjusituation och vid självrapportering. Symtomförekomst är även starkt kulturellt beroende, varför resultat från olika länder kan vara svåra att generalisera.

Tabell 3. Prevalens (%) av 30 symtom i olika åldersgrupper män och kvinnor (Tibblin o a 1990).

Kön Ålder (år)	Kv 26	Kv 38	Kv 50	Kv 60	M 30	M 50	M 60	M 67
Depression								
gråter lätt	24	21	32	23	4	7	11	11
depression	39	42	47	38	11	24	24	18
trötthet	56	58	54	41	32	29	28	12
sömnbesvär	14	17	35	40	2	17	19	18
matt	21	29	22	21	15	15	14	5
Spänning								
irritabel	42	40	38	30	23	28	23	17
nervös	11	16	30	26	8	18	18	9
koncentrationssvårigheter	19	22	21	20	7	11	11	6
rastlös	31	25	28	25	15	19	15	13
Mage tarm urin								
illamående	20	16	15	13	10	7	7	6
urinbesvär	4	7	3	3	3	3	7	12
matleda	8	4	4	6	2	6	6	4
diarré	19	11	9	8	18	12	8	7
förstoppning	16	11	14	14	4	4	7	8
buksmärtor	39	35	25	21	20	26	19	12
Muskel								
ledvärk	7	21	30	31	9	23	24	19
ryggvärk	32	32	39	39	25	32	37	26
benvärk								
Metabolism								
frusen	29	21	27	18	3	11	12	11
svettning	12	12	42	25	10	21	18	10
viktminskning	4	4	2	6	0	3	7	3
övervikt	21	20	39	36	16	25	25	20
Härta och lungor								
andfådd	11	11	23	20	5	20	24	20
bröstsmärtor	8	13	21	17	12	18	17	15
hosta	36	23	23	14	28	19	19	18
Huvud								
yrsel	26	24	29	19	3	11	13	14
huvudvärk	58	50	45	9	33	23	16	12
hörselnedsättning	5	9	13	16	6	19	27	32
ögonproblem	24	16	26	23	9	18	18	17

I en studie från Göteborg (Tibblin o a 1990) har prevalensen av de 30 vanligaste symtomen i en normalbefolkning undersökts avseende ålder och kön. I olika studier men med samma metod har symtomförekomst registrerats hos män och kvinnor i olika ålderspopulationer. Orsak till symtom eller livssituation har inte

vägts in i rapporteringen. Samtliga har blivit tillfrågade om förekomsten av symtom under den senaste tremånadersperioden i en hälsokontrollsituation.

Även förändringar över tid har studerats då samma population återundersökts med 10 års intervall.

De 30 vanligaste symtomen grupperas i sju grupper, depression, spänning, mage-tarm-urinvägar, muskler, metabolism (dvs ämnesomsättning), hjärt-lungor och huvudet (tabell 3).

Depressiva symtom är vanligare hos kvinnor än hos män, och anges i nivåer mellan 24 och 47 % hos 50-åriga män och kvinnor. Allmän trötthet avtar med åldern, sömnbesvär tilltar med åldern. De flesta depressiva symtomen minskar efter 60 års ålder i båda könen.

Nervösa besvär ökar upp till 50 års ålder och minskar därefter. 18 % av männen och 30 % av kvinnorna anger nervösa besvär under de senaste tre månaderna.

Gastrointestinala besvär är vanliga hos unga män och kvinnor och avtar sedan med åldern.

Muskuloskeletala besvär ökar med åldern. Ryggvärk anges av 32 % av männen och 39 % av kvinnorna. Ledvärk anges av 23 % av männen och 30 % av kvinnorna i 50-års åldern.

Bland de metabola symtomen är svettning och köldkänsla ungefär dubbelt så vanligt bland kvinnor som bland män över 50 år.

Hjärt-lungsymtom ökar som väntat med åldern, framför allt andningsbesvär. Bröstmärta har däremot samma prevalens i alla åldrar.

Huvudsymtom som yrsel och huvudvärk har en hög prevalens i alla åldrar, men avtar dock med åldern. 23 % av männen och 45 % av kvinnorna vid 50 år anger huvudvärk som symtom, medan förekomsten av yrsel i samma åldersgrupp är 11 % respektive 29 %.

Tabellernas frekvenser över symtom i normalbefolkningen och bland elkänsliga kan naturligtvis inte jämföras särskilt ingående, eftersom de är framräknade på olika sätt. Det man kan konstatera är att de symtom som präglar de elkänsligas beskrivning av sina problem är vanligt förekommande i normalbefolkningen. Många av symtomen har upplevts av mellan 20 och 50 % av olika befolkningsgrupper under tremånadersperioden närmast före undersökningen. Den sanna skillnaden i symtom hos elkänsliga och hos normalbefolkningen kan inte bestämmas från dessa jämförelser. Elkänsliga personer kan t ex var och en tänkas ha flera och mer intensiva symtom än flertalet. Dessutom visar deras vårdsökande att de är i behov av vård och hjälp. Deras symtom måste därför uppfattas som mer drabbande på det sättet att de är associerade med nedsatt funktionsförmåga och svårigheter att hantera livssituationen.

För att undersöka i vilken utsträckning de symtom som rapporteras av elkänsliga personer kan hänföras till exponering för elektromagnetiska fält kommer vi i det följande att sammanfatta epidemiologiska och kliniska studier av elkänslighet. Vidare beskrivs några diagnostiska och terapeutiska tekniker som använder sig av elektromagnetiska fält, samt de bieffekter som är kända av deras användning. Därefter sammanfattas forskning om effekter av exponering för elektromagnetiska fält hos friska försökspersoner och hos personer som är elkänsliga. Slutligen beskrivs experimentella djurstudier av elektromagnetiska fält, innan kapitlet avslutas med en diskussion av olika förklaringsmodeller för elkänslighet.

Epidemiologiska och kliniska studier

Effekter på hud

I september 1989 publicerades Svenska Läkaresällskapets utredning om "bildskärmar, hudbesvär och flimmerproblem" och i sammanfattningen gällande bild-/textskärmar och hudproblem (sid 5–6) står det:

"De hudsymtom som i litteraturen beskrivs hos bild-/textskärmsoperatörer är oftast av okarakteristiskt slag, som då kallats "ospecifika" eller ibland "rosacea-lik". Subjektiva besvär föregår ofta synliga förändringar, som emellertid helt kan utebli.

Åtta fallrapporter har publicerats under 1980-talet om hudpåverkan hos bild-/textskärmsoperatörer. De där beskrivna hudförändringarna är ej ovanliga i populationen enligt dermatologisk erfarenhet. Några säkra slutsatser kan därför ej dragas beträffande orsakssamband mellan hudpåverkan och bild-/textskärmsexposition.

Två epidemiologiska studier av kontorsanställda med och utan bild-/textskärmsarbete är utförda. Båda studierna byggde på enkäter med mycket god svarsfrekvens och var efterföljda av dermatologiska undersökningar. Den första studien visade att det skulle kunna finnas samband mellan bild-/textskärmsarbete och en försämring av några vanliga hudåkommor. Materialet är dock för litet för att vara konklusivt, 61 personer undersöktes. Den andra studien omfattade mer än 3 000 personer, varav cirka 800 undersöktes. Inte heller i detta arbete har man funnit några signifikanta skillnader beträffande någon huddiagnos vid jämförelsen mellan hög- och oexponerade personer. Undersökningen visar således ej, att bild-/textskärmsarbete är förenat med ökad frekvens hudskador. Å andra sidan utesluter den inte heller att hudförändringar skulle kunna vara vanligare bland bild-/textskärmsexponerade än bland icke-exponerade.

Olika vetenskapliga försök att relatera fysikaliska-kemiska fenomen i arbetsmiljön kring bild-/textskärmar till hudbesvär har hittills vare sig bevisat eller uteslutit att sådana förekommer."

Sedan 1989 har tre avhandlingar framlagts i Sverige som helt eller delvis rör hudproblematiken i relation till bildskärmsarbete (Berg 1989, Bergqvist 1994, Stenberg 1994).

Några av de arbeten som ingick i Mats Bergs avhandling från 1989 finns refererade i Läkaresällskapets utredning. Ytterligare tre av dem refereras nedan.

1994 framlade Ulf Bergqvist sin avhandling och ett av delarbetena berör hudproblem vid bildskärmsarbete. Samma år framlade Berndt Stenberg sin avhandling och vissa av delarbetena rör hudproblem i kontorsmiljö. Båda dessa avhandlingar refereras nedan.

Hudsymtom

Från ansiktshuden brukar anges stickningar, pinnningar, hettningar, klåda, rodnad, svullnad och torrhet. Patienterna anger ofta att det känns som en brännkada eller reaktion på för kraftig solning.

Samtidigt föreligger ibland ett antal allmänsymtom och dessa har redovisats i avsnitt Elkänsligas symtom sid 141.

Diagnostik

Frågeformulär

I studier av Berg och Axelsson (1989), och Berg (1991), användes ett frågeformulär för att studera hudbesvär i relation till arbete vid bildskärm. Av de 3 745 kontorsanställda, som besvarat frågeformuläret, undersöktes och intervjuades 809 stycken av hudspecialist. Uppgifterna i frågeformuläret korresponderade endast i

46 % av fallen till aktuellt hudstatus. När samma frågeformulär användes med 6 veckors intervall framkom ganska stor variation beträffande svaren. Författarnas konklusion var att svar i ett frågeformulär är ett dåligt mått vid milda hudsjukdomar och att användande av enbart frågeformulär inte kan användas vid diagnos av hudproblem.

Patienter med bildskärmsrelaterade hudbesvär har ofta ganska beskedliga, objektivt iakttagliga förändringar men uttalade subjektiva symtom och användande av frågeformulär anses inte vara adekvat vid studier av denna patientkategori.

Detta är studier som visar att vid de olika hudbesvär som uppges av bildskärmsoperatörer och som inte motsvaras av objektiva fynd, är enbart en frågeformulärundersökning av begränsat värde. För att man skall kunna diagnostisera hudsjukdom måste frågeformulären kompletteras med klinisk undersökning av hudspecialist.

Histopatologi

Berg o a (1990) utförde en detaljerad studie med hudbiopsier på 83 patienter med hudbesvär, *med* och *utan* objektivt påvisbara hudförändringar med relation till bildskärmsarbete samt jämförde med 51 kontroller utan bildskärmsarbete och med eller utan synbara hudförändringar. Preparaten var kodade och studerades av tre oberoende observatörer. Man fann inte att någon parameter var mer vanlig hos de exponerade än hos de oexponerade *med* motsvarande objektiva hudförändringar. Även hos oexponerade *utan* objektiva hudförändringar förelåg olika grader av histologiska förändringar. Degenerativa förändringar i den elastiska vävnaden tilltog med åldern men var påtagliga även hos personer under 35 års ålder. Konklusionen var att inga specifika histologiska förändringar i ansiktshuden kunde påvisas hos individer med hudsymtom relaterade till bildskärmsarbete.

Det första fallet av bildskärmsrelaterade hudbesvär som av Försäkringskassan accepterades som arbetsskada 1985, men som sedermera avvisades av Försäkringsrätten 1990 och av Försäkringsöverdomstolen 1994, byggde på histologiska fynd som ansågs specifika av observatören (se Svenska läkaresällskapets utlåtande 1989). Av den nu refererade undersökningen framgår att det ej går att ställa diagnosen bildskärmsrelaterade hudbesvär på basis av histopatologiska undersökningar.

I en studie av Johansson o a (1994) togs hudbiopsier från individer med hudbesvär relaterade till bildskärmsarbete. Med användande av immunohistokemiska metoder kunde förändringar iakttagas vid jämförelse mellan biopsitillfällen före respektive efter provokation framför en TV-apparat.

Det rör sig om ett litet antal prover från två patienter. Kontrollerna är bristfälligt redovisade, och risken för att detta är mest artefakter är stor. Den typ av kvantitativ histokemi det rör sig om kräver omfattande försiktighetsåtgärder för att vara trovärdig, men de saknas i redovisningen. Resultaten är därför alltför

osäkra för att vara trovärdiga på annan nivå än som fallrapporter utan validering.

Differentialdiagnostik

I en studie av Lidén (1990) redovisas 153 patienter som remitterats till yrkesdermatologiska kliniken, Karolinska sjukhuset, under två år (1987–1989). De vanligaste diagnoserna var liksom i tidigare undersökningar rosacea, seborrhoiskt eksem och acne. Tjugo av 37 patienter som lapptestades hade positiva lapptestreaktioner som var kliniskt relevanta. Med adekvat undvikande av utlösande allergen och behandling kunde hudbesvären lindras och förhindras att återkomma. Det framkom inget stöd för hypotesen att bildskärmar orsakar hudsjukdomar.

Vid undersökning av 153 patienter med hudbesvär relaterade till bildskärmsarbete vid en specialklinik påvisades ett antal vanliga hudsjukdomar som är behandlingsbara samt i vissa fall kontaktallergier som förklaring till uppgivna besvär. Det är således angeläget att individer med denna typ av problematik blir undersökta av hudspecialist och som kan ge adekvat behandling.

Diagnostik – sammanfattande kommentar

Specifika diagnostiska kriterier saknas således. Vanlig klinisk undersökning (inspektion, palpation) av bildskärmsoperatörer med hudsymtom visar ofta förekomst av vanliga hudsjukdomar såsom acne, seborrhoiskt eksem ("mjäll-eksem"), rosacea, atopiskt eksem samt ospecifika tecken som rodnad och ytliga blodkärl (teleangiectasier).

Enkätundersökning med frågeformulär har visat sig vara av begränsat värde för värdering av hudsymtom hos bildskärmsoperatörer.

Den ljusmikroskopiska bilden i hudbiopsier från bildskärmsoperatörer med hudsymtom är ospecifik.

Det finns ett antal alternativa orsaker till hudförändringar hos bildskärmsoperatörer och det är angeläget att de med oklara fynd bedöms av hudspecialist för en förutsättningslös utredning så att korrekt diagnos kan ställas och adekvat behandling insättas.

Fall-referensstudier, fallstudier och tvärsnittsstudier

Koh o a (1990), utförde en enkätstudie för att registrera hudsymtom hos kvinnliga bildskärmsoperatörer. 269 arbetade med plasmaskärmar och 403 med katodstråleskärmar. Ettårsprevalensen av hudbesvär var 12 %; 13 % hos plasmaskärmarbetarna och 11 % för de som arbetade vid katodstråleskärm. Någon skillnad i frekvens och typ av dermatologiska symtom framkom ej.

I en uppföljande studie (Koh o a 1991) tillställdes samma frågeformulär som ovan 403 kvinnor, varav 381 stycken var lärare, som ej arbetade med bildskärmar. Frekvensen av pågående hudsymtom och hudsymtom under föregående år var högre i gruppen av icke-bildskärmsarbetare och skillnaden jämfört med bildskärmsarbetarna var statistiskt signifikant.

Hudsymtom är vanliga hos den kvinnliga befolkningen och i denna enkätstudie noterades således högre frekvens av hudbesvär hos de som icke arbetade med bildskärm jämfört med de som hade sådant arbete. Ytterligare undersökningar av denna typ är angelägna.

Stenberg (1989) rapporterade om klinisk undersökning av 77 patienter med hudbesvär relaterade till inomhusklimatet. Man fann fall av seborrhoiskt eksem, ansiktsrodnad, eksem kring ögonen, rosacea, nässelutslag. Det anges att fysiska, kemiska och psykologiska faktorer är av betydelse för symptomens uppkomst.

Den kliniska bilden är således densamma som tidigare rapporterats av Wahlberg (1986) och av Berg (1988) vid undersökning av bildskärmsoperatörer.

En fallreferentstudie, som ingår som en del i projektet "Inomhusmiljö och hälsa bland kontorsanställda i Västerbotten", rapporterades 1991 av Sandström o a. Utifrån en enkätstudie bland 6 000 kontorsanställda utvaldes 75 bildskärmsarbetare med hudbesvär och 75 bildskärmsarbetare utan dylika besvär. På 150 arbetsplatser genomfördes en fullständig kartläggning av de elektriska och magnetiska fälten.

Bakgrunds nivåerna av 50 Hz magnetisk flödestäthet utmättes till maximalt 1 μT och medianvärdet 0,07 μT . Elektriska bakgrundsfält uppmättes med mätsonden ansluten till jord, vilket ger ett förhöjt värde som dock är jämförbart med mätningarna framför datorn. Det högsta maximala bakgrundsvärdet var 900 V/m och högsta medelnivån (rms) var 100 V/m. Medianvärdet av medelnivån var 20 V/m.

Tabell 4 ger en teknisk sammanfattning av de uppmätta fältparametrarna.

Vid jämförelse av exponeringsnivåerna för fall respektive kontroller fann man att de med hudbesvär hade högre elektriska bakgrundsfält OR 3,0; (CI 95 % 1,2–7,2) för de med högst fält ≥ 31 V/m), men däremot sägs ingen säker skillnad avseende de elektriska fälten framför datorn; ELF: OR 1,3; (CI 95 % 0,5–3,3); VLF: OR 0,65; (CI 95 % 0,3–1,6) för de med högst nivå $\geq 34,8$ V/m). För de magnetiska fälten i ELF-området fanns inget samband mellan bakgrundsfält och hudbesvär OR 1,2; (CI 95 % 0,5–2,9) för de med högst fält $\geq 0,15$ μT). Däremot hade de med hudbesvär högre magnetiska fält framför datorn; ELF: OR 2,7; (CI 95 % 1,0–6,9); VLF: OR 1,6; (CI 95 % 0,7–3,8) för de med högst nivå $\geq 0,3$ μT respektive $\geq 0,05$ μT). Fynden är således i viss mån motstridiga och svårtolkade.

Vid jämförelse av exponeringsnivå för fall respektive referenter visar två av de uppmätta fältparametrarna ett ökat antal fall med ökad exponeringsnivå. Detta gäller för elektriska bakgrundsfältet i rummet, där den skattade relativa risken i termer av oddskvot var 3,0 för högexponerad grupp ($E_{\text{rms}} \geq 31$ V/m) jämfört med lågexponerad ($E_{\text{rms}} \leq 10$ V/m). För magnetfältet i ELF-området framför datorn gav motsvarande jämförelse en oddskvot på 2,7 för högexponerad grupp ($B_{\text{rms}} \geq 300$ nT) jämfört med lågexponerad ($B_{\text{rms}} \leq 145$ nT). Resultaten från denna studie antyder ett samband mellan hudsymtom och uppmätta elektriska fält.

I två arbeten av Stenberg o a (1993, 1994) studerades bl a hudsymtom. I en enkätstudie baserad på 4 943 kontorsarbetare fann man att kvinnligt kön, astma rhinit, pappers- och bildskärmsarbete var korrelerade till en ökad frekvens av hudsymtom. Frekvensen av hudsymtom ökade markant med mängden av bildskärmsarbete.

Tabell 4. Sammanfattning av de uppmätta fältparametrarna i Sandström o a (1991).

Fältparameter	Sort	Bakgrund		Framför bildskärm	
		max	medel	max	medel
E _{rms} -ELF	V/m	100	20	330	20
B _{rms} -ELF	nT	1000	70	1160	210
dB/dt-ELF	mT/s			1,9	0,63
E _{rms} -VLF	V/m			15	1,5
B _{rms} -VLF	nT			140	30
db/dt-VLF	mT/s	8		101	16

I den andra studien (Stenberg o a 1994) jämfördes fynden från enkätstudien med en klinisk undersökning, genomgång av psykosociala faktorer i arbetet, information om kontorslokalen och bildskärmsrelaterade faktorer från inspektion och mätningar utförda på arbetsplatsen. Av resultaten framgår att personliga faktorer såsom atopiskt eksem, psykosociala faktorer och exponering för elektromagnetiska fält eller förhållanden relaterade till sådana faktorer, var relaterade till den ökade frekvensen av hudsymtom. Fysikaliska faktorer såsom luftkvalitet, pappersexponering och städningfrekvens var också korrelerade till ökad symtomfrekvens. Resultaten tyder på att de hudsymtom som bildskärmsarbetare anger har en multifaktoriell bakgrund.

Stenbergs (1994) avhandling är en av flera som utgår från projektet "Inomhusmiljö och hälsa bland kontorsarbetare i Västerbotten" och hittills publicerade resultat rör huvudsakligen enkätundersökningar och mätningar av fält. Delar av de dermatologiska fynden är ej slutbearbetade eller publicerade, men de kommer att vara av stort intresse när de framläggs.

Bergqvist och Wahlberg (1994), undersökte 353 kontorsarbetare för att studera eventuellt samband mellan hudsjukdom, kliniska fynd och rapporterade symtom vid bildskärmsarbete. Hudsymtom och detaljer om bildskärmsarbetet och andra arbetsförhållanden erhöles via ett frågeformulär, och undersökning av eventuella hudsjukdomar gjordes av specialist utan kännedom om huruvida försökspersonen hade bildskärmsarbete eller ej. Mätning av fysikaliska faktorer i arbetslokalen utfördes. Det var en tendens för ökad frekvens av seborrhoiskt eksem och ospecifikt erythem samt ospecifika symtom hos bildskärmsoperatörerna jämfört med de som inte hade bildskärmsarbete. Som exempel kan anges att hög arbetsbelastning och svårigheter att göra avbrott var relaterade till rapporterade hudsymtom och det ospecifika erythemet i ansiktshuden. Däremot påvisades inget samband mellan elektriska och magnetiska fält och hudsjukdomar, övriga kliniska fynd eller rapporterade symtom.

En fördel med denna studie var att undersökningen av huden skedde "blint", dvs dermatologen visste ej om han undersökte en exponerad eller oexponerad försöksperson. Vanliga hudsjukdomar som seborrhoiskt eksem, acne och rosacea kunde påvisas samt ofta ospecifikt erythem. Däremot kunde ej något samband mellan elektriska eller magnetiska fält och hudsymtom eller hudsjukdomar påvisas.

Fall- och fallreferentstudier – sammanfattande kommentar

Hudsymtom är vanliga hos kvinnor och vid enkätundersökningar har högre frekvens visats hos lärare utan bildskärmsarbete i jämförelse med bildskärmsoperatörer.

En svensk studie har rapporterat samband mellan hudsymtom och vissa uppmätta fältparametrar (elektriska bakgrundsfält, magnetfält) medan en annan svensk studie ej fann något samband.

Ökad frekvens av hudsymtom har korrelerats till kvinnligt kön, förekomst av astma/rhinit, pappers- och bildskärmsarbete, hög arbetsbelastning, luftkvalitet, städning-frekvens m.m. och besvären anges ha multifaktoriell bakgrund.

Ögon

Elektriska fälts effekter på synbanorna

Det är väl dokumenterat att starka magnetfält kan utlösa synfenomen, så kallade magnetofosfener (Lövsund och o a 1980a,b, Reissenweber och o a 1992, Marg 1991). Sådana magnetfält påverkar nervceller, inklusive ögats ljuskänsliga celler, fotoreceptorerna, och den signal som då genereras uppfattas av personen som en diffus ljusblxt. Magnetofosfener uppträder vid exempelvis elsvetsning, och är då givetvis svåra att skilja från de ljusblxtar som svetsbågen alstrar. De uppträder också i moderna så kallade magnetkameror som används i medicinsk diagnostik (Schenck och o a 1992). Tröskeln för magnetofosfener ligger högt, ca 2–5 mT vid en frekvens på ca 20 Hz. Tröskeln är ännu högre vid andra frekvenser, och vid nätfrekvensen (50 Hz) är den över 5 mT. Några skador av magnetofosfener har aldrig påvisats, men blxtarna kan upplevas som obehagliga.

Starka elektriska fält kan också inducera ljusblxtar med en mekanism som anses vara nära besläktad med hur magnetofosfener uppkommer. Det krävs i storleksordningen 100 V/m inne i ögat för att utlösa sådana så kallade elektrofosfener (Carstensen och o a 1985), vilket i praktiken inte kan förekomma vid bildskärmar eller i allmän miljö. Elektrofosfener finns heller inte rapporterade vid bildskärmsarbete.

De fältstyrkor som genererar magnetofosfener och elektrofosfener ligger långt över vad som normalt förekommer vid bildskärmsarbete eller i allmän miljö. Elektriska fält av de storlekar och typer som förekommer i normal kontorsmiljö eller i hemmen har aldrig befunnits ha någon direkt påverkan på det mänskliga synsystemet.

Videobildens inverkan på synen

Arbete vid bildskärm ställer i allmänhet stora krav på synen och det är en trivial observation att man blir ”trött i ögonen” av det. Denna kliniska observation är också mycket väl dokumenterad i den vetenskapliga litteraturen (se t ex Scalet 1987, Bergqvist 1989, 1994, Rosner och Belkin 1989, MacKay 1989, Sauter och o a 1990, Berlinguet och Berthelette 1990). Trötthetskänsla är emellertid inte något väl definierat sjukdomssymtom, och orsakerna till tröttheten har visat sig svåra att kartlägga i detalj. Rimligen är de också mångfacetterade. Det är väl dokumenterat att exempelvis blinkfrekvensen sjunker när man arbetar vid bildskärm (se Patel och o a 1991a), men det gör den också vid TV-tittande eller vilken annan sysselsättning som helst som kräver hög uppmärksamhet. Tårffilmens stabilitet påverkas inte (Patel och Port 1991b), vilket är viktigt att notera, för en instabil tårffilm ger ofta påtagliga subjektiva symtom. Bildskärmsarbete påverkar också

ackomodationen och konvergensförmågan, men dels är resultaten delvis motstridiga i olika studier och dels är det dessutom vanskligt att hävda att denna påverkan inträffar i större utsträckning vid bildskärmsarbete än vid annat synkrävande arbete (se t ex Tyrrell och Leibowitz 1990, Murata o a 1991, Jaschiniski-Kruza 1988, 1991, 1993, Watten and Lie 1992, Gur and Ron 1992a,b). Ett betydande problem i sammanhanget är att symtomen är dåligt definierade och att det då är svårt att välja ut goda kontrollgrupper vid vetenskapliga studier (Läubli o a 1981).

Litteraturen i ärendet har hunnit bli både omfattande och komplex (se t ex Bergqvist 1994), men det framgår att man bör se upp med vissa egenskaper hos en bildskärm. En betydelsefull sådan är hur mycket iakttagaren tycker att skärmen flimrar. Intrycket av flimmer ökar med ökande storlek på den ljusa bildytan och med dess medelluminans, och ögats flimmerkänslighet är högst ut mot synfältets periferi. För optimal komfort bör man därför justera en bildskärms ljushet och kontrast så att man inte ser något flimmer när man tittar strax vid sidan om den.

Även om flimmer vanligen uppfattas som obehagligt finns det i litteraturen mycket litet stöd för att det kan ha kroppsligen skadliga effekter. De rapporter om flimmerutlöst epilepsi som finns (Binnie o a 1985, Jeavons o a 1985, Wilkins 1983) har inte någon speciell tyngd eftersom de är få, eftersom förekomst av andra typer av epilepsi inte utesluts i något av fallen och eftersom skärmegenskaperna hos de videospel etc som ansetts utlösa anfallen kan ha varit speciella. Det går överhuvudtaget inte att utlösa denna s k fotosensitiva epilepsi hos andra än vissa speciellt känsliga individer, och det är ovanligt att ha den känsligheten. Det förefaller som om bildskärmar medför samma risk för att utlösa fotokänslig epilepsi som vanliga TV-apparater. Trots att TV-apparater finns i snart sagt varje hem i västvärlden och trots att många personer tillbringar åtskilliga timmar i veckan framför dem har TV-flimmerutlösta sjukdomstillstånd inte dykt upp som ett kliniskt medicinskt problem av någon dimension. Binnie o a (1985) försökte också utlösa epilepsi med bildskärmar hos en grupp epilepsikänsliga personer, men lyckades inte.

Den s k McCollough-effekten tilldrog sig en tid ett visst intresse, men det är tveksamt hur stor praktisk betydelse den har. Den är en speciell typ av färgfotobild som kan stanna kvar under timmar till dagar (McCollough 1965). Den är mer en inlärningseffekt än en sjukdom, och uppträder när man länge granskat ett horisontellt eller vertikalt mönster av färgade ränder. Raderna av grönfärgad lysande text mot svart bakgrund på tidiga typer av bildskärmar kunde tänkas inducera McCollough-effekten. Bortsett från en viss obehagskänsla eller viss svårighet att göra kvalificerade färgbedömningar under någon tid efter bildskärmsarbete medför McCollough-effekten inga kända bestående konsekvenser. Den är mest uttalad vid grön text på svart botten, och är mycket svagare vid gulorange text, vilket var en av anledningarna till att denna färg tidigare rekommenderades för bildskärmar i Europa. Utvecklingen på dataområdet går nu raskt mot en allmän spridning av färgbildskärmar där texten vanligen visas som på papper, svart på ljus bakgrund. McCollough-effekten uppträder då inte.

Den tekniska utvecklingen har också i hög grad eliminerat den tidigare livliga diskussionen om vilket som är behagligast, svart text på ljus bakgrund eller ljusa (vita eller färgade) bokstäver mot mörk bakgrund. Man hittar fortfarande divergerande åsikter i den vetenskapliga litteraturen (Scalet 1987, Nishiyama 1990, Raash o a 1991), men de överväldigande marknadsframgångarna för system med mörk text mot ljus bakgrund (dvs de vanligaste persondatorsystemen) talar för att detta är vad de flesta personer föredrar. Bland annat blir

reflexer i skärmens yta mindre störande på detta vis. Svart text på vitt papper är också vad århundradens kontorserfarenhet visat vara bäst.

Som redan framhållits uppfattar man lättare ett flimmer ju större en ljus flimrande yta är, och det är därför viktigt att en bildskärm har tillräckligt hög teknisk kvalitet för att ge en flimmerfri bild också när den visar mörk text mot ljus bakgrund. Det var flimmerproblemen i de tidiga bildskärmarna som gjorde att man ursprungligen valde ljus text mot mörk botten som standard.

Synergonomi vid bildskärmar

Det är naturligt och normalt att arbete vid bildskärmar ger samma symtom och problem som allt annat arbete på nära håll, exempelvis läs- och skrivarbete. Ögats ackomoderationsförmåga avtar kontinuerligt på alla människor genom åren. Den är vid födelsen ca 15 dioptrier och faller till ca 0,5 dioptrier vid pensionsåldern. För att kunna läsa en bok på bekvämt avstånd behöver man kunna ackomodera ca 3 dioptrier, och de flesta människor passerar den gränsen någonstans i 40–45-årsåldern. Fenomenet benämnes presbyopi och leder till att man behöver läsglasögon eller ett lästillägg i sina vanliga glasögon i 40–45-årsåldern. Den närsynte kan nå samma effekt genom att ta av sig sina glasögon om hans närsynthet är ca 2–3 dioptrier.

Inverkan av arbetsuppgifter och arbetsorganisation

Det understryks ofta att enahanda och enkla arbetsuppgifter upplevs som betydligt mera tröttande än omväxlande arbete som ställer krav på aktiv mental medverkan (se t ex Knave o a 1985a,b, Collins o a 1991, Walsh o a 1991 eller Westlander o a 1990–1992). Detta går också att bekräfta i laboratoriemiljö. I en studie av olika typer av bildskärmsarbete fann exempelvis Lundberg o a (1993) att monotont datainmatningsarbete inte bara upplevdes som sämre än ett arbete som krävde aktiv mental medverkan, utan försökspersonerna hade också svårare att ”varva ned” efter det monotona bildskärmsarbetet, bland annat mätt som längre kvardröjande förhöjda halter av ett s k stresshormon i blodet, adrenalin.

Det är därför sannolikt att en betydande del av de problem som förknippas med bildskärmsarbete inte hör samman med apparaten som sådan utan med de förändringar i arbetsuppgifter, arbetssätt och arbetstakt som den medför. Detta är en viktig insikt, men eftersom den bara mycket indirekt har något samband med de elektromagnetiska fält som förekommer vid bildskärmar behandlas den inte mera här.

Psykosomatik, psykiatri och elektromagnetiska fält vid kraftledning och i yrket

Huvudvärk

Haysom o a (1990) har analyserat sambandet mellan att bo nära högspänningsledningar och att lida av huvudvärk och migrän. 592 vuxna som bodde inom 100 m avstånd samt lika många kontrollpersoner som bodde på längre avstånd från kraftledningar tilldelades personligen ett formulär innehållande frågor om migrän och depression. Sammanlagt 1 067 personer nåddes. 692 (65 %) svarade, och det var ingen större skillnad mellan ”patienter” och kontroller. Prevalensen av vanlig huvudvärk var högre hos män och prevalensen av migrän var högre hos kvinnor som bodde inom en 51–100 m bred zon från kraftledningarna än hos män respektive kvinnor som bodde längre bort. Associationen var svag och kom

inte fram om man räknade ihop män och kvinnor med all slags huvudvärk. Man hade inte tagit hänsyn till hereditära, sociala eller andra miljöfaktorer i denna studie. Poole o a (1993) intervjuade sammanlagt 382 personer per telefon. Närhet till kraftledningar var associerad till depression, och prevalensoddskvoten var 2,8. Icke-migrän huvudvärk hade svagare association, med oddskvoten 1,5. Självrapporterad migrän hade ingen association. Både migrän och vanlig huvudvärk var relativt sällsynta hos äldre samt hos högre utbildade. Inga kontrollpersoner var med i studien. Inga mätningar utfördes angående fältstyrka eller avståndet från kraftledningar. Expositionstidens längd och omfattning var inte heller angivna.

Depressioner m m och närhet till kraftledningar

Misstanken att människor som bor nära elektriska kraftledningar skulle löpa ökad risk att uppleva depressiva symtom väcktes ursprungligen av Reichmanis, Perry o a (1979). De ansåg sig ha funnit en ökad risk för självmord i denna grupp. I en studie av Perry och Pearl (1988) fanns en överrepresentation av patienter som vårdats pga depression bland boende nära huvudledningen i flerfamiljshus, jämfört med kontroller och en snarast gynnsam effekt av att bo nära ledningen avseende patienter som vårdats på grund av personlighetsstörningar, ångest och agitation. I en senare studie rapporterar Perry o a (1989) högre fältstyrkor utanför bostaden hos patienter som vårdats för depression, jämfört med en kontrollgrupp. Poole o a försökte i en senare studie (1993) med en mera specifik metodik studera sambandet mellan depressiva symtom och huvudvärk och hur nära en kraftledning de undersökta bodde. Via en telefonintervju med ett frågeformulär som utvecklats för att studera depressiva symtom fann man en ökad frekvens av sådana hos människor som bodde nära ledningen jämfört med personer som bodde något längre därifrån. Detsamma gällde ospecifik huvudvärk. Undersökningen kan kritiseras därför att man inte mätte fältstyrkan hos de elektromagnetiskafälten. McMahan o a (1994) upprepade studien med samma depressionsskattningsskala. Undersökningen gjordes genom personliga intervjuer där man också tog hänsyn till de könsskillnader som finns vad gäller förekomst av depressiv symtomatologi genom att studera endast kvinnor som bodde nära en högspänningsledning. Man mätte också fältstyrkan utanför kvinnornas bostäder. I denna studie fann man ingen ökning i depressiv symtomatologi hos den grupp som bodde nära kraftledningen, trots betydligt högre magnetfältsdoser i denna grupp ($4,86 \text{ mG} = 0,486 \text{ mT}$) än i den grupp som bodde längre bort ($0,69 \text{ mG} = 0,069 \text{ mT}$).

Perry o a (1981) rapporterade högre magnetfältstyrkor utanför bostaden i en grupp personer som begått självmord än i en kontrollgrupp. Artikeln kritiserades av bl a Bonell o a (1983) på grund av att Perry o a över huvud taget inte diskuterat skillnader mellan olika grupper s självmordsfrekvens. De kritiserade också de mått på magnetfältstyrka som användes och att undersökningarna inte var "blinda". De påpekade vidare att mätningarna hade genomförts upp till tio år efter det att självmordet hade ägt rum. Studien är behäftad med sådana brister att den inte kan tas som utgångspunkt för några slutsatser annat än möjligen att det behövs bättre studier som bl a tar hänsyn till de kritiska synpunkter som presenterats. Det är värt notera att McDowall (1986) inte fann någon överdödlighet i självmord i en studie av mortaliteten bland personer som bodde 50 m och närmare en kraftledning. I en senare studie av "elektricitetsarbetare" i England och Wales fann inte heller Baris och Armstrong (1990) någon förhöjd självmordsrisk.

I dagspressen har nyligen refererats en studie där ett samband mellan Alzheimers sjukdom och elektromagnetiska fält har iakttagits. Denna studie är ännu ej publicerad, men resultaten har redovisats på en konferens från vilket ett sammandrag föreligger (Sobel E, o a, personligt meddelande). Undersökningen genomfördes som en fall-kontrollstudie. För fall och kontroller klassificerades exponeringen för elektromagnetiska fält i det "primära" yrket i två grupper, hög/medel eller låg exponering för elektromagnetiska fält. Tre grupper av fall/kontroller studerades

- 52 fall av Alzheimers sjukdom (fall) och 70 personer med vaskulär sjukdom (kontroller) från Helsingfors
- 198 fall av Alzheimers sjukdom (fall) och 299 matchade kontroller (ej närmare specificerade) från ett annat sjukhus i Helsingfors
- 136 fall av Alzheimers sjukdom (fall) och 106 matchade friska kontroller utan ärftlighet för Alzheimers sjukdom från University of Southern California Research Center.

Den relativa risken var tämligen lika i de tre grupperna (oddskvot 2,9, 3,1 och 3,0). Författarna anger att det fanns fler skraddare och sömmerskor bland fallen än bland kontrollerna. Därför mättes de elektromagnetiska fälten (ej närmare specificerat) vid 4 symaskiner för yrkesbruk och 2 för hemanvändning och i alla fallen anges att fälten var höga (ej närmare angivet).

Denna enda och ännu opublicerade studie går för närvarande ej att använda som bevis för att elektromagnetiska fält har samband med Alzheimers sjukdom.

Sammanfattning, depressioner m m och närhet till kraftledningar

Misstanken att människor som bor nära kraftledningar skulle löpa ökad risk för depressioner och självmord väcktes i slutet av 1970-talet. Det finns ett fåtal studier som belyser problemet, men ingen av dem är konklusiv i sina slutsatser och de är också behäftade med metodologiska brister som gör resultaten tveksamma. De nyare och bättre genomförda studierna från 1994 visar inget samband mellan depressiva symtom och närhet till kraftledningar och den senaste studien vad gäller självmord (1986) finner heller inget samband mellan närhet till kraftledningar och självmordet. Det finns heller inget som stöder antagandet att vare sig depressioner eller självmord skulle vara relaterat till den typ av biologiska mekanismer som föreslagits för elektromagnetiska fälts påverkan på nervsystemet.

Symtom av exponering för lågfrekventa elektromagnetiska fält i yrket

Det finns flera arbeten där man har undersökt personer som i sitt yrkesutövande är föremål för daglig hög exponering av elektromagnetiska fält. Man har bl a noggrant analyserat i vilka yrkesgrupper en hög exponering kan förekomma (Flodérus o a 1994). Det finns dock endast i fåtal arbeten i vilka man kartlagt möjliga subjektiva symtom av exponeringen i yrket. Knave o a (1979) har jämfört 53 arbetare som dagligen exponerades för 400 kV med 53 icke-exponerade arbetare inom samma företag. Undersökningen omfattade kartläggning av neurastena symtom, psykologiska tester, kardiovaskulära symtom, blodtryck, EKG, olika kemiska blodanalyser samt fertilitet. Inga skillnader noterades mellan grupperna som kunde tillskrivas exponeringen. Den exponerade gruppen hade något högre utbildning, klarade psykologiska tester något bättre och hade färre barn. Skillnaderna tolkades bero på den högre utbildningen. I flera andra studier (Stopps och Janischewsky 1979, Krumpe och Tockman 1974) som

inte var lika bra upplagda som Knaves har man inte rapporterat neurastena symtom eller sämre resultat i psykologiska tester.

Elektriska och magnetiska fält vid diagnostik och terapi

I människokroppen förekommer (naturligt) elektriska och magnetiska fält (EMF) och elektriska strömmar. De utnyttjas vid diagnostik sjukdomar, t ex EKG (elektrokardiogram), EEG (elektroencefalogram), VER (visual evoked response – visuellt väckta svar), MEG (magnetencefalogram). Strömtätheten i hjärtat vid normal hjärtverksamhet är 10 mA/m^2 och i hjärnan är den 1 mA/m^2 (Knave 1994). De strömtätheter som i kroppen genereras av fält runt bildskärmar är lägre. Därtill skiljer sig frekvenserna av kroppens elektromagnetiska strömmar från frekvensen av strömmarna i apparater i vår omgivning.

Under detta sekel har man använt elektrisk och senare även magnetisk stimulering av hjärna, ryggmärg, nerver, ben och muskler både i diagnostiskt och terapeutiskt syfte.

Statiska fält

Vid avbildning av hjärna och andra organ utnyttjas magnetresonansfenomen med hjälp av magnetkameror som har flödestätheter upp till 2 T. Jehensen o a (1988) följde upp patienter under 24 timmar före, under och efter exponeringen med 2 T-fält och noterade en 17% pulssänkning under exponeringen.

Växelfält

Hjärtats pacemaker orsakar magnetfält med en flödestäthet av $500 \mu\text{T}$ och vissa andra implantat med elektronik i kan orsaka magnetfält med styrkan $3\,000 \mu\text{T}$. Tills vidare har man rapporterat varken subjektiva eller objektiva hälsorisker av detta.

Vid diagnostik och terapi av neurologiska och andra sjukdomar utnyttjas olika typer av elektromagnetism med mycket större fältstyrka än vad som förekommer i vår boende- och arbetsmiljö.

Elektrisk stimulering av muskler och perifera nerver via hudelektroder med pulsgeneratorer där frekvens, pulslängd och strömstyrka kan varieras, används med god effekt för att minska muskelspasticitet (Alfieri 1982, Petajan 1987) och för att öka muskelmassa och kraft vid olika muskeldystrofier (Milner-Brown och Miller 1988). Likartad teknik har i decennier rutinmässigt använts överallt i neurofysiologiska laboratorier för att undersöka ledningshastigheter i perifera nerver eller i ryggmärgens känselbanor.

Tidsvariabelt, lågenergetiskt magnetfält har använts sedan 1973 inom ortopedin för att påskynda läkning av frakturer, pseudoartroser, misslyckade artrodeser, tendinitter och osteonekroser. De använda exponeringsparametrarna har varierat, men frekvenserna har varit $<1 \text{ kHz}$, fältstyrkan $<2,5 \text{ kV/m}$, strömtätheten $<1 \mu\text{A/cm}$ och magnetfältstyrkan $<16 \text{ mT}$. Översikter över ämnet har skrivits av Barker och Lunt (1983) samt Bassett (1989). I flera dubbelblinda

kliniska försök har tidsvariabelt magnetfälts positiva effekter påvisats, när de använts som tillägg till sedvanlig benbrotsbehandling. Denna typ av magnetfält har även rapporterats att ha gynnsam effekt på läkningen av hudsår (Ieran o a 1990).

Transkutan elektrisk nervstimulering har använts sedan 1970-talet för smärthämning både vid akuta och kroniska tillstånd av olika genes. Man använder antingen högfrekvent (10–100 Hz) eller lågfrekvent (1–5 Hz) stimulus, fyrkantformad puls med varaktigheten 0,2 ms och strömstyrkan 0–60 mA. Vanligen stimulerar man 20–30 min 2–4 gånger dagligen, varvid tillfredsställande smärtlindring oftast nås under större delen av dygnet. Den högre frekvensen anses främst aktivera portkontrollsystemet i ryggmärgen och den lägre endorfinsystemet i hjärnstammen (Ebersold 1975, Eriksson 1983, Eriksson och Sjölund 1984).

Människohjärnan kan stimuleras transkraniellt med såväl elektriska som magnetiska fält. De åstadkomna elektriska strömmarna aktiverar efferenta nervbanor, t ex pyramidbanorna (vilket inducerar rörelser) eller språkcentrum. Transkraniell magnetisk hjärnstimulering (TMS) introducerades av Barker (1985). Den används rutinmässigt för att bl a undersöka patienter med MS, ryggmärgspåverkan (myelopati), epilepsi eller stroke. TMS har alltmer ersatt tidigare använd elektrisk stimulering, eftersom den är smärtfri och relativt lätt att utföra. Man har inte rapporterat några allvarliga biverkningar (Agnew och McCreery 1987, Hess o a 1987).

Hufnagel o a (1990) har använt TMS på 13 patienter med farmakaresistent komplex partiell epilepsi för att kunna säkerställa epilepsifokus före planerad kirurgi. Använd fältstyrka var 0,75–1,5 T, stimulusfrekvensen var 0,5–10 Hz, stimulusintensiteten var 5–30 V/m och pulsdurationen var 0,25 ms under 2–3 s. Efter 25 stimuli hade man minst en minuts paus. Maximalt antal stimuli var 250. TMS-effekten uppföljdes med subduralt implanterade elektroder. Hos 12 patienter av 13 kunde epileptiskt fokus aktiveras, och hos en patient utlöstes ett epileptiskt anfall. Varken undersökare eller patienter noterade några andra effekter.

Pascual-Leone o a (1991) har använt TMS på sex patienter med farmakaresistent epilepsi före planerad kirurgi för att bestämma i vilken hjärnhalva talcentrum finns. Använd fältstyrka var 2 T, varje stimulus var sinusformad med pulsvidden 50 µs, durationen var 10 s, stimuleringsfrekvensen var upp till 25 Hz och den maximala elektriska fältstyrkan var 600 V/m. Magneterna var placerade på 15 olika punkter på båda sidor av skalpen. Hos alla patienter kunde talproduktionen hämmas när man stimulerade vissa ställen på vänster sida. Talcentrumplatsen verifierades med intraarteriell amyaltest. Man använde en Cadwell Rapid-Rate Magnetic Stimulator, som har utvecklats för icke-invasiv, repetitiv, högfrekvent magnetisk stimulering för nerver och hjärnbarken. Patienterna följdes med klinisk observation, videobandspelning, EKG, EEG samt andningsregistrering. EEG registrerades under 20 dagar för att kunna avslöja fördröjda effekter. Hos en patient provocerades ett epileptiskt anfall fram. Det hade sin utgångspunkt i stimuleringsområdet, men annars noterades inga biverkningar.

Gates o a (1992) gjorde en histopatologisk undersökning av en borttagen temporallob från två av dessa patienter. Trots flera riktade stimuleringar såg man inga tecken till avvikelser som kunde tillskrivas den magnetiska stimuleringen.

Man har också använt TMS vid epilepsi för att undersöka motoriskt väckta potentialer (motor evoked potentials), kramptrösklar etc Man har inte kunnat påvisa några kliniska biverkningar (Tassinari o a 1990).

Utvärderingen av TMS vad gäller önskad effekt och biverkningar har visat endast förväntade, övergående effekter. Inga allvarliga subjektiva eller objektiva, kortvariga eller bestående biverkningar har åstadkommit.

De senaste åren har man behandlat kroniska, terapieresistenta skakningar med elektriska stimuleringar av en speciell, central del av hjärnan, thalamus. Resultaten har varit utmärkta (Benabic o a 1991). Elektrodena placeras i lokalanestesi i en speciell del av thalamus, den ventrolaterala intermediala kärnan. De sattes på ena eller på båda sidorna i hjärnan, och det aggregat som genererade de elektriska impulserna opererades in under nyckelbenet. Man provade frekvenser mellan 60 och 1 000 Hz, och de bästa resultaten mot skakningarna fick man med 130 Hz, pulsvidd 60 μ s och strömtäthet 0,179 mA/mm². Biverkningarna var milda och accepterades väl eftersom de invalidiserande skakningarna försvann. Hos 12 av de 32 patienterna förekom parestesier eller dystoni i extremiteterna. Hos 6 patienter noterades talsvårigheter (dysartri) och balansrubbningar. Inga patienter eller deras anhöriga rapporterade några neuropsykologiska symtom, men i noggranna tester noterades enstaka subtila kognitiva defekter. När stimuleringen sattes på fick några patienter stickningar (parestesier) i motsatta sidans mungipa och hand under några sekunder.

Uthman o a (1993) har rapporterat om vagusnervstimuleringen (VNS) som behandling för 14 patienter med terapieresistent partiell epilepsi. De stimulerade nerven på vänster sida i höjd med carotisartären med 50 Hz frekvens, med 1 mA strömstyrka och med en pulsvidd av 250 μ s under 60 s, varefter en 60 min paus gjordes. Denna stimuleringsrutin bibehölls dygnet runt. De studerade också effekten av stimulering med 60 Hz frekvens, pulsvidd 500 μ s eller mer under 120 s och stimuleringsfritt intervall minskat till 5–20 min. Stimuleringsperioder av 1–2 mån. avbröts av 2 v–1 mån. långa kontrollperioder. Den sammanlagda stimuleringstiden var 14,3–35,6 mån. (medel 25,2). Anfallsreduktionen varierade från 0 till 100 %, medel 46,6 %. Inte i något fall försämrades epilepsin. Som biverkningar rapporterades heshet samt parestesier på stimuleringsplatsen minst en gång hos alla, muskelryckningar på halsens vänstra sida (4), hicka (1), hosta (1), sömnrubbning (1), illamående och kräkning (1) och andnöd (1). De flesta biverkningar noterades under pågående stimulering och de försvann omedelbart när stimuleringen upphörde. De var mest besvärande i början och blev klart lindrigare med tiden. Stimulering med högre frekvens och amplitud samt med bredare pulsvidd gav fler biverkningar. En pulssänkning noterades (från 77/min till 68/min). VNS har inte haft någon effekt på EEG (Salinsky och Burchiel 1993, Hammond o a 1992a), inte heller på väckta elektriska svar (evoked potentials; Hammond o a 1992b).

Nyligen har man i ett nummer av tidskriften *Epilepsia* ägnat tre artiklar åt kritisk granskning av VNS vid behandling av partiell epilepsi (Ben-Menachem o a 1994, Ramsay o a 1994, George o a 1994). Undersökningen var upplagd som en s k prospektiv multicenterstudie där 67 patienter randomiserades antingen till låg VNS (motsvarar placebo) med stimulusfrekvens 1 Hz, strömstyrka 1,25 mA, pulsvidd 130 μ s, på-tiden 30 s och av-tiden 90 min, samt till hög VNS (effektiv behandling) med stimulusfrekvens 30 Hz, strömstyrka 1,5 mA, pulsvidd 500 μ s, på-tiden 30 s och av-tiden 5 min. Vid anfallskänning kunde patienterna i gruppen med hög VNS aktivera stimulering med hjälp av en handmagnet som i placebogruppen var programmerad att inte inducera ström vid påslagning. Under de första 12 veckorna minskade anfallen i behandlings-

Tabell 5. Några arbeten om användning av lågfrekventa elektriska och magnetiska fält på människa vid diagnostik eller behandling av sjukdomar och tillstånd.

Referens	Personer	Design	Syfte	Magnetiskt fält	Elektriskt fält	Stim. frekvens	Andra parametrar	Registrering	Effekt	Biverkningar
Hufnagel o a 1990	13 patienter med farmakaresistent partiell epilepsi	Öppen	Identifiera epileptiskt fokus	0,75–1,5 T	5–30 V/m	0,5–10 Hz	Pulsduration 0,25 ms under 2–3 s, efter 25 stimuleringar 1 min paus. Max antal stimuli 250		Hos 12/13 aktiverades epileptiskt fokus	0
Pascual-Leone o a 1991	6 patienter med farmakaresistent epilepsi	Öppen	Bestämma talcentrums läge	2 T	600 V/m	25 Hz	Pulsvidd 50 µs, sinusformad, duration 10 s.	EEG, EKG, andning, videoövervakning, kliniska symptom	Talcentrum kunde identifieras. Ett ep-anfall provocerades	0
Uthman o a 1993	14 patienter med terapiresistent epilepsi	Öppen	Behandla epilepsi med N. vagus-stimulering	–	Strömstyrka 1 mA	50–60 Hz. 1–2 mån. dygnet runt, sedan 2 v–1 mån. paus	Pulsvidd 250–500 µs, stimulering under 60 s resp 120 s, därefter 60 min resp 5–10 min paus	Hjärttrytm, kliniska symptom	Anfallsreduktion i medel 46,6%. Lätta, avtagande biverkningar under stimuleringen. Puls-sänkning från 77/min till 68/min	
Ben Menachem o a, Ramsay o a, George o a	67 pat med terapiresistent ep. + 33 fick aktiv behandl.	prospektiv multicenterstudie	Behandla epilepsi med N. vagus-stimulering	–	Strömstyrka 1,5 mA	30 Hz	Pulsvidd 500 µs under 30 s, därefter 5 min paus	Hjärttrytm, kliniska symptom	Anfallsreduktion under första 12 v 31% (mot 11% i placebostimul. gruppen)	Som ovan
Benabio o a 1991	32 patienter med terapiresistent tremor	Öppen terapistudie. Inopererade elektroder	Beh. tremor med kronisk thalamus-stimulering. 43 thalami stimulerades		Strömtäthet 179A/m ² . Fältstyrka 3,06V	Mest 130 Hz (60–1 000 Hz prövades)	Pulsvidd 60 µs	–		Lätta, ospecifika

gruppen 31 % mot 11 % i placebogruppen ($p < 0,03$). Ytterligare halvering i anfallsfrekvensen noterades i behandlingsgruppen under de närmaste tre behandlingsmånaderna. Som perioperativa biverkningar (när generatorm opererades in under nyckelbenet) rapporterades heshet, nedre ansiktsförslamning och övergående lokalinfektion. Som stimuleringsbiverkningar noterades desamma som Uthman rapporterade 1993 (se ovan).

Vagusnerven förmedlar information mellan hjärnan och våra inre organ (hjärta, lunga, mag-tarmkanal). Denna information sker autonomt utan vår viljemässiga kontroll. Stimuleringseffekten vid epilepsi förmedlas genom uppåstigande nervtrådar, som via hjärnstammen projiceras till strukturer i centrala delen av hjärnan, mesencefalon och diencefalon. Vagusstimulering ändrar varken EEG eller visuellt, auditivt eller kognitivt väckta elektriska potentialer (evoked potentials). Man har antagit att dessa långvariga stimuleringar normaliserar de störda hjärncellernas funktion vid epilepsi. I några av dessa terapiförsök har stimuleringsfrekvenserna varit desamma som vi har i vårt växel nät och som har rapporterats orsaka symtom hos elkänsliga. Vagusnervstimulering används även i Sverige vid svår epilepsi som inte reagerar på farmaka och inte heller kan opereras. Trots stimuleringar dygnet runt har man inte rapporterat några symtom såsom vid elkänslighet. Inga bestående men eller längre varande biverkningar har åstadkommit.

Exponeringsstudier, friska försökspersoner

Psykologiska variabler

Sedan 1980-talet har flera undersökningar publicerats om hur elektriska och magnetiska fält kan påverka friska försökspersoner. Undersökningarna sammanfattas i tabell 6.

Stollery har i två artiklar (1986 och 1987) rapporterat om effekter av ett kraftigt elektriskt fält på psykologiska variabler på 76 manliga försökspersoner. Fältet generades från elektroder placerade direkt på huvudet, överarmar och fötter. Strömstyrkan (500 μA med 50 Hz) anpassades för att simulera exponering för ett elektriskt fält motsvarande 36 kV/m. Exponeringen varade 5,5 timmar. Försöket genomfördes dubbelblindt med exponering och blindexponering presenterade i balanserad ordning på två olika dagar. Hälften av personerna fick äkta, hälften blindexponeringen först. Förutom självrapportering av sinnestämning och stressupplevelse utfördes psykologiska tester angående minnesfunktion, uppmärksamhet och verbal förmåga. Inga effekter av exponeringarna kunde påvisas på den självrapporterade stressupplevelsen, eller prestationerna i uppmärksamhets- och verbala test. Försökspersoner som gavs den verkliga exponeringen först upplevde sig som mer aktiverade och presterade något bättre i ett syntaktiskt test (dvs bildade bättre meningar av ord) efter blindexponeringen än efter den verkliga exponeringen. Så var inte fallet för de personer som fick betingelserna i omvänd ordning. Som författaren noterar kompliceras tolkningen av resultaten dels av att en del försökspersoner kunde skilja på betingelserna för experimentet, dels av att den ordning i vilken exponeringarna gavs visade sig betydelsefull. Tolkningskomplikationerna underminerar dock inte studiens

huvudslutsats, som innebar att dessa elektriska fält, trots sin styrka, endast hade mycket blygsamma psykologiska effekter. De test som användes i studien visade sig valida och känsliga för olika experimentella effekter andra än exponering. Resultaten bör tolkas som att inte ens starka elektriska fält har påtagliga effekter på psykologiska upplevelser eller kognitiva prestationer.

Persinger o a (1991) undersökte i tre experiment sammanlagt 85 universitetsstuderande av båda könen. Syftet var att med svaga, tidsvariabla magnetfält försöka aktivera hjärnans djupa temporala områden med bl a limbiska strukturer och framkalla, alternativt förstärka sk temporallobssymtom (se nedan). Dessa områden centralt, basalt i hjärnan runt 3:e ventrikeln är säte för primitiva känslor och emotioner. Man vet att stimulering av dessa strukturer (t ex vid komplex partiell epilepsi, tidigare kallad temporallob- eller psykomotorisk epilepsi) kan orsaka livliga visuella och emotionella sensationer, minnes- och depersonalisations- samt out-of-body-upplevelser, tvångstankar m m (Horowitz och Adams 1970).

Både före och efter experimenten fick försökspersonerna fylla i ett frågeformulär angående om de haft subjektiva sk temporallobsupplevelser som yrsel, depersonalisation (känsla av att vara någon annan), emotioner (ångest, sorgsenhet), out-of-body-upplevelser (jag är utanför min kropp, dessa tankar kommer inte ifrån mig), gamla minnen från barndomen samt tvångstankar.

I testrummet var bakgrundens fältstyrka 2,5 nT inom 1 Hz–1 kHz-frekvensområdet. I det första experimentet aktiverades hjärnans temporala områden hos 24 personer (12 kvinnor; medelålder 25 år). Hälften av dem exponerades för ett stationärt placerat magnetiskt fält från solenoider och hälften för roterande fält med maximistyrkan inom hjärnan på 150 nT ($< 0,15 \mu\text{T}$). Stimuleringsfrekvensen hos den ena hälften av båda grupperna var 4 Hz, hos den andra 16 Hz. Roterande magnetfält framkallades med hjälp av en modifierad motorcykelhjälm som innehöll fyra serier av solenoider i tinninglobsnivån. Solenoiderna aktiverades varje 0,5 s i tur och ordning så att fältet roterade medsols på höger sida och motsols på vänster. Under 30 min slogs fältet på och av med 5 min mellanrum (tre par av on-off-perioder). Personerna uppmanades att redogöra för alla iakttagna upplevelser under denna halvtimme. Hjärtrytmen registrerades och en sensor visade undersökarna om fältet var på eller av. Man jämförde resultaten vid olika exponeringstyp (stationärt vs roterande fält) samt vid olika stimuleringsfrekvenser (4 vs 16 Hz). Roterande fält framkallade oftare minnes-, depersonalisations- och out-of-body-upplevelser samt visioner i övre delen av synfältet än ett orörligt fält oavsett stimuleringsfrekvensen ($p < 0,01$). Stimulering med 16 Hz orsakade mer tvångstankar än stimulering med 4 Hz, oavsett fälttyp ($p < 0,05$). Pulsreduktion (2 slag/min) noterades under samtliga stimuleringar ($p < 0,01$). Inga könsskillnader framkom.

I det andra experimentet undersöktes betydelsen av stimuluspulsens form. Tjugofyra personer (16 kvinnor; medelålder 24 år) deltog i studien. Personer indelades i fyra grupper som exponerades för antingen sk blindfält, fält med 4 Hz fyrkantformad puls, fält med 4 Hz sinusformad puls med ökande eller minskande amplitud. Magnetfältet (100 nT, aktiverades 4 ggr/s) roterade över en tinninglob en gång varannan sekund. EEG registrerades på occipital- och tinninglobber. Sinusformad puls med ökande amplitud förorsakade mer visuella upplevelser och minnesbilder än de andra vågformerna, men endast hos dem som hade uppvisat positiva ”temporallobs”-symtom i frågeformuläret redan innan testet ($p < 0,05$).

I det tredje experimentet försökte man med stimulering av djupa temporala områden påverka antagen utsöndring av endogena opioider (kroppsegna mor-

finliknande ämnen såsom enkefaliner och endorfiner) från limbiska strukturer (framför allt amygdala). Trettiosju personer (18 kvinnor; medelålder 22 år) deltog i studien. Experimentförhållandena var desamma som i exp II, förutom att stimuleringsmönstret påminde om humana amygdala-neurons avfiringssalvor. Fältet aktiverades två gånger under 10 min med 5 min paus emellan. Varje person fick avfiringssalvan antingen kontinuerligt under 10 min eller under en sekund var 4:e sekund under dessa 10 min. EEG registrerades. Försökspersonerna redogjorde för sina upplevelser fortlöpande. Gruppen med intermittent stimulering rapporterade mer emotionella upplevelser än gruppen med kontinuerlig stimulering ($p < 0,01$). Detta stämde dock endast hos de individer som redan före stimuleringar hade visat "temporallobs"-symtom.

Författarna drar slutsatsen att stimuleringar av hjärnans temporala områden med svaga, lågfrekventa magnetfält kan intensifiera s k temporallobs-symtom hos personer som redan är känsliga för sådana.

Studien var öppen och inga s k blindexponeringar användes i det första och det tredje experimentet. Antalet personer i de olika grupperna är litet. Bortsett från hjärtfrekvensen var mätningssparametrarna vaga och subjektiva. Framför allt experiment III saknar vetenskapligt hållbar arbetshypotes och resultatet är oprecist. Tanken att magnetfält genom att inducera elektriska strömmar i vissa delar av hjärnan kan framkalla emotioner och påverka tankeverksamheten är logisk (jämför med transkraniell magnetisk hjärnstimulering vid epilepsidiagnostik i avsnitt Förlopp sid 143) men man förväntar sig att magnetfältstyrkan borde vara större för att kunna ge någon effekt än vad som Persinger o a har använt.

I artikeln rapporteras inga negativa effekter av använda stimuleringar.

Psykofysiologiska effekter

Bell o a (1992) undersökte 10 normala kontrollpersoner och 10 patienter som hade remitterats till en EEG-registrering pga neurologiska indikationer såsom vid misstänkt epilepsi. Varje individ exponerades under 2 s med 5 s intervall, i slumpmässig ordning för antingen statiskt eller 60 Hz magnetfält, båda med styrka av 0,78 G (78 μ T), för en kombination av dessa fält samt för s k blindfält. Personerna satt bekvämt, orörliga med slutna ögon i ett mörkt, delvis ljudisolerat rum. De fick inte veta när fältet var av eller på. Registreringen utfördes enligt gängse internationella rutiner.

Inga EEG-förändringar noterades under blindexponeringarna. Nitton av 20 personer visade ökad EEG-aktivitet inom området 1–18,5 Hz under fältexponeringen. Förändringarna noterades framför allt i centrala och parietala områden. Sammanlagt 80 % reagerade för statiskt fält, för växelfält eller för båda. 65% reagerade för en kombination av fälten. 35 % av personerna reagerade för statiskt fält. De rörde sig inte under experimentet, vilket talar för att hjärnan uppfattade fältet som sådant hellre än att de uppfattade elektriska strömmar. (Ett statiskt magnetfält inducerar inga strömmar om man inte rör sig i fältet.) Kombination av fälten orsakade inte mer förändringar än statiska eller tidsvariabla fält var för sig. Enligt författarna ger detta inte stöd för hypotesen att hjärnan känner av magnetfältet pga resonanseffekten med Ca^{++} , som växelfält skulle framkalla. Kontroller och patienter skilde sig inte från varandra. Inga biverkningar rapporterades.

Cook o a (1992) undersökte 30 friska män (21–35, medel 26 år). De deltog först vid ett träningstillfälle och därefter vid fyra teststillfällen en gång/vecka. De

indelades i två grupper. Grupp I (18 män): hälften fick exponeringar i ordningen blindfält – äkta fält och hälften äkta fält – blindfält. Männen var således sina egna kontroller. Grupp II (12 män): hälften fick äkta fält-, hälften blindexponering varje gång. Under den äkta exponeringen användes 60 Hz stimulering med en elektrisk fältstyrka av 9 kV/m och en magnetisk fältstyrka av 20 μ T. Exponeringstiden var vid varje tillfälle 2 x 3 tim. med 30 min. emellan. Testen (se nedan) utfördes före, under och efter exponering för äkta fält och s k blindfält. Allt skedde dubbelblindt. Man registrerade hjärtrytm, EEG, händelserelaterade hjärnpotentialer (eventrelated brain potentials, t ex BRA, VER, P300) med både tidigt (svars-latens = uppfattningen av stimulus) och sent (amplitud = tolkningen av stimulus) svar, tidsuppfattningstest och reaktionstid för väljningsuppgift samt för ljudstimulus. Man utförde också en del neuropsykologiska tester. Ingen av de undersökta kunde bättre än slumpmässigt bedöma om de hade fått riktig eller s k blind exponering. De flesta neuropsykologiska mätningarna (vakenhetsgrad, tidsuppfattning, reaktionstid för ljudstimulus, nummerserie-minnestest) påverkades inte av exponeringarna. Under fältexponeringen minskade hjärtfrekvensen ($p=0,02$). P300-amplituden ökade efter äkta och minskade efter blindexponeringen ($p=0,04$). P300-latensen påverkades inte. Personer i grupp I (som var sina egna kontroller) gjorde färre fel i reaktionstidstesten för väljningsuppgift (= valde fel) under fältexponeringar än under blindexponeringar ($p=0,05$). Grupp II hade samma tendens, men nådde ej signifikans ($p<0,19$). Under fältexponeringen tenderade de båda grupperna att bli snabbare i fingerknackningstest (2/s). De största förändringarna sågs omedelbart efter att fältet slogs på och av. Förändringarna i sig var dock relativt små. Inga subjektiva fältrelaterade känningar (emotioner, trötthet) kunde noteras.

I detta noggrant upplagda och registrerade arbetet noterades närmast positiva effekter av fältexponeringar.

Lyskov o a (1993a) exponerade 20 personer (11 kvinnor; ålder 23–43 år) under en timme för sinusoidala 45 Hz, 1,26 mT magnetfält. Bakgrundsaktiviteten var $<0,1$ mT. Tio personer fick kontinuerlig och 10 fick intermittent exponering med fältet på/av under 1 s. Varje person fick en äkta och en s k blindexponering. Undersökningen utfördes dubbelblindt. Kvantitativt EEG och reaktionstid för ljudstimuli registrerades före och efter exponeringen. Intermittent exponering ökade alfa- (8–13 Hz) och beta- (>13 Hz) och minskade theta- (4–7 Hz) samt delta- (<4 Hz) aktiviteten i EEG ($p<0,05$). Frekvensmedelvärdet i EEG ökade endast något vid kontinuerlig exponering. Ingen direkt påverkan på reaktionstiden noterades. Inlärningstiden för reaktionstidstesten blev något längre hos dem som fick intermittent exponering först, än hos dem som fick blind- eller kontinuerlig exponering först. Inga biverkningar rapporterades.

Samma författare (1993b) exponerade i ett annat experiment 14 personer (varav 6 kvinnor) under 15 min för sinusoidala 45 Hz, 1,26 mT magnetfält intermittent med 1 s på/av. Varje person fick en äkta och en s k blindexponering. Syftet med studien var att analysera om 15 min exponering kan orsaka EEG-förändringar 1 timme efter exponeringen eller förändringar i väckta responser, samt om inlärningseffekten i reaktionstidstesten kan avbrytas med exponeringen. Man analyserade EEG, akustiskt väckta responser (auditory evoked potentials), reaktionstid och uppmärksamhet i en plocka-bort-fel-bokstavstest. Exponeringen ökade både alfa- (normal vakenhetsaktivitet med slutna ögon) och beta- (normal vakenhetsaktivitet med öppna ögon) aktivitet i EEG. Inga förändringar i andra EEG-frekvensområden sågs. Efter den äkta exponeringen noterades förkortad latens i akustiskt väckta svar men även lägre amplitud i stimulusuppfattningen och tendens till minskning i den senare ”tolknings”-amplituden.

Reaktionstiden i sig påverkades inte, men liksom i det förra arbetet minskade inte inlärningstiden om man hade fått en äkta exponering före blindexponeringen.

Resultaten i Lyskov o a stöder tidigare fynd att förändringar i fältstyrkan kan påverka nervsystemet. EEG-förändringar efter exponeringarna tyder närmast på ökad vakenhet. Intermittent exponering tycktes förlänga inlärningstiden i reaktionstidstesten något, även om själva reaktionstiden var oförändrad.

Hjärtat

Den fysiologiska effekten av elektromagnetiska fält på det mänskliga hjärtat har studerats på unga män som exponerades för ett 60 Hz elektriskt fält (9 kV/m) och ett magnetiskt (16 A/m). Studien bestod av fyra delmoment:

- 1) fysisk ansträngning i 45 min som följdes av exponering av ett simulerat fält i 2 timmar
- 2) fysisk ansträngning följt av exponering i verkliga fält i 2 timmar
- 3) stillasittande följt av exponering av simulerat fält i 2 timmar och
- 4) stillasittande följt av exponering i verkliga fält i 2 timmar.

Resultaten visade att efter stillasittande var hjärtfrekvensen lägre under exponering i verkliga fält (Maresh o a 1988).

I en studie av 12 friska unga män (Graham o a 1990a) exponerades dessa av ett intermitterande 60 Hz fält och ett simulerat fält och 12 andra försökspersoner av ett 60 Hz magnetiskt (200 mG = 20 μ T) fält och ett simulerat fält. Hälften exponerades på förmiddagen och hälften på eftermiddagen. Exponering av de magnetiska fälten producerade samma mönster av ökning och minskning av hjärtfrekvensen som studerats tidigare. Detta mönster saknades vid den elektriska exponeringen (Graham o a 1990b).

En pacemaker kan påverkas av nätfrekventa fält i storleksordningen 2 kV/m och 10 mT (Matthes 1986). IRPA/INIRC 1989 visar att ingen störning av pacemaker är rapporterad vid elektriska fält <2,5 kV/m och att de bara i de värsta alternativen kan störas av magnetfält under 100 μ T (50 Hz).

Statiska fält kan även påverka en pacemaker. Ett statiskt magnetfält över 10 mT kan ställa om en pacemaker till fast frekvens och således förorsaka att den ger hjärtat impulser som inte är synkroniserade med hjärtats egen aktivitet. Detta kan leda till ventrikelflimmer, vilket i sin tur betyder att pacemakerbärare inte bör vistas i elektrolyshallar och smältverk, medan vistelse nära kraftledningar inte kan ge problem.

Effekten av 50 Hz elektriskt och magnetiskt fält studerades med kontinuerlig EKG registrering på linjearbetare i Finland och med en kontrollgrupp friska frivilliga. Fältstyrkan varierade mellan 0,14 till 10,21 kV/m och det magnetiska fältet mellan 1,02 till 15,73 μ T. En viktig frågeställning var förekomsten av extrasystolier. Denna är mycket individuell och varje testperson måste vara sin egen kontroll. Arbete i och utanför exponering jämfördes. Det förekom ingen skillnad av extrasystolier med och utan exponering. I få fall förekom en frekvenssänkning efter exponering i fälten (Korpinen 1993).

Sammanfattning, exponeringsförsök på friska försökspersoner

Av ovan beskrivna vetenskapliga rapporter framgår att elektromagnetiska fält av låg styrka och av ELF- och VLF-typ har mycket blygsamma, enbart subkliniska, effekter på mänskliga organsystem. Inte ens exponeringar för mycket kraftfulla elektromagnetiska fält, t ex vid magnetresonansundersökningar (1–2 T) eller i vissa experimentella studier (t ex Stollery 1986, 1987), har kunnat beläggas ge upphov till mer långtgående funktionella störningar, strukturella förändringar, eller symtom i övrigt. För ofarligheten talar också mångårig användning av elektromagnetiska stimuleringar i både diagnostiskt och terapeutiskt syfte vid många sjukdomar och tillstånd (se avsnitt sid 156).

När ett elektromagnetiskt fält slås på eller av framkallas ofta en mindre hjärtfrekvenssänkning. I vissa studier rapporteras elektroencefalografiska förändringar (t ex mot snabbare hjärnvågor, dvs ökning av alfa- och beta-rytmer, eller ökad amplitud hos vissa komponenter av händelserelaterade potentialer, framför allt den s k P300). Sådana fysiologiska förändringar beskrivs vanligen som komponenter av den s k *orienteringsreaktionen* (se t ex Siddle 1983). Orienteringsreaktionen är ett ospecifikt aktiveringssvar till vilken som helst ny eller betydelsebärande stimulus, oberoende av vilken sensoriska modalitet som stimulerats. Den indikerar att ett stimulus registrerats, och detta behöver inte innebära att personen medvetet uppfattat stimuleringen (Öhman och Soares 1994), än mindre tagit skada av den. Om denna tolkning är rimlig skulle man alltså kunna se de observerade effekterna som ett tecken på att hjärnan på något sätt uppfattat antingen förändringen i det elektriska fältet eller någon indirekt effekt av detta. Mekanismerna för detta t ex vad gäller sensorisk modalitet förblir dock oklara. Orienteringsreaktioner av denna typ utlöses säkerligen av tusentals stimuli varje dag, och den kliniska innebörden t ex vad gäller risk för funktionella eller strukturella förändringar av eventuellt hälsovådlig typ är obefintlig. Inte heller kan dessa blygsamma och normala effekter förklara den symptomintensifiering som man ser hos personer som lider av elkänslighet.

Endast mycket starka elektromagnetiska fält, långt starkare än de som t ex kan uppträda under kraftledning, kan tänkas påverka hjärtat.

Tabell 6. Effekt av lågfrekventa elektriska och magnetiska fält på människa.

Referens	Personer	Design	Syfte	Magnetiskt fält	Elektriskt fält	Stim. frekvens	Andra parametrar	Registrering	Effekt	Biverkningar
Stollery 1986, 1987	76 män	Dubbelblind, crossover	Undersöka om starkt el fält påverkar psykologiska variabler	–	36 kV/m	50 Hz	Strömstyrka 500 μ A under 5,5 h	Frågeformulär, minnестest, uppmärksamhet, verbal förmåga	Äkta exp först: ökad aktivering och bättre prestation jmf om s k blindexp först. Annars ingen skillnad mellan äkta- eller s k blind-exponerade	0
Persinger o a 1991	Tot. 85 friska universitetss tuderande av båda kön deltog i tre olika experiment	Öppen? S k blindfält endast i exp II	Aktivera djupa temporala strukturer med svagt magnetfält.	100–150 nT, stationärt och roterande	–	4 och 16 Hz	I exp. II olika pulsförmor	Upplevelser, tankar, hjärtrytm, synfältssymtom	Rotterande fält, stim med 16 Hz samt sinusformad puls med ökande amplitud framkallade mest "temporallöbs"-symtom hos dem som hade dessa före testet. Pulssänkning. Synfältssymtom.	0
Bell o a 1992	10 kontroller, 10 patienter som skickats till EEG	Enkelblind. a) statiskt b) växel fält c) kombination av dessa d) s k blindfält	Undersöka om svagt magnetfält påverkar EEG aktivitet	78 μ T	–	60 Hz	Intermittent stimulering (2 s på/ 5 s av)	EEG	19/20 visade ökad EEG aktivitet. Ingen skillnad mellan kontroller och patienter	

Tabell 6. (forts).

Referens	Personer	Design	Syfte	Magnetiskt fält	Elektriskt fält	Stim. frekvens	Andra parametrar	Registrering	Effekt	Biverkningar
Cook o a 1992	30 friska män	Dubbelblind. Expon. tillfällen en gång/v/4 veckor. Grupp I: hälften exponerades i ordningen blindfält-äktat fält, hälften tvärtom. Grupp II: hälften fick äkta fält, hälften blindfält vid alla tillfällen.	Undersöka om svagt magnetfält påverkar olika fysiologiska och psykologiska variabler.	20 μ T	9 kV/m	60 Hz	Exponeringstid 2x3h med 30 min pauser emellan	Före, under och efter exponeringar: hjärtrytm, EEG, händelserelaterade hjärnpotentialer med tidigt och sent svar, reaktionstid för både ljudstim samt för valningsuppgift, andra psyk. tester.	Pulsänkning. Vissa positiva ändringar i stimulusframkallade potentialer. Färre fel i reaktionstidstesten för valningsuppgifter. Förändringarna främst när fältet slogs på/av.	0
Lyskov o a 1993a	20 friska av båda könen	Dubbelblind. En äkta, en sk blindexp till varje person.	Undersöka om 1 tim. stimulering med svagt magnetfält påverkar EEG och psykologiska variabler.	1,26 mT	–	45 Hz, sinusoidal pulsform	Exponeringstid 1 h. Hälften intermittent (1 s på/av), hälften kontinuerlig stimulering.	Kvantitativ EEG, reaktionstid (RT) före och efter expon.	Ökning av alfa- och beta-aktivitet i EEG (ökad vakenhets), inlärningstiden i reaktionstidstesten längre om intermittert expon. först.	0
Lyskov o a 1993b	14 friska av båda könen	Öppen?. En äkta, en sk blindexp. till varje person	Undersöka om 15 min. stimulering med svagt magnetfält har effekt på EEG och psykologiska variabler under och 1 tim. efter exponeringen	1,26 mT	45 Hz	Exponeringstid 15 min. Intermittert stimulering med 1 s på/av		Under samt 1 tim. efter expon.: EEG, auditivt väckta responser, reaktionstid (RT), uppmärksamhet	Ökning av alfa- och beta-aktivitet i EEG. Vissa förändringar i auditivt väckta responser. Reaktionstidsinlärningstid ökade om äkta exponering först.	0

Exponeringsstudier, känsliga personer

Ett antal studier har genomförts där personer som upplevt sig ha besvär av elektromagnetiska fält utsatts för olika typer av sådana i syfte att reproducera symtomen. Dessa försök skiljer sig från "provokationer" av "friska" försökspersoner då patienterna skulle kunna tänkas utgöra en särskilt känslig grupp. Provokationsförsöken ger också en uppfattning om vilka miljöförändringar som kan tänkas påverka symtomen. En sammanfattning av design och resultat från dessa studier finns i tabellerna 7 och 8. Flera studier finns endast publicerade som rapporter eller sammanfattningar och ej i "peerreview" tidskrifter, men då de bedöms ha stort intresse framför allt vid behandling av dessa patienter har även försök som endast föreligger som rapporter eller sammanfattningar medtagits.

Swanbeck och Bleeker (1989) utsatte 30 patienter för elektromagnetiska fält från två bildskärmar. De uppmätta fälten 30 cm från skärmarna var 50 respektive 800 nT (1–300 kHz). De elektriska fälten var 0,2 respektive 30 kV/m och man mätte också magnetisk induktion som var 23 respektive 335 mT/s. Patienterna fick arbeta ena dagen vid den ena skärmen och påföljande dag vid den andra skärmen utan kunskap om fälten vid respektive skärm. Det angavs att experimentet var "double blind" (dubbel-blind), men det finns inga uppgifter om hur exponeringsförhållandena skulle varit okända för undersökarna. Tjugofem av patienterna upplevde hudproblem vid någon eller båda av skärmarna. Man kunde inte påvisa någon skillnad om patienten provocerades för den ena eller den andra skärmen. En patient reagerade med Quincke-ödem. För de övriga kunde de undersökande hudläkarna inte påvisa några förändringar i samband med provokationerna men anger att "we had the impression that some were slightly redder in the face after having worked with the VDU's". Nitton patienter deltog i en andra testomgång då man höjde luftfuktigheten (från 25 % till 60 %). Sex upplevde då inga besvär av bildskärmarna. De tretton som upplevde besvär provocerades sedan i en tredje omgång under 3 timmar för en bildskärm täckt av skynke där skärmen var avslagen. Elva av de 13 hade även då hudsymtom som kom i anslutning till provokationen. Författarna drar slutsatsen att elektromagnetiska fält inte är en betydelsefull orsak till hudproblemen hos dessa patienter. Som tänkbara förklaringsmekanismer anges bl a stress och betingade reflexer. Man menar också att personerna lider av "vanliga hudproblem" som man tillskriver bildskärmen.

Studiens syfte var framför allt att undersöka om det förelåg skillnad i symptom vid arbete vid två olika typer av bildskärmar. Det saknas uppgift om fältens styrka mätt där patienten var placerad.

Rea o a (1991) utsatte 100 personer som ansåg sig känsliga för elektromagnetiska fält för sådana. Personerna placerades på en stol med källan på golvet. Fältet var ca 350 nT i knähöjd och 70 nT i nivå med handen. I ett svar på ett brev till tidskriften anger författarna senare att uppgiften om handnivå var ett skrivfel och att det var i nivå med huvudet. Varje person utsattes för 21 olika frekvenser (0,1 Hz–5 MHz) under 3 minuter. Dessutom utsattes de för situationer där fälten ej var påslagna (placebo). Bakgrundsfälten var ca 20 nT. Hos dessa personer mättes blodtryck, hjärtfrekvens, andningsfrekvens, temperatur och symptom. Dessutom mättes förändringar av pupillen (storlek, förändringshastighet m m). Som positivt fynd angavs att om antalet symptom eller deras svårighetsgrad ökade med 20 % över "bakgrunds-nivån" eller att storleken av pupillen föränd-

rades mer än 2 standardavvikelser från "bakgrundsnivån". Man delade sedan in materialet i de som inte reagerade alls varken på placebo eller elektromagnetiska fält (25 personer), personer som reagerade på mer än en av fem placeboprovokationer (50 personer) och personer som reagerade på elektromagnetiska fält och högst en av fem placeboprovokationer (25 personer; ur en tabell framgår att ingen av dessa reagerade på placebo, tabell II). De sistnämnda 25 personer utsattes ånyo för samma fält (21 frekvenser och 5 placebo) och då reagerade 16 på elektromagnetiska fält (hur de andra 8 reagerade framgår ej). Dessa 16 patienter reagerade vid 179 (53 %) av 336 aktiva exponeringar och angav dessutom positiv reaktion vid 6 (7,5 %) av 80 s k blindexponeringar. Det fanns ingen tydlig frekvens för vilken personerna reagerade, t ex reagerade 12 personer för 1 Hz och 11 för 10 kHz och 8 för 1 MHz. Det uppges att samtliga 16 reagerade med symtom och förändring av pupillen (vilket mått som använts framgår ej). De flesta symtomen bedömdes vara "neurologiska" (pirningar, sömnhet, huvudvärk, omtöckning, medvetlöshet (!)). Hudsymtom var sällsynta och utgjorde endast 4 av 179 positiva reaktioner. Det anges att symtomen varade mellan 5 timmar och 3 dagar. De kunde variera hos en och samma patient vid upprepade exponeringar. De 16 personerna utsattes ånyo för elektromagnetiska fält, denna gång för den frekvens vid vilken de var "känsligast" (ej närmare angivet hur den fastställdes) tillsammans med 5 placebo. Samtliga fick tillbaka sina symtom vid elektromagnetiska fält men i inget fall vid exponering för placebo. Det anges att två av de 16 hade en fördröjd reaktion och blev medvetlösa men vaknade utan behandling.

Studien är bristfälligt rapporterad, och bl a redovisas inte de kritiska fynden, dvs symtom och pupillreaktion för någon av grupperna, på ett tillfredsställande sätt. De anges inte vilket(a) pupillmått som används. Två fall av medvetlöshet är ju mycket anmärkningsvärt, men de bakomliggande kliniska orsakerna till medvetlösheten redovisas ej (t ex blodtrycksfall). Med tanke på de långa tiderna innan symtomen gick i regress borde studien vara praktiskt mycket svårgenomförbar. I genomsnitt reagerade de 16 personerna för 11 frekvenser; och bara att vänta ut symtomfrihet borde ha tagit mellan 55 timmar och 33 dygn. Med tanke på att man genomfört detta vid 3 olika tillfällen ter sig försöket mycket svårgenomförbart. Detta borde bl a lett till bortfall, något som ej rapporterats.

Wennberg o a (1994) utsatte 25 patienter och 10 friska försökspersoner för elektriska och magnetiska fält. Patienterna hade utvalts från Föreningen för El- och Bildskärmskadade. Personerna valdes bland dem som uppgav besvär från elektromagnetiska fält som uppträdde inom en minut och att besvären avklingade inom några minuter efter upphörd exponering. Deras vanligaste besvär var hudsymtom (100 %) respektive neurastena symtom (88 %). Fältens frekvens valdes för att efterlikna dem som förekommer framför bildskärmar, 50 respektive 20 000 Hz. De elektriska fälten varierade mellan 10 och 80 V/m och de magnetiska mellan 1 500 och 2 500 nT. Flera olika försök genomfördes med olika exponeringstid (30–90 sekunder) respektive exponeringsfria intervall (15 sekunder–10 minuter), där personen ombads att ange om de upplevde symtom eller ej. I slutet av varje försöksserie noterade också försöksledaren tecken till påverkan såsom förändrad hudfärg, tecken på trötthet eller allmänpåverkan. I ett delförsök utsatte man ena sidan av ansiktet för ett elektriskt fält och mätte samtidigt hudtemperaturen på båda ansiktshalvorna. Flera personer deltog bara i vissa delstudier, bl a på grund av att symtom uppträdde. I en inledande studie identifierade patienterna de elektriska fälten i 53 % av fallen och de magnetiska fälten i 46 % (förväntat frekvens pga slumpen = 50 %).

Sammanfattningsvis fann man inte några samband mellan att personen upplevde symtom och förekomst av elektriska eller magnetiska fält. De personer som angav att de hade besvär av elektromagnetiska fält hade en större hudtemperaturskillnad mellan ansiktshalvorna men denna hade ej samband med förekomst av elektriska fält. Magnetiska fält testades ej.

Studien omfattar endast personer som upplever sig ha "snabba" symtom av elektromagnetiska fält. Antalet försökspersoner är ganska begränsat. Studien är väl redovisad. Bortfallet förefaller realistiskt och eftersom varje person var sin egen kontroll torde det inte ha påverkat resultaten. Även de personer som hade mest symtom var ju med i någon försöksserie.

Sandström o a (1993) exponerade patienter som sökt en hudklinik pga bildskärmsrelaterade hudbesvär för elektromagnetiska fält. Man har haft olika försöksuppställningar och provocerat mellan 1 och 8 patienter. Olika typer av magnetiska och elektriska fält har använts. Förekomst av besvär har registrerats i en enkät. Man kunde inte i något fall påvisa något samband mellan förekomst av elektromagnetiska fält och symtom.

Studien är endast partiellt rapporterad i form av en sammanfattning i en konferens. Antalet patienter per provokation är litet och urvalsprocessen bristfälligt beskriven. Den är en sammanställning av erfarenheter i klinisk utredning av patienter.

Hamnerius o a (1993) undersökte 30 patienter som hade besvär vid arbete vid bildskärm. De hade utvalts bland 60 konsekutiva patienter remitterade till en yrkesdermatologisk klinik. Endast personer med distinkta symtom där ingen annan orsak kunde påvisas inkluderades. Dessutom skulle symtomen uppträda inom en timme efter exponering och försvinna eller påtagligt minska inom några timmar efter exponeringen. Personerna exponerades för elektromagnetiska fält som skulle efterlikna de fält som kan förekomma framför bildskärmar respektive för bakgrundsfälten (6 nT respektive 0,3 V/m; 50 Hz). Under en exponering som varade en timma utsattes personerna för sex 10 minuters exponeringar för elektriska (4 tester: 7–29,5 V/m) och magnetiska fält (2 tester: 580–690 nT) med olika vågformer och frekvenser (50–70 Hz, 20–50 MHz, 4,6–12MHz). Totalt genomfördes fyra pass à en timma under två dagar där ett av dagens pass var en exponering och en ickeexponering. Förutom förekomst av symtom registrerades hudtemperatur, hudgenomblödning, hudmotstånd och pulsfrekvens. Dessutom gjordes en klinisk undersökning av läkare inklusive fotografering.

Resultaten visade att ingen av de trettio patienterna på ett säkert sätt kunde identifiera om man exponerades för elektromagnetiska fält eller ej. Detta är en välgjord studie med en klar hypotes före experimentet.

Sjögren och Hamnerius (1994) utsatte 7 personer som upplevde sig ha besvär från bildskärmar för elektriska och magnetiska fält som liknade de vid en bildskärm. Det anges att korrekt tendens för identifikation av fälten visade en oddsratio på 2,16 (95 % KI 0,98–4,85). Slutsatsen av studien är att man inte säkert kunnat demonstrera någon effekt av elektromagnetiska fält.

Detta är en liten studie som endast finns rapporterad som sammanfattning. Redovisningen är mycket knapphändig. Urvalet av personer är oklart.

Oftedal o a (1993) studerade effekten av filter för att reducera elektriska fält från bildskärmar i reell miljö. Tjugo personer som upplevde symtom fick arbeta vid sin skärm, dels utan filter, dels med aktivt filter och dels med filter där jordningen brutits. De 20 personerna hade utvalts ur en enkät till 1 200 personer av vilka 484 svarade. Kravet var att de skulle ha symtom från huden i ansiktet som uppträdde vid arbete framför datorskärm och sällan eller aldrig annars.

Personerna undersöktes dels av hudläkare och dels fick de varje dag besvara ett frågeformulär där besvärsggraden angavs i en skala från 0–9 där 0 innebar inga symtom. Symtomförekomsten reducerades påtagligt vid montering av skärmen, oavsett om det var en aktiv skärm eller skärmens ledning var bruten. Genomsnittliga svårighetsgraden för ”stickningar och klåda” var 2,5 före det skärm monterades; 1,7 för skärm utan kontakt och 1,6 för aktiv skärm. Det elektriska fälten reducerades i allmänhet måttligt av skärmen, och även den inaktiva skärmen reducerade ibland fälten (fälten upp till 1000 Hz (ELF) reducerades i genomsnitt från ca 25 V/m utan skärm till 20 med inaktiv skärm och ca 12 med aktiv skärm; motsvarande förändringar för fält mellan 1 och 100 kHz var 1,8, 1,6 respektive 0,4 V/m). Det fanns inget systematiskt samband mellan reduktion av de elektriska fälten och påverkan på symtomen. För det ovan angivna symtomet ”stickningar och klåda” anges att skillnaden mellan aktiv och passiv skärm var signifikant. Inga andra signifikanta samband av hudsymtomens svårighetsgrad framkom mellan den aktiva och passiva skärmen (värmekänsla, brännande känsla, sveda, stramhetskänsla, torr hud, öm hud, smärta, hudrodnader, finnar). Man noterade också ett visst samband mellan symtom och den tid personen uppgav sig arbeta framför skärmen. Författarnas slutsats är att de elektriska fälten kan ha betydelse för hudsymtomen i vissa fall men att andra orsaker förekommer. Man bedömer också att symtomen ej helt går tillbaka även om man kraftigt reducerade de elektriska fälten.

I studien har fälten mätts bara vid ett tillfälle och man vet ej om fälten varit konstanta under tiden. Man redovisar endast symtomförekomst den andra av två veckor vid respektive betingelse (utan/inaktiv/aktiv skärm) och anger att tiden första veckan avser omställning. Det är oklart om detta är ett kriterium som tillkommit efter det att resultaten blev kända eller om det förekom i den primära planeringen. Man mäter föredömligt en rad tänkbara s k confounders (dvs vilseledade faktorer) men gör ingen analys av sambanden med hänsyn tagen till potentiella confounders.

I en studie som än så länge bara rapporterats i form av en psykologexamensuppsats introducerades en viktig metodologisk innovation för provokationsstudier (Hellbom 1993). I studien jämfördes subjektiva besvär av en bildskärm, dels när patienterna visste om skärmen var på- eller avslagen, dels när detta genom en dubbelblindprocedur förblev obekant både för patienter och försöksledare.

Av ursprungligen 15 personer (9 kvinnor, 6 män) som kontaktat företagshälsovården för besvär som de uppfattade bero på känslighet för elektricitet, återstod efter intervju och öppen provokation framför avrespektive påslagen bildskärm 6 personer (2 kvinnor, 4 män) som rapporterade tydliga besvär när de utsattes för påslagen bildskärm och som var villiga att delta i studien. Studien utfördes i en barack fri från elektricitet. I denna installerades en bildskärm innesluten i en glasbur och kontrollerad från en dator i en annan byggnad. Skärmen kunde döljas genom en papplåda som hissades ned så att den täcktes från insyn. Skärmen genererade ett magnetiskt fält på cirka 30 nT och ett elektriskt fält på ca 4 V/m vid ett normalt arbetsavstånd (70 cm). Vid avslagen skärm var fälten <2 nT respektive < 0,01 V/m.

Varje försöksperson genomgick sammanlagt åtta exponeringar om 30 min duration. Intervallet mellan exponeringarna var minst två dagar. Vid de två första exponeringarna var skärmen synlig för försökspersonerna, så att försöksledare och försöksperson gemensamt kunde verifiera att den var på vid det första fillfället och av vid det andra. De följande fyra exponeringarna genomfördes dubbel-blind, där ett datorprogram okänt för både försöksperson och för-

söksledare slumpmässigt avgjorde att skärmen var på vid två tillfällen och av vid de två andra. De två avslutande exponeringssessionerna var identiska med de två första, med undantag av att betingelserna ”öppna på” och ”öppna av” presenterades för försökspersonerna i balanserad ordning.

Personernas besvär vid exponeringen mättes med hjälp av visuella analogskalor, dels uppdelade på specifika symtom (t ex ”hetta i huden”, ”stramhet i huden”, ” yrsel”, ”ögonbesvär”) dels i form av en total besvärsskattning. Dessutom fick de under de blinda exponeringarna ange om det trodde skärmen var på eller av samt skatta sin säkerhet i denna bedömning.

Personerna uppgav mycket högre grad av besvär när skärmen var på än när den var av vid den öppna provokationen. Personerna kunde inte skilja mellan om skärmen var på eller av vid blindexponeringarna, men de skattade genomgående sina besvär som värre när de trodde att skärmen var på än när de trodde den var av, oberoende av det verkliga förhållandet. Vid den öppna provokationen angavs signifikant mer besvär vid påslagen skärm jämfört påslagen skärm vid det dubbelblindförsöket.

I likhet med andra provokationsstudier visar denna undersökning att personer med elkänslighetsbesvär inte kan skilja aktiv exponering från sk blind exponering. Resultaten från de öppna exponeringsbetingelserna visade att personerna upplevde besvär när skärmen var påslagen. Svårigheterna att skilja mellan betingelserna under blindexponeringarna kan därför inte skyllas på otillräckliga exponeringsbetingelser för att framkalla symtom. Studien visar också att besvaren kan knytas till förväntningar härledda från kunskapen att man faktiskt utsätts för elektromagnetiska fält. Dessa slutsatser måste dock ännu betraktas som preliminära. Studien är liten både vad gäller antal personer och antal blindexponeringar och det är angeläget att den upprepas i större skala.

Tabell 7. Sammanfattning över uppläggnigen av provokationsstudier.

Registrering av effekt	Subjektiva besvär + hudundersökning av dermatolog	Subjektiva besvär + pupillreaktion, puls, andningsfrekvens, blodtryck, temperatur	Subjektiva besvär	Subjektiva besvär	Subjektiva besvär, hudtemperatur, hudgenomblödning, hudmotstånd, puls, klinisk undersökning med fotografering	Subjektiva besvär	Subjektiva besvär skattat med visuell analogskala
	Swanbeck och Bleeker -89	Rea o a -91	Wennberg o a -94	Sandström o a, -93	Hamnerius o a, -93	Sjögren och Hamnerius -94	Helblom -93
Personurval	Samtliga patienter som remitterades till hudklinik pga besvär från bildskärmar under 1986	Patienter, i övrigt ej definierat	Patienter som angav snabbt isättande och snabbt försvinnande symtom av EMF	Patienter som sökt pga bildskärmsrelaterade symtom	Patienter som sökt pga bildskärmsrelaterade symtom	Personer med bildskärmsrelaterade symtom där annan orsak utesluts	
Antal	30	100	25	1–8	30	7	6
Bortfall	0	0	Varierar i Olika Delstudier (12–16 personer)	ej redovisat	ej redovisat	Ej redovisat	9
Design	Enkelt blind exponering för två bildskärmar. För 13 personer exponering för dold avslagen skärm	Enkelt blind exponering för elektromagnetiska fält	Dubbelt blind exponering för elektromagnetiska fält	Enkelt blind exponering för elektromagnetiska fält	Dubbelt blind exponering för elektromagnetiska fält	Enkelt/Dubbelt(?) blind exponering för elektromagnetiska fält	Öppen resp dubbelt blind exponering för elektromagnetiska fält i laboratoriemiljö
Exponeringstid	3 timmar	3 minuter	30–90 sekunder	1–4 timmar, ej fullständigt redovisat	1 timma (sex olika elektromagnetiska fält)	1 timma	30 minuter
Magnetiskt fält	50 respektive 800 nT (från bildskärm)	70 nT i "handhöjd", 21 olika frekvenser mellan 0,1 Hz och 5 MHz	1 500–2 500 nT vid 50 respektive 2 000 Hz	Upp till 10 000 nT i vissa fall, 50 Hz	580 nT: 50–70 Hz, 690 nT: 20 000–50 000 Hz	95 nT: 5–2 000 Hz, 20 nT: 2 000–400 000 Hz	70 cm från skärm: 28 nT (5–2 000 Hz), 31 (2–400 kHz)
Elektriskt fält	0,2 respektive 30 kV/m	Ej rapporterat	10–80 V/m vid 50 respektive 20 000 Hz	20–100 V/m, 50 Hz respektive 31 000 Hz i vissa fall	7–29,5 V/m, 50–70 Hz, 20–50 kHz, 4,6–12 MHz	1,1 V/m: 5–2 000 Hz, <0,04 V/m: 2 000–400 000 Hz	70 cm från skärm: 3,5 V/m (10–10 000 Hz), 0,05 V/m (10–10 000 kHz)
Tid mellan olika exponeringar	1 dag	Ej rapporterat	15 sek–10 min	Ej rapporterat	Några timmar (för resp eftermiddag)	1 dygn	2 dagar–3 veckor
Tidpunkter för symptomregistrering	0–20 timmar	Ej rapporterat	Under pågående exponering	Under/efter pågående exponering	Under/efter pågående exponering	Under/efter pågående exponering	Före/under/efter exponering

Tabell 8. Resultat vid provokationsförsök.

Författare	Antal personer	Magnetiskt fält (nT)	Resultat
Swanbeck o a -89	30/13	50–800	inget samband
Rea o a -91	100	70	pos samband för 16 personer
Wennberg o a -94	25	1 500–2 500	inget samband
Sandström o a -93	1–8	≤ 10 000	inget samband
Hamnerius o a -93	30	580–690	inget samband
Sjögren o a -94	7	20–95	inget säkert samband*
Oftedal o a -93	20	varierades ej	svagt samband med elektriska fält
Hellbom -93	6	30	samband öppen/ej samband s k blindexp

* OR=2,16 (95% KI 0,98–4,85) för tendens

Sammanfattande kommentar

Samtliga studier utom den från USA (Rea o a 1991) studerar effekter av elektromagnetiska fält från bildskärmar. Resultaten tyder på att om man försökspersonen ovetande förändrar elektromagnetiska fältet från bakgrundsfält till fält som förekommer vid bildskärmar, så påverkar det ej deras symtom på ett systematiskt sätt. Man har i vissa av dessa försök använt elkänsliga och snabbreagerande försökspersoner, med samma resultat, trots att de angav sig känna sina vanliga symtom. Anmärkningsvärda fynd har presenterats av Rea o a (1991), som hävdar att en minoritet (16 av 100 personer) kunde ange om de förekom ett fält eller ej. Man provocerade där med ganska svaga fält (70 nT) jämfört med de andra studierna och under kort tid (3 minuter). Anmärkningsvärt är också att hudsymtom mycket sällan förekom. Denna studie har dessutom stora brister i sin rapportering. En norsk undersökning (Oftedal o a 1993) fann ett statistiskt signifikant samband mellan ett hudsymtom (pirningar, stickningar, klåda) och elektrisk fältstyrka. Däremot förelåg ej samband mellan andra hudsymtom (bl a sveda, smärta, värmekänsla, stramhet i hud, rodnader) och elektrisk fältstyrka.

Experimentella djurstudier

Inverkan av elektriska fält på nervvävnad har studerats i flera århundraden. Studier av endogena elektriska fält, t ex de som alstras av nerv- och muskelaktivitet eller cellskador har en något kortare historia. Idag förstår vi hur elektriska signaler genereras och vidarebefordras i nervsystemet. Vi vet också hur starka externa elektriska och magnetiska fält kan påverka nervcellens och muskelcellernas aktivitet och elektriska egenskaper.

Tanken att samma fenomen (elektrisk aktivitet) som hos den utvecklade individen utnyttjas för intercellulär kommunikation också kan utnyttjas vid anläggningen av nervsystemet är emellertid ny liksom beaktandet av möjligheten att svaga externa elektriska och magnetiska fält skulle kunna påverka nervsystemet på ett skadligt sätt.

Med varierande (växlande) magnetiska fält kan man inducera strömmar i organismen. Tillräckligt starka sådana fält kan därför leda till stimulering av nervceller men också en påverkan på överföringen av signaler mellan nervcellen och de celler den innerverar. För att påvisa en sådan inverkan krävs emellertid fält som är tillräckligt starka för att störa den molekylära organisationen i nervcellsmembranet. För detta krävs fältstyrkor flertusenfaldigt större än de vi exponeras för i vår miljö. De fält vi utsätts för kring normal elektrisk utrustning har ingen påvisbar inverkan på nervcellens elektriska funktioner. De studier som redovisas berör i stället andra mekanismer.

In vitro-studier, elektriska fält

Nervceller består av en cellkropp från vilket ett eller flera långa utskott, neuriter, emanerar. Det är möjligt att studera hur dessa neuriter bildas och tillväxer i odlingar av nervceller eller samlingar av nervceller och ganglier.

Ett flertal grupper har studerat neuritutväxt i odlingar av embryonala nervceller (Marsh och Beams 1946, Siskin och Smith 1975, Jaffe o a 1979, Hinkle och Poo 1981, Patel och Poo 1982, Patel o a 1985). Resultaten är ensartade. När sådana kulturer utsattes för ett likströmsfält konstant eller pulserat på några V/m finner man att neuriterna företrädesvis växer mot katoden (galvanotropism) och att utväxtriktningen kan reverseras genom att kasta om polariteten på elektroderna. Ett symmetriskt växelströmsfält påverkar däremot inte utväxten av neuriter. Frågan är om galvanotropismen kan förklaras av en effekt på nervcellkroppen, som är nervcellens trofiska centrum, eller på tillväxtkonen som är neuritens motila organ. Patel o a (1985) har studerat detta genom att utsätta neuritens tillväxtkon för små pulserade strömmar från mikroelektroder. Om elektroden var negativ i förhållande till mediet ökade utväxthastigheten medan den minskade när elektroden var positiv. Galvanotropism noterades vid fält motsvarande 0,7 V/m. Galvanotropismen kan inte förklaras av en elektroforetisk förflyttning av tillväxtkonen ty denna är negativt laddad. Det finns däremot experimentellt stöd för att den galvanotropiska effekten kan kopplas till Ca^{2+} -strömmar i neuritens tillväxtkon.

Endogent alstrade elektriska fält kan i vissa fall nå de fältstyrkor som krävs för att påverka en tillväxtkon men de exogena fält vi utsätts för är däremot knappast tillräckliga för att inducera galvanotropiska effekter.

In vitro-studier, magnetiska fält

Cleary har (1993) skrivit en bra översiktsartikel om effekter av lågfrekventa (max 1 000 Hz) elektromagnetiska fält (EMF) in vitro.

Blackman o a (1993) har studerat effekten av svaga magnetiska fält på neuritutväxt inducerad med "nerve growth factor" (NGF) hos PC12 celler. De studerade 50 Hz växelströmsfält och fann att vid magnetiska flödestätheter mellan 8 och 30 mT motverkades den NGF-inducerade neuritutväxten. Effekten tillskrevs det magnetiska fältet eftersom inhibitionen av utväxten inte varierade med den i skålarna inducerade strömmen. Studien är intressant därför att magnetfälten hade frekvensen 50 Hz och var relativt svaga. I samma cell-linje har Dixey och Rein (1982) tidigare rapporterat att frisättningen av en neurotransmittor, noradrenalin, ökar som svar på ett pulserat magnetfält.

Blackman o a (1985a) rapporterade att sinusoidala fält med extremt låg frekvens (s k ELF-fält) förorsakade intensitets- och moduleringsberoende fönstereffekter på Ca^{++} -utflödet från kycklinghjärna *in vitro*. De noterade (1985b) att ett lokalt statiskt magnetfält på ELF-exponerade prover bestämde de frekvenser vid vilka elektromagnetiska fält kunde inducera Ca^{++} -utflöde från kycklinghjärna *in vitro*. De rapporterade 1990 att Ca^{++} -utflöde förekom om ett statiskt magnetiskt fält var vinkelrätt mot ett växelkraftfält av 314 Hz, 15 V/m, 61 nT men inte om dessa fält var parallella. De ansåg att resultatet passar med att det bör förekomma transduktionsmekanismer baserade på ännu icke i detalj kända magnetiska resonansfenomen. Dessa skulle konvertera elektromagnetisk energi till fysikaliskt-kemiska förändringar såsom t ex ökad jontransport genom membrankanaler. Dessa åsikter har inte kunnat bekräftas i oberoende studier.

Smith o a (1987) fann en resonansliknande effekt av cykliska elektromagnetiska fält på rörligheten i vissa kiselalger (diatomacéer). De exponerade algerna för kombinerade statiska och cykliska magnetiska fält. De noterade den största jonrörligheten vid 16 Hz när de statiska och cykliska fältens styrkor båda var 20,9 μT och när fälten var parallella. Smith använde 1 000 gånger starkare magnetfält än Blackman o a i sina försök, varför resultaten ej är direkt jämförbara. Inte heller dessa kiselalgsförsök har kunnat upprepats av oberoende forskargrupper.

Dessa *in vitro*-studier anger att lågfrekventa elektromagnetiska fält av låg intensitet kanske skulle kunna påverka däggdjurs centrala nervsystem även *in vivo*. De har vissa gemensamma drag såsom a) multipla fönster under 1000 Hz frekvenser, b) intensitetsfönster i ramar som är lägre än vad som kan förklaras med välförstådda cellulära fysikaliskt kemiska mekanismer och c) beroendet av orientering av komponenterna i de använda elektromagnetiska och geomagnetiska fälten. Det är också svårt att finna stöd för dessa försöksresultat från oberoende forskargrupper.

In vivo-studier

De flesta djurstudier är utförda på råttor och mus men även fåglar, katter, hundar, kaniner, svin och primater har använts. I de flesta arbeten har man använt fältstyrkor på 50–60 Hz, mindre ofta 15–35 Hz och ännu mer sällan 100–300 Hz (översikt: Anderson 1993).

Beteendestudier

Weiss o a (1992) har undersökt hur råttor påverkas av exponering med statiska elektromagnetiska fält av 0, 1,5 och 4 T fältstyrka. Råttan undvek 4 T-fält, men annars skilde sig exponerade råttor inte från kontroller. Trzeciak o a (1993) studerade hur råttor påverkas av 18 mT, 50 Hz växelfält eller 0,49 T statiskt magnetiskt fält eller s k blindexponering under 2 tim/dag under 20 dagar. Irritabiliteten minskade efter upprepade exponeringar, men ingen effekt kunde noteras på motorisk aktivitet eller beteende på öppen mark. Graviditet hade ingen inverkan på resultaten. Med fältstyrkan 25 kV/m föredrog råttorna att vara inom fältet men med styrkan 75–100 kV/m undvek de expositionsområdet (Hjerresen o a 1980).

Non-humana primater har inte visat exponeringseffekter vid fältstyrkan 7–100 V/m. Vid högre styrka (30 kV/m) rapporterades hos babianer minimala

beteendeändringar som inte var permanenta eller skadliga på något sätt (Rogers o a 1987).

Studier på olika djurarter tyder på att djuren kan uppfatta elektromagnetiska fält genom att ändra beteendet. Djurarter skiljer sig från varandra i fråga om att söka respektive undvika elektromagnetiska fält av olika styrkor. Gemensamt tycks vara att vissa aktivitetsändringar framkommer vid mindre fältstyrkor (Smith och Justesen 1977). Däremot har man vid starkare fältstyrkor inte sett förändringar i beteendet (Davis o a 1984). Egentligen har man demonstrerat förvånansvärt få effekter (främst vid vakenhet eller i övrigt under aktivitet).

Neurokemiska och endokrinologiska studier (se även melatonin)

Reiter (1993) har skrivit en täckande översiktsartikel över neuroendokrina och neurokemiska förändringar vid exponeringar för statiska fält och extremt lågfrekventa fält.

Sambandet mellan noradrenalin (NA), adrenalin (A) samt fysiologiska svar på stress och arousal är välkända. Groza o a (1978) har rapporterat att hos råttor ökade mängder av A i blod och urin efter akut (6 tim) exposition med 60 Hz, 100 kV/m men inga förändringar i halterna av A eller NA efter kronisk exposition (12 dagar).

Även i senare arbeten har man noterat förhöjda NA-halter i serum eller hjärnvävnad på råttor efter kortvarig stimulering, men inga förändringar eller snarast nedsatta mängder av NA efter flera dygns stimulering. Vasquez o a (1988) undersökte biogena aminer och deras metaboliter i striatum, hypothalamus och hippocampus hos råttor som hade exponerats för 60 Hz elektriska fält med styrkan 39 kV/m 20 tim/dygn under 4 veckor. Upprepade exponeringar åstadkom signifikanta förändringar i diurnala rytmer av vissa aminer: DOPAC (dihydroxyfenylättiksyra; en primär DOPA-metabolit) i striatum och NA, DA (dopamin) och 5 HIAA (5-hydroxyindoleättiksyra; en 5-HT/serotonin-metabolit) i hypothalamus. Nivåer av 5-HT/serotonin i striatum och hypothalamus visade klar dygnsrytm, vilket inte påverkades av det elektriska fältet. Inga diurnala eller fältrelaterade förändringar noterades i de biogena aminerna i hippocampus. Seegal o a (1989) noterade en sänkning av HVA (homovanillinsyra; en DA-metabolit) och 5-HIAA halter i likvor hos apor (makaker) som exponerades för 3–30 kV/m elektriska fält under 3 veckor. Detta skulle kunna tyda på nedsatt neuronal metabolism av både DA och 5-HT. Förhöjda halter av AChE (acetylkolinesteras) i serum och sänkta halter i hjärnan hos både unga och gamla råttor rapporterades när de exponerades för 15 kV/m 50 Hz fält 30 min/dag under 60 dagar (Kozyarin 1981). Värdena normaliserades inom en månad efter det att exponeringen hade upphört.

Vad gäller kortikosteroider har man visat både förhöjda och sänkta halter i serum och plasma hos djur efter exponering för extremt lågfrekventa fält. Tex har Hackman och Graves (1981) visat att exponering av möss med 60 Hz, 25 eller 50 kV/m elektriska fält åstadkom en snabb, transient förhöjning av plasma-kortikosteron, vilket normaliserades inom ett dygn. Marino o a (1977) noterade en sänkning av serum-kortikosteroidnivåer efter motsvarande exponering. Denna undersökning har dock kritiserats eftersom man använde serum samlat från flera försök. Free o a (1981) samt Portet och Cabanes (1988) noterade däremot inga förändringar i kortikosteroidnivåer när de exponerade råttor eller kaniner med 100 respektive 150 kV/m under 30 eller 120 dagar.

Man kan således konstatera att neurokemiska data bjuder vissa bevis för att exposition för elektriska fält skulle orsaka förändringar i nervsystemets funktion. Exposition för extremt lågfrekvent fält kan ändra biologiska rytmer och

öka arousalnivån (vakenheten) hos djur. Effekterna kräver höga fältstyrkor och är snabbt övergående.

Morfologiska studier hjärnan

Från Sverige har publicerats en studie där man har noterat dramatiska strukturförändringar i lillhjärnan av kaniner som exponerades för ett 14 kV/m elektriskt fält (Hansson 1981). Undersökningsresultat har kritiserats eftersom exponeringarna utfördes utomhus och djuren visade markant allmän ohälsa. Dessa resultat stämmer inte heller med andras, där inga ultrastrukturella förändringar hittades i lillhjärnan på kaniner som exponerats för 50 kV/m fältstyrkan (Portet och Cabanes 1988).

Neurofysiologiska studier på centrala nervsystemet

Eftersom nervsystemet i sig är känsligt för olika elektriska signaler har man antagit att det också måste vara känsligt för externa elektromagnetiska fält. Man har därför med olika neurofysiologiska metoder undersökt djur som exponerats för sådana fält.

EEG

Man har inte kunnat notera förändringar hos kycklingar eller katter när man exponerat dem för 60 respektive 50 Hz elektriska fält med en styrka på 80 kV/m (Graves o a 1978, Silney 1981). I ett annat experiment där man använt implanterade elektroder i hjärnan på kaniner noterades efter 2–3 veckors exponering förändringar som dock försvann under expositionens gång när man avlägsnade elektroderna (Takashima o a 1979).

Man har i flera studier undersökt hur exposition för extremt lågfrekventa fält påverkar hjärnans epileptiska aktivitet. Ossenkopp och Cain (1991) exponerade råttor med antingen 60 Hz magnetfält med styrkor upp till 185 μ T eller med s k blindfält. I båda fallen gjordes expositionen en timme innan man på kemisk väg med pentylenetetrazol inducerade epileptiska anfall. Magnetfältsexposition minskade signifikant dödligheten ($p < 0,005$) vid inducerade anfall jämfört med s k blindexponering.

Likartade resultat rapporterade Juutilainen o a (1988). De använde råttor som fick epileptiska anfall av ljud, och utsatte dem för 10 och 28 kHz magnetfält som simulerade naturliga elektromagnetiska signaler. De utsattes också för sinusoidala magnetfält 100 Hz ($1 \text{ A/m} = 1,26 \mu\text{T}$) eller för s k blindexponeringar. Efter 1 timmes exponering utlöstes ljudstimuli. Latensen mellan stimulus och anfall samt anfallsdurationen och svårighetsgraden registrerades. Endast exponering för 100 Hz magnetfält ökade anfallslatensen (ca 13 %; $p < 0,02$).

VER, BRA (visuellt eller auditivt väckta svar i hjärnan)

Inga konstanta, signifikanta effekter har noterats hos råttor under exponeringar med 60 Hz, 65 kV/m elektriskt fält (Jaffe o a 1983).

Galvanotropism

Möjligheten att utnyttja den galvanotropiska effekten för att påskynda utväxt av neuriter efter en inducerad nervskada eller ryggmärgsskada har studerats av flera olika oberoende grupper (Borgens o a 1981, 1987, 1990, Politis o a 1988, Kerns o a 1991). I dessa försök inplanteras elektroder kopplade till en konstantströmskälla i djuret. Elektroderna placeras på ömse sidor av nerv/ryggmärgsskadan med katoden i tillväxtriktningen. Det förväntade resultatet är en

stimulerad utväxt liknade den som observerats i nervcellsodlingar. De flesta studierna visar en ökad neuritutväxt efter denna typ av behandling. Kerns o a (1991) fann t ex en stimulerad utväxt av axoner efter likströmsbehandling (0,6 mA) av den avskurna ischiasnerven hos råttor. Mer uppseendeväckande är kanske de undersökningar som visar att likströmsfält åstadkommer neuritutväxt i skadad ryggmärg (Borgens o a 1987, 1990) och i synnerven (Politis o a 1988) eftersom dessa system normalt inte återbildar (regenererar) sina neuriter efter en skada. De strömstyrkor som används vid dessa försök är väsentligt högre än de som induceras i kroppen av externa fält.

Perifera nervsystemet

Jaffe o a (1980) undersökte neuromuskulär transmission hos råttor som exponerades under 30 dagar med 60 Hz, 100 kV/m elektriskt fält. Presynaptiska fibrer visade något ökad retbarhet men inga andra förändringar iaktogs. Samma författare (Jaffe o a 1981) har också rapporterat att efter uttröttnings som var orsakad av kronisk nervstimulering på soleusmuskeln återhämtade sig exponerade djur något snabbare än andra.

Det finns ett flertal undersökningar av inverkan av pulserade magnetfält och 50 Hz fält på regeneration, dvs återutväxt av skadade neuriter i det perifera nervsystemet (Ito och Bassett 1983, Orgel o a 1984, Rusovan 1993, Rusovan o a 1991–1993, Siskin o a 1989, 1990). Det överväldigande antalet visar en stimulerande effekt på nervcellstillväxt. De flödestätheter som behöver användas ligger relativt högt, flera gånger högre än det jordmagnetiska fältet. Siskin o a (1989) studerade effekten av pulserade magnetfältsexponering på regeneration av råttans ischiasnerv. Vid flödestätheter kring 300 mT fann de en stimulerad utväxt av sensoriska neuriter. Effekten var oberoende av råttans orientering i förhållande till det pålagda fältet. Ett konstant magnetfält var verkningslöst. Rusovan och Kanje (1991) har studerat effekten av magnetfält alstrade av växelström. De fann att även sådana fält ökade utväxten av neuriter. Effekten var frekvensberoende (Rusovan o a 1992) och antogs därför vara relaterad till de i djuren inducerade strömmarna. I en annan studie (Siskin o a 1989) kunde gruppen visa att inverkan av magnetfälten kunde neutraliseras av Ca^{2+} antagonister.

Kanje o a (1993) och Siskin o a (1989) har visat att pulserade magnetfält har en konditionerande effekt på regenerationen av neuriter dvs att en ökad regeneration kunde påvisas efter förbehandling av djuren med magnetiska fält. I dessa försök inducerades och mättes regenerationen först efter det att exponeringen upphört. Det var möjligt att påvisa inverkan av exponeringen 14 dagar efter det att den avbrutits. Det intressanta med denna konditionerande effekt är dels att den kan användas för att påvisa om djur utsatts för exponering och dels att samtliga hittills kända sätt att konditionera nerver innebär att nerven måste skadas. Växelströmsfält hade ingen konditionerande verkan. Möjligheten att de snabba transienter som karakteriserar de pulserade fälten jämfört med växelströmsfälten skulle kunna vara skadliga för nerven vid höga flödestätheter kan därför inte uteslutas.

Biologiska rytmer

Se också avsnittet om melatonin nedan.

I flera studier har man visat att extremt lågfrekventa fält har effekt både på det centrala och det perifera nervsystemet. En del av effekterna tyder på direkt påverkan på neurala strukturer, medan en del av dem bör vara förmedlade via

neuroendokrina svar. Tillsvidare har man dock inte fått fram några funktionellt eller morfologiskt skadliga effekter.

Effekter på hjärtat

I en studie på vuxna aphantastar studerades simultant EKG och intraarteriellt blodtryck under akut exponering för homogena stationära magnetiska fält upp till 1,5 T. En omedelbar fältberoende ökning av T-vågen observerades i fält större än 0,1 T. Förändringen var reversibel. Detta kan förklaras av att det induceras ett elektriskt fält i blodströmmen genom aorta under ejektionsfasen. Fenomenet upphör utanför det magnetiska fältet (Tenforde o a 1988).

Hos försöksdjur i magnetfält över 20 mT har man funnit en minskning av hjärtfrekvensen (Stamenovic 1975, Lazetic 1988).

På spontanhypertensiva råttor har man hittat tecken på nedsatt kärlresistens vid svagt lågfrekventa magnetfält (0,3–38 mT; Buyavikh 1987).

Det är värt notera att mycket höga fältstyrkor har använts i dessa djurstudier. Jämför med det normala jordmagnetiska fältet som är ca 50 μ T.

Förklaringsmodeller

Biologiska förklaringsmodeller

Dygnsrytm, melatonin och elektromagnetiska fält

Nucleus suprachiasmaticus i hypotalamus fungerar som inre biologisk klocka vid reglering av dygnsrytmer i kroppen såsom sömn-vakenhet och insöndring av vissa hormoner. I denna reglering spelar tallkottkörtelns (corpus pineales) hormon, melatonin, en roll. Tallkottkörtelns celler, pinealocyterna, omvandlar en essentiell aminosyra, tryptofan, till serotonin (5-HT) på samma vis som vissa andra celler i hjärnan. Med hjälp av ett enzym, N-acetyltransferas (vars aktivitet ökar i mörkret i proportion med melatoninmängden) konverteras därefter pinealocyternas serotonin till N-acetylserotonin och vidare till melatonin. Det arvsanlag som krävs för att bilda melatonin finns på X-kromosomen. Information om ljus-mörkerväxlingar förmedlas från retina till suprachiasmatiska kärnor och därifrån via formatio reticularis till brösttryggmärgen och övre sympatiska halsgangliet. Därifrån löper postsynaptiska noradrenerga trådar till corpus pineale och stimulerar pinealocyternas betareceptorer (Reiter 1990).

Hos friska har melatoninsekretionen en 24–25 timmars dygnsrytm med låga värden under dagen och många gånger högre under natten, med toppkoncentration ca kl 02.00. Detta insöndringsmönster påträffas hos alla däggdjur oavsett om de är aktiva under den ljusa eller mörka tiden på dygnet. Den ökade nattetida melatonininsöndringen hos råttor består under konstant mörkret (Ralph o a 1971) och vid blindhet (Klein o a 1971). Melatoninsekretionen är åldersberoende. Små barn har den högsta nattliga serumkoncentrationen av melatonin, och den sjunker långsamt upp till 50–70 års ålder (Cavallo 1992). Serumkoncentration dagtid är inte åldersberoende. Melatoninsekretionen stimuleras av mörker och medel som stimulerar beta-adrenerga receptorer. Den hämmas av ljus och betareceptorhämmande medel (Hanssen o a 1977, Beck-Friis o a 1983). Om man under natten exponeras av tillräckligt starkt ljus (> 2 500 lux) hämmas melatoninsekretionen (Lewy o a 1980). Att utsättas för mörker under dagen ökar däremot inte sekretionen. Hos några människor har det beskrivits en förskjut-

ning av toppkoncentrationen till gryningstiden, vilket har förklarats bero på vår relativa okänslighet för ljus. En omvänt melatoninsekretionstopp under dagen har påvisats hos nattarbetare (Waldhauser o a 1986).

Melatonin påverkar neurosekretoriska celler i hypotalamus och i hjärnstammen vilka ansvarar för cyklisk insöndring av t.ex. prolaktin och gonadala steroider (Anton-Tay 1971, Cardinali o a 1983). Man har påvisat en dygnsvariation i morfininducerad analgesi hos möss (Morris och Lutsch 1967) samt att corpus pineale genom sin melatoninsekretion spelar en roll i denna analgesirytmik (Lutsch och Morris 1971, Lakim o a 1981, Kavaliers o a 1984).

Melatonin inducerar sömn. Blinda människor kan ha svårt att uppehålla normal dygnsrytmik i kortisol- och melatonininsöndringen och i kroppstemperaturregleringen (Sack o a 1992). Många, men inte alla, blindas har sömnproblem och ökad dagtida trötthet vilka kan förbättras genom att ge melatonin vid sänggåendet (Aldhous och Arendt 1991, Arendt o a 1988, Sack o a 1991). Melatonin har också använts med framgång vid dygnsrytmsproblematik vid skiftarbete och jet-lag (Arendt o a 1987).

Melatonin fångar s k fria radikaler, och betydelsen av detta berörs i kapitel 3.

Förutom i regleringen av sömn-vakenhet spelar melatonin även en roll vid andra rytmiska kroppsfunctioner genom att påverka binjurebarken och sköldkörtelnns aktivitet. Melatonin även hämmar gonadotropinsekretion vilket sannolikt förklarar nedsatt säsongbunden fertilitet hos vissa arter (Reiter 1974, Vaughan o a 1978).

Patienter med pinealocytom har oftast låg eller normal melatonininsöndring. Efter pinealektomi finns inga mätbara mängder melatonin i serum (Vorkapic o a 1987).

Patienter med periodisk huvudvärk (cluster headache, Hortons huvudvärk) har lägre nattlig serum- och urinmelatoninhalt jämfört med kontroller och under själva huvudvärksperioden minskar den ytterligare (Waldenlind o a 1984). Därtill har dessa patienter konstant lägre melatoninkoncentration i urinen även under smärtfri period jämfört med kontrollpersoner av samma ålder och kön (Waldenlind o a 1994). Nedsatt melatoninsekretion under huvudvärksperioden kan bero på förändrat tonus i sympatikus, förändrad beta-adrenerg receptorfunktion i tallkottkörteln eller att man har mindre 5-HT tillgänglig för melatonsyntes. Som tecken på förändring i vegetativt tonus åt hyposympatiskt håll har dessa patienter autonoma symtom på samma sida som huvudvärksattacken finns: partiellt Horners syndrom, rodnad och tårflöde i ögat samt nästäppa. Även bradykardi har beskrivits. Dessa symtom har dock inte satts i samband med melatonin. Patienter rapporterar inte generella autonoma symtom men vid förfrågning framkommer tremor, handsvett och palpitation. Cluster headache-patienter har oftare än kontrollpersoner muskulära spänningssymtom, svårt att slappna av, somatisk oro med diffus stresskänsla, autonoma symtom och panik-attacker vilka har satts i samband med alexitymi (oförmåga att yttra känslor med ord; Levi o a 1992). Dessa patienter har inte visat ökade besvär framför bildskärmar, ej heller ökad cancerfrekvens (Waldenlind, personlig information).

Man har mätt låg nattlig melatoninproduktion samt en rytmstörning mellan melatonin och kortisol vid depression (Wetterberg o a 1979). Beck-Friis o a (1983) har visat att en viss typ av depression karakteriseras av låg nattlig melatonininsöndring, onormal dexametasonhämningstest och störd 24 timmars kortisolrytm. Dessa patienter har ett depressivt sinnelag med avvecklade konativa (vilje-) och emotionella funktioner (trötthet, sorgsenhet, oförmåga att uppleva känslor). Dessa patienter med störningar i flera dygnsrytmer har man med framgång behandlat med starkt artificiellt ljus (Wetterberg o a 1990). Man har

också visat att ett tricykliskt antidepressivt medel, desipramin, markant höjer en nedsatt nattlig melatoninsekretion hos depressiva patienter men inte hos friska försökspersoner med normal nattlig melatoninhalt.

Flera studier har visat att elektromagnetiska fält kan påverka den nattliga melatoninsekretionen hos mus och råttor genom att minska tallkottkörtels serotonin N-acetyltransferasaktivitet (Welker o a 1983, Wilson o a 1986, Lerchl o a 1990). Wilson o a (1986) exponerade råttor 1, 2, 3 och 4 veckors tid för uniforma 60 Hz elektriska fält av 39 kV/m styrka. Nattetida N-acetyl-transferas- och melatoninkoncentrationer sjönk efter 3 och 4 v exponering, vilket talar för att elektromagnetiska fälteffekten på tallkottkörteln är en långsam process. Efter avslutad exposition återhämtade sig halten av dessa substanser efter 3 dygn vilket talar för att tallkottkörteln inte är bestående skadad och att effekten kan vara neuronalt förmedlad. Endast i en publicerad rapport i abstraktform (Sasser o a 1991) har man misslyckats med att med elektromagnetiska fält påverka melatoninnivåerna. I studien användes samma exponeringsparametrar som Wilson o a 1986.

Vid psykisk och fysisk stress ökar aktiviteten i det endogena opiatsystemet (Akil o a 1984). Exposition för lågfrekvent roterande magnetfält minskade signifikant stressinducerad analgesi hos möss jämfört med s k blindexponering. Effekten av elektromagnetiska fält kunde jämföras med effekten av naloxonbehandling före stressituationen (Kavaliers och Ossenkopp 1986). Samma författare har visat att 5–10 dagars exponering av möss med roterande magnetfält av 0,15–9 mT styrka och 0,5 Hz frekvens minskade den nattetida ökade analgesin till dagtids nivå (Kavaliers o a 1984). Man har antagit att denna påverkan på endogena opioider beror på inhibition av tallkottkörtels aktivitet. Undersökningar saknas om hur elektromagnetiska fält påverkar melatonininsöndring, endogen opioidproduktion och morfininducerad analgesi hos människor.

Melatonin spelar således en roll i olika biologiska, regulatoriska funktioner. Med elektromagnetiska fält tycks man kunna sänka nattetida melatoninsekretion ehuru klart mindre än vid starkt ljus. Mekanismer om hur lågfrekventa, svaga elektromagnetiska fält skulle kunna påverka tallkottkörtels melatoninproduktion är inte kända. Även om man vid individuella experiment har fått fram mätbara effekter är det svårt att bedöma dessa effekters betydelse för människans symtomatologi i sin helhet. Man har t ex inte rapporterat motsvarande fynd hos patienter med extremt låga melatoninhalter (efter tallkottkörteloperation).

Förklaringen att elektromagnetiska fältextponeringar via störd melatoninsekretion skulle kunna förorsaka elkänsliga människors mångfacetterade symtomatologi låter främmande. Elkänsliga människor har ofta rapporterat symtom vid bildskärmar som de sannolikt inte har använt nattetid då man skulle kunna påverka melatoninsekretionen mest. Teoretiskt är det tänkbart att dagtidsexponeringen skulle kunna påverka melatoninproduktionen även under natten. Det finns tillstånd där man påvisat låga värden av nattetida melatonin (efter t ex pinealektomi) och där man inte har rapporterat symtom som vid elkänslighet. Å andra sidan kan man konstatera att vid vissa depressioner med låg nattetida melatonininsöndring beskrivs likartad symtomatologi som rapporteras vid elkänslighet. Tricykliska antidepressiva läkemedel har hjälpt depressionssymtom och normaliserat nedsatt melatonin sekretion. Samma typ av antidepressiva medel har rapporterats i enskilda fall att även ha hjälpt människor som haft symtom av elektricitet. Det är inte undersökt om elkänsliga människor har anlag för låg nattetida melatoninproduktion. Samtidigt bör dock noteras att vid "låg-melatonin-depressioner" har man med framgång använt ljusterapi med extra

många ljusrör. Elkänsliga personer upplever ljusrör särskilt symtomframkallande, vilket torde tala mot ett samband via låg melatoninpåverkan.

Kalciumjonsystem och elektromagnetiska fält

Kalciumjoner spelar en mycket stor roll i många olika cellers reglersystem, inte minst i hjärnan. Man har därför förmodat att om elektromagnetiska fält påverkar celler, så skulle det kunna ske genom någon sorts påverkan på hur kalciumjoner fungerar. Den vetenskapliga litteraturen har blivit både vildvuxen, motsägelsefull och svåröverskådlig på detta område. I de delar den har någon betydelse för cancer och reproduktionssystemen berörs den mer detaljerat i andra delar av denna utredning. Här berörs endast effekter på organ eller organsystem.

Det står höjt över varje rimligt tvivel att åtminstone vissa ryggradsdjur kan uppfatta och analysera elektromagnetiska fält av samma styrka som det jordmagnetiska fältet (ca 50 μT) eller något mindre. Fåglars förmåga att orientera sig efter jordmagnetismen är ett gott och mycket väl belagt exempel (se t ex Alerstam 1991, Wiltschko och Wiltschko 1991). Likväl är de receptorer eller system som kan upptäcka magnetfält mycket ofullständigt kända på landlevande ryggradsdjur. Man har spekulerat i olika sorters påverkan på olika kalciumjonkanalsystem, men studierna har givit motsägelsefulla resultat och har också stött på stora principella problem som förblivit olösta (Liboff 1991, Waliczek 1992, D'Inzeo o a 1993, Galt o a 1993a och b, Coulton och Barker 1993, Liburdy o a 1993, Goodman 1994, Karabakhtsian o a 1994, Prasad o a 1994). Nyligen har dock magnetiskt material påvisats i däggdjursvävnader, inklusive hjärnan, och man har gissat att detta material kanske kan fungera som någon sorts receptor (Kirschvink o a 1992a,b). Närmare detaljer om detta är emellertid ännu okända.

Försök har gjorts att närmare studera svaga magnetfälts inflytande på kalciumjonhanteringen i olika organsystem, men resultaten har inte varit entydiga, långt mindre övertygande. Waliczek (1992) noterar i en översikt att effekterna på immunsystemet av svaga ($< 100 \mu\text{T}$) lågfrekventa elektromagnetiska fält ännu är diskutabla, trots många olika forskarinsatser. Däremot finns det goda belägg för att mer inensiva sådana fält (2,5–5 mT och mera) kan påverka immunsystemet, mätt med många olika metoder. Det finns anledning förmoda att denna effekt åtminstone delvis är kalciumjonberoende. Schwartz och Melaling (1994) studerade kalciumjoners rörlighet i hjärtmuskulatur med hjälp av ett 1 GHz fält (absorption 3,2 $\mu\text{W/kg}$ eller 1,6 W/kg som amplitudmodulerades med frekvenserna 0,5 eller 16 Hz. De fann inga effekter.

Sammanfattningsvis kan man alltså konstatera att det för dagen inte föreligger några övertygande bevis från försök på organ eller organsystem för att svaga elektromagnetiska fält skulle ha något effekt via kalciumjoner. Däremot finns det nu belägg för att sådana effekter kan uppkomma i biologiska system vid fältstyrkor högre än 100 μT . Vanligen behövs fältstyrkor i mT-regionen. Mekanismerna för hur dessa effekter utlöses är ännu okända.

Elektromagnetiska fält och frisättning av kvicksilver från amalgam

I den allmänna debatten framförs ibland att elektromagnetiska fält genom att öka frisättning av kvicksilver från amalgam skulle orsaka symtom och ohälsa. Vi har inte kunnat finna några vetenskapliga studier om så kan vara fallet, vare sig på människor eller djur.

Det finns en experimentell studie där man i laboratorium mätt frisättningen av kvicksilver från amalgam. Studien finns endast publicerad som ett utdrag och

en sammanfattning (Högstedt 1993, Örtendahl och Högstedt 1994). Experimentet innebar att man under sex timmar utsatte tre slag av amalgam för elektromagnetiska fält från fem bildskärmar och mätte frisättningen av kvicksilver. Från kontrollprov frisattes $0,31 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ medan frisättningen från de prov som utsattes för elektromagnetiska fält varierade mellan $0,21$ – $0,81 \mu\text{g}/\text{m}^2$. Det anges också att man i samband med svetsning under vatten skulle noterat korrosion på amalgam pga det där bildades elektromagnetiska fält, men i det experiment där man utsatte amalgam för ett ”simulerat svetsfält” noterades ingen ökad kvicksilverfrisättning. Enligt författarna förelåg inget samband mellan de elektromagnetiska fältens styrka och frisättningen utan på ”magnetfältets växlingar”. Tyvärr innehåller inte det som hittills publicerats några detaljer härvidlag.

Den enda information som finns i den vetenskapliga litteraturen i elektromagnetiska fält och frisättning av kvicksilver från amalgam är alltså en liten studie som hittills inte finns rapporterad på ett sådant sätt att den vetenskapligt går att bedöma. Det är mycket oklart om den variation i kvicksilverfrisättning som noteras i experimentet har någon relevans för frisättning av kvicksilver från amalgam hos människa. Man vet sedan tidigare undersökningar att avgången av kvicksilver från amalgam varierar kraftigt, dels mellan individer, dels hos en och samma individ. Om den frisättning av amalgam som noterades i detta försök är större, mindre eller av samma storleksordning som det som naturligt förekommer går ej att bedöma.

Symtom och sjukdomsbegrepp

Behovet av ett bredare sjukdomsbegrepp

Den föregående framställningen tycks visa att elkänsligas problem inte på ett övertygande sätt kan återföras på kända biologiska mekanismer. Ändå är det uppenbart att de elkänsliga plågas av dålig hälsa och att de är i behov av vård. Svårigheter kan uppkomma i vårdkontakten därför att deras problem inte så lätt låter sig kategoriseras i de diagnostiska system som vårdapparaten använder sig av. För att belysa detta behöver sjukdomsbegreppet analyseras.

I västerländsk kultur gör vi skarp åtskillnad mellan vad som är kroppsligt och vad som är själsligt. Personen som själslig varelse anses ha sin boning i kroppen, men ses samtidigt som artskild från denna. Detta är uppenbart i flera olika sammanhang men särskilt tydligt i vår syn på sjukdom. Enligt detta synsätt är sjukdom något som drabbar kroppen och inte personen. Att återställa hälsa kräver därför att den kroppsliga svikten behandlas, och i den behandlingsproceduren har man av tradition inte sett det som nödvändigt att inbegripa personen. Den dominerande föreställningen har varit att det finns mekaniska orsaks-samband såsom t ex mellan infektioner och organpatologi och att en effektiv behandling lika mekaniskt återställer den kroppsliga malfunktionen. Detta schema ger knappast något utrymme för att rekrytera personen som en allierad i behandlingen. Personens livssituation, hans eller hennes föreställning om sjukdomen och dess orsaker, motivation att verkligen bli frisk osv, har därför inte setts som väsentliga beståndsdelar vid diagnos och behandling.

I synen på sina besvär har de elkänsliga själva i hög grad accepterat detta synsätt. Man hävdar att problemens orsak är fysisk och står att finna i någon kritisk parameter hos de elektromagnetiska fält som genereras av bildskärmar eller annan elektrisk utrustning i vår miljö. Denna fysiska parameter antas påverka något organiskt system så att en funktionsstörning uppstår, och denna

ligger i sin tur bakom de symtom som plågar den drabbade. Faktorer hos personen betraktas som oväsentliga, och man har upprepade gånger hävdad att det är ett övergrepp att remitteras till psykiater eller psykolog för en utredning som sätter in problemen i personens totala livssituation.

Men medan denna traditionella modell adopterats av de elkänsliga och kritiklöst också ofta accepterats av de journalister som skrivit om ämnet, har den de senaste decennierna allt mera kommit att ifrågasättas som en allmängiltig sjukdomsmodell inom medicinen. Man brukar tala om behovet av en biopsykosocial modell för hälsa och sjukdom (Engel 1977), och under de senaste decennierna har ett nytt tvärvetenskapligt fält kallat beteendemedicin vuxit fram (se t ex Gentry 1984). Detta söker att samordna kunskaper från samhälls- och beteendevetenskap med biomedicinsk kunskap i forskning och vid diagnos, behandling och prevention av sjukdom.

Symtom, funktionsnedsättning och organpatologi

Kroppsliga fel ger sig till känna genom upplevelser av symtom, ”krämpor” eller ”besvär”. Framför allt sker detta i form av smärta och värk. Denna kan vara skarp och lokaliserad som vid ett benbrott eller en akut blindtarmsinflammation, men den kan också vara diffus och mer svårlokaliserad som vid t ex huvudvärk, magont eller muskelsmärter. Men symtomen har ett mycket större spektrum än bara smärter. Det kan t ex gälla diffust illamående, nedstämdhet, ångslan; öronsus, yrsel, klåda, hudirritationer; nästäppa, rinnande näsa, andningssvårigheter; ljuskänslighet, torrhet i munnen, svettningar, eller hjärklappningar. Symtomen är ofta kopplade till negativa känslor, olust och vantrivsel, och de begränsar på olika sätt livsföringen.

Enligt det traditionella synsätt som beskrivits ovan antas symtom av denna typ spegla underliggande störningar i organfunktioner. Symtomen, tillsammans med andra tecken noterade av den drabbade (feber etc), och olika kliniska observationer och tester ger läkaren material för den diagnos som avgränsar den underliggande patologin och därmed också behandlingen. Men verkligheten är inte så enkel. Tibblin (1986) refererar data som visar att ungefär tre fjärdedelar av befolkningen, under en månad, upplever besvär eller symtom. En fjärdedel söker läkare, men bara en av hundra läggs in på sjukhus. Symtom och besvär är alltså mycket vanligare än definitiva diagnoser med åtföljande specifika behandlingsinsatser.

Psykologiska förklaringsmodeller

Upplevd ohälsa, negativ affekt och stress

Om de symtom som ligger till grund för upplevd ohälsa inte direkt kan återföras till organpatologi, måste man fråga sig varifrån de i så fall kommer. En ledtråd till deras ursprung får man från de studier som refererades ovan där man undersökt överensstämmelse mellan symtom och objektivt verifierad patologi hos människor med bröst- och magsmärter. För personer med bröstsmärter utan tecken på kranskärlsförträngningar (Costa o a 1985), liksom för personer med funktionell dyspepsi utan endoskopiskt verifierade magsår (Adami o a 1984, Nyrén o a 1986) eller blindtarmsopererade utan tecken på inflammation i blindtarmen (Craig och Brown 1984, Creed 1981) gäller i samtliga fall att de har tecken på högre psykosocial belastning än patienter med objektivt verifierad patologi. Den psykosociala påfrestningen kan gälla en belastande livssituation

eller belastande livshändelser (t ex skilsmässa, nära anhörigs död, arbetslöshet; Craig och Brown 1984), eller den kan visa sig genom att man beskriver sig själv som ångestfull, irriterad och deprimerad (Costa och McCrae 1985). Flertalet av dessa symtom ingår bland de som ofta rapporteras i studier av normalbefolkningen (se tabell 1).

Snarare än att vara specifikt knutna till kroppsliga dysfunktioner verkar alltså symtom vara mer ospecifikt kopplade till hur man mår psykologiskt. I själva verket är symtom av detta slag ett centralt inslag i olika ångestsyndrom. Det kan gälla svårigheter att andas ("lufthunger", "klump i halsen"), yrsel och svindel, att man känner sig darrig eller skakig, har domningskänslor t ex i händerna, hjärtklappningar, att man plötsligt känner sig varm eller kall, har svettningar, torrhet i munnen, att man är onormalt uttröttad, koncentrationssvårigheter, etc. Mer än en tredjedel av personer som sökte primärvård rapporterade att de episodiskt plågades av denna typ av symtom, även om mindre än hälften av dem uppfyllde diagnostiska kriterier för ett formellt ångestsyndrom (Katon o a 1986). Det är alltså ganska vanligt med personer som upplever framför allt somatiska ångestmanifestationer utan att de för den skull i första hand kan sägas lida av något ångestsyndrom (Norton o a 1992). Detta beror framför allt på att de inte tolkar sina symtom i termer av rädsla eller ångest (Kushner och Beitman 1990).

Eftersom symtomatologin ofta inte kan direkt knytas till ångest förefaller det rimligt att använda en annan term för att sammanfatta dess psykologiska innebörd. Man kan då tala om "negativ affekt" eller kanske framför allt om "stress". "Stress" är naturligtvis en något problematisk term som kan betyda litet av varje. Allmänt sett refererar stress till den psykologiska belastning som kan uppkomma ur en obalans mellan omgivningens krav på anpassning och personens förmåga att möta dessa (se t ex Frankenhaeuser 1993, Lazarus och Folkman 1984). Vanligen tänker vi oss att obalansen består i att kraven överstiger förmågan. Men motsatsen kan också gälla; den egna förmågan är större än de ställda kraven. Då kan man känna sig felplacerad och dåligt uppskattad, uttråkad och i behov av stimulans.

Stress uppfordrar till handling. Det gäller att återställa balansen, att påverka sin miljö eller utveckla sig själv. Därför mobiliseras kroppsliga och mentala resurser. Kroppen går på högvarv. Långsiktiga fysiologiska mål om resursbevarande och resursutveckling offras för kortsiktiga energibehov. Det kroppsliga högvarvet aktiverar fysiologiska processer som kan ge sig till känna som symtom. Munnen känns torr, hjärtat slår snabbt och hårt och magen känns som en stillastående klump som bara låter sig tömmas i häftiga diarréer. Den kroppsliga aktivering som är en central ingrediens i stress (se t ex Berg o a 1992; Frankenhaeuser, 1993) ger alltså ökat material för upplevelser av kroppsliga symtom. Men återigen är sambandet mellan objektivt mätbara fysiologiska förändringar och upplevda sådana ofullständigt. Vilka man kommer att lägga märke till och rapportera t ex till en läkare bestäms av många olika faktorer, t ex vem man är och vilken subkultur man tillhör; ens erfarenheter av och attityder till hälsa och sjukdom; information från medmänniskor, vårdapparat och massmedia; vilka symtom vårdpersonalen frågar efter och intresserar sig för osv.

En annan viktig faktor är hur symtomen tolkas och förklaras. Om de t ex tolkas som tecken på en allvarlig eller t o m katastrofal sjukdom som hjärt- eller hjärninfarkt är det lätt att hamna i en ond cirkel där den katastrofala tolkningen ger rädsla, oro och ångest, vilket i sin tur förstärker de fysiologiska symtomen, vilket ger mera ångest osv. En sådan cirkel kan sluta i en fullt utvecklad panikattack och i ett kliniskt paniksyndrom. På samma sätt blir den förklaring

man finner till symtomen viktig. Beror symtomen på mig själv och något jag gör eller utlöses de av någon omgivningsfaktor? Är symtomen tillfälliga eller utgör de något jag alltid måste leva med? Uppkommer de i begränsade situationer eller finns de alltid där? Beroende på de svar man finner på dessa frågor kommer symtomen att påverkas så att de t ex kan bli mer situationsspecifika. Det är t ex vanligt att fullt utvecklade panikattacker kommer att knytas till bestämda situationer som sedan kommer att undvikas.

Stress, situationer och förväntningar

Som framgått ovan innebär stress en kroppslig aktivering som mobiliserar kroppens resurser för att möta omgivningens krav. Det gäller förändringar styrda från det autonoma nervsystemet som ökad puls och höjt blodtryck, men också hormonella förändringar som visar sig genom ökad utsöndring av adrenalin från binjurens märke och korticosteroider som kortisol från dess bark (t ex Frankenhaeuser 1993). Även höjda nivåer av prolaktin och thyroxin och sänkta nivåer av testosteron har knutits till stress (Berg o a 1992).

Det finns skäl att hävda att elkänsliga är stressbelastade. I undersökningar av Arnetz o a (1992) och Berg o a (1992) studerades bildskärmsexponerade personer med och utan hudsymtom avseende arbetsorganisatoriska och psykofysiologiska aspekter. Sammanlagt 47 bildskärmsexponerade personer, varav ungefär hälften led av subjektiva hudsymtom, studerades under två dagar. Den ena dagen arbetade de som vanligt på sin arbetsplats och den andra var de arbetsfria. En omfattande psykosocial och fysisk arbetsmiljökartläggning genomfördes, och blod- och urinprover togs för analys av stresshormoner. Man fann att de stressassocierade hormonerna tyroxin och prolaktin var signifikant höjda hos personer med hudsymtom under arbete jämfört med referentpersoner utan symtom. Någon sådan skillnad förlåg inte under den arbetsfria dagen. Samtidigt var det anabola hormonet testosteron signifikant sänkt hos symtombärarna under arbete. Symtombärarna rapporterade högre arbetsrelaterad stress och högre grad av kontroll över arbetsprocessen.

Stressreaktioner av denna typ kan komma att kopplas till olika situationer genom en process av s k *pavlovisk betingning*. En omfattande vetenskaplig litteratur visar att om en stressreaktion med hjälp av t ex obehaglig eller smärtsam stimulering konsekvent utlöses i en bestämd situation sker en association till situationen så att denna får förmåga att ensam utlösa reaktionen i fråga (t ex Dickinson 1980). Hos människor är denna process inbakad i kunskaper och förväntningar om samband mellan händelser som man förvärvat genom erfarenhet och kulturell förmedling. Det är alltså väldokumenterat (se t ex Dawson och Schell 1985; Öhman 1983) att mänsklig betingning förutsätter att försökspersonen medvetet uppfattar samband mellan olika stimuli och mellan stimuli och reaktioner. Vidare kan betingningsliknande reaktioner av t ex puls- eller handsvettsförändringar etableras med hjälp enbart av enkla instruktioner om vilka stimuli som är associerade med obehagligheter. Sådana betingade reaktioner försvinner omedelbart med information om att situationen nu är ofarlig, osv.

Det är numera väldokumenterat att t ex effekterna av alkohol i hög grad beror av förväntningar. I själva verket visar forskningen att berusningsupplevelse och beteenden tydande på berusning mera beror på förväntningar än på farmakologiska effekter av alkohol. Personer som får en alkoholfri dryck som de tror innehåller alkohol känner sig lika berusade och agerar lika berusade som personer som verkligen givits alkohol (och förväntat sig detta). Men alkohol utan förväntan om att drycken innehåller alkohol ger, i rimliga dosnivåer, inga berusningseffekter ens hos alkoholister (se t ex Berg o a 1981).

Elkänslighet som förväntansstyrd symtom

Utifrån den bakgrund som givits ovan kan en förklaringsmodell för elkänslighet skisseras. Utgångspunkten för denna är stress som t ex kan ha sitt ursprung i mer eller mindre (ofta mindre) tydligt upplevda problem med arbetssituationen. Det kan gälla över- eller underbelastning, missnöje med det sociala klimatet, vant-rivsel på grund av att man egentligen skulle vilja göra något annat, osv

Denna stress leder till kroppslig aktivering (se t ex Berg o a 1992, Frankenhäuser 1993) med åtföljande kroppsliga symtom. Att kroppsliga symtom ger sig till känna leder kanske till (mer eller mindre medvetet formulerad) oro över det egna hälsotillståndet. Denna oro leder dels till ytterligare stress och därmed sammanhängande ökning av upplevda symtom, dels till att uppmärksamheten mot symtomen skärps, i en ond cirkel där symtom leder till ytterligare symtom.

I detta läge blir behovet att förstå vad som händer stort och man ser sig omkring i omvärlden efter möjliga förklaringar. Har det t ex nyligen genomförts organisatoriska förändringar på arbetsplatsen i form av datorisering kanske man knyter problemen till detta. Så kan de ursprungliga problemen med bildskärmsarbete ha uppkommit. Numera är man via massmedia, fack och kollegor välinformerad om att bildskärmsarbete och elektrisk apparatur kan ha effekter av detta slag. Följaktligen börjar man förvänta sig att problemen skall göra sig tydligt gällande just framför bildskärmen, och man skärper (omedvetet) sin uppmärksamhet för just de symtom som man enligt den tillgängliga informationen förväntar sig. I stället för att från hjärt-kärletsystemet lägga märke till hjärtklappningar och bröstsmärtor (och oro sig för hjärtsjukdom) lägger man i stället märke till hur det hettar i kinderna och hur man rodnar inför sin bildskärm. Förväntningarna koncentrerar därför problem och symtom till exponering för bildskärmar. Vinsten med detta är uppenbar: man förstår vad som händer, vilket minskar den allmänna stressen, och genom att symtomen nu är bundna vid en väldefinierad situation kan man göra sig av med dem genom att undvika denna.

Symtomen blir alltså knutna till bildskärmar, men inte till deras fysiska egenskaper utan till deras psykologiska innebörd. Därför aktiveras symtomen när man vet att man exponeras för en påslagen skärm, men man kan inte blint skilja mellan en påslagen och en avslagen skärm, eftersom symtomen är oberoende av elektromagnetiska fält. Detta var också det resultat man fann i den studie av Hellbom (1993) som tidigare refererats (avsnitt sid 168).

Spridning av symtom till nya situationer

Eftersom förväntan bygger på föreställningen att symtomen är en automatisk effekt av elektromagnetiska fält (eller någon annan fysikalisk egenskap hos bildskärmen) innebär den en föreställning om att exponering alltid skall leda till symtom och att man utan exponering skall vara fri från symtom. I princip kan dessa förväntningar visa sig vara falska på två olika sätt. De är felaktiga om man exponeras för ett elektromagnetiskt fält *utan att få symtom*, eller om man får *symtom utan fältexponering*.

Det förra fallet inträffar inte på grund av förväntansstyrningen; anser man sig vara utsatt för en effektiv exponering följer symtomen som en funktion av denna förväntan. Ändå måste man förutsätta att exponering utan symtom inträffar för de flesta som lider av elkänslighet. I den genomelektrifierade miljö där vi lever är det oundvikligt att man utsätts för elektromagnetiska fält. Men eftersom fälten är osynliga uppfattas de inte och då ger de inte heller upphov till några förväntningar med åtföljande symtom. Och även om elektromagnetisk stimuler-

ing ändå finns är frihetsgraderna stora i att förklara bort denna eftersom det förblir oklart exakt vilken elektrisk parameter som är den effektiva.

Insikten att vår miljö är full av elektricitet används emellertid för att förklara de fall då symtom upplevs i uppenbar frånvaro av elektromagnetiska fält. Känner man av symtomen i en situation utan någon bildskärm måste de bero på något annat. Befinner man sig i hemmet kan man hänvisa till TVn, mikrovågsugnen eller brödrosten, är man någon annanstans kan det vara ljusrören, osv. På detta sätt kommer förväntningar om symtom att kunna spridas till nya situationer, och man får en spridning av symtombilden från bildskärmsillamående till allmän elkänslighet.

Psykologiska och fysiska förklaringsperspektiv

Detta förklaringsperspektiv utesluter inte att elektrisk utrustning kan ha direkta effekter på människokroppen. Det behöver alltså inte överges även om direkta effekter på människokroppen bleve tydligt demonstrerade. Men det aktuella forskningsläget tyder på att sådana effekter i den mån de finns inte är särskilt starka. Om de finns så är den sannolika effekten att de ger ytterligare material för upplevelse av kroppsliga symtom. Dessa symtom kan sedan knytas ihop med andra symtom och med hjälp av förväntningar kopplas till bestämda situationer, osv. Det skisserade förklaringsperspektivet skall alltså ses som överordnat och kompletterande till eventuella förklaringar i termer av direkt elektromagnetisk påverkan.

Det måste understrykas att den psykologiska förklaringsmodellen varken förnekar att elkänslighetssymtom finns eller påstår att de är simulerade. Upplevda symtom är lika verkliga som avläsningen av en febertermometer. Hälsa och ohälsa är upplevda entiteter och objektiva diagnosinstrument skall främst ses som ett steg mot en behandling vars syfte är att återställa upplevd hälsa. Personer som lider av elkänslighet är utan alla tvivel en plågad grupp i stort behov av hjälp. Även utifrån den psykologiska förklaringsmodell som skisserats här är deras problem nära knutna till elektromagnetiska fält. Därför blir de ofta bättre av lågstrålande skärmar och olika elsaneringsåtgärder. Men behandlingens effektivitet hänger enligt detta synsätt helt och hållet på åtgärdernas psykologiska trovärdighet. Och eftersom åtgärder inriktade mot den elektriska miljön inte angriper det underliggande problemet finns alltid en klar risk att de behandlingseffekter som uppnås inte blir varaktiga. Dessutom blir de onödigt kostsamma både för samhället och de drabbade. Den elkänslige som blir sittande i ett vedeldat, fotogenbelyst torp i skogen betalar ett högt pris för vårs kulturs oförmåga att förstå och acceptera att upplevda symtom är lika verkliga fenomen som fysiska företeelser av typ elektricitet.

Avslutande diskussion

Framställningen i detta kapitel om allmän ohälsa utgår från att den allmänna ohälsoupplevelse som kopplats till elektromagnetiska fält bäst låter sig analyseras utifrån ett perspektiv där symtomrapportering och ett breddat sjukdomsbegrepp utgör väsentliga komponenter. Den symtomuppsättning som beskrivs av drabbade personer speglar på viktiga punkter de symtom som är vanliga när man frågar människor i allmänhet om deras symtom. Därför kan man hävda att symtombilden snarare utgör en intensifiering av "normala symtom" än en unik

symtomkonstellation knuten till specifika utlösande faktorer eller till en specifik organpatologi. På flera sätt liknar den elkänsliga symtombilden vad gäller de kroppsliga symtomen den som rapporteras av personer som lider av olika typer av ångest. En viktig skillnad är dock att de elkänsliga inte tycks förknippa sina symtom med ångest. Tvärtom förnekar de ofta att symtomen skulle kunna ha någon som helst psykiatrisk eller psykologisk prägel, och de hävdar i stället att symtomen är direkta effekter av elektromagnetiska parametrar.

Specifika diagnostiska kriterier saknas för hudproblemen. Klinisk undersökning av bildskärmsoperatörer med hudsymtom visar ofta förekomst av vanliga hudsjukdomar såsom acne, seborrhoiskt eksem, rosacea, atopsikt eksem samt opecifika tecken såsom rodnad och ytliga blodkärl. Samband mellan hudsymtom och halt av vissa stresshormoner i blod och urin har påvisats. Den ljusmikroskopiska bilden från hudbiopsier är däremot ospecifik. En svensk studie har påvisat samband mellan hudsymtom och vissa uppmätta fältparametrar medan en annan svensk studie ej fann något samband.

Hudsymtom är vanliga hos kvinnor, och vid enkätundersökningar har högre frekvens påvisats hos lärare utan bildskärmsarbete i jämförelse med bildskärmsoperatörer. Ökad frekvens av hudsymtom har korrelerats till kvinnligt kön, förekomst av astma/rhinit, pappers- och bildskärmsarbete, hög arbetsbelastning, luftkvalitet, städningsfrekvens m m, och besvären anges ha multifaktoriell bakgrund. Det finns således ett antal alternativa orsaker till hudsymtom, och det är angeläget att de bedöms av hudspecialist för en förutsättningslös utredning, så att korrekt diagnos kan ställas och adekvat behandling insättas.

Elektromagnetiska fält har ingen kliniskt märkbar effekt på näthinnan i ögat eller på synbanorna så länge man håller sig till rimligt starka fält, dvs under några mT. Det har heller aldrig kunnat beläggas att elektromagnetiska fält kring bildskärmar spelar någon klinisk roll.

Videobilden har i sig heller inte någon inverkan på synen. Däremot är det väl belagt att man blir ”trött i ögonen” av att arbeta vid en bildskärm, på samma vis som man blir trött av vilket närbete som helst. Det finns dock några egenskaper hos själva skärmen som är viktiga, och främst kommer att bilden skall vara stabil, flimmerfri, lättläst och med mörk text på ljus botten. Sittställningen framför skärmen spelar också en stor roll, liksom arbetsuppgifter, arbetsorganisation och andra allmänna ergonomiska faktorer som dock naturligtvis inte är specifika för bildskärmar.

Flera studier har undersökt hur symtomen hos elkänsliga påverkas av elektromagnetiska fält. De elkänsliga har därvid dels utsatts för bakgrundsfält, dels för sådana fält som förekommer framför bildskärmar. Resultaten visar att fälten ej påverkar symtomen på ett systematiskt sätt om personen är ovetande om vilket fält han/hon utsätts för.

Beträffande allmän elkänslighet visar genomgången av den tillgängliga forskningslitteraturen att även mycket kraftfulla elektromagnetiska fält har få och funktionellt obetydliga och i vilket fall som helst snabbt övergående effekter på människors allmänna biologi. Exponeringsstudier där elkänsliga personer utsatts för elektromagnetiska fält visar tämligen entydigt att de inte förmår uppfatta skillnaden mellan äkta och s k blindexponering. Symtomrapporteringen följer i stället den subjektiva uppfattningen av om fältet är aktivt eller inte. Om man tror att fältet är på upplever man symtom även om det i själva verket är av och tvärt om.

I det aktuella forskningsläget finns det alltså inte något stöd för att de beskrivna symtomen vid elkänslighet fysiskt skulle kunna knytas till elektromagnetiska fält. Det ligger därför närmare till hands att uppfatta de symtom som

rapporteras av elkänsliga som en ospecifik aktivering av symtom som många människor upplever, i synnerhet i situationer eller skeden av livet när tillvaron är belastande. Symtomintensifieringen låter sig alltså bättre knytas till ospecifika stressupplevelser än till specifika känslomässiga tillstånd av typ ångest eller nedstämdhet.

Sådana stressupplevelser kan via en pavlovisk betingningsprocess komma att knytas till bestämda situationer som t ex bildskärmsarbete. Därmed utvecklas en förväntan om att symtomen skall ge sig till känna just i denna situation. Symtomförväntningarna kommer lätt att knytas in i en negativ spiral där förväntningar om symtom ospecifikt ökar den inre stressnivån, vilket i sin tur aktiverar kroppen och leder till ytterligare symtom, som bekräftar och stärker symtomförväntningarna osv. Om man känner av sina symtom i en situation utan aktiv bildskärm eller någon uppenbar elkälla, blir slutsatsen dels att ens känslighet för el har ökat, dels att det måste finnas någon dold elkälla och man söker sedan efter bekräftande information för detta ("grannens TV", etc). Förväntningarna fokuserar ens uppmärksamhet på potentiella källor till elektromagnetiska fält och de leder till att man bättre kommer ihåg instanser där symtom uppkommit i uppenbar närvaro av elektricitet, än instanser där man upplevt symtom utan någon påtaglig elkälla. Genom dessa processer knyts symtomen nära till uppfattad exponering för elektromagnetiska fält. Därför inträder en förbättring t ex vid elsanering som står i direkt proportion till i vilken utsträckning effektiviteten hos vidtagna åtgärderna framstår som trovärdiga för individen. Om de framstår som trovärdiga minskas förväntningarna om att få symtom och detta leder i sin tur till att inga symtom kommer att uppfattas.

Det måste återigen framhållas att en psykologisk förklaringsmodell av denna typ inte har som sitt syfte att bortförklara de upplevda problemen. Upplevda symtom är lika verkliga och plågsamma som symtom med ursprung i uppenbar organpatologi. Men deras effektiva hantering kräver andra typer av behandlingsansatser än tillstånd med enkel organpatologisk grund. Även om elsanering kan tyckas effektiv får den sin effekt främst via att den påverkar psykologiska faktorer. Dess effektivitet begränsas av att personen inte utan avsevärda inskränkningar i sin livsföring kan nöja sig med att vistas i elsanerade miljöer. I vårt genomelektrifierade samhälle blir sådana inskränkningar mycket drabbande. Därför förefaller det som en bättre metod att i ett terapeutiskt samarbete med den drabbade personen direkt bearbeta de förväntningar som ligger bakom och styr symtomen, t ex genom så kallad kognitiv terapi.

Sett i det här presenterade perspektivet kan elkänslighet inordnas i en bredare kategori av somatiseringsproblem som kan ta sig olika uttryck (se t ex Nilsson o a 1994), och som genom historien har setts som ett sätt att bemöta "kulturell stress" (Johannisson 1993).

Forskningsbehov

Det är nu visat att vissa landlevande ryggradsdjur kan känna och analysera elektromagnetiska fält av jordmagnetfältets styrka, men det är alldeles oklart hur detta går till. Varje värdering av effekten av elektriska och magnetiska fält på försöksdjur eller människor störs av denna kunskapslucka. Det finns därför ett stort behov av grundläggande analyser av de system som gör att landlevande ryggradsdjur kan uppfatta magnetfält.

Det saknas systematiska värderingar av resultaten av de olika behandlingsstrategier som utvecklats på olika håll för elkänsliga. Det fattas också studier av vilka psykologiska variabler som kännetecknar gruppen av elkänsliga personer.

Kulturanthropologi är ett forskningsområde som bl a berör problemen i denna utredning. Det vore av intresse att ur kulturanthropologiska synvinklar ytterligare belysa de samhälleliga förhållanden, de idéer och de politiska överväganden som bildar bakgrunden till elkänslighet.

Sammanfattning, allmän ohälsa

- Ett flertal undersökningar av människor har genomförts för att studera om elektriska och magnetiska fält från bildskärmar orsakar hudförändringar eller hudsjukdomar. Sammantaget ger dessa studier inte stöd för hypotesen att dessa fält orsakar någon sjuklig förändring i huden som kan bekräftas genom kliniska eller mikroskopiska undersökningar.
- Mycket höga transienta elektriska eller magnetiska fält kan påverka ögats nervceller så att personen uppfattar en ljusblxt. Dessa effekter är ej förenade med några bestående skador. Några andra direkteffekter på ögon eller på synen av elektromagnetiska fält har ej påvisats.
- Elektromagnetiska fält har använts för att behandla och diagnosticera olika sjukdomstillstånd och har i sådana sammanhang inte visats ha effekter av den typ som elkänsliga personer beskriver.
- Studier på friska försökspersoner har antytt att elektromagnetiska fält har vissa biologiska effekter som dock ej medvetet uppfattas av individen. EEG-förändringar har noterats i några försök, men resultaten är inte helt entydiga, och det är oklart om fälten i sig eller transienter orsakar förändringarna. Dessutom har man noterat en viss minskning av hjärtfrekvensen i några studier. Däremot har dessa försök inte indikerat några negativa förändringar i psykologiska eller andra tester eller att individen kan avgöra om fälten är på eller av.
- I cellodlingar kan man se reproducerbara effekter av extremt lågfrekventa magnetiska växelfält ned till några mikrotelsa. Vissa ryggradsdjur kan uppfatta och analysera magnetiska fält av jordmagnetiska fältets styrka, exempelvis vissa flyttfåglar. I försök på råttor och möss har man kunnat visa att elektriska växelfält av storleksordningen några tiotals kilovolt/meter och magnetiska fält av några hundratals mikrotelsa påverkar den nattliga melatoninsekretionen. De kan också övergående påverka biologiska rytmer och vakenheten hos djur. Det saknas dock studier som gör det möjligt att bedöma relevansen av detta för människa.
- Det finns inga tester som kan bekräfta att en individ är elkänslig eller ej, utan slutsatsen att så är fallet bygger på patientens egen bedömning att symtomen varierar med förekomsten av elektromagnetiska fält. Fler försök har visat att om man den elkänslige ovetande förändrar fälten från bakgrunds fält till de fält som förekommer vid bildskärmar så påverkar detta ej symtomen på ett systematiskt vis. Rutinmässiga mätningar av elektromagnetiska fält kan därför ej rekommenderas.

- Det saknas systematisk utvärdering av behandling av elkänsliga personer. Vissa erfarenheter tyder dock på att många klarar att återgå till normalt arbete, inklusive arbete vid bildskärm. De flesta behandlingsstrategier som tillämpas i dag innehåller inslag av översyn av olika miljöfaktorer som personer utsätts för och metoder för att hjälpa elkänsliga att tolka sina symtom och bearbeta sin situation.
- Ergonomiska förhållanden är betydelsefulla. Vid arbete vid bildskärm är det lika viktigt att optimera arbetsuppgifterna, arbetskraven och den fysiska arbetsmiljön som att optimera datorprogrammets funktioner.
- Symtombilden, symtomtvecklingen och rapporterade behandlingseffekter hos elkänsliga personer kan bäst förstås utifrån en psykologisk förklaringsmodell. Denna varken förnekar att elkänslighetssymtom finns eller påstår att de är simulerade. Självklart är upplevda symtom verkliga och kräver adekvat omhändertagande.

Handläggning av ärenden som gäller elkänslighet

Uppläggning av och erfarenheter från några handlingsprogram

I en samarbetsstudie mellan Statens Institut för Psykosocial Miljömedicin, Hud- och Yrkesmedicinska klinikerna vid Karolinska sjukhuset, och Institutionen för tillämpad psykologi, Uppsala universitet, rapporterades nyligen preliminära resultat (Bengt Andersson, Bengt Arnetz och Lennart Melin). Studien använder sig av kognitiv beteendeterapi för att direkt påverka de förväntningar som enligt diskussionen i avsnitt sid 184 antas styra symtombilden hos elkänsliga. I behandlingen ingår som ett första led att informera den elkänslige om den roll förväntningar och stress spelar för symtomupplevelser. Speciellt intresse ägnas därvid den onda cirkel mellan stress och symtomupplevelser. I en andra fas försöker terapeuten hjälpa den elkänslige att komma underfund om sina egna tolkningar, förväntningar och onda cirklar. Målsättningen är här att den elkänslige skall bli medveten om just sina egna unika tolkningsmönster. I den tredje fasen försöker man hjälpa den elkänslige att omvärdera dessa, till exempel genom verklighetstestningar, där man under kontrollerade former försöker få henne/honom att pröva gränserna för sitt undvikande t ex av bildskärmar. I behandlingen ingår också att man tränar den elkänslige i att kontrollera stress. Behandlingen tar mellan 4 och 10 sessioner. Preliminära resultat från 15 patienter som genomgått programmet visar på positiva effekter, i så måtto att de elkänsliga rapporterar att deras liv blir mindre styrt av symtomen efter att ha genomgått behandling.

Vid Yrkesmedicinska kliniken vid Karolinska sjukhuset finns ett annat förslag till handläggning av elkänsliga. Programmet är inte utvärderat utan synes bygga på de praktiska erfarenheter som vunnits inom det s k Ellemtel-projektet. Man föreslår en medicinsk utredning, en utredning av arbetsplatsen med allsidig bedömning av ergonomiska, elektriska, klimatologiska och ventilationsförhållanden samt de arbetsorganisatoriska förhållandena. Därtill kommer en utredning av bostaden vid behov. Som behandling föreslås

- information om det aktuella kunskapsläget
- miljöinriktade åtgärder som kan vara minskning av tid framför bildskärm om detta anses utgöra huvudproblemet. Korrektur av klimat, ergonomiska och organisatoriska faktorer. Man anser att mätningar av elektriska och magnetiska fält kan, men inte behöver, ingå i utredningen
- sjukskrivning bör förekomma endast i undantagsfall.

Man föreslår att den primära handläggningen av elkänsliga sker inom primärvården. (Fakta om sjukdomar i arbete; bildskärmsarbete och elkänslighet. Yrkesmedicinska kliniken, Nordvästra sjukhusområdet, Karolinska sjukhuset).

En efterundersökning efter 3–33 månader av 24 personer som undersökts vid yrkesmedicinska kliniken vid Karolinska sjukhuset visade att 11 hade blivit bättre eller mycket bättre (Gustavsson och Ekenvall 1992). 12 personer var i arbete, varav sex i bildskärmsarbete, dock med reducerad tid framför skärmen. Åtgärder med avskärmning av elektriska eller magnetiska fält föreföll enligt undersökarna inte ha påverkat prognosen. De åtgärder som vidtogs vid första besöket på kliniken var huvudsakligen information om kunskapsläget och i vissa fall rekommendationer om kontroll av synergonomi, klimatfaktorer och arbetsorganisation.

Vid regionsjukhuset i Örebro skall ett särskilt behandlingsprogram för elkänsliga påbörjas. Strukturen på behandlingen är inte helt färdig men beräknas vara så i slutet av 1994. De första behandlingarna beräknas påbörjas under våren 1995. (Personligt meddelande, G Ahlborg, Yrkes- och miljömedicinska kliniken i Örebro).

Vid försäkringskassan i Stockholm finns det ett handlingsprogram för sjukfallsbedömning och rehabilitering av elkänsliga. Man betonar att sjukfallsbedömningen ska bedömas med avseende på nedsatt funktionsförmåga och där ska man inte ta hänsyn till orsaken till den nedsatta funktionsförmågan. De behandlingsförslag som föreslås är

- kristerapi på psykodynamisk grund
- remiss till Yrkesmedicinska kliniken, Huddinge Sjukhus, för kognitiv terapi och arbetsmiljöutredning
- shiatsu-terapi, vilket är en akupressurteknik.

Man anger också att klassisk akupunktur upplevts ha god effekt på flera drabbade. (Personligt meddelande, Ch. Eliasch 1994).

I ett informationsblad från Föreningen för El- och Bildskärmsskadade redovisas en enkät som genomförts under april 1993. Den riktades till de medlemmar som genomfört relativt omfattande eller kostsamma åtgärder för elsanering i bostaden. Totalt redovisas svaren från 107 personer varav 104 uppgav att "elmiljön" blev bättre, 3 att den blev likvärdig och ingen att den blev sämre efter "elsanering av elinstallationer". Det saknas uppgifter om hur många personer som ombads besvara enkäten och om förekomst av symtom före respektive efter åtgärderna.

Vid neuropsykiatriska kliniken, Bollnäs sjukhus, har man upprättat ett särskilt program för elkänsliga patienter. I programmet ingår en provokation i en speciell miljö där man kan provocera med olika fält. Härutöver ingår en sedvanlig klinisk undersökning inklusive anamnes och därtill olika neurologiska, neurofysiologiska och röntgenologiska test. Åtta patienter har för närvarande utretts och utredningsgången har modifierats alltefter vunna erfarenheter. Man beräknar att så småningom genomföra en vetenskaplig utvärdering (Personligt meddelande, K. Norlin 1994).

Vid Telia finns utarbetat en särskild åtgärdsplan för elkänsliga patienter. I planen ingår intervju, läkarundersökning, en bred genomgång av miljön kring arbetsplatsen avseende såväl fysisk, kemisk, ergonomisk som organisatorisk miljö. Som åtgärder föreslås bl a sänkning av rumstemperatur, ökning av relativ luftfuktighet, kontroll av ventilation, utbyte av material som luktar, förändring av städrutiner, påverkan av arbetet ur stressynpunkt, minskning av bildskärmsarbete, förändring av belysningsystem, byte av ev. flimrande bildskärm och skärm med teckeninstabilitet, samt reducering av statisk elektricitet. I undantagsfall anser man också att man kan försöka minska elektriska och magnetiska fält även om man inte har underlag för att säkert kunna säga att personens besvär orsakas av dessa faktorer. (Johansson K, Åva N: Åtgärder vid befarad bildskärmsjuka eller överkänslighet mot elektricitet, Telia Koncernstab 1993).

Till november 1993 anges att åtgärdsprogrammet omfattat ca 230 personer, av vilka 60 % betraktades som fullt återställda (normal arbetstid, normal arbetsmiljö och normal utrustning inklusive bildskärm). Hos 30 % förelåg en märkbar förbättring och 10 % hade ej förbättrats märkbart (K. Johansson, personligt meddelande). Det saknas uppgifter om svårighetsgraden av besvär hos de 230 personerna före åtgärderna och om hur förbättringen i arbetsförmåga registrerats.

Två forskare vid Arbetsmiljöinstitutet har utarbetat ett policydokument och handlingsprogram vid "överkänslighet mot elektricitet". I åtgärdsprogrammet ingår en medicinsk undersökning, åtgärder på arbetsplatsen t ex minskad arbetstid vid bildskärm, byte av bildskärm, flyttande av elektriska apparater och bytande av armatur, översyn av allmänna arbetsmiljöfaktorer såsom temperatur, ventilation, luftkvalitet, luftfuktighet, belysning och städrutiner. Översyn av arbetsorganisationen och reduktion av elektromagnetiska fält ingår också i programmet. Man anser att man om möjligt skall undvika sjukskrivning. (Bergkvist, Vadman: Överkänslighet mot elektricitet – Ett policyprogram och handlingsprogram, Arbetsmiljöinstitutet 1993).

I samband med det s k Ellemtel-projektet genomfördes ett behandlingsförsök av två personer. Ursprungligen var det tänkt att fyra personer skulle behandlas, men av skäl som inte framgår kom endast två till behandling. Man använde s k beteendemedicinsk behandling utifrån en stresshanteringsmodell. Det innebär att individen får testa sig vid olika skärmar för att få ökad kunskap om sig själv och sina reaktioner. Den ena personen blev klart bättre av behandlingen, medan den andra hade mindre tydlig förbättring. Den person som förbättrades angavs ha fått uppfattningen att hans symtom orsakades av något annat än elektromagnetiska fält. Den andra personen uppges deltagit på ett positivt sätt, men "inte haft någon tydlig nytta av den". (Andersson B o a Effekt av beteendemedicinsk behandling på besvär vid bildskärmsarbete. Rapport till Ellemtel Utvecklings AB 1993.)

I en studie där personer som upplevde besvär av bildskärmar behandlades med två typer av akupunktur (totalt 20 personer) upplevde samtliga, oavsett behandlingsform, en förbättring. Man uppger att de subjektiva symtomen från elektriska och magnetiska fält tenderade att minska. (Arnetz o a 1993).

Ellemtel har ett förslag till åtgärder för denna patientgrupp som omfattar dels allmänna policyuttalanden, dels ett handlingsprogram innebärande att man klargör att chefen har ansvar för att hänvisa de som har besvär till företagsläkare, att överkänsliga personer inte får arbeta övertid i lokaler som permanentar eller förvärrar besvären och man har också egna riktvärden för elektriska och magnetiska fält i arbetsmiljön. (Ellemtel, projektet Överkänslighet i arbetsmiljön. Delprojekt Rehabilitering, slutrapport till Arbetslivsfonden 1993).

Rekommendationer för handläggningsprogram

Allmänna rekommendationer

Några validerade (?) behandlingsprogram finns ännu inte, utan den behandlande läkaren är hänvisad till att agera efter allmänna kliniska erfarenheter, bedömningar och värderingar.

När det gäller den enskilda person som har besvär, som han eller hon uppfattar som relaterade till elektromagnetiska fält är det av största vikt att man inom hälso- och sjukvården ser individen i sin miljö som en helhet.

En god relation med ömsesidig respekt mellan patienten och husläkare/distriktsläkare är grunden för detta handlande. Kontinuitet är mycket viktigt vid dessa mångfacetterade symtombilder, där orsakssammanhangen är oklara. Såväl fysiska som psykiska symtom bör utredas och omhändertas.

En medicinsk utredning utifrån den aktuella symtombilden bör först utföras i primärvården enligt gängse rutiner. Remiss till sjukhus bör utfärdas endast då särskilda medicinska skäl föreligger.

Den medicinska genomgången bör kompletteras med en kartläggning av psykosociala förhållanden, både vad gäller arbete och hemmiljö. Speciellt intresse bör ägnas åt psykologiska belastningar och individens handlingsutrymme och reaktionssätt när det gäller att bemöta dessa. Denna analys kan sedan bilda utgångspunkt för en individuellt upplagd behandling. I enskilda fall kan en mera systematisk psykologisk eller psykosocial behandlingsinsats bli aktuell.

Det finns inget vetenskapligt underlag för att hävda ett samband mellan elkänsligas symtom och elektromagnetiska fält. Rutinmässiga mätningar av fälten kan därför inte anses motiverade. Om i speciella fall mätningar göres bör de ske i samråd med erfaren expertis, till exempel från yrkes- och/eller miljömedicinsk klinik.

När det gäller miljörelaterade faktorer bör företagshälsovården kopplas in för att genomföra en undersökning av arbetsplatsen i sin helhet och tänkbara skadefaktorer och stressmoment av olika slag.

Av vad som hittills framkommit och de erfarenheter som finns från olika interventions- och preventionsprogram, finns stora möjligheter att hjälpa dessa patienter genom en kombination av individinriktade och miljöorienterade insatser. I vissa fall kan det handla om relativt enkla åtgärder på arbetsplatsen. De åtgärder som i olika beprövade handlingsprogram synes ha haft gynnsam effekt är bl a:

- Sänk temperaturen i arbetslokalen
- Se över ventilation och luftkvalitet
- Se över städrutinerna
- Se över arbetssituationen ur stressynpunkt
- Minska bildskärmsarbetet
- Se över belysningssystemet
- Justera eller byt flimrande bildskärm

I andra fall kan det gälla en mera genomgripande livsomställning med fokusering på levnadsvanor, kost, rökning, och stresshantering.

Arbete vid bildskärmar

Glasögon

Det är viktigt för bildskärmsoperatörer att de har väl anpassade glasögon, och utprovning av glasögon för bildskärmsarbete är en mycket vanlig anledning för besök hos optiker eller motsvarande i USA (Sheedy 1992). Ca 1/3 av alla kunder fick speciella terminalglasögon enligt denna undersökning. Andra har gjort liknande kliniska observationer (se Kruschwitz o a 1990). Det anses också viktigt att eventuell astigmatism korrigeras noga på bildskärmsoperatörer (Nishiyama 1990, Wiggins och Daum 1991).

Vanliga läsglasögon är oftast anpassade för ca 30 cm läsavstånd och en blickriktning nedåt på ca 25°. Detta passar dåligt för videoterminaler som oftast står på 70–100 cm avstånd och relativt högt, ibland till och med över ögonhöjd. Bildskärmsarbetare behöver därför ofta speciellt tillpassade glasögon, och man bör se till att bildskärmen placeras så lågt som det överhuvudtaget är möjligt.

Enligt svensk lagstiftning har arbetsgivaren skyldighet att tillhandahålla terminalglasögon, dvs de glasögon operatören behöver för arbetet vid videoterminalen.

Synpunkter på bildskärms konstruktion

Det är viktigt att en bildskärm kan vridas och tippas så att man därigenom kan eliminera oönskade reflexer med bibehållen bekväm arbetsställning. Främre ytan på skärmen bör också vara halvmatt för att dämpa reflexer. Man kan få samma effekt genom att sätta ett finmaskigt nät framför skärmen. En ”Vegamössa” (en stor skärmmössa) på videoterminalen har ibland också mycket god effekt genom att skärma bort störande ljusreflexer.

De tidigaste datorskärmarna hade relativt dålig upplösning, och bokstäver byggdes upp av endast ett fåtal bildpunkter (s k pixels), vilket ofta gjorde dem svårtolkade. Man skall kräva en matris på minst 7x9 punkter, och moderna skärmar håller vanligen betydligt högre teckenkvalitet. Bokstäverna måste också stå stilla på skärmen. Grundregeln är att man på nära håll inte skall kunna uppfatta någon rörelse i dem. Detta kan vara ett problem med enklare skärmar som kan vara dåligt avskärmade så att även svaga magnetfält når in i dem. Det är av denna anledning olämpligt att ha bildskärmen stående tätt intill andra elektriska apparater (Sandström o a 1992).

Kontrast och ljushet är viktigt för bildskärmsarbetarens bekvämlighet, och detta måste kunna regleras på skärmen, så att operatören kan anpassa den till rådande arbetsmiljö. Dagens skärmar har alla den möjligheten.

Bildskärmens flimmer har redan diskuterats ovan. Flimmerfria skärmar finns sedan länge i marknaden, men i enklare persondatorer är skärmen ofta inte fullgod i detta avseende.

Bilden på en bildskärm alstras av en elektronstråle som sveper fram över skärmen. Ljusintensiteten är mycket högre i den punkt som elektronstrålen träffar än i omgivningen, men effekten är så snabbt övergående att det mänskliga ögat inte hinner uppfatta den. I vertikal riktning rör strålen sig med 25–150 svep per sekund, och det kan inträffa att man rör ögat över skärmen i samma takt och riktning, särskilt vid låga svepfrekvenser. Bilden av den intensivt lysande delen av skärmen stabiliseras då på näthinnan, som hinner uppfatta den som en ljusblxt. Detta är ofarligt, men kan vara störande. Effekten kan motverkas med bl a lämpligt valda lysämnen i skärmen och är numera sällan något problem.

Det är också viktigt att skärmen inte placeras för högt så att operatören behöver sitta med huvudet bakåtlutat för att få in skärmen i rätt del av sina glasögon. Det är vanligt att skärmen sätts ovanpå datorlådan för att spara arbetsyta på skrivbordet, men detta bör motarbetas. Datorlådan bör i stället stå under eller vid sidan av skrivbordet.

Sittställningens betydelse har uppmärksammats i många studier (se t ex Sauter, Schleifer och Knutson 1991). Det är viktigt att stolen är rätt konstruerad, har rätt höjd, att tangentbordet inte sitter för högt m m. Arbetsplatsens konstruktion har alltså stor betydelse för bildskärmsoperatörens allmänna hälsa (se t ex Scalet o a 1987).

6. Sammanfattning

Innehåll

Exponering	195
Cancer	195
Reproduktion	196
Allmän ohälsa	196

I detta avsnitt sammanfattas arbetsgruppens samlade värdering för respektive avsnitt. Värderingen baseras på de tillgängliga vetenskapliga arbeten som publicerats t o m november 1994.

Exponering

Utvärderingen av hälsoeffekter från elektriska och magnetiska växelfält upp till 400 kHz, nedan kallat elektromagnetiska fält, omfattar exponering för s k kraftfrekventa fält (50 Hz) samt linjesvepsfrekvenser i bildskärmsutrustning och elektriska apparater i hemmiljö.

Elektriska fält i arbetsmiljö kan variera från tidvis höga fältstyrkor kring maximalt 50–200 volt per meter för elkraftarbete. Den genomsnittliga fördelningen av elektriska fält ligger i medeltal runt 15–20 volt per meter. Bildskärmar emitterar ungefär 20 volt per meter av tidsvarierande fält och ofta mindre än 500 volt per meter av statiska fält.

Magnetfält finns naturligt som det jordmagnetiska fältet med flödestätheten ca 50 mikrottesla. Distribution och användning av elenergi är de stora källorna till kraftfrekventa 50 Hz magnetfält. Medel- och medianvärdena för magnetfältsexponering av yrkesarbetare är 0,17 respektive 0,11 mikrottesla, med mycket stora variationer över tid och med olika sysselsättning. I allmän miljö exponeras individen i bostäder beroende på närhet till kraftledningar (närmare än 100 m) och från s k kallade vagabonderande strömmar. Nära kraftledningar (mindre än 100 m) dominerar denna källa med värden över 0,2 mikrottesla. På längre avstånd än 300 m från kraftledningar har 4–5 % av bostäderna mer än 0,2 mikrottesla. Bidraget från andra punktkällor som t ex elmotorer avtar snabbt med avståndet. Det är dock inte visat vilka komponenter i exponeringen som eventuellt är relevanta ur hälsosynpunkt. Detta försvårar sammanvägning av exponering från källor av olika natur som från t ex kraftledningar respektive apparatur med snabba variationer, s k transienter.

Cancer

Befintliga epidemiologiska data kan inte läggas till grund för en säker slutsats att exponering för elektromagnetiska fält ökar cancerrisken i något organsystem. De efterföljande experimentella djur- och in vitro studierna har inte gett belägg för en carcinogen effekt. Det går dock inte att avvisa misstankar om ett risksamband, framför allt för barnleukemi. Tidiga studier kan ha underskattat ett verkligt risksamband, medan senare undersökningar, som tillämpat mer precisa metoder för att uppskatta exponering, kan tala för ett samband för barnleukemi.

Reproduktion

Det föreligger inte något övertygande stöd i vare sig epidemiologiska eller djurexperimentella studier för ett samband mellan exponering för elektromagnetiska fält och spontanabort, låg födelsevikt eller missbildning hos barnet.

Beträffande moderns exponering och barncancer är underlaget idag otillräckligt. I fråga om faderns exponering, hjärntumörer och neuroblastom hos barnen föreligger viss samstämmighet mellan några olika epidemiologiska studier. I brist på mekanistisk förklaring kan slutsatser om orsakssamband inte dras.

Allmän ohälsa

Ett flertal undersökningar av människor har genomförts för att studera omelektromagnetiska fält från bildskärmar orsakar hudförändringar eller hudsjukdomar. Sammantaget ger dessa studier inte stöd för hypotesen att dessa fält orsakar någon sjuklig förändring i huden som kan bekräftas genom kliniska eller mikroskopiska undersökningar.

Mycket höga transienta elektriska eller magnetiska fält kan påverka ögats nervceller så att personen uppfattar det som en ljusblxt. Dessa effekter är inte förenade med några bestående skador. Några andra direkteffekter på ögon eller på synen av elektromagnetiska fält har inte påvisats.

Elektromagnetiska fält har använts för att behandla och diagnosticera olika sjukdomstillstånd och har inte i sådana sammanhang visats ha negativa effekter av den typ som elkänsliga¹ personer beskriver.

Studier på friska försökspersoner har antytt att elektromagnetiska fält har vissa biologiska effekter som dock inte medvetet uppfattas av individen. Dessa försök har inte indikerat några negativa förändringar i psykologiska eller andra tester.

I cellodlingar och djurförsök kan man reproducerbart se effekter av extremt lågfrekventa magnetiska växelfält ned till några mikrottesla. Det saknas dock studier för att bedöma relevansen av detta för mänsklig ohälsa.

Det finns inga tester som kan bekräfta om en individ är elkänslig. Försök har visat att om man den elkänslige ovetande förändrar fälten från bakgrunds fält till de fält som förekommer vid bildskärmar så påverkar detta inte symtomen på ett systematiskt sätt. Rutinmässiga mätningar av elektromagnetiska fält kan därför inte rekommenderas.

Det saknas systematisk utvärdering av behandling av elkänsliga personer. De flesta behandlingsstrategier som tillämpas idag innehåller översyn av olika miljöfaktorer samt metoder för att hjälpa elkänsliga att hantera sina symtom.

Symtombilden och rapporterade behandlingseffekter hos elkänsliga personer kan bäst förstås utifrån en psykologisk förklaringsmodell. Denna varken förnekar att symtom finns eller påstår att de är simulerade.

¹ Termen elkänslighet används i detta arbete som beskrivning på de symtom vissa personer upplever i vissa situationer och som de associerar med elektromagnetiska fält.

Summary

This section presents in summary the collective assessments made by the working group for each section. The assessments are based on the available scientific works, published prior to December 1994.

Exposure

The evaluation of the effects on health of electrical and magnetic alternating fields of up to 400 kHz – referred to in the following as electromagnetic fields – embraces exposure to power frequency fields and to line sweep frequencies emanating from Visual Display Units and household appliances.

Electric fields in working environments vary, with exposure reaching at times a maximum of 50–200 Volts per meter, for workers in the electrical power industry: The average exposure to electric fields is between 15 and 20 Volts per meter. Visual Display Units produce roughly 20 Volts per meter time variable field, and often less than 500 Volts per meter static field.

Magnetic fields occur naturally, like the earth's magnetic field with a flux density of circa 50 microtesla. The distribution and use of electric power are the major sources of power frequency 50 Hz magnetic fields. The average and median values for exposure in the working environment to magnetic fields are 0.17 and 0.11 microtesla respectively, with there being considerable variations at different times and for different professions. In general, "everyday" surroundings, the exposure of the individual when indoors depends on proximity to overhead electric cables (closer than 100 m), and on what is known as "Stray currents". At a distance of less than 100 m from overhead cables values of over 0.2 microtesla occur frequently. At a distance greater than 300 m from overhead cables values of over 0.2 microtesla have been recorded in 4–5 % of residential housing. The contribution made by other point-sources decreases sharply as distance increases. It has however not been demonstrated which components of the exposure may be relevant from a health point of view; which makes it difficult to gauge the relative significance of exposure from different sources, for example from overhead cables as opposed to appliances producing the rapid variations known as transients.

Cancer

The existing epidemiological data can not be used to support any definite conclusions as to whether exposure to electromagnetic fields increases the cancer-risk in any organ system. Subsequent experimental studies carried out on animals and in vitro have not lent support to the suspicion of a carcinogenic effect. However, the possibility of their being a link between exposure and risk cannot be ruled out; especially with regard to child leukaemia. Early studies may have undervalued the danger; recent research, where more exact methods for estimating the danger have been applied, may suggest the existence of a link in the case of child leukaemia.

Reproduction

There is no convincing epidemiological or vivisectional evidence for their being a link between exposure to electromagnetic fields and miscarriage, low birth-weight or malformation of children.

The current body of evidence is insufficient to permit of any conclusions regarding a link between exposure of the mother and cancer in the child. As regards a link between exposure of fathers and the development of brain tumours and neuroblastoma in their children, there is some concordance between a number of epidemiological studies; in the absence of any mechanistic explanation, no conclusions about a causal connection may be drawn.

Negative Effects on General Health

Several studies have been carried out on humans in the attempt to ascertain whether electro-magnetic fields from Visual Display Units cause changes or disease in the skin. Taken as a whole these studies do not lend any support to the hypothesis that these fields are responsible for pathological changes in the skin which can be substantiated by clinical or microscopical examination.

Very strong electric or magnetic fields can affect the nerve cells in the eye, so that the eye perceives a flash of light. These effects are not associated with any permanent damage. No other direct effects of electromagnetic fields on the eyes or eyesight have been established.

Electromagnetic fields have been used to diagnose and treat certain ailments – without producing negative effects of the type described by electrically sensitive¹ people.

Experiments carried out on healthy humans have suggested that electromagnetic fields have certain biological effects – although these are not consciously perceived by the persons in question. These studies have not indicated any negative changes noticeable in psychological or other tests.

Reproducible effects of extremely low-frequency alternating magnetic fields (as little as a few microtesla) are observable in cell cultures and experiments on animals. However, no studies permitting of a judgement of the relevance of this phenomenon for human health have yet been carried out.

There are no tests able to measure whether a person is electrically sensitive. Experiments have shown that if the field is changed, without the knowledge of the electrically sensitive person, from a background field to the kind of field produced by visual display units, the person's symptoms are not affected in a systematic or regular way. Routine measuring of electromagnetic fields can therefore not be recommended.

No systematic evaluations of the treatment of electrical sensitivity have been carried out. The usual treatment strategy involves an overall consideration of various environmental factors, together with methods of helping the electrically sensitive to deal with their symptoms.

The range of symptoms, and the reported effects of treatment, of the electrically sensitive can best be understood within a psychological explanatory framework – which neither denies the existence of the symptoms nor claims that they are feigned.

¹ The term *electrically sensitive* is used here to describe the symptoms which certain people experience in certain situations, and which they ascribe to electromagnetic fields.

Ordförklaringar

AC-EMF	"Alternating current". Växelström
CI	Konfidensintervall. Konfidensintervall med t ex 95 % konfidensnivå har 95 % sannolikhet att innehålla det sanna värdet
DC EMF	"Direct current". Likström
ELF	Extremt lågfrekventa (0–300 Hz) EMF
EMF	Elektromagnetiska fält
IUGR	Intra uterin (i livmodern) tillväxthämning
LF	Lågfrekventa EMF
OR	"Odds ratio". Odds kvot – ratkvot i fallkontrollstudier kan under vissa förutsättningar jämföras med relativ risk (RR)
PMF	Pulserat magnetfält
RF	Radiofrekvens
SGA	"Small for gestational age" – låg vikt eller små i förhållande till graviditetslängd
VDT	Videoterminal/bildskärm
VLF	" Very low frequency". Mycket lågfrekventa EMF
Ackomodation	Ögats inställning för seende på olika avstånd
Agens	Verkande kraft
Allergen	Ämnen som orsakar allergi
Anomalier	Avvikelse för det normala
Artodeser	Steloperation av led
Associerad överrisk	Förbunden med förhöjd relativ risk
Confounding factor	Förväxlingsfaktor
Depressiv symtomatologi	Symtom (sjukdomstecken) förenliga med nedstämdhet
Dermatologi	Läran om hudsjukdomar
Dosimeter	Mätare av dos eller exponering
Dosimetri	Mätning av dos
Duration	Långvarighet
Ekologiska samband	Studier av samband mellan exponering och sjukdomsförekomst på gruppnivå (ej individuella data)
Endogena strömstyrkor	Ström av den styrka som normalt kan förekomma i kroppen av inre orsaker
Epidemiologiska data	Information från studier av sjukdomsförekomst
Erythem	Hudrodnad
Exponerings-respons samband (Dos-respons effekt)	Samband mellan exponering i en befolkning och andel som drabbas av en viss effekt

Exposition (Exponering)	Utsätta för
Extrasystolier	Extra hjärtslag
Fall-kontrollstudie även Fall-referentstudie	En undersökning där en grupp individer med sjukdomen (fall) och en grupp individer utan sjukdomen (kontroller) studeras med avseende på förekomst av exponering. Det är viktigt att båda grupperna dras ur samma studiebas (grupp och tid). Kontrollerna utgör då ett stickprov på exponeringsförekomst i studiebasen varur fallen hämtats
Gastrointestinala besvär	Besvär från mag-tarm kanalen
Genotoxisk	Förmåga att skada cellens genetiska materiel
Histopatologi	Läran om vävnadens sjukdomar
Hudbiopsier	Prov från huden för mikroskopisk undersökning
Humanstudier	Studier på människor
Immunhistokemiska metoder	Metoder för vävnadsundersökning som använder immunologiska och kemiska reaktioner i kombination med mikroskopi
Immunologisk	Baserat på läran om oemottaglighet
In vitro	I glaskärl, ofta biologiska försök i provrör
In vivo	Under livet, undersökt på levande organism
Initiator	Agens som kan ge en bestående förändringar av det genetiska materialet från modercell till dottercell
Inkonklusiv	Kan inte ge underlag för slutsatser
Kardiovaskulära symtom	Symtom från hjärt- och kärlsystemet
Kohortstudier	Undersökning där man utgår från exponerade och oexponerade individer och jämför dessa med avseende på sjukdomsförekomst
Kongenitala missbildningar	Medfödda missbildningar
Konklusiva	Underlag för en slutsats
Kontrollerade dubbelblinda kliniska försök	Medicinska försök där vare sig den undersökte eller undersökare vet om verklig behandling/exponering ges eller om skenbehandling (placebo) eller låtsad exponering ges
Konvergens	När ögonens blicklinjer skär varandra
Kumulativ exponering	Ansamlad/adderad dos
Maternell exponering	Exponering av moder
Metaanalys	Utvecklad analys med sammanvävning av flera enskilda epidemiologiska studier
Metabola symtom	Symtom kopplade till ämnesomsättningen
Multifaktoriell bakgrund	Flera bakomliggande orsaker
Muskeldystrofi	Muskelvävnadsförtvinning
Muskelspasticitet	Symtom med muskelkramper och ökade reflexer
Muskuloskeletal besvär	Besvär från muskler och och skelett

Mutagen effekt	Förändring av genetiska materialet kan bli cancer eller ge upphov till ärftlig förändring eller sjukdom
"Nested" fall kontrollstudie	Det är en fallkontrollstudie inom en definierad kohort
Neuralrörsdefekt	Missbildning som drabbar centrala nervsystemet
Neuritutväxt	Utväxt av gangliocellens nervströmsförande långa utskott
Neuroblastom	Elakartad svulst i nervsystemet
Osteonekroser	Benvävnadsdöd
Paternal exponering	Exponering av fader
"Power"	Statistisk styrka
Prekonceptionell exponering	Exponering före befruktning
Prevalens	Sjukdomsförekomst vid en viss tidpunkt
Promotor	Agens som kan påverka utvecklingen från initierade celler till tumör
Prospektiv studie	Framåtblickande studie som följer en grupp
Provokationsstudie	Studie där man underkontrollerade former avsiktligt försöker framkalla symtom
Pseudoartroser	Falsk led t.ex. p.g.a. felläkning
Recall bias	Minnesfel
Reproducerbara effekter	Effekter som på ett likartade sätt framkommer när ett experiment upprepas
Reproduktion	Fortplantning
Rhinit	Snuva
Riskestimat	Riskuppskattning (mått på risk)
"Sham"-grupper	Skenexponering dvs exponering utan agens
Sinusoidala	Sinus(kurva)formade
Somatiseringsproblem	Problem som förläggs (tillskrivs) till kropp
Spontanaborter	Missfall som inträffat "av sig själv"
Statistiskt säkerställd associationer	Med statistiska metoder säkerställda samband
Tendinit	Seninflammation
Teratogena effekter	Missbildningsframkallande effekter hos foster
Thyreoida	Sköldkörteln
Vagabonderande strömmar	Strömmar som inte tar den avsedda vägen
Validitet	Den utsträckning i vilken undersökningen mäter det den är avsedd att mäta

Referenser

- Abelson P H. Risk Assessments of Low-Level Exposures. *Science*. 1994;265:1507.
- ACGHI. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices 1993–1994. Adopted by American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, USA. 1993.
- Adami H-O, Agerholm I, Gustavsson S, Lööf L, Nyberg A, Nyrén O, Tyllström J. The clinical diagnosis of "gastritis": Aspects of demographic epidemiology and health care consumption based on a nationwide survey. *Scand J Gastroenterology*. 1984; 19:216–9.
- Agnew WE, McCreery DB. Considerations for safety in the use of extracranial stimulation for motor evoked potentials. *Neurosurgery*. 1987;20:143–147.
- Ahlbom A, Norell S. *Grunderna i epidemiologi*. Studentlitteratur. Lund. 1987.
- Ahlbom A, Feychting M, Koskenvuo M, Olsen JH, Pukkala E, Schulgen G, Werkasalo P. Electromagnetic fields and childhood cancer. *Lancet*. 1993;342:1295–6.
- Akil H, Watson SJ, Young E, Lewis ME, Khachaturian H, Walker JM. Endogenous opioids: Biology and function. *Ann Rev Neurosci*. 1984;7:223–255.
- Aldhous ME, Arendt J. Assessment of melatonin rhythms and the sleep-wake cycle in blind subjects. *Adv Pineal Res*. 1991;5:307–309.
- Alerstam T. Ecological causes and consequences of bird orientation. *EXS*. 1991;60: 202–25.
- Alfieri V. Electrical treatment of spasticity. *Scand J Rehab Med*. 1982;14:177–182.
- Andersen A, Dahlberg BE, Magnus K, Wannag A. Risk of cancer in the Norwegian aluminium industry. *Int J Cancer*. 1982;29:295–8.
- Anderson LE. Biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: In vivo studies, *Am Ind Hyg Assoc J*. 1993;54:186–196.
- Anton-Tay F. Pineal-brain relationships. I: The Pineal Gland, Wolstenholme GEM, Knight J. Edinburgh, (red) Churchill Livingstone. 1971:213–227.
- Arbete vid bildskärm. Arbetskyddsstyrelsens författningssamlingar. AFS 1985:12, Stockholm.
- Arendt J, Aldhous M, English J, Marks V, Arendt JH, Marks M, Folkard S. Some effects of jet lag and their alleviation by melatonin. *Ergonomics*. 1987;30: 1379–1393.
- Arendt J, Aldhous M, Wright J. Synchronization of a disturbed sleep-wake cycle in a blind man by melatonin treatment. *Lancet* apr 2, 1988;I(8588):772.
- Armstrong B, Thériault G, Guénel P, Deadman J, Goldberg M, Heroux P. Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada and France. *Am J Epidemiol*. 1994;140:805–20.
- Arnetz B et al. Akupunktur som behandlingsform vid överkänslighet i arbetsmiljö. Ellemtel Utvecklings AB 1993.
- Asanova TP, Rakov AM. Health conditions of workers exposed to electric fields on open switchboard installations of 400–500 kV. Preliminary report. *Gig Tr Zabol*. 1966; 10:50–2.
- Axelsson O. Aspects on confounding in occupational health epidemiology. *Scand J Work Environment Health*. 1978;4:98–102.
- Axelsson G. Miscarriage after Occupational Exposures. Aspects of risk assessment in Retrospective Studies. University of Gothenburg. Thesis. Göteborg 1983.
- Baili-Antunes M, Pfluger DH, Minder CE. The mortality from malignancies of haematopoietic and lymphatic systems (MHLS) among railway engine drivers. *Environmetrics*. 1990;1:121.
- Baris D, Armstrong B. Suicide among electric utility workers in England and Wales. (Letter). *Brit J Ind Med*. 1990;4:788–792.
- Barker AT, Jalinous R, Freston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet*. May 11, 1985;1(8437):1106–1107.

- Barker AT, Lunt MJ. The effects of pulsed magnetic fields of the type used in the stimulation of bone fracture healing. *Clin Phys Physiol Meas*. 1983;4:1–27.
- Barregård L, Järvholm R, Ungethum E. Cancer among workers exposed to strong static magnetic fields. *Lancet*. 1985;2:892.
- Bassett CAL. Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *Critical Rev Biomed Engin*. 1989;17:451–529.
- Bates MN. Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: The epidemiologic evidence. *Environmental Health Perspectives*. 1991;95:147–56.
- Beaumont JJ, Weiss NS. Mortality of welders, ship fitters and other metal trades workers in Boilermakers local no. 104 AFI. C10. *Am J Epidemiol*. 1980;112:775.
- Beck-Friis J, Hanssen T, Kjellman BF, Ljunggren JG, Unden F, Wetterberg L. Serum melatonin and cortisol in human subjects after the administration of dexamethasone and propranolol. *Psychopharmacol Bulletin*. 1983;19:646–648.
- Beck-Friis J. Melatonin in depressive disorders – a methodological and clinical study of the pineal-hypothalamic-pituitary-adrenal cortex system. Akademisk avhandling, Stockholm, Modin-Tryck AB, 1983.
- Becker N, Claude J, Frentzel-Beymer. Cancer risk of arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel. *Scand J Work Environ Health*. 1984;4:75.
- Bedömning av eventuellt samband mellan exponering för magnetfält och kromosomskador, respektive cancer eller graviditetsstörningar. Svenska läkaresällskapet, AD hoc kommitté. 1988.
- Bell GB, Marino AA, Chesson AL. Alterations in brain electrical activity caused by magnetic fields: detecting the detection process. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1992;83:389–397.
- Ben-Menachem E, Mañon-Espaillet R, Ristanovic R, Wilder BJ, Stefan H, Mirza W, Tarver WB, Wernicke JF and First International Vagus Nerve Stimulation Study Group. Vagus nerve stimulation for the treatment of partial seizures: 1. A controlled study of effect on seizures. *Epilepsia*. 1994;35:616–626.
- Benabid AL, Pollak P, Gervason C, Hoffman D, Gao DM, Hommel M, Perret JE, Rougemont J. Long-term suppression of tremor by chronic stimulation of the ventral intermediate thalamic nucleus. *Lancet*. Feb 16, 1991;337(8738):403–406.
- Beniashvili DSH, Bilanishvili VG, Menabde MZ. Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomethyl urea. *Cancer Lett*. 1991;61:75–79.
- Berg G, Laberg JC, Skutle A, Öhman A. Instructed versus pharmacological effects of alcohol in alcoholics and social drinkers. *Behav Res Ther*. 1981;19:55–66.
- Berg M. Evaluation of a Questionnaire used in Dermatological Epidemiology. Discrepancy between self-reported symptoms and objective signs. *Acta Derm Venereol*. 1991;suppl 156:13–17.
- Berg M, Arnetz BB, Lidén S, Eneroth P, Kallner A. Techno-stress: A psychophysiological study of employees with VDI-associated skin complaints. *J Occup Med*. 1992;34:698–701.
- Berg M, Axelson O. Evaluation of a questionnaire for facial skin complaints related to work at visual display units. *Contact Dermatitis*. 1990;22:71–77.
- Berg M. Facial skin complaints and work at visual display units. Epidemiological, clinical and histopathological studies. Akademisk avhandling, Stockholm 1989.
- Berg M, Hedblad M-A, Erhardt K. Facial skin complaints and work at visual display units; A histopathological study. *Acta Derm Venereol*. 1990;70:216–220.
- Berg M. Skin problems in workers using visual display terminals; A study of 201 patients. *Contact Dermatitis*. 1988;19:335–341.
- Bergqvist U. Possible health effects of working with VDUs. *Br J Ind Med*. 1989;46:217–21.
- Bergqvist U, Wahlberg JE. Skin symptoms and disease during work with visual display terminals. *Contact Dermatitis*. 1994;30:197–204.
- Bergqvist U. Health problems during work with visual display terminals. Akademisk avhandling, Stockholm 1994. *Arbete och Hälsa*. 1993;28.

- Berlinguet L, Berthelette D. Work with display units 89 pp. 1–555. North-Holland, Amsterdam-New York-Oxford-Toronto 1990.
- Berman E, Chacon L, House D, Koch BA, Koch WE, Liel J, Lövtrup S, Mantiply E, Martin AH, Martucci GI, Mild KH, Monahan JC, Sandström M, Shamsaifar K, Tell R, Trillo MA, Ubeda A, Wagner P. Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 1990;11:169–187.
- Bernhardt JH. The establishment of frequency dependent limits for electric and magnetic fields and evaluation of indirect effects. *Radiation Environmental Biophysics*. 1988;27:1–27.
- Binnie CD, Kasteleijn-Nolst Trenite DG, de Korte R, Wilkins A. Visual display units and risk of seizures :letter: *Lancet*. Apr 27, 1985;1(8435):991.
- Blackman CF, Benane SG, House DE. Evidence for direct effect of magnetic fields on neurite outgrowth. *FASEB J*. 1993;7:801–806.
- Blackman CF, Benane SG, Rabinowitz JR, House DE, Joines WT. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from the brain tissue, in vitro. *Bioelectromagnetics*. 1985;6:327–337.
- Blackman CF, Benane SG, House DE, Elliot DJ. Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in responses of brain tissue in vitro and in vivo. *Bioelectromagnetics*. 1990;11:159–167.
- Blackman CF, Benane SG, House DE, Joines WT. Effects of ELF (1–120 Hz) and modulated (50 Hz) RF fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics*. 1985;6:1–11.
- Blair A, Walrath J, Rogot E. Mortality patterns among US veterans by occupation. I. Cancer. *J Natl Cancer Inst*. 1985;75:1039.
- Bonde JPE, Olsen JH, Hansen KS. Adverse pregnancy outcome and childhood malignancy with reference to paternal welding exposure. *Scand J Work, Environ Health*. 1992;18:169–177.
- Bonnell J A, Norris W T, Pickles J H, Male J C. Comments on "Environmental Power Frequency Magnetic Fields and Suicide" *Health Physics*. 1983;44:697–698.
- Borgens RB, Blight AR, McGinnis ME. Functional recovery after spinal cord hemisection in guinea pigs: the effects of applied electric fields. *J Comp Neurol*. 1990;296:634–653.
- Borgens RB, Roederer E, Cohen MJ. Enhanced spinal cord regeneration in lamprey by applied electric fields. *Science*. 1981;213:611–617.
- Borgens RB, Blight AR, McGinnis ME. Behavioral recovery induced by applied electric fields after spinal cord hemisection in guinea pig. *Science*. 1987;238:366–369.
- Bowman JD, Garabrant DH, Sobel E et al. Exposures to extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields in occupations with elevated leukaemia rates. *Appl Ind Hyg*. 1988;3:189.
- Brandt L, Nielsen CV. Congenital malformations among children of women working with video display terminals. *Scand J Work Environ Health*. 1990;16:329–33.
- Bryant HE, Love EJ. Video display terminal use and spontaneous abortion risk. *Int J Epidemiol*. 1989;18:132–8.
- Bunin GR, Ward E, Kramer S, Rhee CA, Meadows AT. Neuroblastoma and parental occupation. *Am J Epidemiol*. 1990;131:776–780.
- Bureau of Radiological Health, Food and Drug Administration: Guidelines for Evaluating Electromagnetic Risk for Trials of Clinical NMR Systems. FDA, HFX460, Rockville, MD 20857, USA, 1982.
- Buyavkyh AG, Medvedev OS, Stukanov AF. Effect of a low-frequency magnetic field on the systemic arterial pressure of spontaneously hypertensive rats. *Bull Exp Med*. 1987;104:905–6.
- Calle EE, Savitz DA. Leukaemia in occupational groups with presumed exposure to electrical and magnetic fields. *N Engl J Med*. 1985;313:1476.
- Cammarano G, Crosignani P, Berrino F, Berra G. Cancer mortality among workers in a thermoelectric power plant. *Scand J Work Environ Health*. 1984;10:259–61.
- Cancer incidence in Sweden 1991. EPC, Socialstyrelsen, Stockholm, 1994, 131 pp.

- Caola RJ, Deno DW, Dymec VSW. Measurements of electric and magnetic fields in and around homes near a 500 kV transmission line. IEEE/PES Winter meeting, New York, 1983 WM 164-1.
- Cardinali DP, Vacas MI, Keller J, Sarmiento MI, Morgenstern E. Melatonin action: Sites and possible mechanisms in brain. I: The pineal gland and its endocrine role, Axelrod J, Frascini F, Velo P.(red) New York: Plenum. 1983:277-301.
- Carstensen EL, Buettner A, Genberg VL, Miller MW. Sensitivity of the human eye to power frequency electric fields. IEEE Trans Biomed Eng BME. 1985;32:561-5.
- Cavallo A. Plasma melatonin rhythm in normal puberty: interactions of age and pubertal stages. Neuroendocrinology. 1992;55:372-379.
- Chaganti R, Miller DR, Mayors P, German J. Cytogenetic evidence of the intrauterine origin of acute leukemia in monozygotic twins. N Engl J Med. 1979;300:1032-4.
- Checkley SA, Thompson C, Franey C, Arendt J. Effects of desipramine on melatonin and cortisol in normal and depressed subject. I: Circadian rhythms in the central nervous system. Redfern PH, Campbell IC, Davies JA, Martin KF. (red) The Contributors, Great Britain. 1985:253-261.
- Cleary SE. A review of in vitro studies: low-frequency electromagnetic fields. Am Ind Hyg Assoc J. 1993;54:178-185.
- Coleman MP, Bell CMJ, Taylor H-L, Prinic-Zakelj M. Leukaemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study. Br J Cancer. 1989;60:793-8.
- Coleman M, Bell J, Skeet R. Leukaemia incidence in electrical workers. Lancet. 1983;1: 982-3.
- Collins MJ, Brown B, Bowman KJ, Caird D. Task variables and visual discomfort associated with the use of VDT's. Optom Vis Sci. 1991;68:27-33.
- Cook, MR, Graham C, Cohen H, Gerkovich MM. A replication study of human exposure to 60 Hz fields: Effects on neurobehavioral measures. Bioelectromagnetics. 1992; 13:261-285.
- Costa PT, Zonderman AB, Engel BT, Baile WF, Brimlow DL, Brinker J. The relation of chest pain symptoms to angiographic findings of coronary artery stenosis and neuroticism. Psychosom Med. 1985;47:285-93.
- Costa, PT, McCrae RR. Hypochondriasis, neuroticism, and ageing. Amer Psychol. 1985; 40:9-28.
- Coulton LA, Barker AT. Magnetic fields and intracellular calcium: effects on lymphocytes exposed to conditions for 'cyclotron resonance'. Phys Med Biol. 1993;38:347-60.
- Craig TKJ, Brown GW. Goal frustration and life-events in the aetiology of painful gastrointestinal disorder. J Psychosom Res. 1984;28:411-21.
- Creed F. Life events and appendicectomy. Lancet. Jun 27,1981;1(8235):1381-1385.
- D'Inzeo G, Galli A, Palombo A. Matching between theoretical and experimental data for ELF ion transport effects. Med Biol Eng Comput. 1993;31 Suppl: S80-6.
- Davis HP, Mizumori SJY, Allen H, Rosenzweig MR, Bennet EL, Tenforde TS. Behavioral studies with mice exposed to DC and 60-Hz magnetic fields. Bioelectromagnetics. 1984;5:147-164.
- Dawson ME, Schell AM. Information processing and human autonomic classical conditioning. Adv Psychophysiol. 1985;1:89-165.
- de Bruyn L, de Jager L, Karabakhtsian R, et al. Electric field exposure and evidence of stress in mice. Calcium is necessary in the cell response to EM fields. FEBS Lett. 1994;349:1-6.
- De Guire I, Thériault G, Iturra H, Provencher S, Cyr D, Case BW. Increased incidence of malignant melanoma of the skin in a telecommunications industry. Br J Ind Med. 1988;45:824.
- Delgado JMR, Leal J, Monteagudo JL, Gradia MG. Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields. J Anat. 1982;134: 533-551.
- Demers PA, Thomas DB, Sternhagen A, Thompson WD, Curnen MGM, Satariano W, Austin DF, Isaacson P, Greenberg RS, Key C, Kolonel LK, West DW. Occupational

- exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men. *Am J Epidemiol.* 1991;134:340.
- Dickinson, A. *Contemporary animal learning theory.* Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1980.
- Dixey R, Rein G. 3H-noradrenaline release potentiated in a clonal nerve cell line by low-intensity pulsed magnetic fields. *Nature.* 1982;296:253–256.
- Dlugosz L, Vena J, Byers T, Sever L, Bracken MB, Marshall E. Congenital defects and electric bed heating in New York State: a register based case-control study. *Am J Epidemiol.* 1992;135:1000–11.
- Ebersold MJ, Laws Jr ER, Stonnington HH, Stillwell GK. Transcutaneous electrical stimulation for treatment of chronic pain. *Surg Neurol.* 1975;4:96–98.
- Electromagnetic fields and the risk of cancer. National Board of Radiation Protection. Documents of the NRPB. Volym 3 No 1. Chilton, Didcot, Oxon 1992.
- Elektrische und magnetische Felder im Haushalt, Strahlen Themen. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter. 1994.
- Elektriska välfält från bildskärmar. Statens Strålskyddsinstitut informationsskrift i 90–04. SSI. Stockholm. 1990.
- Elektriska och magnetiska fält från 50 Hz elkraft. Vad vet vi om möjliga skaderisker? Statens strålskyddsinstitut. SSI, 93–01. Stockholm, 1993
- Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken verursacht durch magnetisch und hoch frequente elektromagnetische Felder bei der NMRtomographie und in vivo NMR spektroskopie, (in german). Bundesgesundheitsbl. 1984;27(3):92–96.
- Energiläget 1994, NUTEK. Närings- och teknikutvecklingsverket, Stockholm. 1994.
- Energiläget i siffror (Energy in Sweden, Facts and Figures 1994), NUTEK. Närings- och teknikutvecklingsverket. Stockholm. 1994.
- Engel GL. The need for a new medical model: A challenge for biomedicine. *Science.* 1977;196:129–36.
- Englund A, Ekman G, Zabrieiski L. Occupational categories among brain tumour cases recorded in the cancer registry in Sweden. *Ann NY Acad Sci.* 1982;381:188.
- Ericson A, Källén B. An epidemiological study of work with video screens and pregnancy outcomes: II A case-control study. *Am J Ind Med.* 1986;9:459–75.
- Eriksson A, Hansson Mild K, Lindh T, Paulsson L-E, Waltré M, Östman U. 50 Hz Magnetfält i Bostäder. Arbetarskyddsstyrelsen Umeå och Solna. Undersökningsrapport 1987:6.
- Eriksson M, Sjölund B. Smärtlindring med TNS. Stockholm, Liber förlag 1984.
- Eriksson MB: Transcutaneous nerve stimulation and chronic pain. Malmö, Liber förlag 1983. Akademisk avhandling.
- Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology.* 1994; 5:501–9.
- Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish High-voltage power lines. *Am J Epidemiol.* 1993;138(7):467–481.
- Filippov V. The effect of alternating electric fields on man. 2nd International Colloquium on the Prevention of Occupational Risk due to Electricity. Cologne, 1972.
- Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Öst Å, Knave B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes and Control.* 1993;4:465–476.
- Floderus B, Törnqvist S, Stenlund C. Incidence of selected cancers in Swedish railway workers, 1961–79. *Cancer Causes Control.* Under tryckning.
- Floderus B, Persson T, Stenlund C. Lågfrekventa magnetfält i arbetsmiljön. Referensvärden och exponering i olika yrkesgrupper. Arbetsmiljöfonden. Rapport 91–15267, 1994.
- Flodin U, Fredriksson M, Axelson O, Persson B, Hardell. Background radiation, electrical work, and some other exposures associated with acute myeloid leukaemia in a case-referent study. *Arch Environ Health.* 1986;44:77–84.

- Florig HK, Hoburg JF. Power-Frequency Magnetic Fields from electric blankets. *Health Physics*. 1990;58(4):493–502.
- Food and Drug Administration document: Guidance for content and review of a magnetic resonance diagnostic device 510(k) application – safety parameter action levels. (August 2, 1988), I: Magin RL, Liburdy RL, Persson BRR. (utgivare) *Biological Effects and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy*, ISBN 0897666984, Annals of The New York Academy of Sciences. 1992; 646:399–400.
- Frankenhaeuser M. *Manligt, kvinnligt, stressigt*. Stockholm, 1993.
- Free MM, Kaune WT, Phillips RD, Cheng HC. Endocrinological effects of strong 60-Hz electric fields on rats. *Bioelectromagnetics*. 1981;2:105–121.
- Freeman JA, Manis PB, Snipes GJ, Mayes BN, Samson PC, Wikswo JP Jr, Freeman DB. Steady growth cone currents revealed by a novel circularly vibrating probe: a possible mechanism underlying neurite growth. *J Neurosci Res*. 1985;13:257–283.
- Fröhlen H, Svedenstål B-M, Paulsson L-E. Effects of pulsed magnetic fields on the developing mouse embryo. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:197–204.
- Fulton JP, Cobb S, Preble L, Leone L, Forman E. Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island. *Am J Epidemiol*. 1980;111:292–6.
- Gallagher RP, Threlfall WJ, Band PR, Spineili JJ Occupational Mortality in British Columbia 1950–1984. Cancer Control Agency of British Columbia, Vancouver. 1989.
- Gallagher RP, McBride MI, Band PR, Spanelli JJ, Threlfall WJ, Yang P. Occupational electromagnetic field exposure, solvent exposure, and leukaemia. *J Occup Med*. 1990;32:64.
- Galt S, Sandblom J, Hamnerius Y, Höjevik P, Saalman E, Nordén B. Experimental search for combined AC and DC magnetic field effects on ion channels. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:315–27.
- Galt S, Sandblom J, Hamnerius Y. Theoretical study of the resonant behaviour of an ion confined to a potential well in a combination of AC and DC magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:299–314.
- Gardner MJ, Snee MP, Hall AJ, Powell CA, Downess S, Terrell JD. Results of case-control study of leukemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Br Med J*. 1990;300:423–9.
- Garland FC, Shaw E, Gorham ED, Garland CF, White MR, Sinsheimer PJ. Incidence of leukaemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am J Epidemiol*. 1990;132:293.
- Gates JR, Dhuna A, Pascual-Leone A. Lack of pathologic changes in human temporal lobes after transcranial magnetic stimulation. *Epilepsia*. 1992;33:504–508.
- Gauger JR. Household appliance magnetic field survey. 1984. IIT Research Institute, 10 West 33th street, Chicago, IL 60616, Tech. Report EO6549–3.
- Gauger JR. Household appliance magnetic field survey. *IEEE Transaction on Power Apparatus and systems*. 1985;104:2436–2444.
- Gentry WD, ed. *Handbook of behavioral medicine*. Guilford Press, New York, 1984.
- George R, Salinsky M, Kuzniecky R, Rosenfeld W, Bergn D, Tarver WB, Wernicke JF and First International Vagus Nerve Stimulation Study Group. Vagus nerve stimulation for the treatment of partial seizures: 3. Long-term follow-up on first 67 patients exiting a controlled study. *Epilepsia*. 1994;35:637–643.
- Gilman PA, Ames RG, McCawley MA. Leukaemia risk among US white male coal miners: A case-control study. *J Occup Med*. 1985;27:669.
- Gold E, Gordis L, Tonascia J, Szklo M. Risk factors for brain tumors in children. *Am J Epidemiol*. 1979;109:309–19.
- Goldhaber MK, Polen MR, Hiatt RA. The risk of miscarriage and birth defects among women who use visual display terminals during pregnancy. *Am J Ind Med*. 1988; 13:695–706.
- Goodman R, Chizmadzhev Y, Shirley-Henderson A. Electromagnetic fields and cells. *J Cell Biochem*. 1993;51:436–41.

- Graham C, Cohen HD, Cook MR, Gerkovich MM. Exploations of exposure to intermittent electric and magnetic fields. "The Annual Review of Research on Biological effects of the 50/60 HZ Electric and Magnitc Field" 1990 Washington DC.
- Graham C, Cook MR, Cohen HD. Final report: Immunological and biochemical effects of 60 Hz electric and magnetic fields in humans. Report #DE9006671,1990b, NTIS. Springfield Virginia.
- Graves HB, Carter JH, Kellmel D, Cooper L, Poznaniak DT, Bankoske JW. Perceptibility and electrophysiological responses of small birds to intense 60-Hz electrostatic fields. *IEEE Trans.Power Appar. Syst.* 1978;97:1070–1073.
- Greaves MF. Speculation on the cause of childhood acute lymphoblastic leukemia. *Leukemia.* 1988;2:120–5.
- Greene JJ, Pearson SL, Skowronski WJ, Nardone RM, Mullins JM, Krause D. Gene-specific modulation of RNA synthesis and degradation by extremely low frequency electromagnetic fields. *Cellular and Molec Biol.* 1993;39: 261–8.
- Groza P, Carmacia R, Bubuiann E. Blood and urinary catecholamine variations under the action of a high voltage electric field. *Physiologie.* 1978;15:139–144.
- Guberan E, Usel M, Raymond L, Tissot R, Sweetnam PM. Disability, mortality, and incidence of cancer among Geneva painters and electricians: A historical perspective study. *Br J Ind Med.* 1989;46:16.
- Guénel P, Raskmark P, Andersen JB, Lynge E. Incidence of cancer in persons with occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark. *Br J Ind Med.* 1993; 50:758–764.
- Guidelines on exposure to electromagnetic fields from magnetic resonance clinical systems. Environmental Health Directorate. Publ. No. 85EHD124, Ottawa, 1986.
- Gur S, Ron S. Contrast sensitivity and the near point of accommodation after work with a visual display unit. *Isr J Med Sci.* 1992;28:618–21.
- Gur S, Ron S. Does work with visual display units impair visual activities after work? *Doc Ophthalmol.* 1992;79:253–9.
- Gustavsson P, Ekenvall L. Kortas arbetspassen vid bildskärmen kan symtomen på elöverkänslighet avta. *Läkartidningen.* 1992;89:34141–2.
- Hackman RM, Graves HG. Corticosterone levels in mice exposed to high intensity electric fields. *Behav Neural Biol.* 1981;32:201–213.
- Hammond EJ, Uthman BM, Reid SA, Wilder BJ. Electrophysiological studies of cervical vagus nerve stimulation in humans: II Evoked potentials. *Epilepsia.* 1992;33: 1021–1028.
- Hammond EJ, Uthman BM, Reid SA, Wilder BJ. Electrophysiological studies of cervical vagus nerve stimulation in humans: I EEG effects. *Epilepsia.* 1992;33:1013–1020.
- Hamnerius Y, Agrup G, Galt S, Nilsson R, Sandblom J, Lindgren R. Double blind provocation study of hypersensitivity reactions associated with exposure to electromagnetic fields from VDUs. Preliminary short version. KVA/IVA, Seminarium om elöverkänslighet, 6–7 okt 1992, Ramel C (ed), KVA rapport, Stockholm. 1993;2:67–72.
- Handcock MS, Kolassa JE. Statistical review of the henhouse experiments: The effects of a pulsed magnetic field on chick embryos. *Bioelectromagnetics.* 1992;13:429–433.
- Hanssen T, Heyden T, Sundberg I, Wetterberg L. Effect of propranolol on serum melatonin. *Lancet.* Aug 7, 1977;2(8032):309–310.
- Hansson HA. Lamellar bodies in Purkinje nerve cells experimentally induced by electric fields. *Exp Brain Res.* 1981;216:187–191.
- Har lavfrekvente elektriske og magnetiske felt noen betydning? Norske Social- og helsedepartementet. Rapport fra et utvalg oppnevnt av Social- og helsedepartementet. Mai 1994.
- Haysom C, Dowson D, Campbell MJ. The relevance of headaches and migraine in populations resident near overhead power lines- an epidemiological study. *Complementary Medical Research.* 1990;4:12–15.

- Heath CW. The leukemias. I: Schottenfeld D, Fraumeni JF. Cancer epidemiology and prevention. WB Saunders Company, 1982, pp 728–38.
- Hellbom M. Provokationsförsök med elöverkänsliga personer. Effekterna av information om förekomst av elektriska och magnetiska fält. Psykologexamensuppsats (handledare: L Melin, B Andersson). Inst f tillämpad psykologi, Uppsala Universitet, 1993.
- Hess CW, Mills KR, Murray MF. Responses in small hand muscles from magnetic stimulation of the brain. *J Physiol*. 1987;388:397–419.
- Hinkle L, McCaig CD, Robinson KR. The direction of growth of differentiating neurones and myoblasts from frog embryos in an applied electric field. *J Physiol (Lond)* 1981;314:121–135.
- Hjalmars U, Kulldorff M, Gustafsson G. Risk of acute childhood leukemia in Sweden after the Chernobyl reactor accident. *Br Med J*. 1994;309:154–7.
- Hjeresen DL, Kaune WT, Decker JR, Phillips RD. Effects of 60 Hz electric fields on avoidance behaviour and activity of rats. *Bioelectromagnetics*. 1980;1:299–312.
- Holmberg B, Rannug A. Magnetic fields and cancer development in animal models. *Rad. Science*. 1994. Radiation Science, in press.
- Horowitz MJ, Adams JE. Hallucinations on brain stimulation: evidence for revision of the Penfield hypothesis. I: Origin and Mechanisms of Hallucinations, W.Kemp (ed), Plenum Press, New York 1970;13–22.
- Hufnagel A, Elger CE, Durwen HF, Böker DK, Entzian W. Activation of the epileptic focus by transcranial magnetic stimulation of the human brain. *Ann Neurol*. 1990; 27:49–60.
- Huuskonen H, Juutilainen J, Komulainen H. Effects of Low – Frequency Magnetic Fields on Fetal Development in Rats. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:205–213.
- Högstedt P. Fält från bildskärmar och effekter på dentalt amalgam. I Ramel C (ed), Seminarium om elöverkänslighet. KVA-rapport, Stockholm 1993;2:83.
- IARC. Occupational exposure in insecticide application, and some pesticides. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon, 1991;53:45–534.
- IARC. The rubber industry. Overall evaluations of carcinogenicity: An updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. International Agency for Research on Cancer. Pharmaceutical drugs. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon 1987a;7:120–2.
- IARC. Paint manufacture and painting. International Agency for Research on Cancer. Pharmaceutical drugs. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon, 1989;47:327–443.
- IARC. Benzene. Overall evaluations of carcinogenicity: An updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. International Agency for Research on Cancer. Pharmaceutical drugs. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Lyon 1987b;7:332–3.
- IARC. Chloramphenicol. International Agency for Research on Cancer. Pharmaceutical drugs. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 50: 169–193.
- Ichimaru M, Ohkita T, Ishimaru T. Leukemia, multiple myeloma and malignant lymphoma. *Gann Monogr Cancer Res*. 1986;32:113–27.
- ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics*. 1994;66:100–106.
- Ieran M, Zaffuto S, Bagnacani M, Annovi M, Moratti A, Cadossi R. Effects of low frequency pulsing electromagnetic fields on skin ulcers of venous origin in humans: a double-blind study. *J Orthop Res*. 1990;8:276–282.
- IRPA/INIRP. Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. *Health Phys*. 1989;58(1):113–122.
- Ito H, Bassett CA. Effect of weak, pulsing electromagnetic fields on neural regeneration in the rat. *Clin Orthop*. 1983;283–290.
- Jablon S, Kato H. Childhood cancer in relation to prenatal exposure to atomic-bomb radiation. *Lancet*. 1970;2:1000–3.

- Jaffe RA, Lopresti CA, Carr DB, Phillips RD. Perinatal exposure to 60-Hz electric fields: effects on the development of visual-evoked response in the rat. *Bioelectromagnetics*. 1983;4:327–339.
- Jaffe LF, Poo MM. Neurites grow faster towards the cathode than the anode in a steady field. *J Exp Zool*. 1979;209:115–128.
- Jaffe RA, Laszewski BL, Carr DB. Chronic exposure to 60-Hz electric field: effects on neuromuscular function in the rat. *Bioelectromagnetics*. 1981;2:277–239.
- Jaffe RA, Laszewski BL, Carr DB, Phillips RD. Chronic exposure to 60-Hz electric field: effects on synaptic transmission and the peripheral nerve function in the rat. *Bioelectromagnetics*. 1980;1:131–147.
- Jaschinski-Kruza W. Eyestrain in VDU users: viewing distance and the resting position of ocular muscles. *Hum Factors*. 1991;33:69–83.
- Jaschinski-Kruza W. Visual strain during VDU work: the effect of viewing distance and dark focus. *Ergonomics*. 1988;31:1449–65.
- Jaschinski-Kruza W. Fixation disparity at different viewing distances of a visual display unit. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1993;13:27–34.
- Jauchem JR, Merritt JH. The epidemiology of exposure to electromagnetic fields: An overview of the recent literature. *J Clin Epidemiol*. 1991;44:9:895–906.
- Jeavons PM, Harding GF, Drasdo N, Furlong PL, Bishop AI. Visual display units and epilepsy :letter: *Lancet*. Feb 2, 1985;1(8423):287.
- Jehenson P, Duboc D, Lavergne T, Guize L, Guöerin F, Degeorges M, Syrota A. Change in human cardiac rhythm induced by a 2-T static magnetic field. *Radiology*. 1988;166(1 Pt 1):227–230.
- Johannisson K. Vårt behov av sjukdom. *Nord Med*. 1993;108:92–93.
- Johansson O, Hilliges M, Björnhagen V, Hall K. Skin changes in patients claiming to suffer from "Screen Dermatitis": A two case open-field provocation study. *Exp Dermatol*. 1994;3:234–238.
- Johnson CC, Spitz MR. Childhood nervous system tumours: An assessment of risk associated with paternal occupations involving use, repair or manufacture of electrical and electronic equipment. *Int J Epidemiol*. 1989;18:756–761.
- Juutilainen J, Björck E, Saali K. Epilepsy and electromagnetic fields: effects of simulated atmospherics and 100-Hz magnetic fields on audiogenic seizure in rats. *Int J Biometeorol*. 1988;32:17–20.
- Juutilainen J, Läärä E, Pukkala E. Incidence of leukaemia and brain tumours in Finnish workers exposed to ELG magnetic fields. *Arch Occup Environ Health*. 1990;62:289.
- Juutilainen J, Matilainen P, Saarikoski S, Läärä E, Suonio S. Early pregnancy loss and exposure to 50 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:229–36.
- Juutilainen J. Effects of low-frequency magnetic fields on embryonic development and pregnancy. *Scand J Work Environ Health*. 1991;17:149–158.
- Kanje M, Rusovan A, Siskin B, Lundborg G. Pretreatment of rats with pulsed electromagnetic fields enhances regeneration of the sciatic nerve. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:353–359.
- Karabakhtsian R, Broude N, Shalts N, Kochlatyi S, Goodman R, Henderson AS. Calcium is necessary in the cell response to EM fields. *FEBS Lett*. 1994;349:1–6.
- Kato M, Honma KI, Shigemitsu T, Shiga Y. Effects of exposure to a circularly polarized 50-Hz magnetic field on plasma and pineal melatonin levels in rats. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:97–106.
- Kato H, Schull WJ, Neel JV. A cohort-type study of survival in the children of parents exposed to the atomic bombings. *Am J Hum Genet*. 1966;18:339–73.
- Katon W, Vitaliano PP, Russo J, Cormier L, Anderson K, Jones M. Panic disorder: Epidemiology in primary care. *J Fam Practice*. 1986;23:233–9.
- Kavaliers M, Hirst M, Teskey GC. Ageing, opioid analgesia and the pineal gland. *Life Sci*. 1983;32:2279–2287.
- Kavaliers M, Ossenkopp KP, Hirst M. Magnetic fields abolish the enhanced nocturnal analgetic response to morphine in mice. *Physiol Behav*. 1984;32:261–264.

- Kavaliers M, Ossenkopp KP. Stress-induced opioid analgesia and activity in mice: Inhibitory influences of exposure to magnetic fields. *Psychopharmacol.* 1986;89: 440–443.
- Kerns JM, Fakhouri AJ, Weinrib HP, Freeman JA. Electrical stimulation of nerve regeneration in the rat: the early effects evaluated by a vibrating probe and electron microscopy. *Neuroscience.* 1991;40:93–107.
- Kinlen LJ, Clarke K, Hudson C. Evidence from population mixing in British New Towns 1946–85 of an infective basis for childhood leukemia. *Lancet.* 1990;ii:997–9.
- Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A, Diaz-Ricci JC, Kirschvink SJ. Magnetite in human tissues: a mechanism for the biological effects of weak ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 1992;Suppl 1:101–13.
- Kirschvink JL, Kobayashi-Kirschvink A, Woodford BJ. Magnetite biomineralization in the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1992;89:7683–7.
- Klein DC, Reiter RJ, Weller JL. Pineal N-acetyl transferase activity in blinded and anosmic rats. *Endocrinology.* 1971;89:1010–1023.
- Knave B. Electric and magnetic fields and health outcomes – an overview. *Scand J Work Environ Health.* 1994;20 (special issue);78–89.
- Knave B, Gamberale F, Bergström S, Birke E, Iregren A, Kolmodin-Hedman B, Wennberg A. Long-term exposure to electric fields. A cross-sectional epidemiologic investigation of occupationally exposed workers in high-voltage substations. *Scand J Work Environ & Health.* 1979;5:115–125.
- Knave BG, Wibom RI, Voss M, Hedström LD, Bergqvist UO. Work with video display terminals among office employees. I. Subjective symptoms and discomfort. *Scand J Work Environ Health.* 1985;11:457–66.
- Knave B. Electric and magnetic fields and health outcomes – an overview. *Scand J Work Environ Health.* 1994. In press.
- Knave BG, Wibom RI, Bergqvist UO, Carlsson LL, Levin MI, Nylén PR. Work with video display terminals among office employees. II. Physical exposure factors. *Scand J Work Environ Health.* 1985;11:467–74.
- Koch WE, Koch BA, Martin AH, Moses GC. Examination of the development of chicken embryos following exposure to magnetic fields. *Comp Biochem Physiol.* 1993;105A:617–624.
- Koh D, Goh CL, Jeyaratnam J, Kee WC, Ong CN. Dermatologic Complaints Among Visual Display Unit Operators and Office Workers. *Am J Contact Dermatitis.* 1991; 2:136–137.
- Koh D, Goh CL, Jeyaratnam J, Kee WC, Ong CN. Dermatological Symptoms Among Visual Display Unit Operators Using Plasma Display and Cathode Ray Tube Screens. *Annals Acad Med.* 1990;19:617–620.
- Korpinen L, Partanen J, Uusitalo A. Influence of 50 Hz Electric and Magnetic Fields on the Human Heart. *Bioelectromagnetics.* 1993;14:329–40.
- Kozyarin IP. Effects of low frequency (50-HZ) electric fields on animals of different ages. *Gig Sanit.* 1981;8:18–19.
- Kraut A, Tate R, Tran N. Residential electric consumption and childhood cancer in Canada (1971–1986). *Arch Environ Health.* 1994;49:156–9.
- Kruschwitz S, Kupfer J, Ruppe I. Bildschirmarbeit aus arbeitsmedizinischer Sicht. *Z Gesamte Hyg.* 1990;36:350–353.[Abstract]
- Kuijten RR, Bunin GR, Nass CC, Meadows AT. Parental occupational childhood astrocytoma: Results of a case control study. *Cancer Res.* 1992;52:782–786.
- Kurppa K, Holmberg PC, Rantala K, Nurminen T, Saxén L. Birth defects and exposure to video display terminals during pregnancy. *Scand J Work Environ Health.* 1985; 11:353–6.
- Kushner MG, Beitman BD. Panic attacks without fear: An overview. *Behav Res Ther.* 1990;28:469–79.
- Källén B. Epidemiology of human reproduction. CRC press Boca Raton, Florida USA. 1988.

- Lakim ML, Miller CH, Stott ML, Winters WD. Involvement of the pineal gland and melatonin in murine analgesia. *Life Sci.* 1981;29:2543–2551.
- Langård S, Andersen A, Ravnstad J. Incidence of cancer among ferrochromium and ferrosilicon workers: an extended observation period. *Brit J Ind Med.* 1990;47:14–9.
- Lazarus RS, Folkman S. Coping and adaptation. I: *Handbook of behavioral medicine*, Gentry WD, ed. Guilford Press, New York, 1984:282–325.
- Lazetic B, Nikin B. The effect of electromagnetic field on the heart rate of rabbits. *Gen Physiol Biophys.* 1988;7:529–30.
- Lerchl A, Nonaka KO, Stokkan KA, Reiter RJ. Marked rapid alterations in nocturnal pineal serotonin metabolism in mice and rats exposed to weak intermittent magnetic fields. *Biochem Biophys Res Commun.* 1990;169:02–108.
- Levi R, Edman GV, Ekbom K, Waldenlind E. Episodic cluster headache I: Personality and some neuropsychological characteristics in male patients. *Headache.* 1992;32:119–125.
- Lewis RJ. A case-control comparison interview study of brain tumours and employment in occupation with presumed electric and magnetic field exposures. Houston. University of Texas School of Public Health. Dissertation for degree of Doctor of Philosophy. 1990.
- Lewy AJ, Wehr TA, Goodwin FK, Newsome DA, Markey SP. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science.* 1980;210:1267–1269.
- Liboff AR, Parkinson WC. Search for ion-cyclotron resonance in an Na⁽⁺⁾-transport system. *Bioelectromagnetics.* 1991;12:77–83.
- Liburdy RP. Biological interactions of cellular systems with time-varying magnetic fields. *Ann N Y Acad Sci.* 1992;649:74–95.
- Liburdy RP, Callahan DE, Harland J, Dunham E, Sloma TR, Yaswen P. Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal transduction cascade. Effects on calcium influx and c-MYC mRNA induction. *FEBS Lett.* 1993;334:301–8.
- Lidén C. Contact Allergy: A Cause of facial dermatitis among visual display unit operators. *Am J Contact Derm.* 1990;1:171–176.
- Lin RS, Dischinger PC, Conde J, Farrel KP. Occupational exposure to electromagnetic fields and the occurrence of brain tumours. *J Occup Med.* 1985;27:413–9.
- Lin RS, Lu PY. An epidemiologic study of childhood cancer in relation to residential exposure to electromagnetic fields (Abstract). Presented at the DOE-EPRI Contractor's Review Meeting, Portland, Oregon (US), November 1989.
- Lindbohm M-L, Hietanen M, Kyrrönen P, Sallmén M, von Nandelstadt P, Taskinen H, Pekkarinen M, Ylikoski M, Hemminki K. Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion. *Am J Epidemiol.* 1992;136:1041–51.
- Lindström E, Lindström P, Berglund A, Lundgren E, Mild KH. Intracellular calcium oscillations in a T cell line after exposure to ELF magnetic fields with variable frequencies and flux densities. *Bioelectromagnetics* 1995 (in press).
- Lindström E, Berglund A, Mild KH, Lindström P, Lundgren E. CD45 phosphatase in Jurkat cells is necessary for response to applied ELF magnetic fields. Submitted.
- Linnet MMS, Malke HSR, McLaughlin JK, Weinder JA, Stone BJ, Blot WJ, Ericsson JLE, Fraumeni JF. Leukaemias and occupation in Sweden. A registry-based analysis. *Am J Ind Med.* 1988;114:319.
- Littorin M, Attewell R, Skerfving S, Horstmann V, Möller T. Mortality and tumour morbidity among Swedish market gardeners and orchardists. *Int Arch Occup Environ Health.* 1993;65:163–9.
- Ljung L, Villa S. Magnetfält och cancer 1993. *Elsäkerhetsverket.* 1993:1–25.
- London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng T-C, Peters JM. Exposure to residential leukemia. *Am J Epidemiol.* 1991;134:923–37.
- Loomis DP, Savitz DA, Ananth C. Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *J Natl Cancer Inst.* 1994;86:921–925.
- Loomis DP, Savitz DA. Mortality from brain cancer and leukaemia among electrical workers. *Br J Ind Med.* 1990;47:633–8.

- Loomis DP. Cancer of breast among men in electrical occupations. Letter to the Editor. *Lancet*. 1992;339:1482–1483.
- Lovely RH, Bush RL, Slavich AL, Anderson LE, Hansen NH, Wilson BW. Adult leukemia risk and personal appliance use: A preliminary study. *Am J Epidemiol*. 1994;140:310–7.
- Lundberg U, Melin B, Evans GW, Holmberg L. Physiological deactivation after two contrasting tasks at a video display terminal: learning vs repetitive data entry. *Ergonomics*. 1993;36:601–11.
- Lutsch EF, Morris RW. Light reversal of a morphine-induced analgesia susceptibility rhythm in mice. *Experientia*. 1971;27:420–421.
- Lyskov EB, Juutilainen J, Jousmäki V, Partanen J, Medvedev S, Hänninen O. Effects of 45 Hz magnetic fields on the functional state of the human brain. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:87–95.
- Lyskov EB, Juutilainen J, Jousmäki V, Hänninen O, Medvedev S, Partanen J. Influence of short-term exposure of magnetic field on the bioelectrical processes of the brain and performance. *Internat J Psychophysiol*. 1993;14:227–231.
- Lågfrekventa elektromagnetiska fält som hälsorisk med särskild hänsyn till elöverkänslighet. Kungliga Vetenskapsakademien. Documenta No 57. Stockholm 1994.
- Läubli T, Hünting W, Grandjean E. Postural and visual loads at VDT workplaces. II. Lighting conditions and visual impairments. *Ergonomics*. 1981;24: 933–44.
- Löscher W, Mevissen M, Lehmacher W, Stamm A. Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Lett*. 1993;71:75–81.
- Lövsund P, Åberg PA, Nilsson SE. Magneto- and electrophosphenes: a comparative study. *Med Biol Eng Comput*. 1980;18:758–64.
- Lövsund P, Åberg PA, Nilsson SE, Reuter T. Magnetophosphenes: a quantitative analysis of thresholds. *Med Biol Eng Comput*. 1980;18:326–34.
- Mack W, Preston-Martin S, Peters JM. Astrocytoma risk related to job exposure to electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1991;12:57–66.
- MacKay CJ. Work with visual display terminals. Psychosocial aspects and health. Report on a World Health Organization Meeting. *J Occup Med*. 1989;31:957–68.
- Maddock BJ, Male JC, Norris WT. 50 Hz electric and magnetic fields near power transmission circuits and some associated exposure and health studies. 1: Internat. Conf. on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology. IEE Conference Publ. 1985;257:112–116.
- Magin, RL, Liburdy, RL, Persson BRR (utgivare). Biological Effects and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy: ISBN 0897666984, Annals of The New York Academy of Sciences, Vol. 646, 1992.
- Magnani C, Coggon D, Osmond D, Acheson ED. Occupation and five cancers: A case-control study using death certificates. *Br J Ind Med*. 1987;44:769.
- Male JC. NYE ACT (1982) A portable instrument for 50 Hz magnetic field studies. CEEGB, London no TPRD/L/CL0195/M82.
- Maresh CM, Cook MR, Cohen HD, Graham C, Gunn WS. Exercise testing in the evaluation of human responses to powerline frequency fields. *Aviation Space and Environmental medicine*. 1988;12:1139–45.
- Marg E. Magnetostimulation of vision: direct noninvasive stimulation of the retina and the visual brain. *Optom Vis Sci*. 1991;68:427–40.
- Marino AA, Berger TJ, Austin BP, Becher RO, Hart FX. In vivo bioelectrochemical changes associated with exposure to extremely low frequency electric fields. *Physiol Chem Phys*. 1977;9:433–441.
- Marsh G, Beams HW. In vitro control of growing chick nerve fibers by applied electric currents. *J Cell Comp Physiol*. 1946;27:139–157.
- Martin AH. Development of chicken embryos following exposure to 60-Hz magnetic fields with differing waveforms. *Bioelectromagnetics*. 1992;13:223–230.
- Matanoski GM, Breyse PN, Elliott EA. Electromagnetic field exposure and male breast cancer *Lancet*. 1991;337:737.

- Matanoski GM, Elliott EA, Breyse PN, Lynberg MC. Leukemia in telephone linemen. *Am J Epidemiol.* 1993;137:609.
- Matthes R, Bernhardt J. Funktionsbeeinflussung unipolarer Herzschrittmarscher durch elektrische und magnetische Felder. Tätigkeitsbericht 1986 des Bundesgesundheitsamtes.
- Mattsson B, Wallgren A. Completeness of the Swedish cancer register. Non-notified cancer cases recorded on death certificates in 1978. *Acta Radiol Oncology.* 1984; 23:305–313.
- Mc Collough C. Color adaptation of edge detectors in the human visual system. *Science.* 1965;149:1115–6.
- McDowall M E. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Brit J Cancer.* 1986;53:271–279.
- McDowall ME. Leukaemia mortality in electrical workers in England and Wales. *Lancet.* 1983;1:246.
- McDonald AD, McDonald JC, Armstrong B, Cherry N, Nolin AD, Robert D. Work with visual display units in pregnancy. *Br J Ind Med.* 1988;45:509–515.
- McDowall ME. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Br J Cancer.* 1985;53:271.
- McGivern RF, Sokol RZ, Adey WR. Prenatal exposure to a low-frequency electromagnetic field demasculinizes adult scent marking behavior and increases accessory sex organ weights in rats. *Teratology.* 1990;41:1–8.
- McKinney PA, Alexander FE, Cartwright RA, Ricketts TJ. The Leukemia Research Fund Data Collection study: descriptive epidemiology of acute lymphoblastic leukemia. *Leukemia.* 1989;3:880–5.
- McLaughlin JK, Malmer HSR, Blot WJ, Malmer BK, Stone BJ, Weiner JA, Ericsson JLF, Fraumeni J. Occupational risks for intracranial gliomas in Sweden. *J Natl Cancer Inst.* 1987;78:253–7.
- McLean JRN, Stuchly MA, Mitchel REJ, Wilkinson D, Yang H, Goddard M, Lecuyer DW, Schunk M, Callary E, Morrison D. Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60 Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response. *Bioelectromagnetics.* 1991;12:273–87.
- McLeod BR, Liboff AR, Smith SD. Electromagnetic gating in ion channels. *J Theor Biol.* 1992;158:15–31.
- McMahan S, Ericson J, Meyer J. Depressive symptomatology in women and residential proximity to high-voltage transmission lines. *Amer J Epidemiol.* 1994;139:58–63.
- Mevissen M, Stamm A, Buntenkötter S, Zwingelberg R, Wahnschaffe U, Löscher W. Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7,12-dimethylbenz(a)anthracene in rats. *Bioelectromagnetics.* 1993;14:131–143.
- Meyers A, Cayden AD, Cartwright RA, Cartwright SC. Childhood cancer and overhead power lines: a case-control study. *Br. J. Cancer.* 1990;62:1008–1014.
- Milham S. Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and haematopoietic malignancies. *Am J Epidemiol.* 1988a;127:50–4.
- Milham S. Mortality by license class in amateur radio operators. *Am J Epidemiol.* 1988b;128:1175–6.
- Milham S. Mortality from leukaemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *N Engl J Med.* 1982;307:249.
- Milham S. Mortality in workers exposed to electromagnetic fields. *Environ Health Perspect.* 1985;62:297–300.
- Miller DA. Electric and magnetic fields produced by commercial power systems, 1a: Biological Effects of Low-Frequency Magnetic and Electric Fields (edited by JC Llauro, A Sances, JH Bottocletti) Springfield, IL Charles G. Thomas Publisher. 1974:62–70.
- Milner-Brown HS, Miller RG. Muscle strengthening through electric stimulation combined with low-resistance weights in patients with neuromuscular disorders. *Arch Phys Med Rehab.* 1988;69:20–24.16

- Milunsky A, Ulcickas M, Rothman KJ, Willett W, Jick SS, Jick H. Maternal heat exposure and neural tube defects. *JAMA*. 1992;268:882–5.
- Morris RW, Lutsch EF. Susceptibility to morphine induced analgesia in mice. *Nature*. 1967;216:493–494.
- Mur JM, Moulin JJ, Meyer-Bisch C, Massin N, Coulon JP, Loulerge J. Mortality of aluminium reduction plant workers in France. *Int J Epidemiol*. 1987;16:257–64.
- Murata K, Araki S, Kawakami N, Saito Y, Hino E. Central nervous system effects and visual fatigue in VDT workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 1991;63:109–13.
- Murphy JC, Kaden DA, Warren J, Sivak A. Power frequency electric and magnetic fields: A review of genetic toxicology. *Mutat Res*. 1993;296:221–40.
- Nasca PC, Baptiste MS, MacCubbin PA, Metzger BB, Carlton K, Greenwald P, Armbrustmacher VW, Earle KM, Waldman J. An epidemiologic case-control study of central nervous system tumors in children and parental occupational exposures. *Am J Epidemiol*. 1988;128:1256–1265.
- National Radiological Protection Board, (Great Britain): Exposure to nuclear magnetic resonance clinical imaging. *Radiography*. 1981;47:258–260.
- National Radiological Protection Board (Great Britain): Revised guidance on acceptable limits of exposure during nuclear magnetic resonance clinical imaging. *Br J Radiol*. 1983;56:974–972.
- Nielsen CV, Brandt L. Spontaneous abortion among women using video display terminals. *Scand J Work Environ Health*. 1990;16:323–8.
- Nilsson C-G, Göthe C-J, Molin C. "Environmental Somatization Syndrome". Hur hanteras det yttre miljösyndromet? *Nord Med*. 1994;109:121–5.
- Nishiyama K. Ergonomic aspects of the health and safety of VDT work in Japan: a review. *Ergonomics*. 1990;33:659–85.
- Nissen JN, Paulsson L-E, Pettersson BG, Svartengren M. Magnetfältsmätningar i bostäder och daghem. Rapport från Socialstyrelsen och Statens Strålskyddsinstitut. 1994.
- Nomura T. X-Ray induced germ line mutation leading to tumors Its manifestation in mice given urethane post-natally. *Mutation Research*. 1983;12:59–65.
- Nordberg GF, Strangert P. Fundamental Aspects of Dose Response relationships and their extrapolation for non-carcinogenic effects of metals. *Environm. Health Perspect*. 1978;22:97–102.
- Nordström G, von Schéele C. Sjuk av bildskärm. Tidens förlag, pp 188. 1994.
- Norton CR, Cox BJ, Malan J. Nonclinical panickers: A critical review. *Clin Psychol Rev*. 1992;12:121–39.
- Nyrén O, Adami H-O, Gustavsson S, Lööf L. Excessive sick-listening in non-ulcer dyspepsia. *J Clin Gastroenterol*. 1986;8:339–45.
- Oak Ridge Associated Universities (ORAU) Panel on Health Effects of Low-Frequency Electric and Magnetic Fields. EMF and cancer. *SCIENCE*. 1993;260:13–14
- Oak Ridge Associated Universities Panel. Health effects of low-frequency electric and magnetic fields. Oak Ridge Associated Universities, ORAU. 92/F8, 1992.
- Oak Ridge Associated Universities. Health effects of low-frequency electric and magnetic Fields. Executive summary ORAU 92/F9. US Government Printing Office publication number 029-000-00443-9, Superintendent of Documents, Washington, 1992.
- Office of Population Censuses and Surveys: Occupational Mortality. Great Britain 1979–80. London. HMSO 1986.
- Oftdal G, Vistnes AI, Ryggen K, deFrancisco P. Elektriske felt fra dataskjermer – hudplager: dobbelt blindforsök. STF23 A93043, SINTEF, UNIMED, Trondheim, 1993.
- Olin R, Vågerö D, Ahlbom A, Knave B. Morbidity experience of electrical engineers. *Br J Ind Med*. 1985;42:211.
- Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high-voltage facilities and the risk of cancer in children. *Br Med J*. 1993;307:891–5.
- Olsen J. Studies of seasonal patterns in reproductive faihnes. *Editorial Epidemiol*. 1994;5:479–80.

- Orgel MG, O'Brien WJ, Murray HM. Pulsing electromagnetic field therapy in nerve regeneration: an experimental study in the cat. *Plast Reconstr Surg*. 1984;73:173–183.
- Ossenkopp KP, Cain DP. Inhibitory effects of powerline-frequency (60 Hz) magnetic fields on pentylenetetrazol-induced seizures and mortality in rats. *Behavior Brain Res*. 1991;44:211–216.
- Parazzini F, Luchini L, La Vecchia C, Crosignani PG. Video display terminal use during pregnancy and reproductive outcome. A meta analysis. *J Epidemiol Comm Health*. 1993;47:265–68.
- Parkin DM, Cardis E, Massuyer E, et al. Childhood leukemia following the Chernobyl accident: the European childhood leukemia-lymphoma study (ECLIS). *Eur J Cancer*. 1993;29A(1):87–95.
- Pascual-Leone A, Gates JR, Dhuna A. Induction of speech arrest and outing errors with rapid transcranial magnetic stimulation. *Neurology*. 1991;41:697–702.
- Patel N, Poo MM. Orientation of neurite growth by extracellular electric fields. *J Neurosci*. 1982;2:483–496.
- Patel S, Henderson R, Bradley L, Galloway B, Hunter L. Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom Vis Sci*. 1991;68:888–92.
- Patel S, Port MJ. Tear characteristics of the VDU operator. *Optom Vis Sci*. 1991;68:798–800.
- Patel NB, Xie Z, Young SH, Poo M. Response of nerve growth cone to focal electric currents. *J Neurosci Res*. 1985;13:245–256.
- Pearce N, Reif J, Fraser J. Case-control studies of cancer in New Zealand electrical workers. *Int J Epidemiol*. 1989;18:55–9.
- Perry S, Pearl L. Power frequency magnetic field illness in multi-story blocks. *Public Health*. 1988;102:11–18.
- Perry F S, Reichmanis M, Marino AA. Environmental power frequency magnetic fields and suicide. *Health Physics*. 1981;41:267–277.
- Perry FW, Pearl L, Binns R. Power frequency magnetic field; depressive illness and myocardial infarction. *Public Health*. 1989;103:177–80.
- Persinger MA, Koren SA, Makarec K, Richards P, Youlton S. Differential effects of wave form and the subject's possible temporal lobe signs upon experiences during cerebral exposure to weak intensity magnetic fields. *J Bioelectricity*. 1991;10(1&2):141–184.
- Persson RBR, Ståhlberg F. Health and Safety of Clinical NMR measurements. ISBN 084936096X, CRC Press FL. USA, 1988.
- Petajan JH. Sural nerve stimulation and motor control of the tibialis anterior muscle in spastic paresis. *Neurology*. 1987;37:47–52.
- Peterson GR, Milham S. Occupational mortality in the state of California, 1959–61. Washington DC. Department of Health, Education and Welfare. NIOSH 1980, No 104.
- Polednak AP. Mortality among welders including a group exposed to nickel oxide. *Arch Environ Health*. 1981;26:235.
- Politis MJ, Zanakis MF, Albala BJ. Mammalian optic nerve regeneration following the application of electric fields. *J Trauma*. 1988;28:1548–1552.
- Poole C, Kavet R, Funch DP, Donelan K, Charry JM, Dreyer NA. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating-current transmission line right-of-way. *Amer J Epidemiol*. 1993;137(3):318–330.
- Portet RT, Cabanes J. Development of young rats and rabbits exposed to a strong electric field. *Bioelectromagnetics*. 1988;9:95–104.
- Prasad AV, Miller MW, Cox C, Carstensen EL, Hoops H, Brayman AA. A test of the influence of cyclotron resonance exposures on diatom motility. *Health Phys*. 1994;66:305–12.
- Preston-Martin S, Peters JM, Yu MC, Garabrant DH, Bowman JD. Myelogenous leukaemia and electric blanket use. *Bioelectromagnetics*. 1988;9:207.

- Preston-Martin S. Epidemiological studies of prenatal carcinogenesis. I: Napalkov NP, Rice JM, Tomatis L, Yamasaki H. Perinatal and multigeneration carcinogenesis. IARC Scientific Publications, Lyon, 1989;96:289–314.
- Preston-Martin S, Mack W, Henderson BE. Risk factors for gliomas and meningiomas in males in Los Angeles County. *Cancer Res.* 1989;49:6137.
- Provningsmetoder för bildskärmar. MPR 1990:7 SWEDAC, Borås, Sweden.
- Puntoni R, Vercelli M, Merlo F, Valerio F, Santi I. Mortality among shipyard workers in Genoa. *Ann NY Acad Sci.* 1979;330:353.
- Puntoni R, Vercelli M, Ceppi M, Valerio F, Di Georgio F, Gogioso L, Bonassi S, Alloro G, Filiberti R, Santi L. Epidemiological investigation on causes of death among dockyard workers by type and length of exposure (1960–1980). I: Proceedings International Conference on Risk Assessment of Occupational Exposure in the Harbour Environment. Geneve. October 1984, pp 43–54.
- Raasch TW, Bailey IL, Howarth PA, Greenhouse DS, Berman S. Visual performance at video display terminals. – Effects of screen color and illuminant type. *Optom Vision Sci.* 1991;68:924–9.
- Radloff LS. The CES-D scale: a self-report depression scale for research in the general population. *Appl Psychol Meas.* 1977;1:385–401.
- Ralph CL, Hull D, Lynch HJ, Hedlund L. A melatonin rhythm persists in rat pineals in constant darkness. *Endocrinology.* 1971;89:1361–1366.
- Ramsay RE, Uthman BM, Augustinsson LE, Upton AR et al. Vagus nerve stimulation for the treatment of partial seizures: 2. Safety, side effects and tolerability. *Epilepsia.* 1994;35:627–636.
- Rannug A, Holmberg B, Ekström T, Mild KH. Rat liver foci study on coexposure with 50 Hz magnetic fields and known carcinogens. *Bioelectromagnetics.* 1993;14:17–27.
- Rannug A, Holmberg B, Mild KH. Rat liver foci promotion study with 50 Hz magnetic fields. *Environm Res.* 1993b;62:223–9.
- Rannug A, Holmberg B, Ekström T, Mild KH, Gimencz-Conti I, Slaga TJ. Intermittent 50 Hz magnetic field and skin tumor promotion in SENCAR mice. *Carcinogenesis.* 1994;15:153–7.
- Rannug A, Ekström T, Mild KH, Holmberg B, Gimencz-Conti I, Slaga TJ. A study on skin tumor formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure. *Carcinogenesis.* 1993a;14:573–8.
- Rea WJ, Pan Y, Fenyves EJ, Sujisawa I, Samadi N, Ross GH. Electromagnetic field sensitivity. *J Bioelectricity.* 1991;10:241–256.
- Reichmanis M, Perry F S, Marino A A, Becker R O. Relationships between suicide and the electromagnetic field of overhead power lines. *Physiol Chem Phys.* 1979;11:395–404.
- Reissenweber J, David E, Pfotenhauer M. Psychological aspects of perception of magnetophosphenes and electrophosphenes: *Biomed Tech (Berlin).* 1992;37:42–5.
- Reiter RJ. A review of neuroendocrine and neurochemical changes associated with static and extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Integr. Physiol Behavior Sci.* 1993;28:57–75.
- Reiter RJ. The pineal gland. I: Principles and practice of endocrinology and etabolism, ed KL Becker, Philadelphia: JB Lippincott. 1990;104–109.
- Reiter RJ. Circannual reproductive rhythms in mammals related to photoperiod and pineal function: a review. *Chronobiologia.* 1974;1:365–395.
- Rivas L, Rius C, Tello I, Oroza MA. Effects of chronic exposure to weak electromagnetic fields in mice. *IRCS Med Sci.* 1985;13:661–662.
- Robert E. Birth defects and high voltage power lines: an explanatory study based on registry data. *Reprod Toxicol.* 1993;7:283–7.
- Robinson LL, Buckley JD, Daigle AE et al. Maternal drug use and risk of childhood nonlymphoblastic leukemia among offspring: an epidemiologic investigation implicating marijuana. *Cancer.* 1989;63:1904–11.

- Rogers WR, Feldstone CS, Gibson EG, Polonis JJ, Smith HD, Cory WE. Effects of high-intensity, 60 Hz electric fields on operant and social behavior of nonhuman primates. In: Interaction of biological systems with static and ELF electric and magnetic fields, Anderson LE, Weigel RJ, Kelman BJ, eds. (Proceedings on the 23rd Annual Hanford Life Sciences Symposium). Springfield, VA: National Technical Information Service. 1987;365–378.
- Roman E, Beral V, Pelerin M, Hermon C. Spontaneous abortion and work with visual display units. *Br J Ind Med*. 1992;49:507–12.
- Ron E, Modan B. Thyroid and other neoplasms following childhood scap irradiation. *Progr Cancer Res Ther*. 1984;26:45–56.
- Rosenbaum P, Vena J, Zielzny M, Michalek A. Occupational exposure associated with male breast cancer. *Am J Epidemiol*. 1994;139:30–6.
- Rosner M, Belkin M. Video display units and visual function. *Surv Ophthalmol*. 1989;33:515–22.
- Rusovan A, Kanje M, Hansson Mild K. The stimulatory effect of magnetic fields on regeneration of the rat sciatic nerve is frequency dependent. *Exp Neurol*. 1992;117:81–84.
- Rusovan A. Effects of magnetic field exposure on regeneration of the rat sciatic nerves. PhD thesis, Dpt. Zoophysiol. Lund 1993.
- Rusovan A, Kanje M. D600, a Ca²⁺ antagonist, prevents stimulation of nerve regeneration by magnetic fields. *Neuroreport*. 1992;3:813–814.
- Rusovan A, Kanje M. Magnetic fields stimulate peripheral nerve regeneration in hypophysectomized rats. *Neuroreport*. 1992;3:1039–1041.
- Rusovan A, Kanje M. Stimulation of regeneration of the rat sciatic nerve by 50 Hz sinusoidal magnetic fields. *Exp Neurol*. 1991;112:312–316.
- Rylander R, Friberg L, Skerfving S. *Miljömedicin*. Almqvist & Wiksell, Stockholm 1991.
- Saalman E, Nordén B, Arvidsson L, et al. Effect of 2.45 GHz microwave radiation on permeability of unilamellar liposomes to 5(6)-carboxyfluorescein. Evidence of non-thermal leakage. *Biochim Biophys Acta*. 1991;1064:124–30.
- Sack RL, Lewy AJ, Blood ML, Stenvenson J, Keith LD. Melatonin administration to blind people: phase advances and entrainment. *J Biol Rhythms*. 1991;6:249–261.
- Sack RL, Lewy AJ, Blood ML, Keith LD, Nakagawa H. Circadian rhythm abnormalities in totally blind people: incidence and clinical significance. *J Clin Endocrinol Metab*. 1992;75:127–134.
- Sagan LA. Epidemiological and laboratory studies of power frequency electric and magnetic fields. *JAMA*. 1992;268;5:625–9.
- Sahl JD, Kelsh MA, Greenland S. Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers. *Epidemiology*. 1993;4:104–114.
- Salinsky MC, Burchiel KJ. Vagus nerve stimulation has no effect on awake EEG rhythms in humans. *Epilepsia*. 1993;34:299–304.
- Salzinger K, Freimark S, McCullough M, Phillips D, Birenbaum L. Altered operant behavior of adult rats after perinatal exposure to a 60-Hz electromagnetic field. *Bioelectromagnetics*. 1990;11:105–116.
- Samuelsson C. Institutionen för radiofysik. Intern rapport, Lunds universitet. 1994.
- Sandström M, Hansson Mild K, Berglund A. Induced jitter on VDT screens from external 50/60 Hz magnetic field. I: Work with display units WVDU '92: third International Scientific Conference on Work with Display Units, Berlin, 1–4 September. 1992;abstract book. Holland, 1992, s. 92.
- Sandström M, Stenberg B, Hansson-Mild K. Erfarenheter av patientprovokationer med elektriska och magnetiska fält. KVA/IVA, Seminarium om elöverkänslighet, 6–7 okt 1992, Ramel C (ed), KVA rapport. Stockholm. 1993;2:62–66.
- Sandström M, Hansson Mild K, Lönnberg G, Stenberg B, Wall S. Inomhusmiljö och hälsa bland kontorsarbetare i Västerbotten. Elektriska och magnetiska fält: en fall-

- /referensstudie bland bildskärmsarbetare. Undersökningsrapport, Arbetsmiljöinstitutet. 1991:12.
- Sandström M, Hansson-Mild K, Stenberg B, Wall S. A survey of Electric and Magnetic Fields Among VDT Operators in Offices. IEEE Transaction on EMC. 1993.
- Sasser LB, Morris JE, Buschbom RL, Miller DL, Anderson LE. Effects of 60 Hz electric fields on pineal melatonin during various times of the dark period. Abstracts of the Annual Review of Research in Biological Effects of 50 and 60 Hz Electric and Magnetic Field, Milwaukee, WI, 1991:A-24.
- Saunders RD, Sienkiewicz ZJ, Kowalczyk CI. Biological effects of electromagnetic fields and radiation. J Radiol. Prot. 1991;11:27–42.
- Sauter S, Dainoff M, Smith, M. Promoting health and productivity in the computerized office: Models of successful ergonomic interventions pp. 1–247. Taylor & Francis, London-New York-Philadelphia 1990.
- Savitz DA, John EM, Kleckner RC. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. Am J Epidemiol. 1990;131:763–773.
- Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. Am J Epidemiol. 1988;128:211–38.
- Savitz DA. Overview of epidemiologic research on electric and magnetic fields and cancer. Am Ind Hyg Assoc J. 1993;54:4:197–204.
- Savitz DA, Kaune VT. Childhood cancer in relation to a modified residential wirecode. Environ health perspec. 1993;1:76–80.
- Sazonova TE. Physiological and hygienic assessment of working conditions at the outdoor switchyards 400 and 500 kV. Proceedings of the Institute of Labour Protection under the All-Union Central Council of Trade Unions. 1970;63.
- Scalet EA, Stewart TFM, McGee K. VDT health and safety : issues and solutions. 18706th ed. Lawrence: Ergosyst Associates. 1987:1–125.
- SCB. Uppgifter från Statistiska centralbyrån om ”Elproduktion i Sverige fr o m 1912, enligt industriberättelsen” och Elförsörjning 1950–1993. Statistiska centralbyrån, Programmet för energi, 701 89 Örebro. 1994.
- Schenck JF, Dumoulin CL, Redington RW, Kressel HY, Elliott RT, McDougall IL. Human exposure to 4.0-Tesla magnetic fields in a whole-body scanner. Med Phys. 1992;19:1089–98.
- Schnorr TM, Grajewski BA, Hornung RW, Thum MJ, Egeland GN, Murray WE, Conover DL, Halperin WE. Video display terminals and the risk of spontaneous abortion. N Engl J Med. 1991;324:727–33.
- Schoenberg BS. Nervous system. I: Schottenfeld D, Fraumeni JF. Cancer epidemiology and prevention. WB Saunders Company. 1982:968–83.
- Schreiber GH, Swaen GM, Meijers JM, et al. Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment: a retrospective cohort study. Int J Epidemiol. 1993;22:9–15.
- Schwartz JL, Mealing GA. Calcium-ion movement and contractility in atrial strips of frog heart are not affected by low-frequency-modulated, 1 GHz electromagnetic radiation. Bioelectromagnetics. 1993;14:521–33.
- Seegal RF, Wolpaw JR, Dowmann R. Chronic exposure of primates to 60 Hz electric and magnetic fields: II Neurochemical effects. Bioelectromagnetics. 1989;10:289–301.
- Sewerson RK, Stevens RG, Kaune WT, Thomas DB, Heuser L, Davis S, Sever LE. Acute nonlymphocytic leukaemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. Am J Epidemiol. 1988;1228:10.
- Sheedy JE. Vision problems at video display terminals: a survey of optometrists. J Am Optom Assoc. 1992;63:687–92.
- Siddle DAT, ed. Orienting and habituation: Perspectives in human research. J Wiley & Sons, Chichester, England, 1983.
- Silney J. Influence of low-frequency magnetic field on the organism. I: Proceedings of the 4th Symposium on Electromagnetic Compatibility. Zurich 1981:175–180.

- Silverstein M, Maizlich N, Park R, Mirer F. Mortality among workers exposed to coal tar pitch volatiles and welding emissions. An exercise in epidemiologic triage. *Am J Publ Health*. 1985;75:1283.
- Simonato L, Fletcher AC, Andersen A, Anderson K, Becker N, Chang-Claude J, Ferro G, Gérin M, Gray CN, Hansen KS, Kalliomäki PL, Kurppa K, Langård S, Merló F, Moulin JJ, Newhouse ML, Peto J, Pukkala E, Sjögren B, Wild P, Winkelmann R, Saracci R. A historical prospective study of European stainless steel, mild steel, and shipyard welders. *Br J Ind Med*. 1991;48:145–54.
- Sisken BF, Smith SD. The effects of minute direct electrical currents on cultured chick embryo trigeminal ganglia. *J Embryol Exp Morphol*. 1975;33:29–41.
- Sisken BF, Kanje M, Lundborg G, Kurtz W. Pulsed electromagnetic fields stimulate nerve regeneration in vitro and in vivo. *Rest Neurol Neurosci*. 1990;1:303–309.
- Sisken BF, Kanje M, Lundborg G, Herbst E, Kurtz W. Stimulation of rat sciatic nerve regeneration with pulsed electromagnetic fields. *Brain Res*. 1989;485:309–316.
- Sjögren B, Carstensen J. Cancer morbidity among Swedish welders and gas cutters. I: *Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases* (KM Stern, A Berlin, AC Fletcher and I Jarvisaio eds.) Amsterdam. Elsevier Biomedical Press. Excerpta Medica. 1986.
- Skotte J. Exposure to power frequency electromagnetic fields in occupational and residential environments in Denmark. First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Fl USA. 1993.
- Smith SD, McLeod BR, Liboff AR. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. *Bioelectromagnetics*. 1987;8:215–227.
- Smith RF, Justesen DR. Effects of a 60-Hz magnetic field on activity levels of mice. *Radio Sci*. 1977;12:279–285.
- Smith R. Household magnetic fields and suicide. *Health Phys*. 1983;44:700.
- Speers MA, Dobbins JG, Van Miller S. Occupational exposure and brain cancer mortality: A preliminary study of East Texas residents. *Am J Ind Med*. 1988;13:629–38.
- Spitz MR, Johnson CC. Neuroblastoma and paternal occupation. A case-control analysis. *Am J Epidemiol*. 1985;121:924–929.
- Stamenovic B, Johnsson CC. An evidence of the impairment of heart function by constant magnetic field. *Period Biol*. 1975;77:82.
- Stammerjohn LWJ, Smith MJ, Cohen BG. Evaluation of work station design factors in VDT operations. *Hum Factors*. 1981;23:401–12.
- Starkströmsföreskrifter. ELsäk SF1994:4–7. Statens planverk. 1994.
- Statement by the National Radiological Protection Board 1991. Documents of the NRPB, Volume 2, number 1, NRPB. Chilton, United Kingdom. 1:a Magin RL, Liburdy RL, Persson BRR. (utgivare) *Biological Effects and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy*, ISBN 0897666984, Annals of The New York Academy of Sciences. 1992;646:376–398.
- Stenberg B, Hansson Mild K, Sandström M, Sundell J, Wall S. A prevalence study of the sick building syndrome (SBS) and facial skin symptoms in office workers. *Indoor Air*. 1993;3:71–81.
- Stenberg B, Eriksson N, Hansson Mild K, Höög J, Sandström M, Sundell J, Wall S. Facial skin symptoms in VDT workers. A case referent study of personal, psychosocial, building- and VDT-related risk indicators. I manuskript 1994.
- Stenberg B. Office Illness. The Worker, the Work and the Workplace. Akademisk avhandling, Umeå 1994.
- Stenberg B. Skin complaints in buildings with indoor climate problems. *Envir Int*. 1989;15:81–84.
- Stern FB, Waxweiler RA, Beaumont JJ, Lee ST, Rinsky RA, Zukmwaide RD, Halperin WE, Bierraum PJ, Landrigan PJ, Murray WE. A case-control study of leukaemia at a naval nuclear shipyard. *Am J Epidemiol*. 1986;123:980.
- Stern RM. Cancer incidence among welders. Possible effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic radiation (ELF) and to welding fumes. *Environ Health Perspect*. 1987;76:221.

- Stevens RG. Electric power use and breast cancer. A hypothesis. *Am J Epidemiol.* 1987;125:556.
- Stewart A, Webb J, Hewitt D. A survey of childhood malignancies. *Br Med J.* 1958;1: 1495–508.
- Stjernfeldt M, Berglund K, Lindsten J, Ludvigsson J. Maternal smoking during pregnancy and risk of childhood cancer. *Lancet.* 1986;1:1350–2.
- Stollery BT. Effects of 50 Hz electric currents on mood and verbal reasoning skills. *Brit J Industr Med.* 1986;43:339–349.
- Stollery BT. Effects of 50 Hz electric currents on vigilance and concentration. *Brit J Industr Med.* 1987;44:111–118.
- Stuchly MA, Ruddick J, Villeneuve D, Robinson K, Reed B, Lecuyer DW, Tan K, Wong J. Teratological assessment of exposure to time-varying magnetic field. *Teratology.* 1988;38:461–466.
- Stuchly MA, McLean JRN, Burnett R, Goddard M, Lecuyer DW, Mitchel REJ. Modification of tumor promotion in the mouse skin by exposure to an alternating magnetic field. *Cancer Lett.* 1992;65:1–7.
- Sundhedsministeriets ekspertgruppe vedrørende ikke-joniserende stråling. Rapport om risiko for kræft ved udsættelse for ekstreme lavfrekvente magnetfelter i arbejdet. Rapport No 2, juni 1993.
- Sundhedsministeriets ekspertgruppe vedrørende ikke-joniserende stråling. Rapport om risiko for kræft hos børn med bopæl eksponeret for 50 Hz magnetfelter fra højspændingsanlæg. Rapport No1, maj 1993.
- Survey of Residential magnetic field sources. Electrical power Research Institute, EPRI. TR-102759-V1, project 3335-02, final report. 1993.
- Svenska Läkaresällskapet. Utlåtande av en biomedicinsk expertgrupp: Bildskärmar, hudbesvär och flimmerproblem. Stockholm, september 1989.
- Swanbeck G, Bleeker T. Skin problems from visual display units. Provocation of skin symptoms under experimental conditions. *Acta Derm Venereol (Stockh).* 1989;69:45–51.
- SWEDAC, Svenska Institutet för Ackreditering (tidigare MPR), Box 878, 501 15 Borås.
- Symbols, units and nomenclature in Physics, UN. Document UIP. 11 (S-UN 65-3), International Union of Pure and Applied Physics, SUN Commission 1965.
- Takashima S, Onaral B, Schwan HP. Effects of modulated RF energy on the EEG of mammalian brains: effects of acute and chronic irradiations. *Radiat Environ Biophys.* 1979;16:15–27.
- Tassinari CA, Michelucci R, Forti A, et al: Transcranial magnetic stimulation in epileptic patients: usefulness and safety. *Neurology.* 1990;40:1132–1133.
- TCO, Tjänstemännens Centralorganisation, Box 5252, 102 45 Stockholm.
- Tenforde TS, Gaffey CT, Moyer BR, Budinger TF. Cardiovascular alterations in macaca monkeys exposed to stationary magnetic fields: Experimental observations and theoretical analysis. *Bioelectromagnetics.* 1988;4:1–9.
- Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Dedman J, Imbernon E, Chevalier A, Cyr D, Wall C. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970–89. *Am J Epidemiol.* 1994;139:550–72.
- Thomas TL, Stolley PD, Sternhagen A, Fontham ETH, Bleeker MI, Stewart RA, Hoover RN. Brain tumour mortality risk among men with electrical and electronic jobs: A case-control study. *J Natl Cancer Inst.* 1987;79:233–8.
- Thommesen G, Tynes T. Statistiske og lavfrekvente elektriske og magnetiske felt. Statens strålnvern. Rapport 1994:1, Oslo, 1994.
- Tibblin G, Bengtsson C, Furunes B, Lapidus L. Symptom by age and sex. The population studies of men and women in Gothenburg, Sweden. *Scand J Prim Health Care.* 1990;8:9–17.
- Tibblin G. Kunskap om symptomens naturlhistoria hjälp för läkaren i kontakten med patienten. *Läkartidn.* 1986;83:1186–90.

- Tikkanen J, Heinonen OP, Kurppa K, Rantala K. Cardiovascular malformations and maternal exposure to video display terminals during pregnancy. *Eur J Epidemiol.* 1990;6:61–66.
- Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. *Bioelectromagnetics.* 1986;7:191–207.
- Tribukait B, Cekan E, Paulsson L-E. Effects of pulsed magnetic fields on embryonic development in mice. I: Knave B and Widerbäck P-G (eds). *Work with Display Units.* Elsevier 1987 p 129–134.
- Trichopoulos D. Are electric or magnetic fields affecting mortality from breast cancer in women? *J Nat Cancer Inst.* 1994;86:885–6.
- Trzeciak HI, Grzesik J, Bortel M, Kuska R, Duda D, Michnik J, Malecki A. Behavioral effects of long-term exposure to magnetic fields in rats. *Bioelectromagnetics.* 1993; 14:287–297.
- Tynes T, Andersen A. Electromagnetic fields and male breast cancer. *Lancet.* 1990; 336:1596.
- Tynes T, Jynge H, Vistnes AI. Leukemia and brain tumors in Norwegian railroad workers, a nested case-control study. *Am J Epidemiol.* 1994;139:645–53.
- Tynes T, Andersen A, Langmark F. Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am J Epidemiol.* 1992;1136:81–8.
- Tynes T, Reitan JB, Andersen A. Incidence of cancer among workers in Norwegian hydroelectric power companies. Manuscript.
- Tyrell RA, Leibowitz HW. The relation of vergence effort to reports of visual fatigue following prolonged near work. *Hum Factors.* 1990;32:341–57.
- Törnqvist S, Norell S, Ahlbom A, Knave B. Cancer in the electric power industry *Br J Ind Med.* 1986;43:212.
- Törnqvist S, Knave B, Ahlbom A, Persson T. Incidence of leukaemia and brain tumours in some "electrical occupations". *Br J Ind Med.* 1991;48:597–603.
- Ubeda A, Trillo M, Chacon L, Leal J. Chick embryo development can be irreversibly altered by exposure to weak ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 1994;15: 385–398.
- Uthman BM, Wilder BJ, Penry JK, Dean C, Ramsay RE, Reid SA, Hammond EJ, Tarver WB, Wernicke JF. Treatment of epilepsy by stimulation of the vagus nerve. *Neurology.* 1993;43:1338–1345.
- Vasquez PJ, Anderson LE, Lowery CI, Adey WR. Diurnal patterns in brain biogenic amines of rats exposed to 60 Hz electric fields. *Bioelectromagnetics.* 1988;9:229–236.
- Vena JE, Graham S, Hellman R, Swanson M, Brasure J. Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer. *Am J Epidemiol.* 1990;131:764.
- Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br Med J.* 1993;307:895–9.
- Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR. Use of electric blankets and risk of testicular cancer. *Am J Epidemiol.* 1990;131:759.
- Vorkapic P, Waldhauser F, Bruckner R, Biegelmayr C, Schmidtbauer M, Pendl G. Serum melatonin levels: a new neurodiagnostic tool in pineal region tumors? *Neurosurgery.* 1987;21:817–824.
- Vågerö D, Olin R. Incidence of cancer in the electronics industry: Using the new Swedish Cancer Environment Registry as a screening instrument. *Br J Ind Med.* 1983;40:188–92.
- Vågerö D, Ahlbom A, Olin R, Sahlsten S. Cancer morbidity among workers in the telecommunications industry. *Br J Ind Med.* 1985;42:191–5.
- Wahlberg JE. Någon specifik bildskärmsrelaterad hudsjukdom har inte observerats bland 100 undersökta operatörer. *Läkartidningen.* 1986;83:328–3329.
- Waldenlind E, Ekblom K, Wetterberg L, Fanciullacci M, Marabini S, Sicuteri F, Polleri A, Murialdo G, Filippi U. Lowered circannual urinary melatonin concentrations in episodic cluster headache. *Cephalalgia.* 1994;14:199–204.

- Waldenlind E, Ekblom K, Friberg Y, Sääf J, Wetterberg L. Decreased nocturnal serum melatonin levels during active cluster headache periods. *Opmeat*. 1984;29:109–112.
- Waldhouser F, Vierhapper H, Pirich K. Abnormal circadian melatonin secretion in night-shift workers. *N Engl J Med*. 1986;315:1614–1645.
- Walleczek J. Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signaling. *FASEB J*. 1992;6:3177–85.
- Walsh ML, Harvey SM, Facey RA, Mallette RR. Hazard assessment of video display units :see comments: *Am Ind Hyg Assoc J*. 1991;52:324–31.
- Washburn EP, Horza MJ, Berlin JA, Nicholson VJJ, Todd AC, Frumkin TH, Chalmers TZ. Residential proximity to electricity transmission and distribution equipment and risk of childhood leukemia, childhood lymphoma, and childhood nervous system tumours; systematic review, evaluation, and analysis. *Cancer Causes and Control*. 1994;5:299–309.
- Watten RG, Lie I. Time factors in VDT-induced myopia and visual fatigue: an experimental study. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 1992;21:13–20.
- Waughan GM, Meyer GG, Reiter RJ. Evidence for a pineal-gonad relationship in the human. *Progr Reprod Biol*. 1978;4:191–223.
- Weinberg CR, Moledor E, Baird DD, Wilcox AJ. Is there a seasonal pattern in risk of early pregnancy loss? *Epidemiol*. 1994;5:484–489.
- Weiss J, Herrick RC, Taber KH, Contant C, Plishker A. Bio-effects of high magnetic fields: a study using a simple animal model. *Magnetic Resonance Imaging*. 1992;10:689–694.
- Welker HA, Semm P, Willig RP, Commentz JC, Wiltshko W, Vollrath L. Effects of an artificial magnetic field on serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland. *Exp Brain Res*. 1983;50:426–432.
- Wennberg A, Franzén O, Paulsson LE. Reaktionen vid exponering för elektriska och magnetiska fält. Provokationer av personer med och utan elöverkänslighet. *Arbete och Hälsa* 1994;9, Arbetsmiljöinstitutet, Stockholm 1994.
- Wertheimer N, Leeper N. Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am J Epidemiol*. 1989;129:220–4.
- Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*. 1979;109:273–84.
- Wertheimer N, Leeper E. Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics*. 1986;7:13–22.
- Westlander G, Åberg E. Variety in VDT work: an issue for assessment in work environment research. *Int J Human-Computer Interaction*. 1992;4:283–301.
- Westlander G, Aronsson G, Johansson G, Ahlin J, Söderberg I. Human control over VDU use. Future needs of organizational development for better health and meaningful skillness. In: Berlinguet L, Berthelette D, eds. *Work with display units* 89. Amsterdam-New York-Oxford-Toronto: North-Holland, 1990:273–82.
- Westlander G. Use and non-use of VDTs: organization of terminal work: research findings from Swedish cross-site studies in the field of office automation. *Int J Human-Computer Interaction*. 1990;2:137–51.
- Wetterberg L, Beck-Friis J, Aperia B, Pettersson U. Melatonin/cortisol ratio in depression (letter). *Lancet*. Dec 22–29 1979;2(8156–8157):1361.
- Wetterberg L, Beck-Friis J, Kjellman BF. Melatonin as a marker for a subgroup of depressions in adults. I: Biological rhythms mood disorders, light therapy and the pineal gland, red. Shafii M, Shafii SL. *Am Psych Press*. 1990:69–95.
- WHO Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic fields (300Hz to 300 GHz), World Health Organization, Geneva 1993.
- Wiggins NP, Daum KM, Snyder CA. Effects of residual astigmatism in contact lens wear on visual discomfort in VDT use. *J Am Optom Assoc*. 1992;63:177–81.
- Wiggins NP, Daum KM. Visual discomfort and astigmatic refractive errors in VDT use. *J Am Optom Assoc*. 1991;62:680–4.

- Wiklund K, Einhorn J, Eklund G. An application of the Swedish cancer environment registry. Leukemia among telephone operators at the telecommunications administration in Sweden. *Int J Epidemiol.* 1981;10:373.
- Wiley MJ, Corey P, Kavet R, Charry J, Harvey S, Agnew D, Walsh M. The effects of continuous exposure to 20-kHz sawtooth magnetic fields on the litters of CD-1 mice. *Teratology.* 1992;46:391–398.
- Wilkins III JR, Koutras RA. Paternal occupation and brain cancer in offspring: A mortality-based case-control study. *Am J Ind Med.* 1988;14:299–318.
- Wilkins III JR, Hundley VD. Paternal occupational exposure to electromagnetic fields and neuroblastoma in offspring. *Am J Epidemiol.* 1990;131:995–1007 (+ Appendix).
- Wilson BW. Chronic exposure to ELF fields may induce depression, Bioelectromagnetics. 1988;9:195–205.
- Wilson BW, Anderson LE. ELF electromagnetic field effects on the pineal gland. I: Extrem low frequency electromagnetic fields: The question of cancer, red. Wilson BW, Stevens RG, Anderson LE. Columbus, OH: Battelle Press. 1990:159–186.
- Wilson BW, Chess EK, Anderson LE. 60 Hz electric-field effects on pineal melatonin rhythms: time course for onset and recovery. *Bioelectromagnetics.* 1986;7(2):239–42.
- Wiltschko W, Wiltschko R. Orientation in birds. Magnetic orientation and celestial cues in migratory orientation. *EXS.* 1991;60:16–37.
- Windham GC, Fenster L, Swan SH, Neutra RR. Use of video display terminals during pregnancy and the risk of spontaneous abortion, low birthweight, or intrauterine growth retardation. *Am J Ind Med.* 1990;18:675–88.
- Woodbury JW. The cell membrane : Ionic and potential gradients and active transport. Action potential: Properties of excitable membranes. I: (Ruch TC, Patton HD) Physiology and Biophysics, WB Saunders Co. ISBN 1965:1–53.
- Wright WE, Peters JM, Mack TM. Leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *Lancet.* 1982;2:1160.
- Zecca L, Ferrario P, Dal Conte G. Toxicological and Teratological Studies in Rats after exposure to Pulsed Magnetic Fields. *Bioelectrochem Bioenerget.* 1985;14:69–69.
- Öhman A. The orienting response during Pavlovian conditioning. I: Orienting and habituation: Perspectives in human research. ed. DAT Siddle, J Wiley & Sons, Chichester, UK. 1983:315–369.
- Öhman A, Soares JF. "Unconscious anxiety": Phobic responses to masked stimuli. *J Abn Psychol.* 1994;103:231–40.
- Örtendahl T, Högstedt P. Effekter på amalgam orsakade av magnetfält från bildskärmar. Arbetsmiljöfonden, Sammanfattningar nr 1524, Stockholm.
- Östberg O, Högberg YKO. Perspectives on ergonomics issues in a VDT office. In: Sauter S, Dainoff M, Smith M, eds. Promoting Health and Productivity in the Computerized Office: Models of successful ergonomic interventions. London-New York-Philadelphia: Taylor & Francis. 1990:131–46.